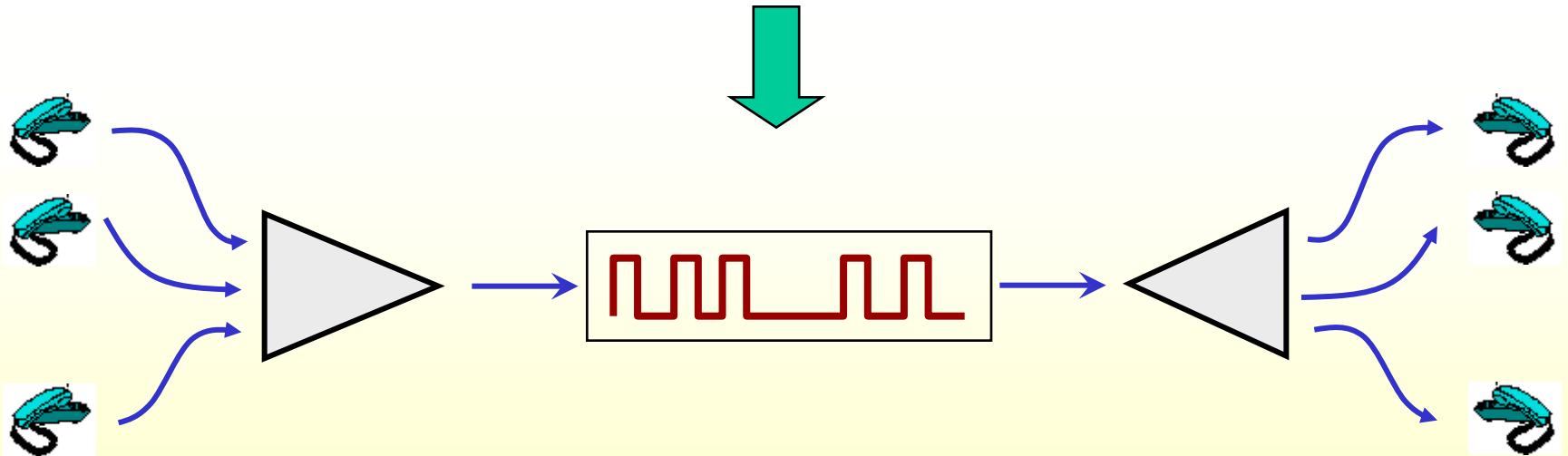


Códigos de Linha

- ← Transmissão dos dígitos binários através do canal.
- ← Estuda a melhor forma para a transmissão dos símbolos “binários” através do canal de transmissão.



Critérios para a escolha de um código de linha

Conteúdo de temporização adequado

- ↙ facilidade de obtenção do sinal de sincronismo (taxa de bits ou de símbolos),
- ↙ sincronismo entre receptor e transmissor.

Nível CC nulo

- ↙ necessidade de alimentação cc para os regeneradores ao longo do canal.

Espectro densidade de potência adequado

- ↙ concentrado em torno de $f_b/2$, (obtenção do sinal de relógio).
- ↙ baixa concentração de energia nas frequências baixas.
(o canal reforça as frequências baixas)

Redundância

- ↙ capacidade de detecção de erros,
- ↙ monitoramento de erros.

Transparência

- ↙ evitar fluxos longos de “ 0 ” ou de “ 1 ”.

