

11

Transmissão em banda base

Códigos de linha

Comunicação Digital
(10 de maio de 2023)

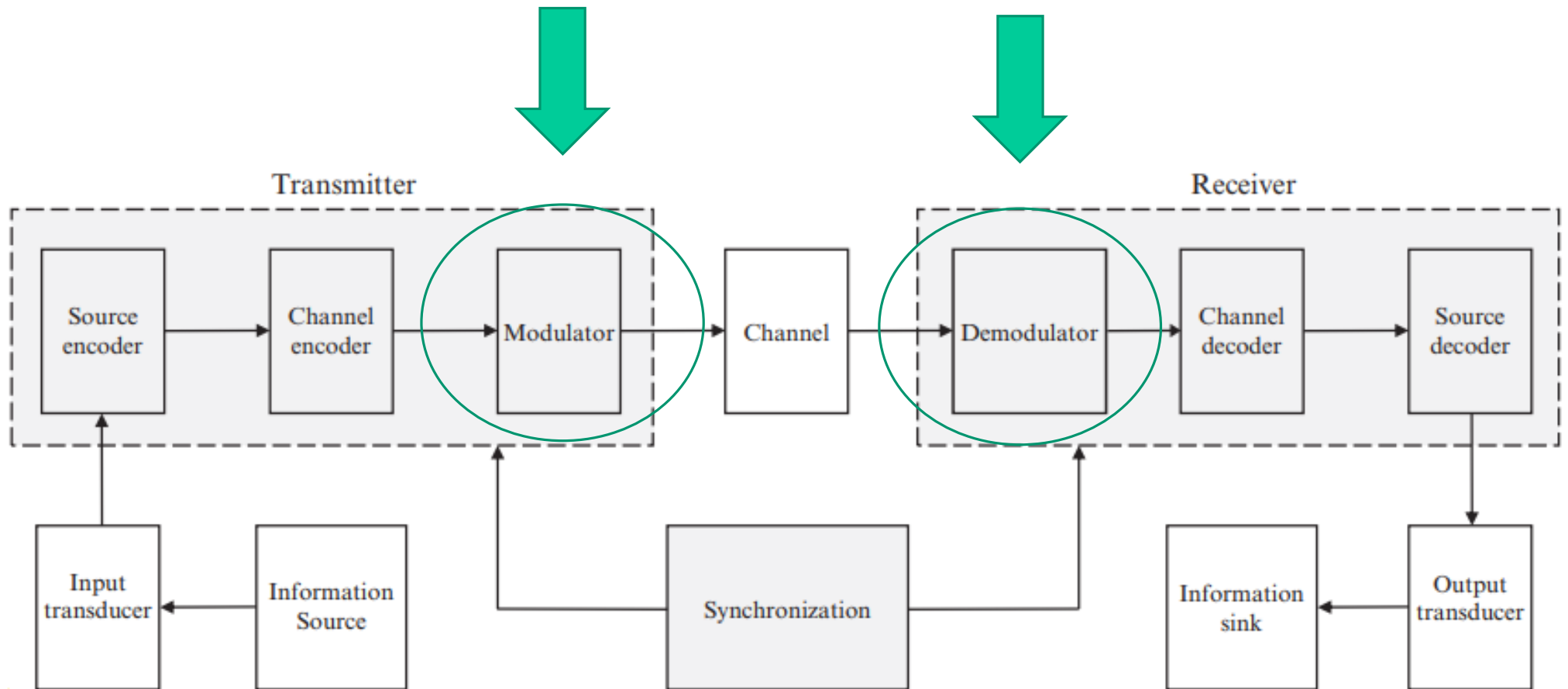


Sumário

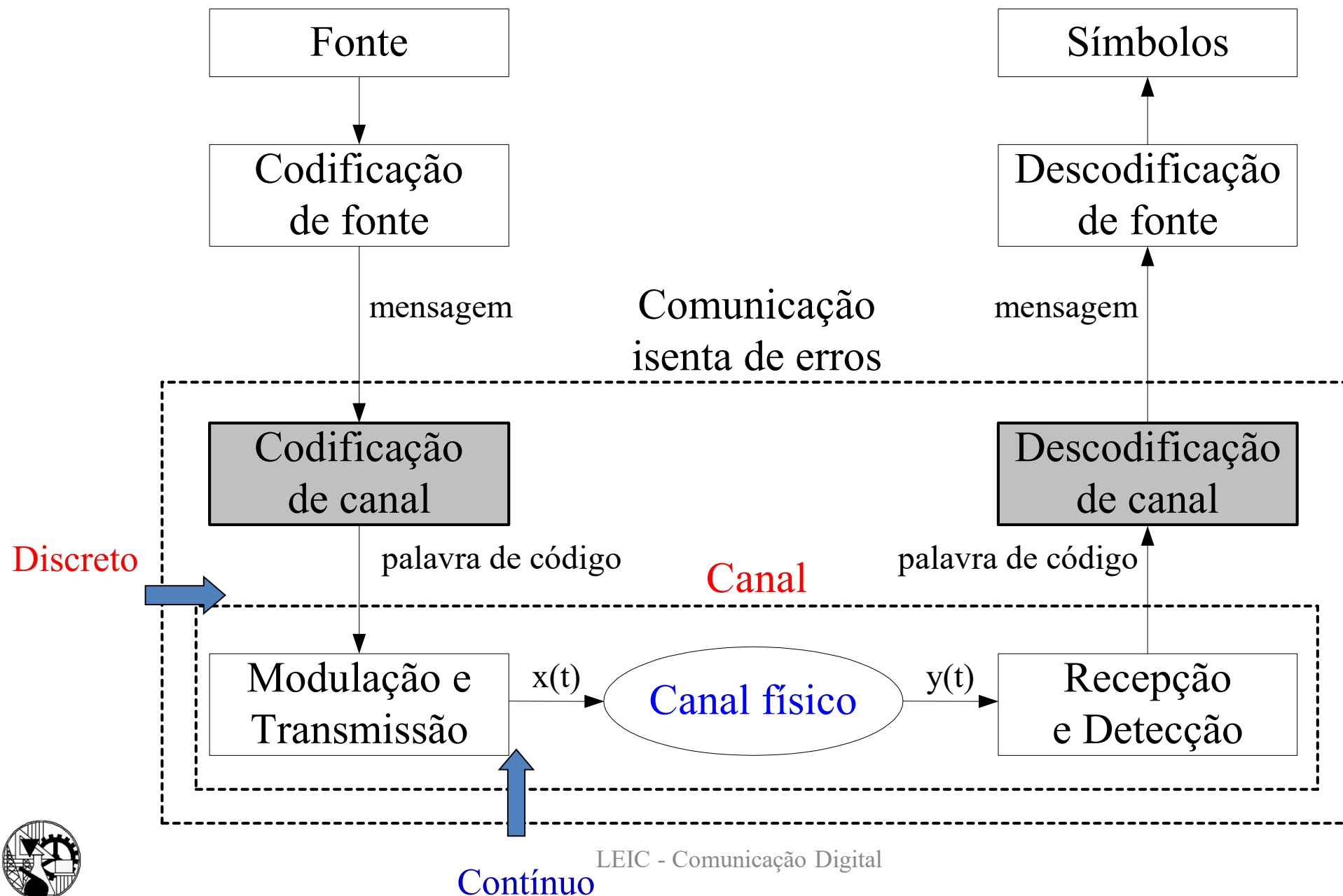
1. Modelo de transmissão e sistemas de banda base
2. Códigos de linha
 - NRZ - Absoluto e Diferencial
 - RZ
 - Bifásicos
 - Aplicações
3. Diagrama (ou padrão) de olho
4. Recetor
5. Exercícios



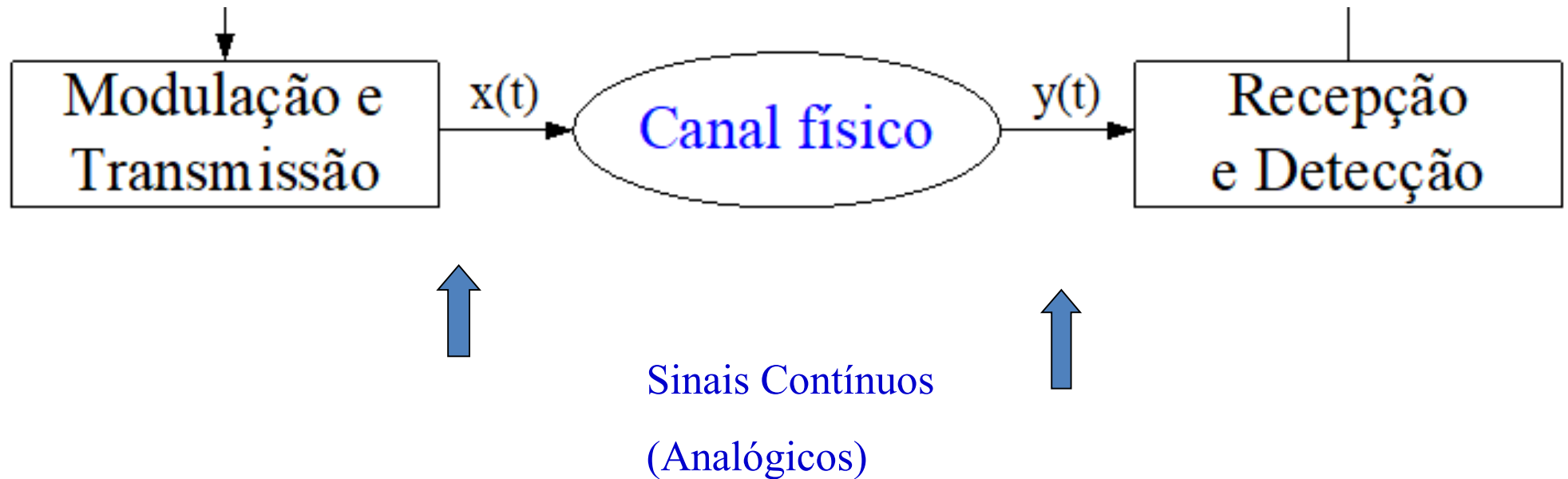
Sistemas de Comunicação



1. Modelo de transmissão

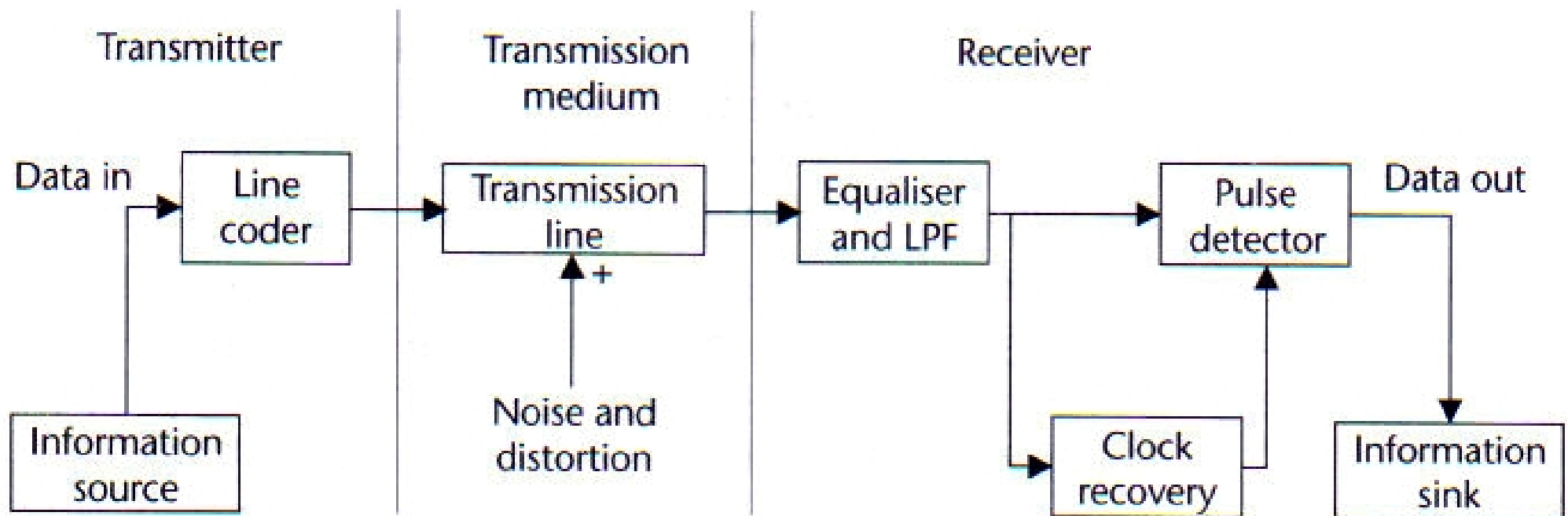


1. Modelo de transmissão sistema físico



1. Transmissão digital em banda base

- **Banda base** - o meio de transmissão admite componentes de frequência em torno de 0 Hz
- Uso de códigos de linha (ondas “quadradas”)
- Tipicamente, é utilizada em curta distância