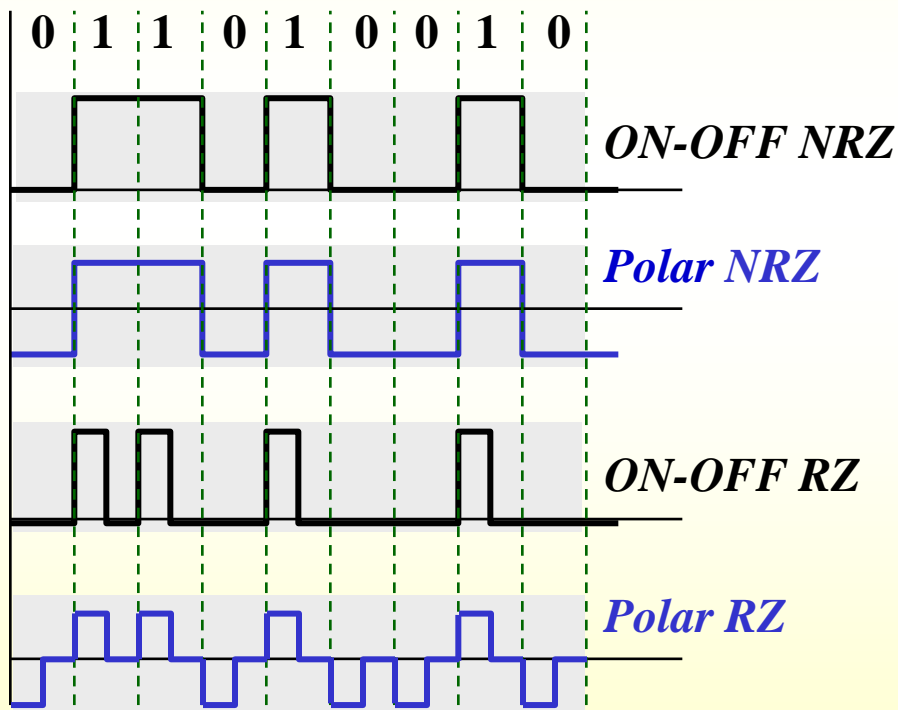


1. Códigos de Nível

← Utiliza dois níveis de tensão para codificar os dígitos binários.

← **Tipos: Unipolar ou ON-OFF**

Polar



Exemplo: Admitindo Símbolos equiprováveis

Unipolar NRZ: 5V ☒ “ 1 “

0V ☒ “ 0 “

Potência média: 12.5 w

Polar NRZ: 2.5V ☒ “ 1 “

-2.5V ☒ “ 0 “

Potência média: 6.25 w



← Espectro densidade de potência

← Pulso retangular $|G(f)|^2 = \tau^2 \text{sinc}^2(\tau f)$

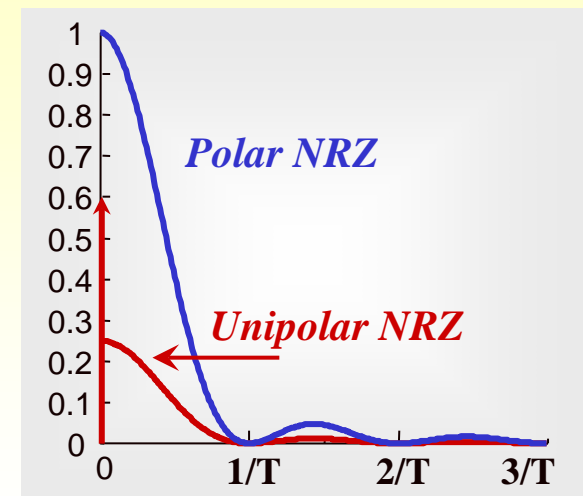
:

← Unipolar NRZ $S(f) = \frac{a^2}{4T} |G(f)|^2 + \frac{a^2}{4} \delta(f)$

:

← Polar NRZ $S(f) = \frac{a^2}{T} |G(f)|^2$

:



Problemas

← Para um fluxo longo de “0” ou “1” :

- ☑ poucas transições (problemas com temporização),
- ☑ Nível cc que varia com os padrões do código,

← densidade espectral de potência concentrada em baixas frequências,

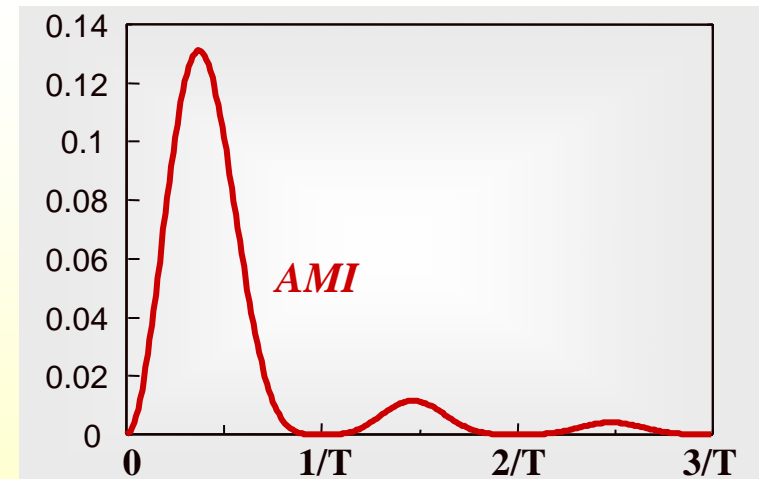
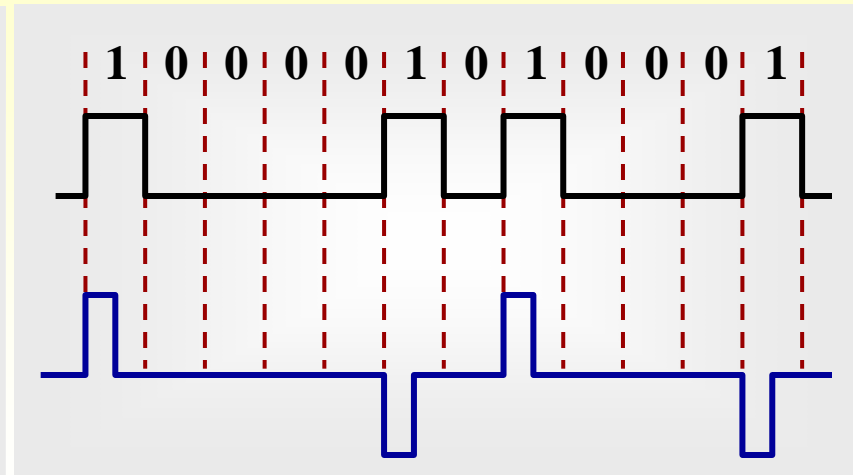
← não há possibilidade de monitoramento de erros.



2. Código Bipolar (AMI : alternate mark inversion)

- ← Energia cc nula.
- ← Utiliza três níveis de tensão:
 - ✓ “0” : ✓ 0V
 - ✓ “1” : ✓ tensão positiva ou negativa alternadamente
- ← Este código contém redundâncias:
 - ✓ monitoramento de erros através das violações na regra AMI.
- ← Uso: T1 24 canais.

$$S(f) = \frac{a^2}{2T} |G(f)|^2 (1 - \cos 2\pi f T)$$

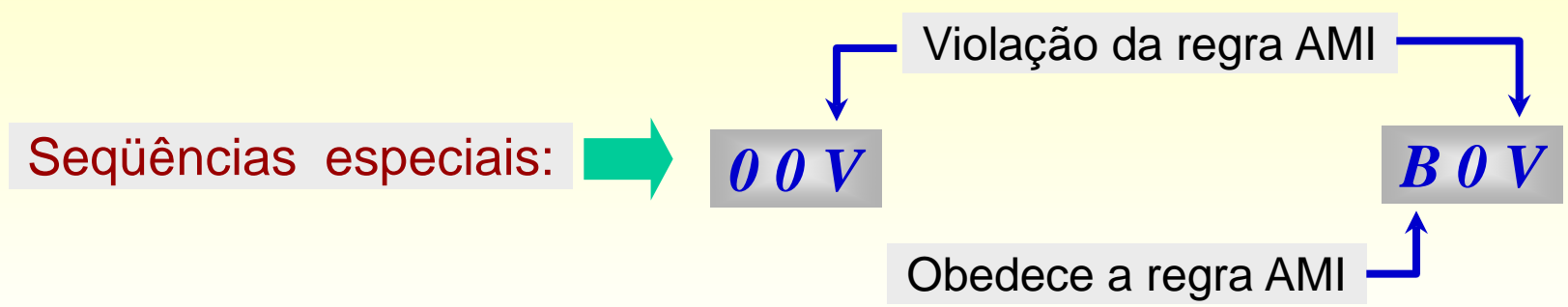


3. Código Binário com substituição de N zeros (BnZS)

- ← Limitação do código AMI: dependência da mínima densidade de pulsos para manter sinal de temporização (relógio).
 - ☑ Uma seqüência longa de zeros consecutivos causa 'jitter' ou perda de sincronismo.
 - ☑ Conseqüência: aumento na taxa de erros.
- ← Solução: desenvolvimento de códigos que limitam o número de zeros consecutivos de uma seqüência: Códigos BnZS.
- ← **Idéia básica para este tipo de código:**
 - ☑ Uma seqüência com N zeros é substituída por uma seqüência especial.
 - ☑ Estas seqüências contêm alguns pulsos que violam a regra AMI.
- ← Vantagem aumento na densidade dos pulsos quando ocorrer seqüências longas de zeros.
- ← Desvantagem: prejuízo na detecção de erros.



a. **Código B3ZS:** Seqüências de 3 zeros consecutivos são substituídas como abaixo:



Regra de substituição



<i>Polaridade do pulso precedente</i>	<i>Número de pulsos “1” desde a última violação</i>	
	<i>impar</i>	<i>par</i>
-	0 0 -	+ 0 +
+	0 0 +	- 0 -

← **Observações:**

- ✓ Ocorre um número par de pulsos bipolares entre violações somente se houver erros na linha
- ✓ monitoramento de erros.
- ✓ Aplicação: sistema T1.