2. Códigos de linha: características

- Codificação de linha (*line coding*) consiste no uso de pulsos elétricos para codificar os bits 1 e 0
- Estes pulsos são colocados diretamente no meio de transmissão
- Tipicamente, são assim geradas “ondas quadradas”



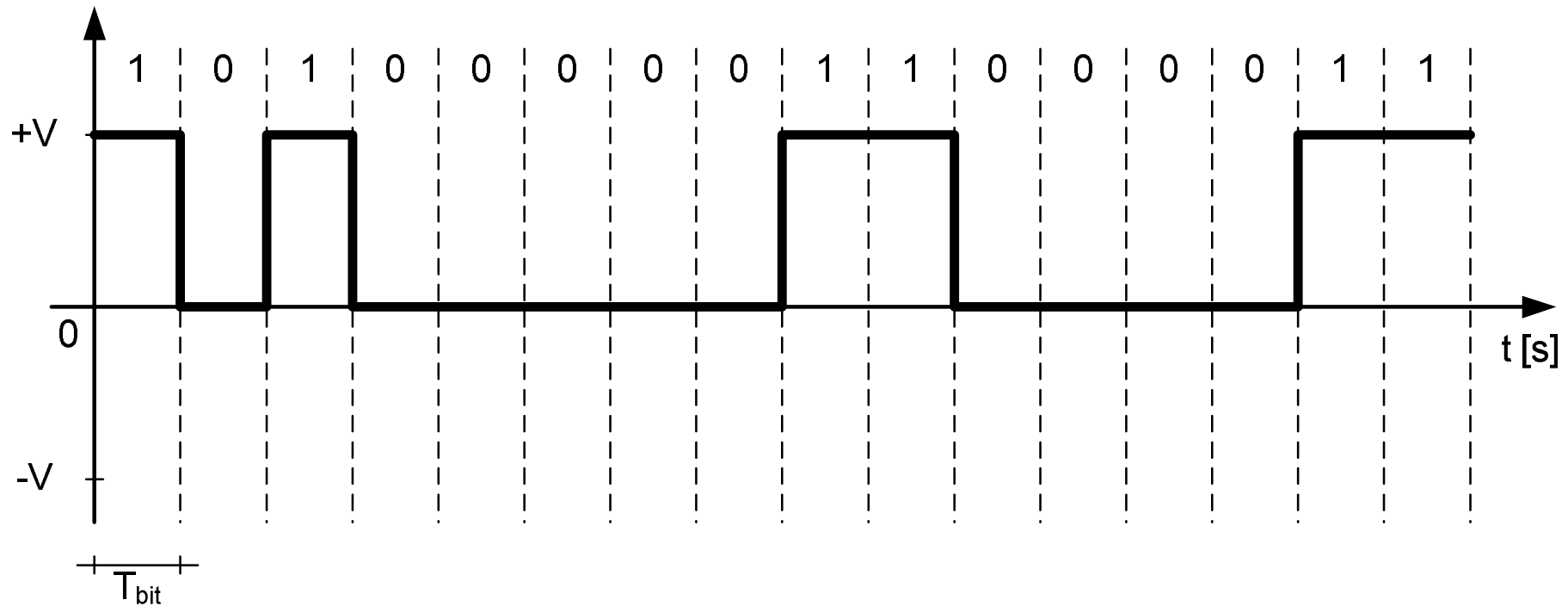
2. Códigos de linha: características

- O sinal gerado é adaptado às características do canal de transmissão
- Dados com informação de temporização combinada
 - Necessidade de transições (para evitar perda de sincronismo)
 - Sinal de relógio embebido no código
- Vulnerabilidade a fatores externos tais como ruído, interferências e interferência inter-simbólica



2. NRZ - Unipolar

- NRZ – Non-Return to Zero, não retorna a zero dentro do tempo de bit
- NRZ - Unipolar



Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{2} \cdot T_{\text{bit}}$$



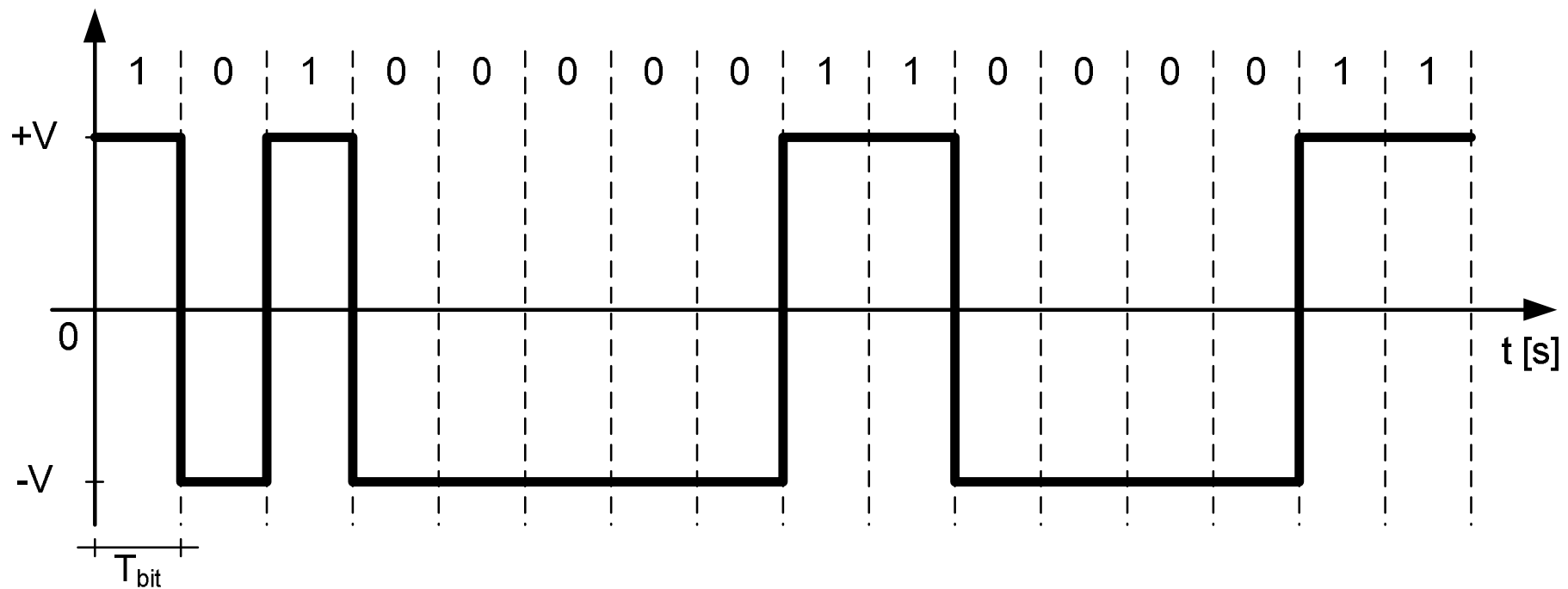
2. NRZ – Unipolar

- A componente DC (valor médio) não é nula; é diretamente proporcional do número de bits 1 na mensagem
- O meio de transmissão não pode bloquear a componente DC (frequência 0 Hz)
- Codificação Transistor-Transistor Logic (TTL)



2. NRZ-Bipolar ou NRZ-Polar

NRZ - Bipolar / NRZ - Polar



Energia média por bit

$$E_b = V^2 \cdot T_{\text{bit}}$$



2. NRZ-Bipolar ou NRZ-Polar

- A componente DC (valor médio) é nula quando temos igual número de bits 1 e 0 na mensagem
- Melhor desempenho do que o NRZ Unipolar
- Obriga a que a fonte de alimentação produza tensões simétricas
- Bipolar ou Polar são designações equivalentes



2. NRZ-Absoluto (Unipolar e Bipolar)

- Formato básico (“níveis TTL”);
- Transmissão a curta distância com eficiência de 100%
- Necessita de sinal de relógio em separado
- Problemas:
 - perda de sincronismo para longas sequências do mesmo bit
 - inversão dos níveis (troca dos fios) resulta na decodificação errada de todos os bits
- Solução: NRZ diferencial



2. NRZ-Diferencial

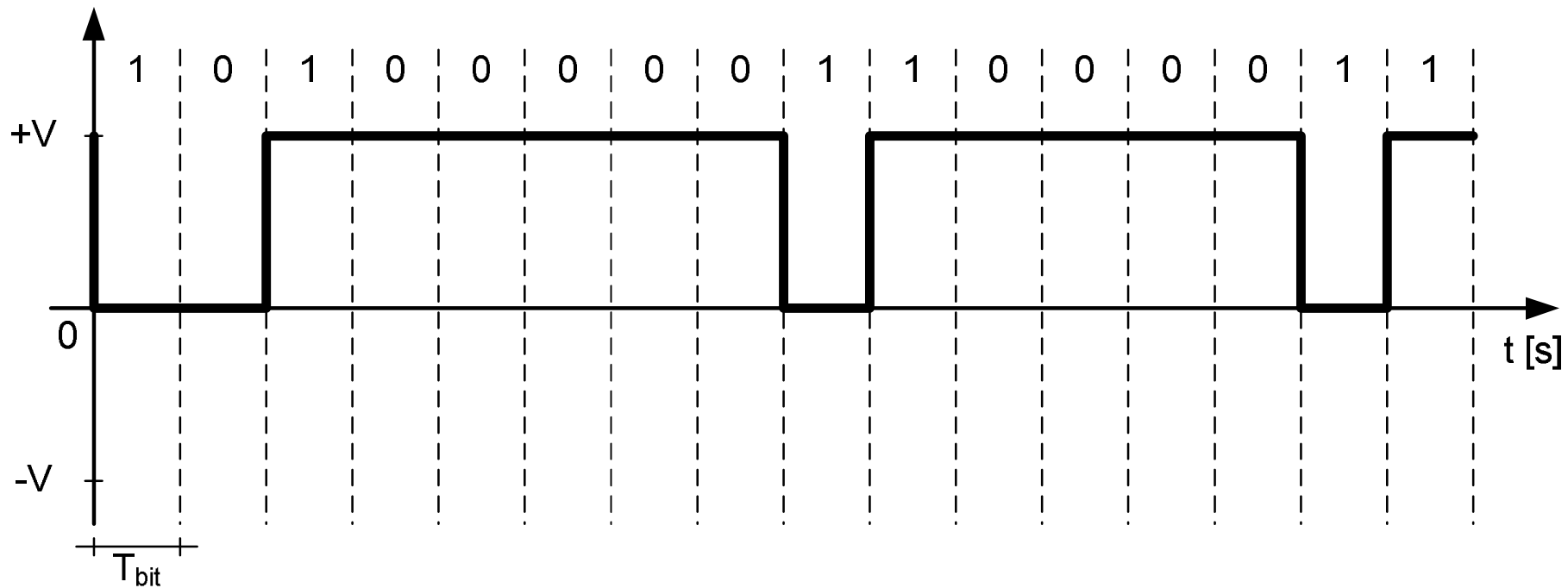
- Os bits são codificados com alternância de nível no início do tempo de bit (transições), em vez de valores de amplitude absolutos
- A ideia essencial é criar transições, para minimizar as perdas de sincronismo
- Pode ser unipolar ou bipolar
- As técnicas comuns são:
 - NRZ-M (Mark)
 - NRZ-S (Space)



2. NRZ-Mark

- Mudança de nível no início de tempo de bit para o **bit 1**
- Mantém o nível, caso o bit seja 0

NRZ – Diferencial (Mark)



Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{2} \cdot T_{\text{bit}}$$

Unipolar

$$E_b = V^2 \cdot T_{\text{bit}}$$

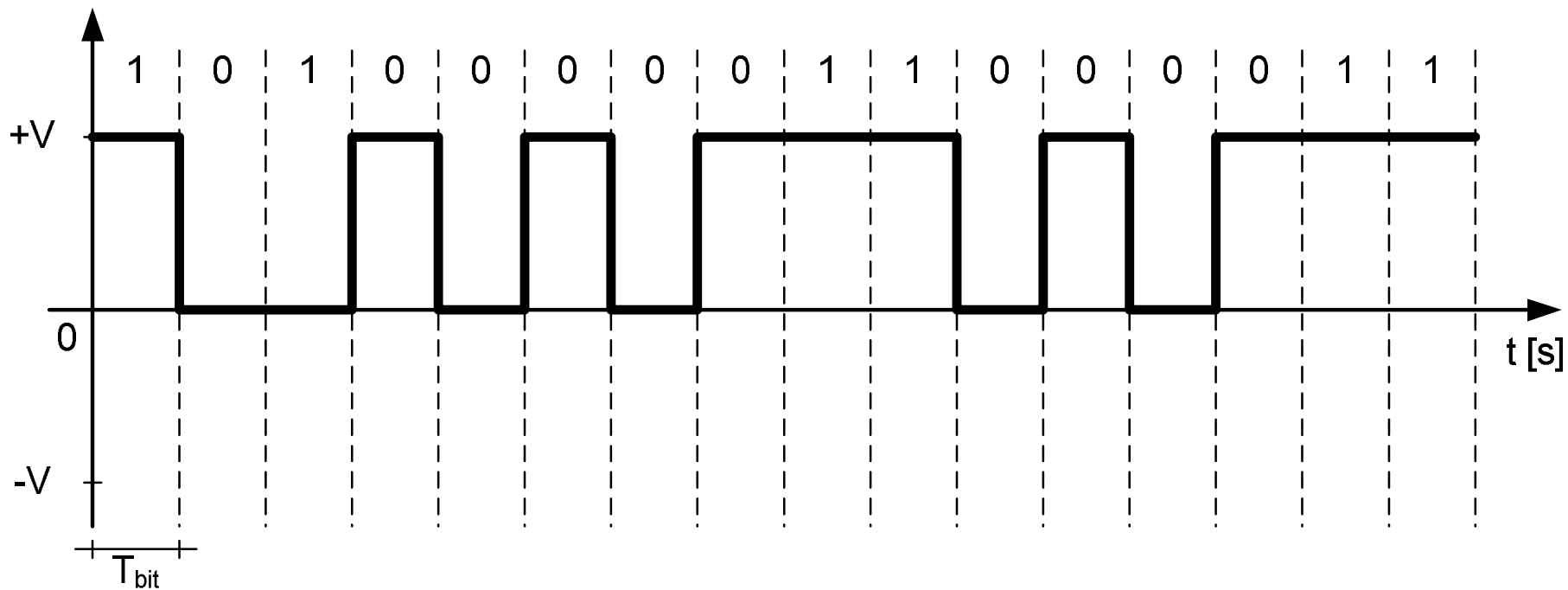
Bipolar



2. NRZ-Space

- Mudança de nível no início de tempo de bit para o **bit 0**
- Mantém o nível, caso o bit seja 1

NRZ – Diferencial (Space)



Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{2} \cdot T_{\text{bit}}$$

Unipolar

$$E_b = V^2 \cdot T_{\text{bit}}$$

Bipolar



2. NRZ-Absoluto e NRZ-Diferencial

- Perda de sincronismo em longas sequências:
 - do mesmo bit em NRZ Unipolar e NRZ Bipolar
 - de zeros em NRZ-M
 - de uns em NRZ-S
- Para não perder sincronismo, é necessária a existência de transições:
 - usando uma linha paralela (extra) de clock
 - ou usando códigos RZ—Return to Zero
 - ou usando códigos bifásicos



2. Códigos RZ e Bifásicos

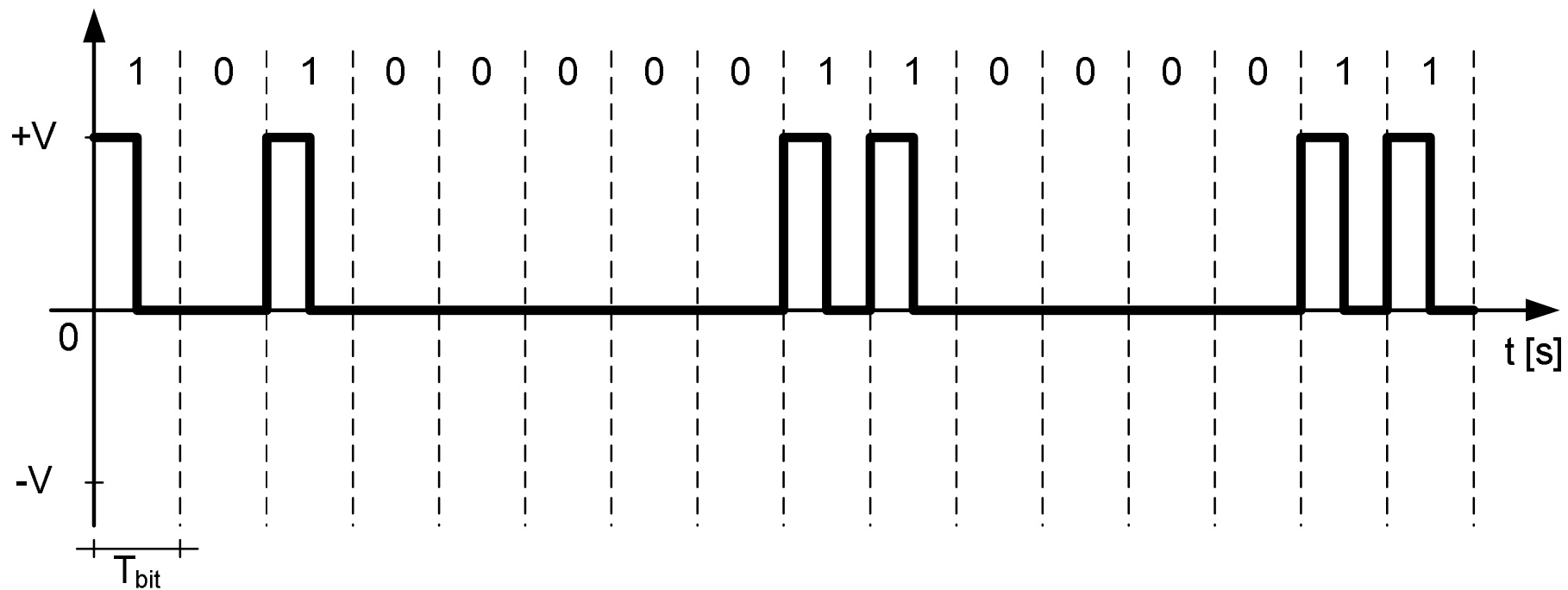
- RZ - Return to Zero
 - Gera mais transições do que NRZ
 - Ocupa o dobro da largura de banda do NRZ
 - Tem menor energia média por bit do que o NRZ
- AMI - Alternate Mark Inversion
 - Técnica que pode ser aplicada sobre códigos NRZ ou RZ
 - Gera sinais que tendem para valor médio nulo
- Manchester (código bifásico)
 - Gera sempre sinais com valor médio nulo
 - Tem a mesma energia média por bit do que NRZ Bipolar
 - Ocupa a mesma largura de banda do que o código RZ
 - Tem sempre uma transição a meio do tempo de bit



2. Código RZ (unipolar)

- Muda de nível a meio do tempo de bit \Rightarrow Mais transições que NRZ
- Este aumento de transições implica aumento da largura de banda