← Exemplo:

	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	
<i>impar</i>	+	0	-	0	0	-	+	-	+	0	+	-	0	-	0	0	+	0	0	+	-
<i>par</i>	+	0	-	+	0	+	-	+	-	0	-	+	0	+	0	0	-	0	0	-	+

☑ Observe que existem duas seqüências possíveis, dependendo do número de pulsos desde a última violação.

b. Códigos B6ZS e B8ZS:

☑ As regras para substituição são mostradas abaixo

	<i>Polaridade do pulso precedente</i>	<i>Substituição</i>
<i>B6ZS</i>	-	0 - + 0 + -
	+	0 + - 0 - +
<i>B8ZS</i>	-	0 0 0 - + 0 + -
	+	0 0 0 + - 0 - +

→ T2 (96 canais)



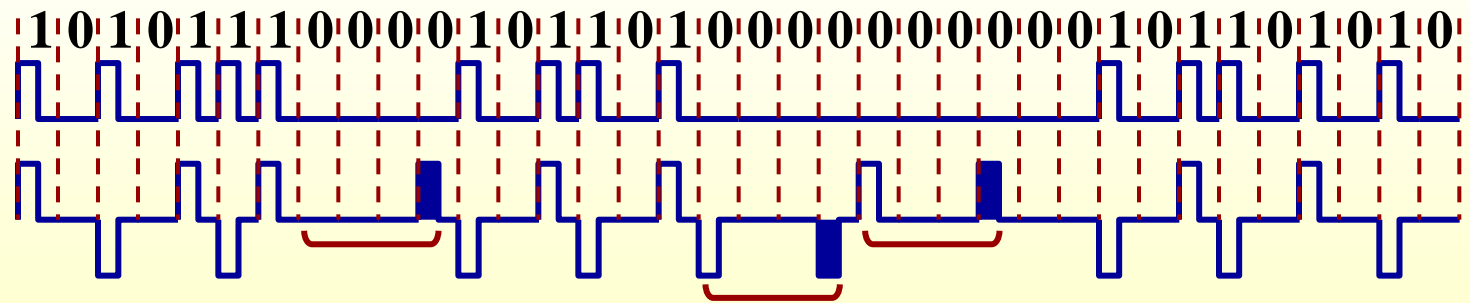
c. Código HDB3 - (high density bipolar)

- ← O algoritmo de codificação é semelhante ao do código B3ZS.
 - ☑ Uma seqüência com 4 zeros consecutivos é substituída por:
 - ☑ **0 0 0 V** ou **B 0 0 V**
- ← As regras de substituição são mostradas abaixo:

<i>Polaridade do pulso precedente</i>	<i>Número de pulsos “1” desde a última violação</i>	
	<i>impar</i>	<i>par</i>
-	0 0 0 -	+ 0 0 +
+	0 0 0 +	- 0 0 -

→ PCM (32 canais)

Exemplo:



4. Código Ternário

← Mapeia 4 bits em 3 dígitos ternários.

- ☑ $2^4 = 16$ combinações diferentes.
- ☑ $3^3 = 27$ combinações diferentes.

← **Vantagens:**

- ☑ Redução na largura de faixa.
- ☑ Forte conteúdo de temporização.

← **Desvantagens:**

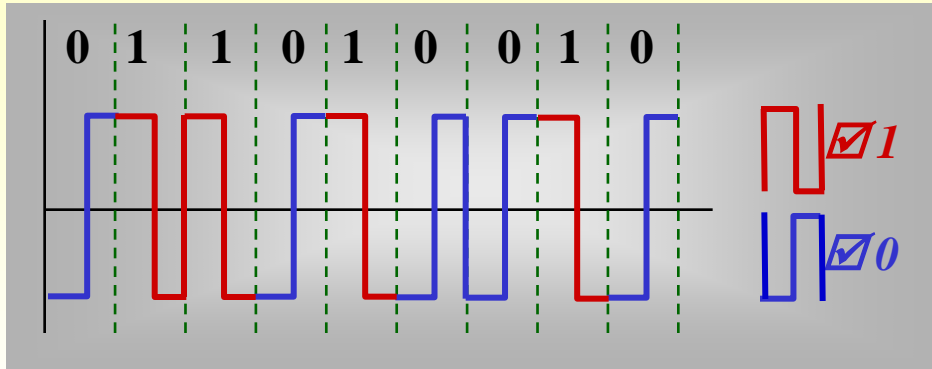
- ☑ Requer “framing”.

← **Codificação:**

- ☑ A coluna central é balanceada.
- ☑ As colunas laterais são escolhidas de pendendo da disparidade (soma dos dígitos).
- ☑ Disparidade + ☑ modo - (vice ver.)

Código 4B3T			
	Modo -		Modo +
0000	- - -		+ + +
0001	- - 0		+ + 0
0010	- 0 -		+ 0 +
0011	0 - -		0 + +
0100	- - +		+ + -
0101	- + -		+ - +
0110	+ - -		- + +
0111	- 0 0		+ 0 0
1000	0 0 -		0 0 +
1001	0 0 -		0 0 +
1010		0 + -	
1011		0 - +	
1100		+ 0 -	
1101		- 0 +	
1110		+ - 0	
1111		- + 0	

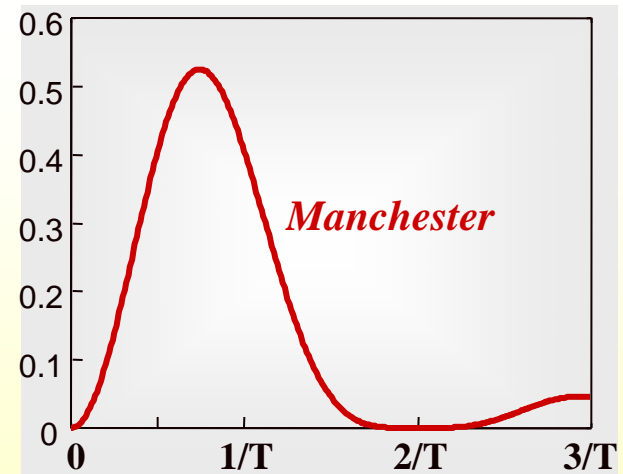
5. Código Manchester (biphase - diphase)



- ← Utiliza um ciclo da onda quadrada para codificar o “1” e fase oposta para o “0”.
- ← Nível cc nulo.

- ← Existe sempre uma transição nos centros dos pulsos :
 - ✓ forte conteúdo de temporização
- ← Densidade espectral de potência concentrada em torno de $1/T$:
 - ✓ Largura de faixa grande ($2/T$)
- ← Não apresenta redundâncias.
 - ✓ não há como detectar erros.
- ← Uso: Ethernet LAN (IEEE 802.3)

$$S(f) = a^2 T \text{sinc}^2\left(\frac{fT}{2}\right) \sin^2\left(\frac{\pi fT}{2}\right)$$



6. Código Diferencial

← Codifica o dígito “1” como uma mudança de estado e o “0” sem mudança

de estado.

☑ a informação está contida nas transições,

Vantagens:

← Insensível à inversão de fase,

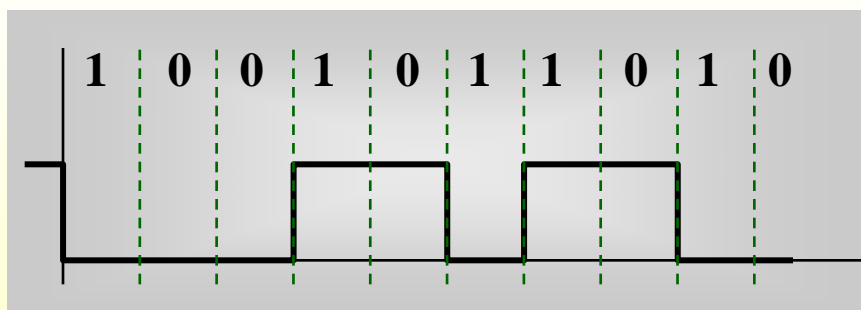
← O decodificador não necessita de uma referência absoluta,