RZ

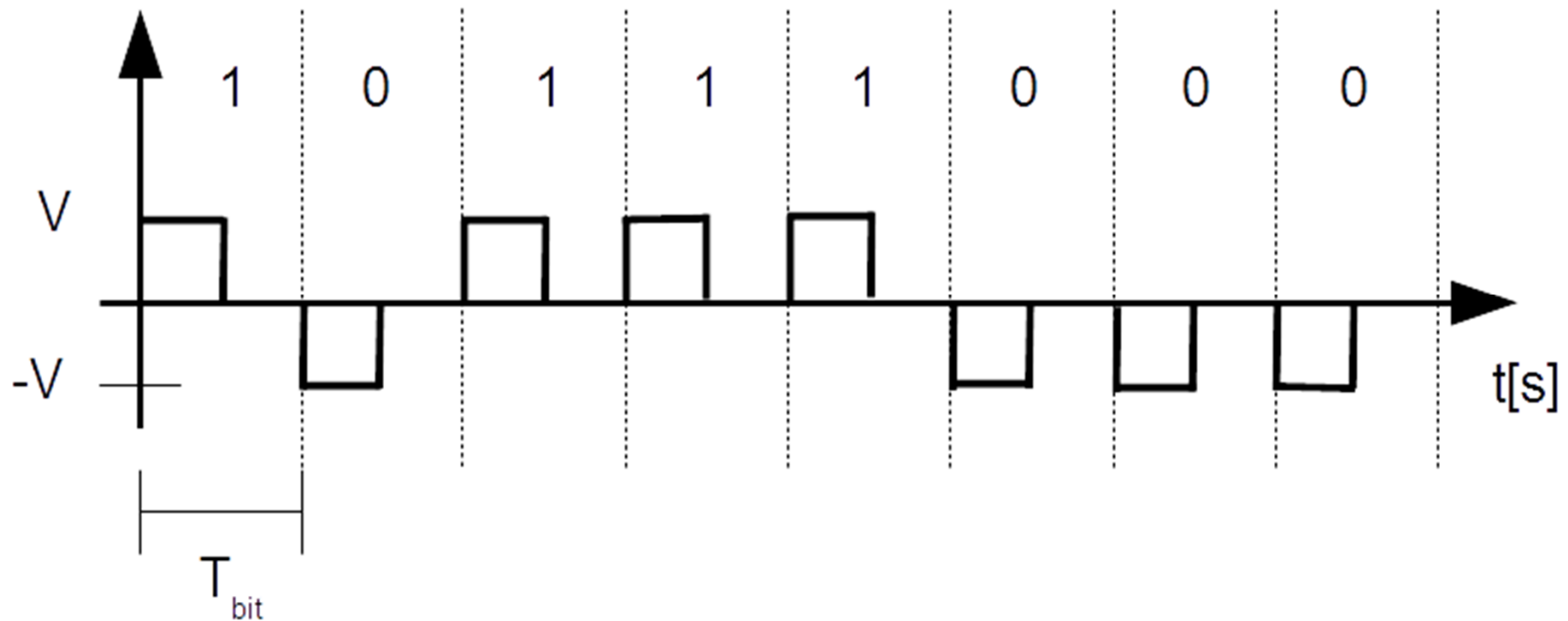


Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{4} \cdot T_{\text{bit}}$$



2. Código RZ (bipolar)

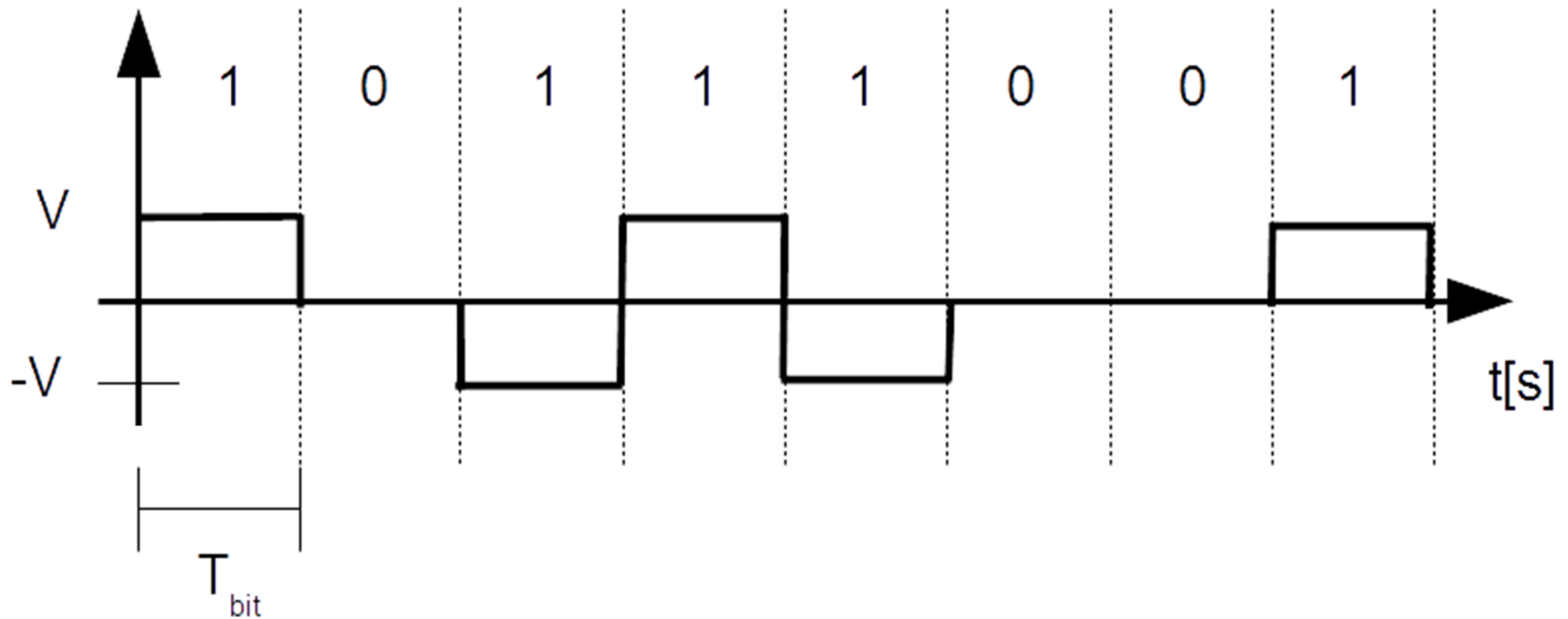


Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{2} \cdot T_{\text{bit}}$$



2. Código AMI (do tipo NRZ)



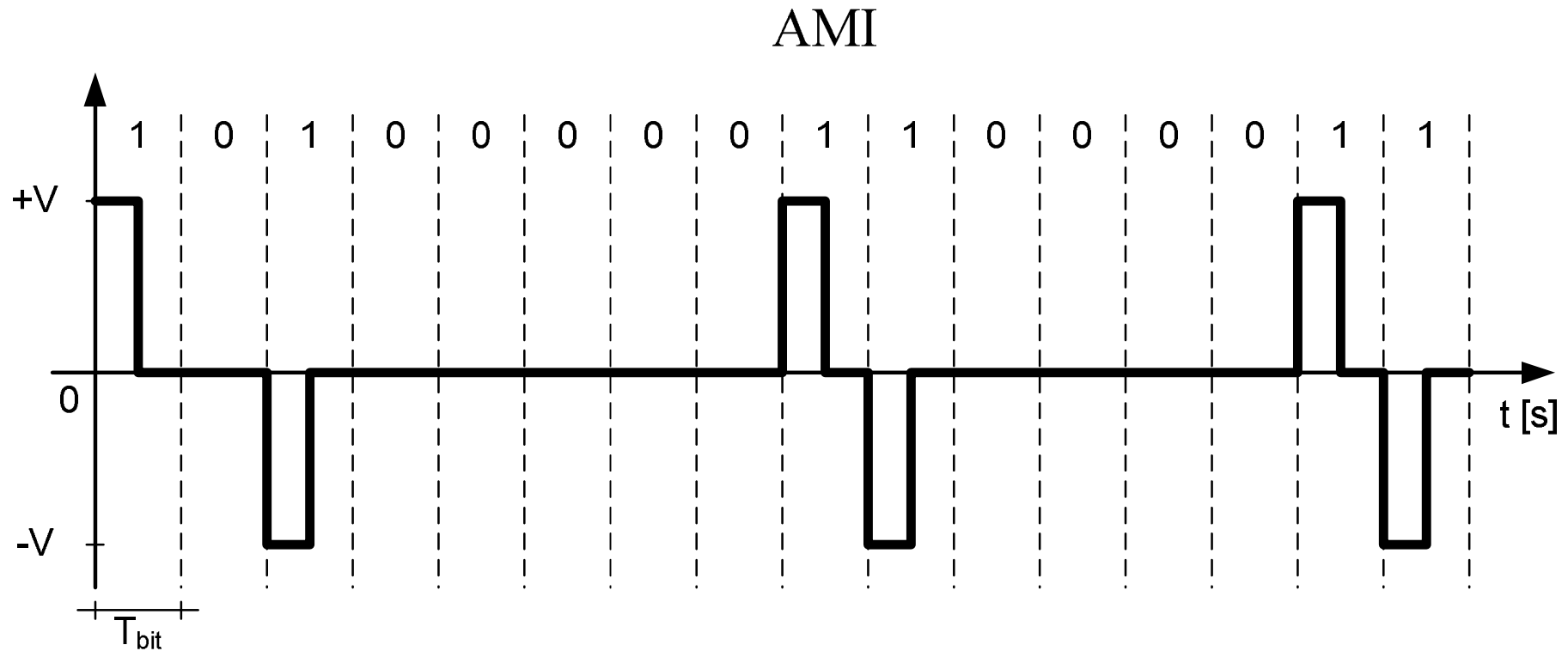
Energia média por bit

$$E_b = \frac{V^2}{2} \cdot T_{\text{bit}}$$



2. Código AMI (do tipo RZ)

- Muda de nível a meio do tempo de bit \Rightarrow Mais transições que NRZ



Energia média por bit

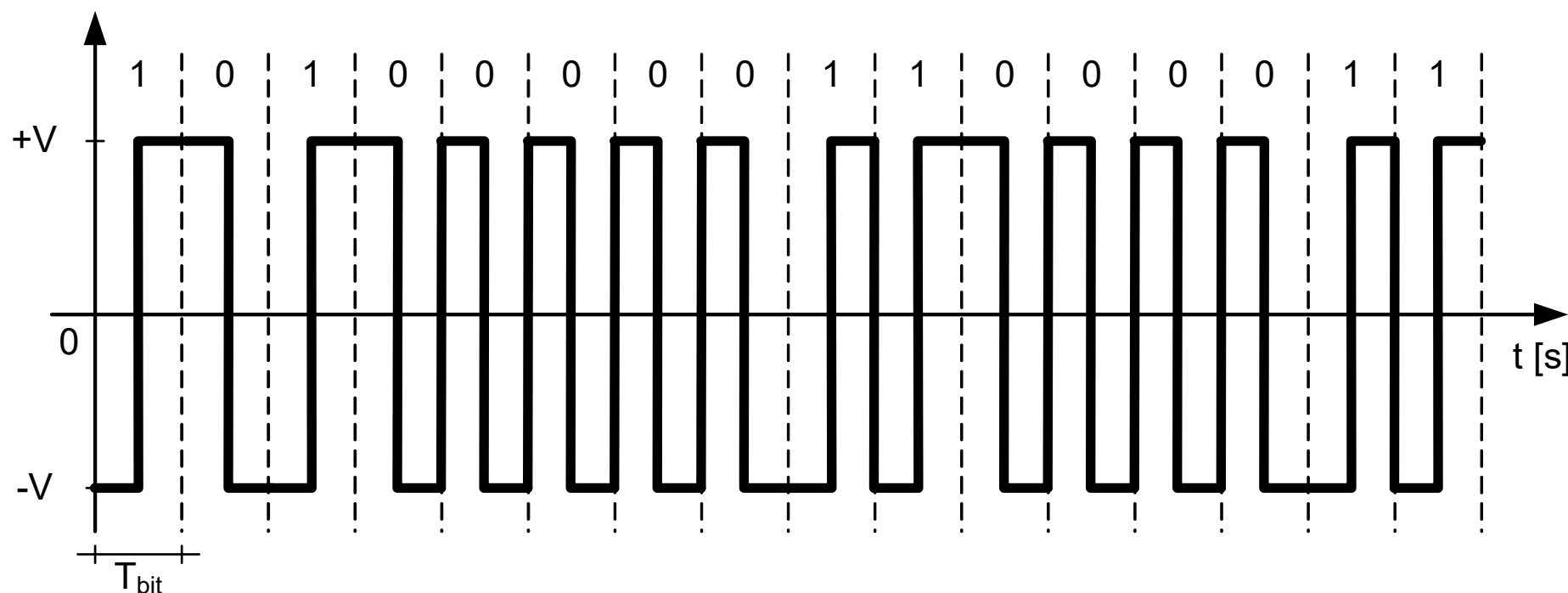
$$E_b = \frac{V^2}{4} \cdot T_{\text{bit}}$$



2. Código Manchester

- Tem sempre valor médio nulo
- Transição a meio do tempo de bit (código bifásico)

MANCHESTER



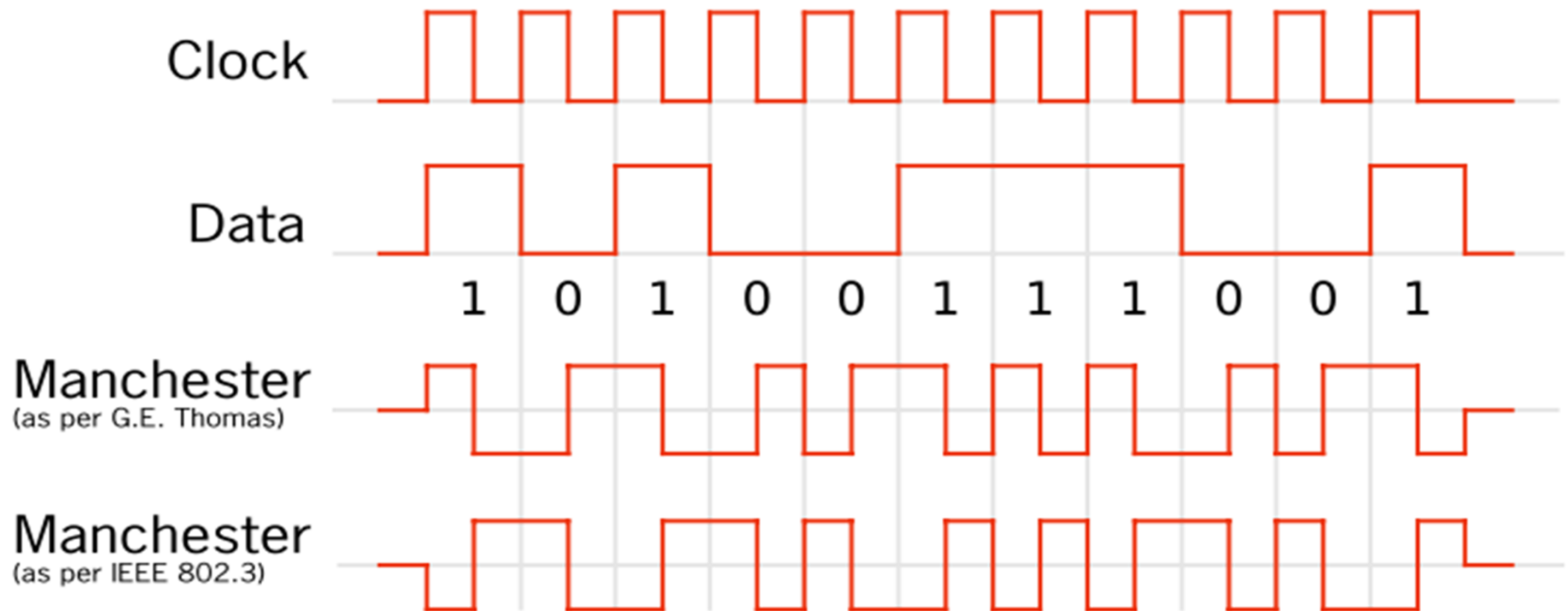
Energia média por bit

$$E_b = V^2 \cdot T_{\text{bit}}$$



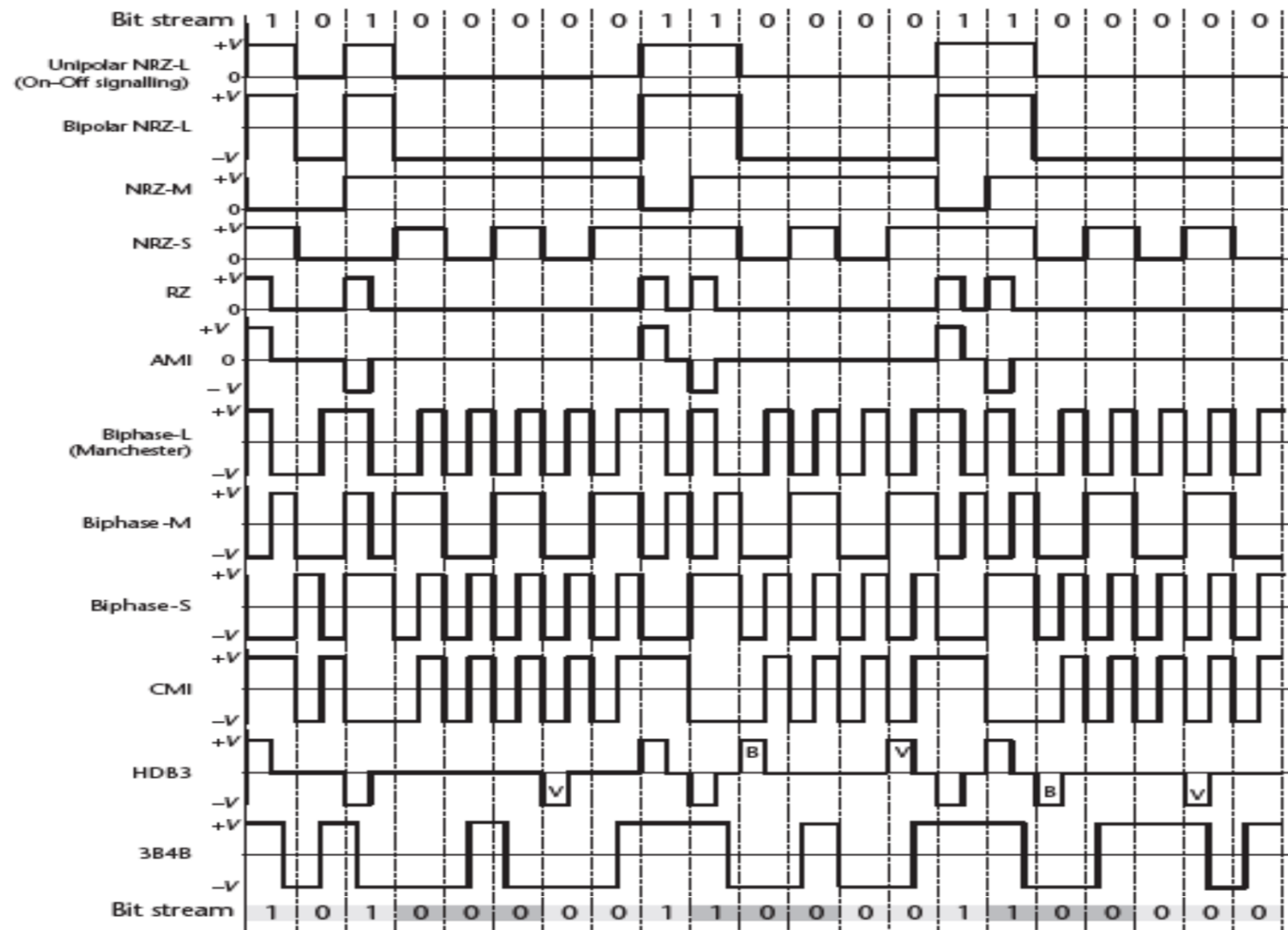
2. Código Manchester

- Manchester – tem sempre valor médio nulo
- Transição a meio do tempo de bit
 - Dobro da largura de banda dos códigos NRZ
 - A mesma energia média por bit que os códigos NRZ

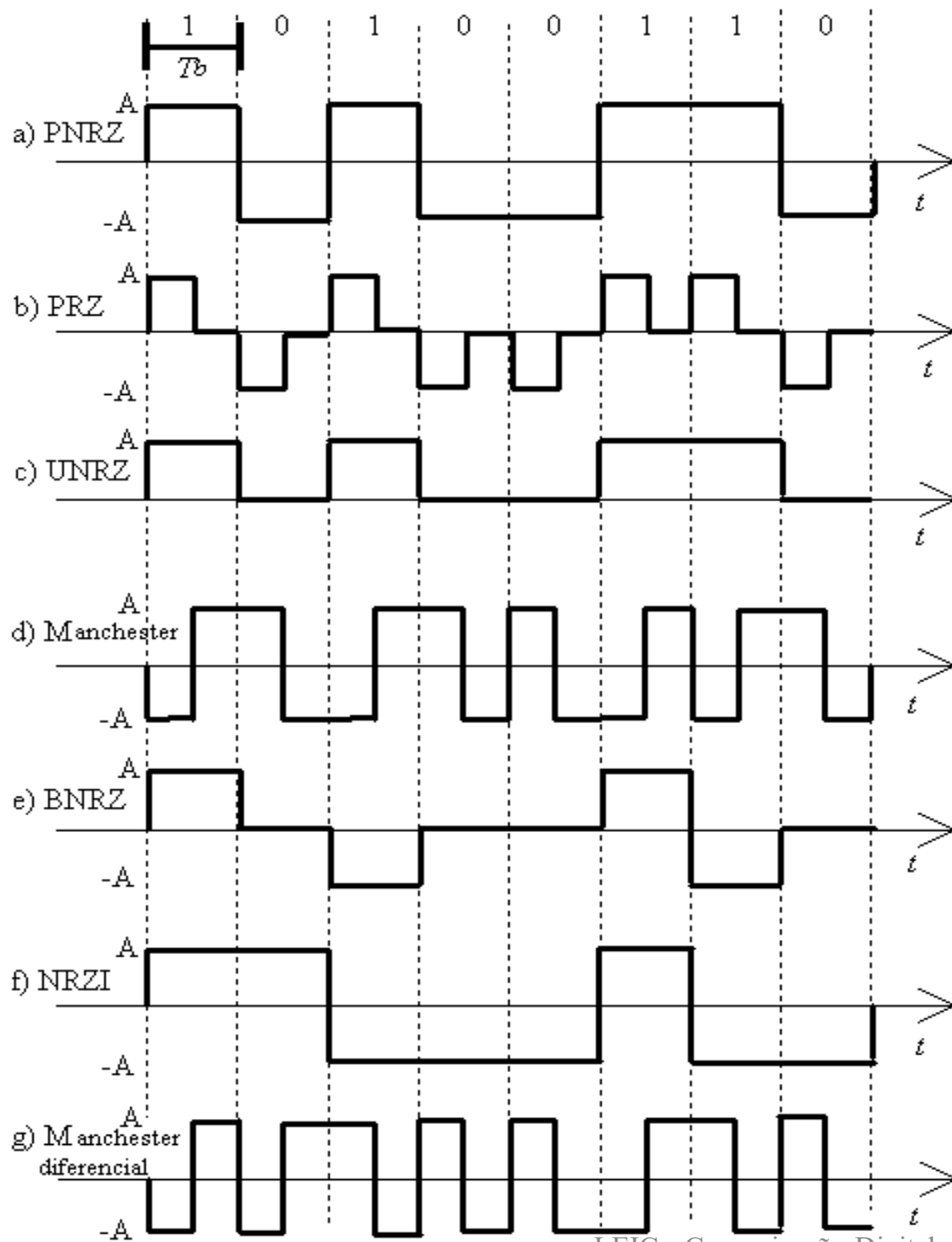


Códigos de linha de utilização comum

Figure 6.22



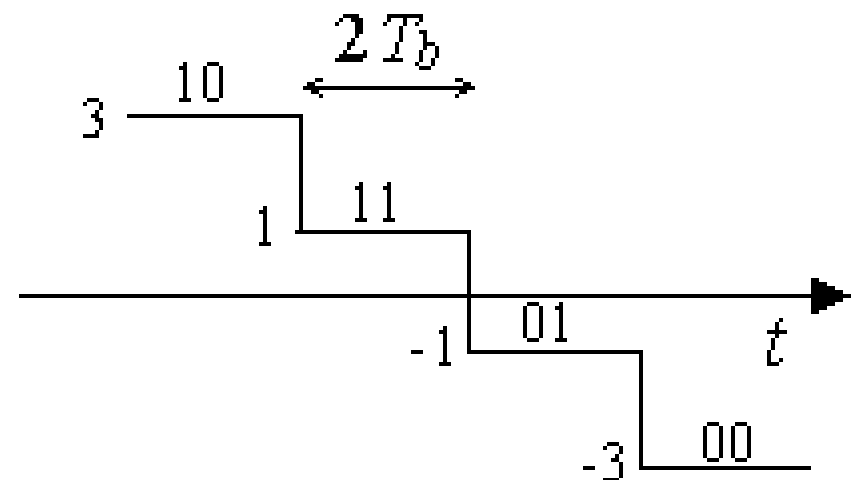
Códigos de linha de utilização comum



2. Código 2B1Q (4 níveis)

- Código *2 bit 1 quaternary*
- Por cada tempo de símbolo, codifica 2 bits
- Os símbolos estão organizados em código de Gray
 - Para minimizar o BER
- As amplitudes são simétricas entre si
 - Para tender para o valor médio nulo