Desvantagens:

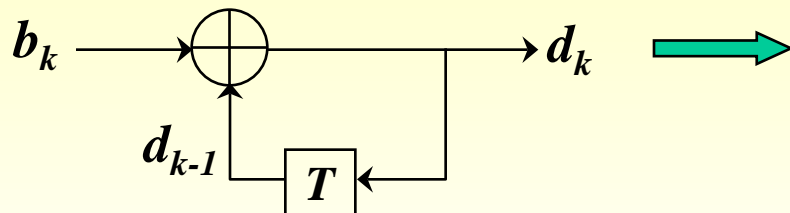
← densidade espectral de potência concentrada em baixas frequências,

← dobra a probabilidade de erros.

Exemplo:



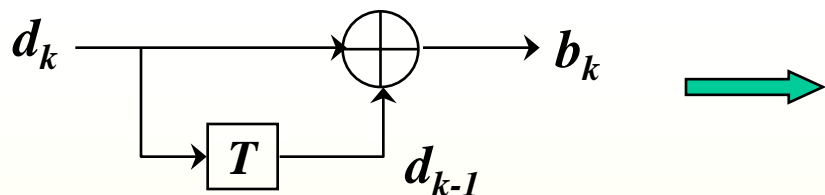
← Obtenção do código:



$$d_k = b_k \oplus d_{k-1}$$

	Início	mensagem						
b_k	1 (ref)	1	0	1	0	0	1	1
d_{k-1}	0 (e. in.)	1	0	0	1	1	1	0
d_k	1	0	0	1	1	1	0	1

← Decodificação:



$$d_k \oplus d_{k-1} = b_k \oplus d_{k-1} \oplus d_{k-1} = b_k$$

**Caso ocorrer
inversão de fase**

$$\bar{d}_k \oplus \bar{d}_{k-1} = b_k \oplus \bar{d}_{k-1} \oplus \bar{d}_{k-1} = b_k$$

$$\text{pois: } \bar{d}_k = \overline{d_k} = b_k \oplus d_{k-1} = b_k \oplus \bar{d}_{k-1}$$



7. Códigos Multiníveis

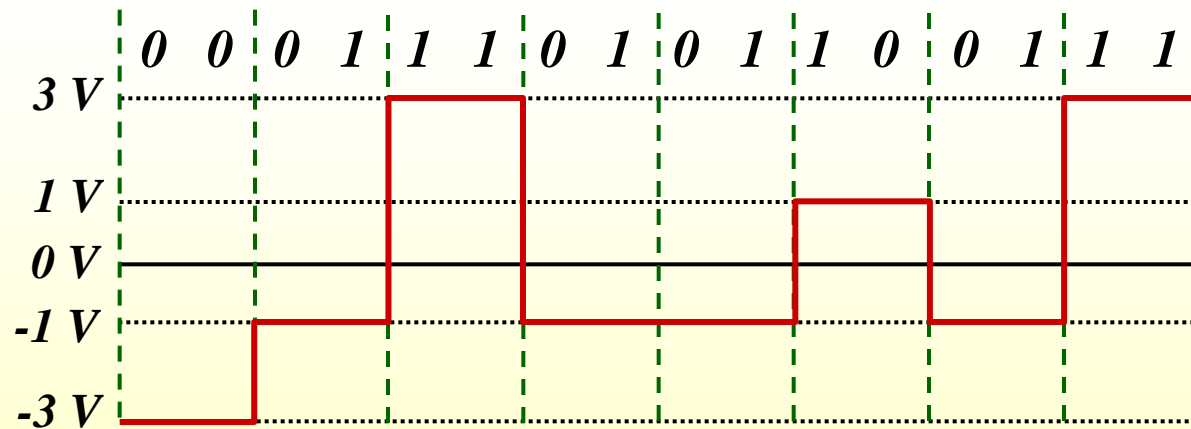
- ← Utiliza mais de dois níveis de tensão para a codificação dos dados digitais.
- ☑ Exemplo para quatro níveis de tensão (agrupa de 2 em 2 dígitos binários) como mostra a figura abaixo:

Vantagens:

- ← compressão na banda de transmissão.

Desvantagens:

- ← detecção de quatro ou mais níveis de tensão.



Apêndice