Dibit	Signal level	
10	+450 mV	3 V
11	+150 mV	1 V
01	-150 mV	-1 V
00	-450 mV	-3 V



2. Código 2B1Q (4 níveis)

- No código 2B1Q temos
 - $k=2$ bit por símbolo
 - $M=2^k = 2^2 = 4$ níveis
- O ritmo binário do código, em bit/s, é dado por

$$R_b = R_s \log_2(M) = R_s k = 2 R_s$$

R_s é o número de símbolos enviados por segundo

Comparativamente com os códigos de linha binários:

- Procura-se aumentar o ritmo binário
- Procura-se manter a largura de banda usada



2. Código de Gray

- Consiste num código binário refletido
- Muda apenas um bit entre configurações consecutivas
- Proposto por Frank Gray (1887-1969)

https://en.wikipedia.org/wiki/Gray_code

Gray code by bit width

2-bit	4-bit
00	0000
01	0001
11	0011
10	0010
	0110
	0111
3-bit	0101
000	0100
001	1100
011	1101
010	1111
110	1110
111	1010
101	1011
100	1001
	1000



2. Aplicações: alguns exemplos

Código	Aplicação
NRZ Unipolar	Níveis TTL – componentes de lógica discreta
	Interligação de periféricos e memórias, num computador
	IEEE 802.3z Gigabit Ethernet 1000BASE-X, 1 Gbit/s, em fibra ótica
NRZ Bipolar (Polar)	Interface RS-232, até 115 kbit/s
NRZ Inversion (NRZ-S)	Comunicação USB
NRZ-M	IEEE 802.3u <i>Fast Ethernet</i> , 100 Mbit/s, em fibra ótica
AMI	ISDN ITU-T Rec. I.430 a 192 kbit/s Interligação entre centrais telefónicas por cabo de cobre
RZI (RZ Invertido)	Comunicação Infra-vermelhos (IrDA)



2. Aplicações: alguns exemplos

Código	Aplicação
Manchester	IEEE 802.3i <i>Ethernet</i> , 10BASE-T, 10 Mbit/s, com cabos de cobre
Manchester Diferencial	IEEE 802.5 <i>Token-Ring</i> , rede local Armazenamento em discos magnéticos e óticos
2B1Q	RDIS-Rede Digital de Integração de Serviços ou ISDN-Integrated Services Digital Network

- Em USB, com código de linha NRZ-S:
 - usa-se a técnica de bit de enchimento (*bit stuffing*)
 - bit '0' extra é inserido a cada 6 bit '1' consecutivos
- CAN - Controller Area Network :
 - *Shielded Twisted Pair (STP) or Unshielded Twisted Pair (UTP)*
 - *NRZ with bit-stuffing for data communication on a differential two wire bus*

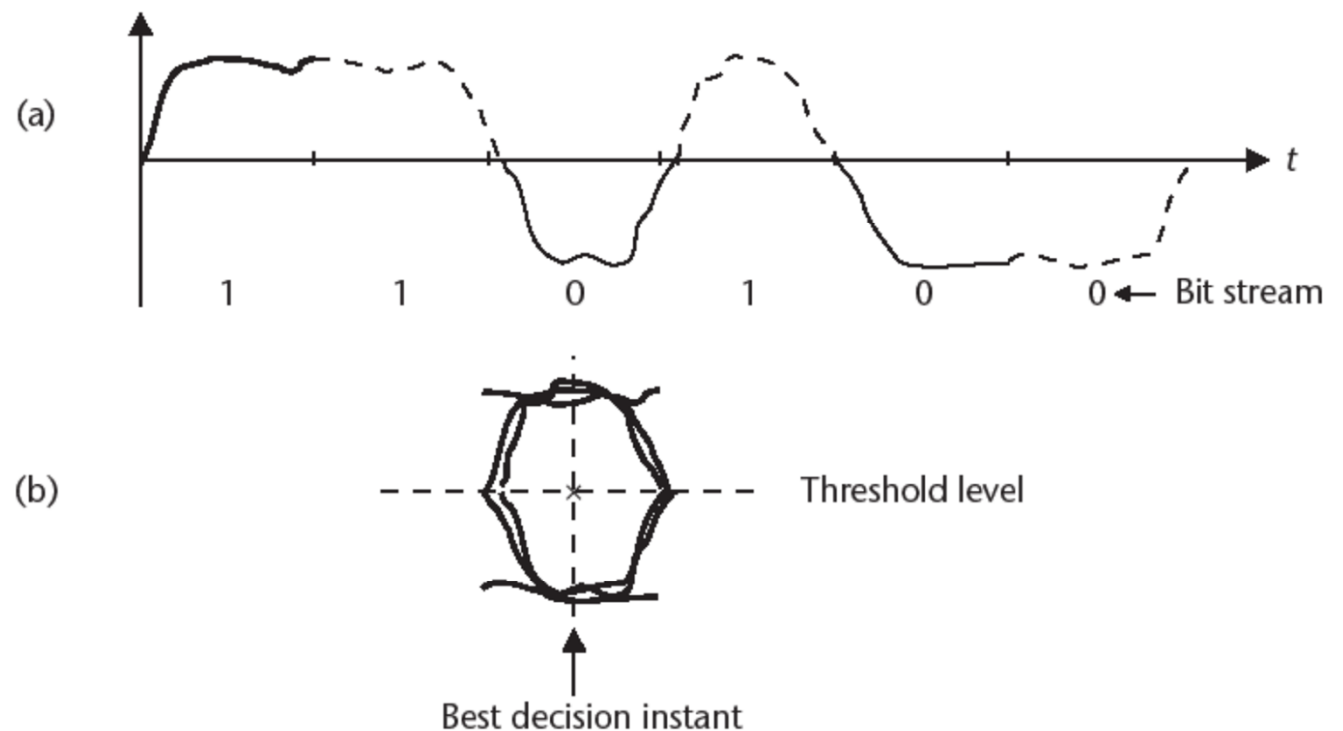
http://www.interfacebus.com/Design_Connector_CAN.html#b



3. Diagrama de Olho

- Também designado por *padrão de olho*. É uma ferramenta de diagnóstico sobre o funcionamento do sistema
- Avalia as perturbações existentes num SCD

Figure 6.33



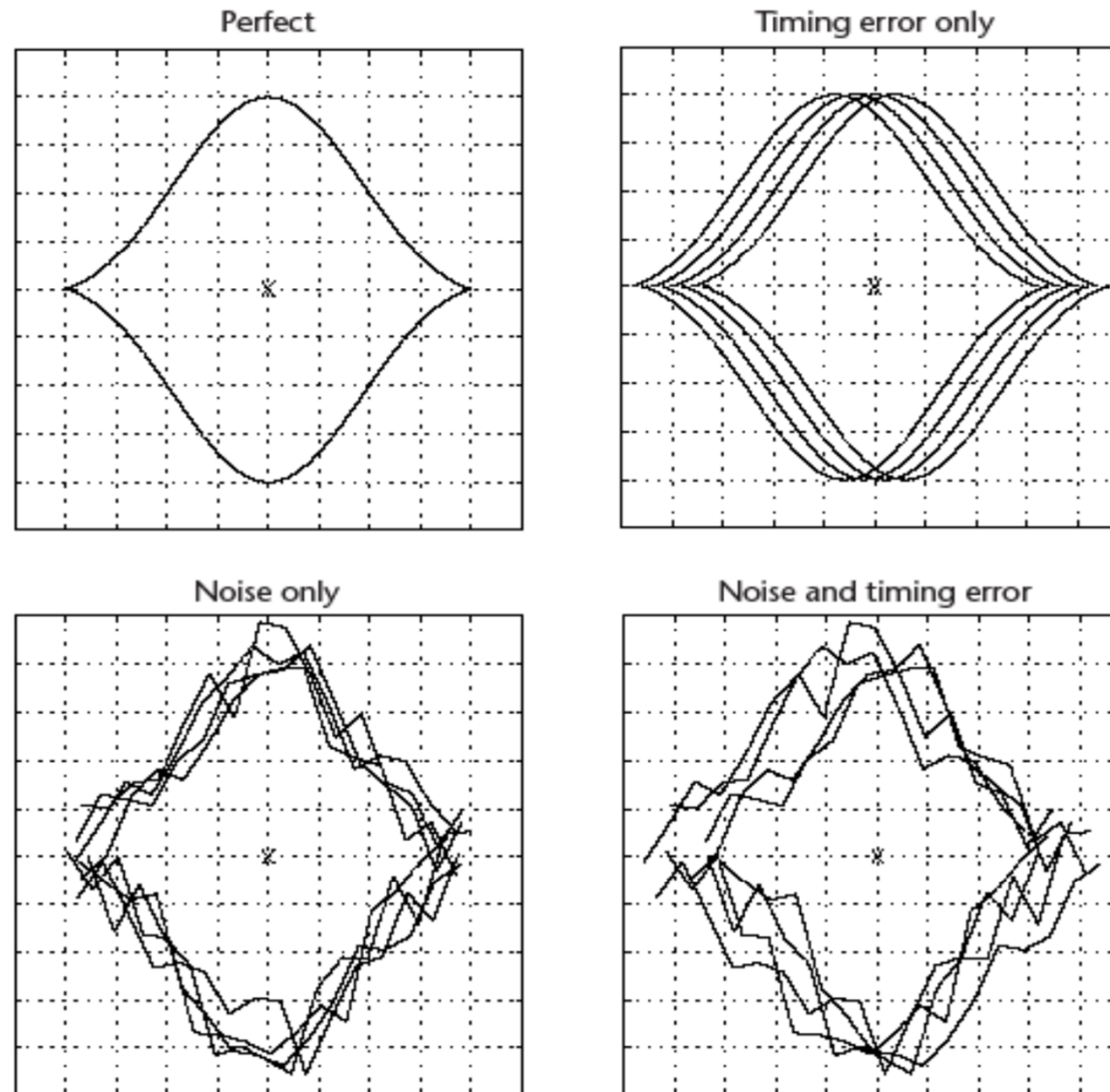
**Nota: No MATLAB
existe a função
eyediagram**



3. Diagrama de Olho

- Análise em diferentes condições

Figure 6.34



3. Diagrama de Olho

- Uso do MATLAB

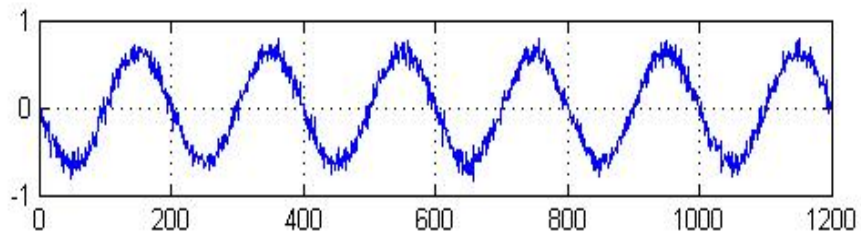
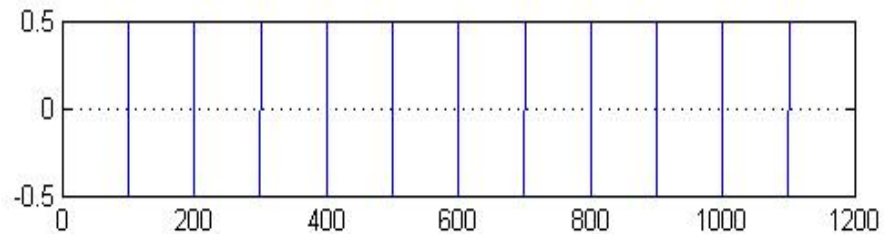


Diagrama de olho 7

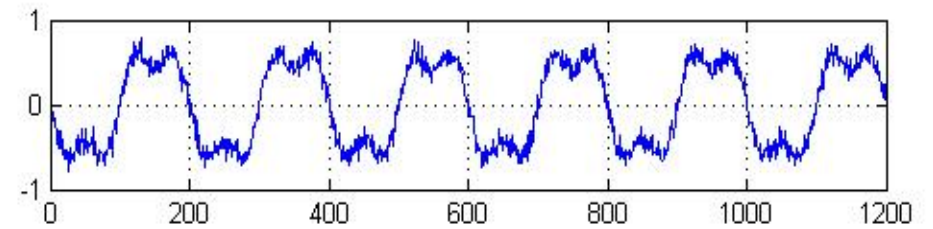
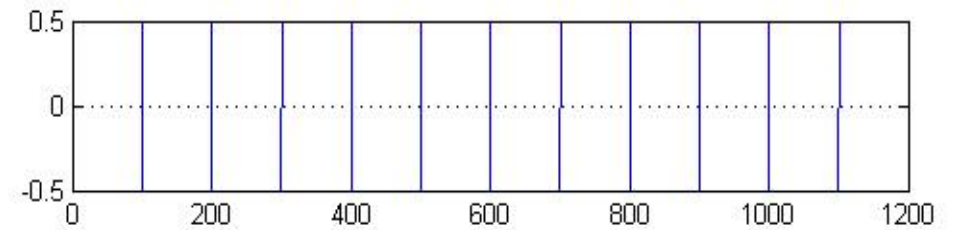
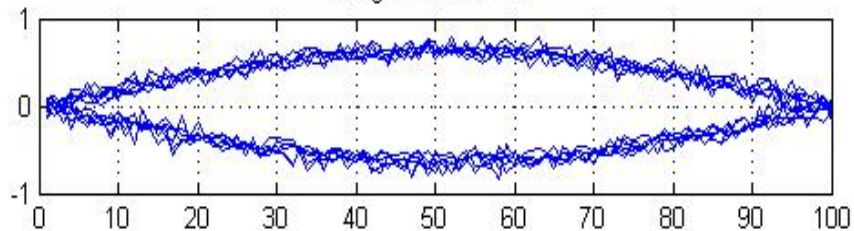
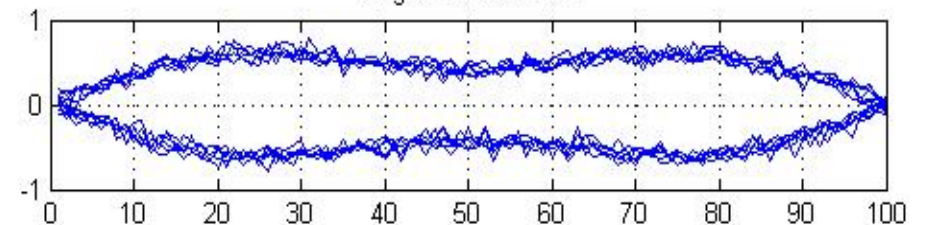
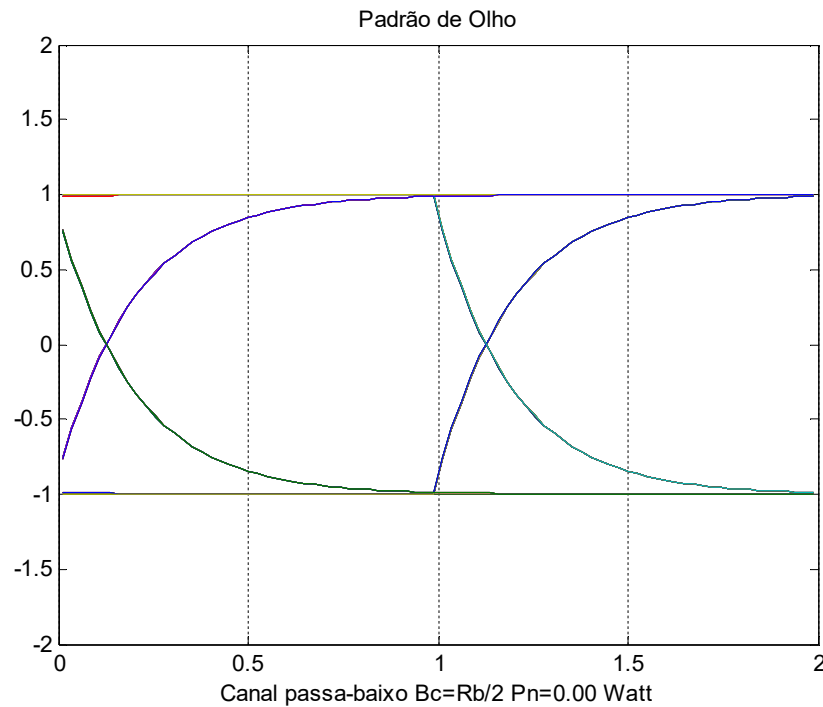


Diagrama de olho 10

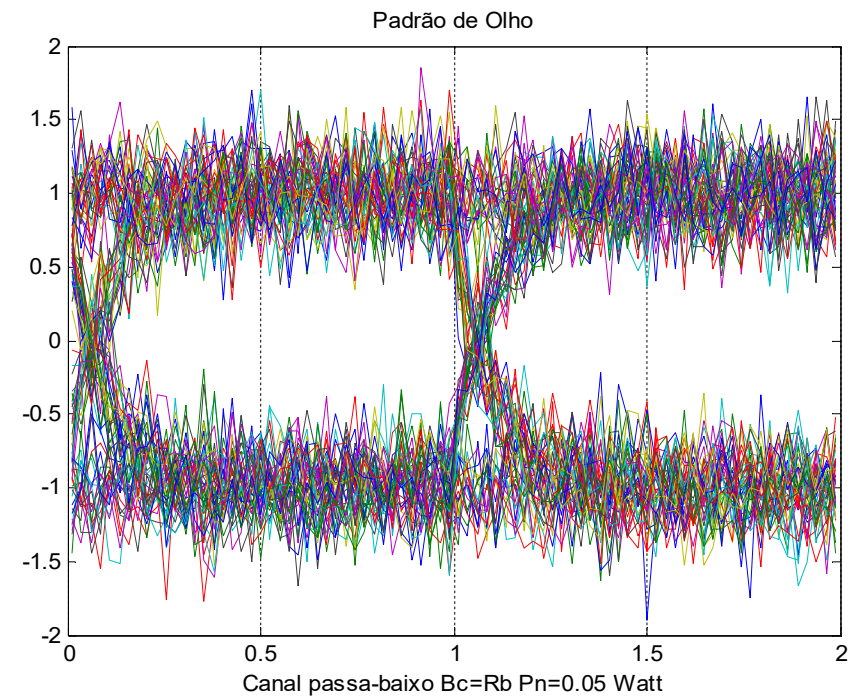


3. Diagrama de Olho

- Uso do MATLAB



Após filtragem passa-baixo

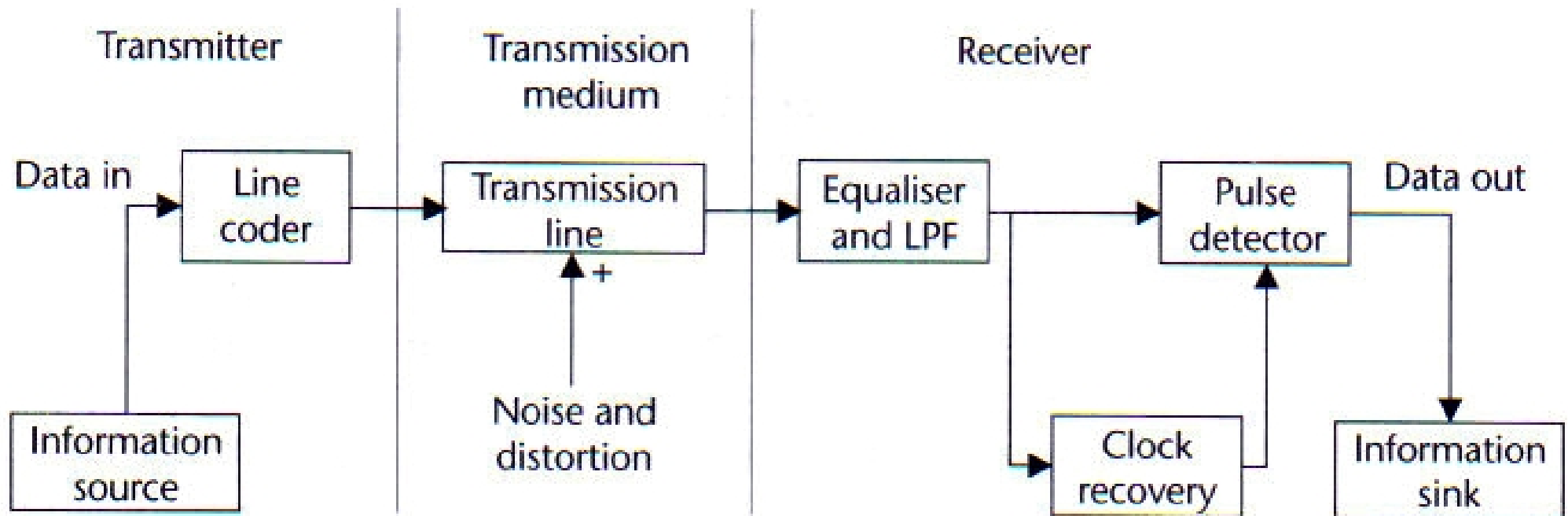


Após filtragem passa-baixo e
adição de ruído



4. Recetor

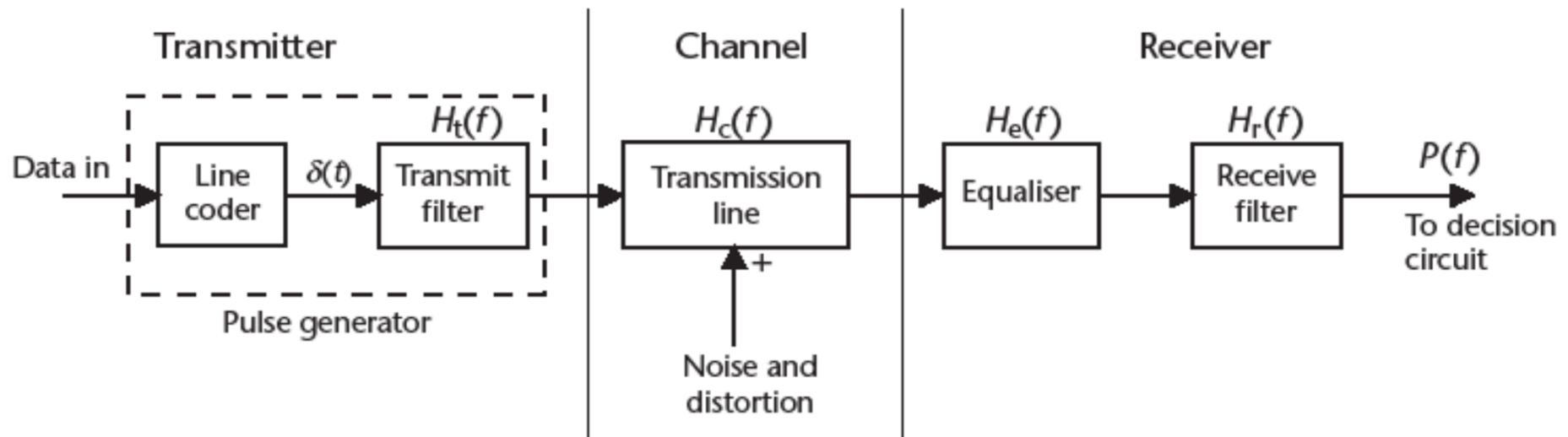
- Diagrama geral do processo de comunicação digital



4. Recetor

Figure 6.30

- Diagrama geral do processo de comunicação digital



Associação Série de Sistemas ao longo do SCD

4. Emissor, Meio e Recetor

Emissor

- Codificador de linha NRZ, RZ, Manchester,

Meio de transmissão (cabos, fibra ótica, espaço livre)

- Atenuação
- Limitação da largura de banda
- Ruído
- Interferência

Recetor

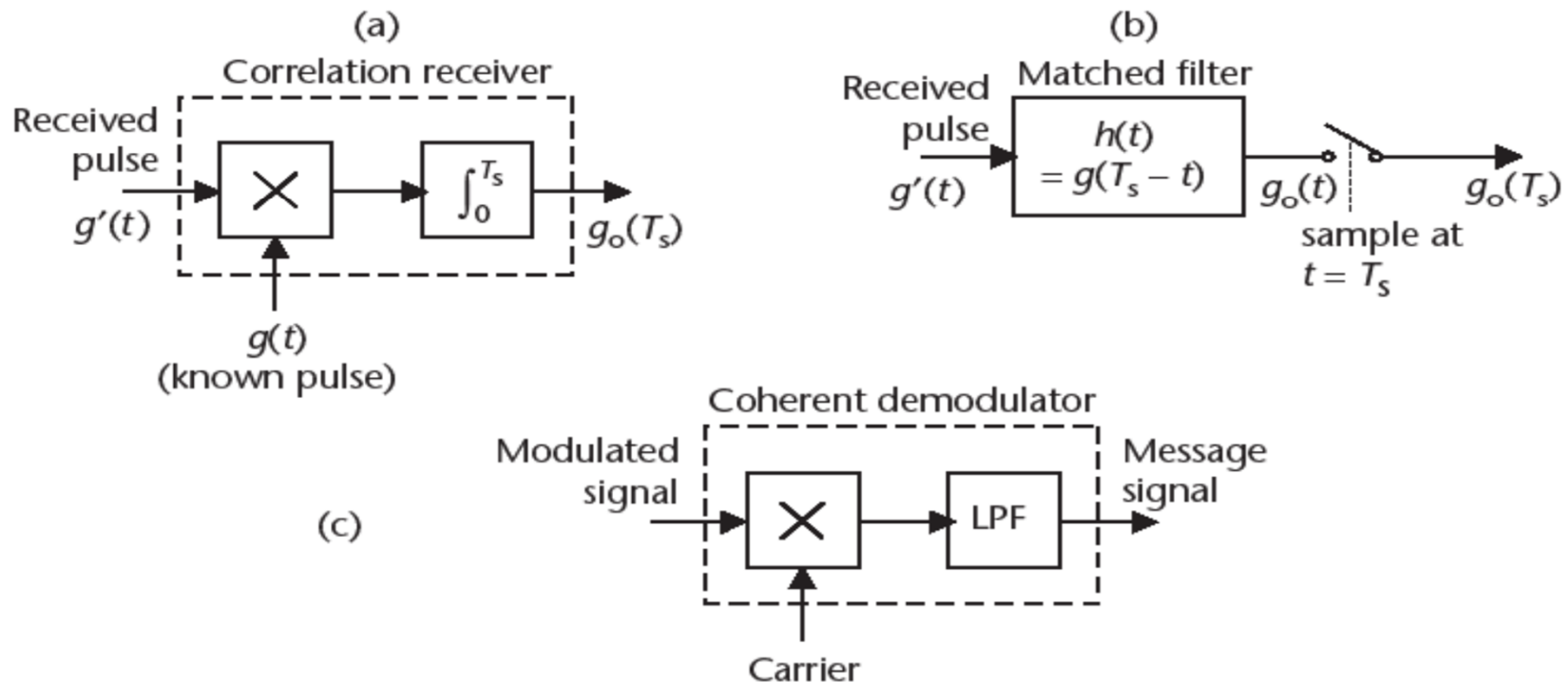
- Filtro de receção
- Regra(s) de decisão binária



4. Recetor

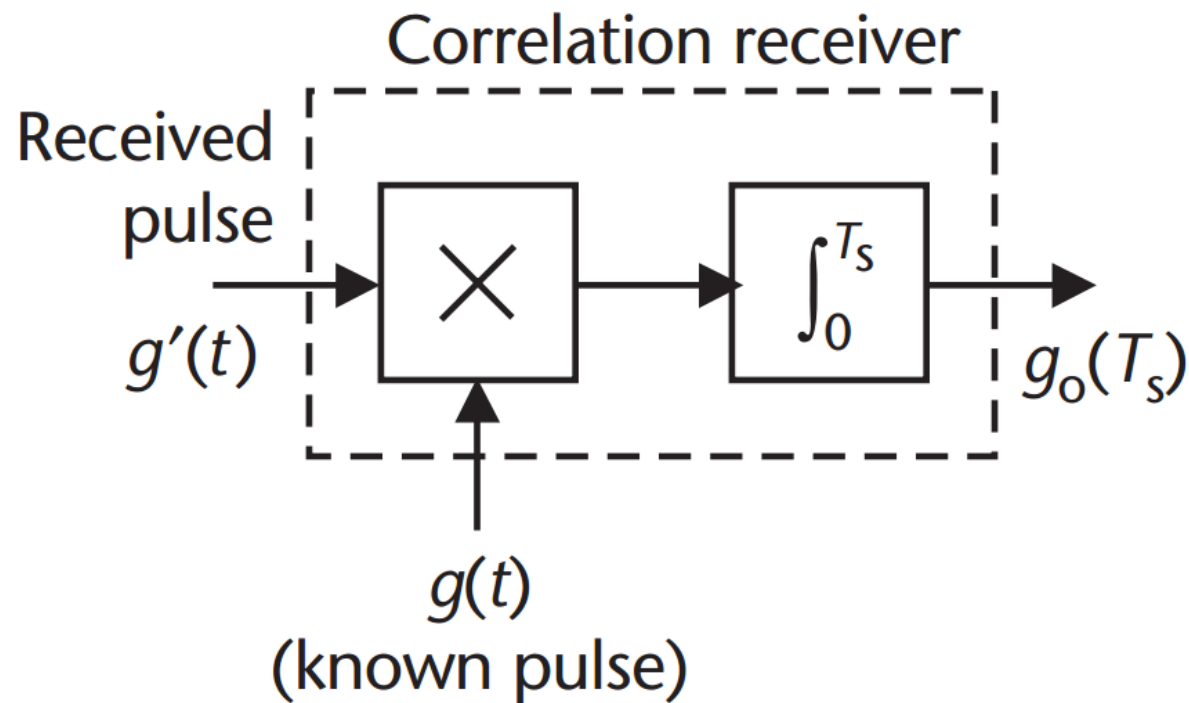
- Realização do recetor - técnicas equivalentes:
 - a) Correlador
 - b) Filtro Adaptado (*Matched Filter*)
 - c) Desmodulador coerente

Figure 6.38



4. Recetor

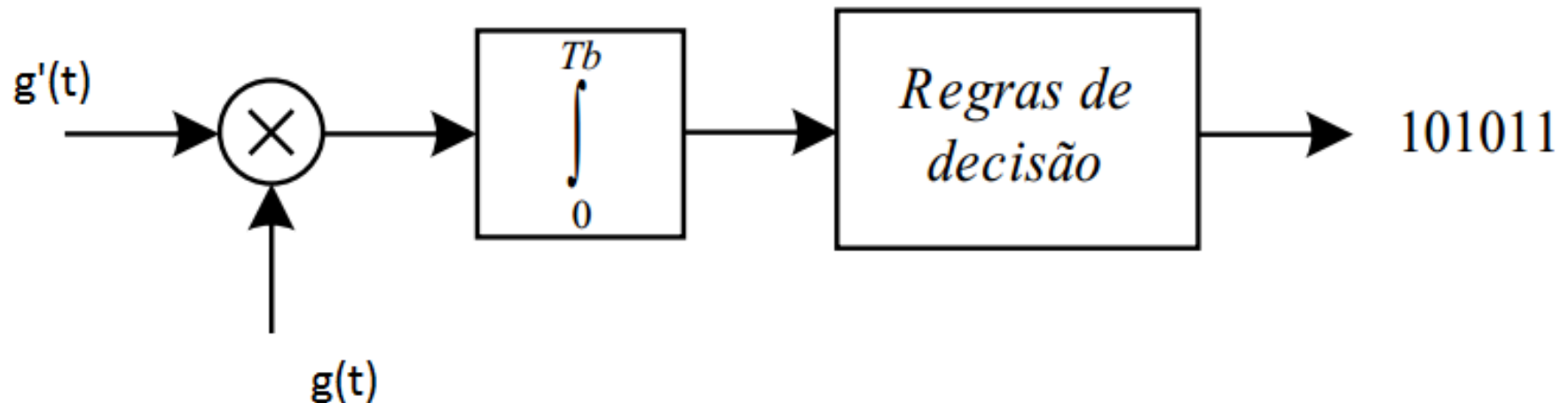
- Recetor baseado **em correlador**
 - O recetor usa como sinal de referência um pulso conhecido, designado por $g(t)$
 - Por cada tempo de bit, realiza-se a correlação entre o pulso recebido e o pulso de referência



4. Recetor

O recetor usa um correlador seguido de uma regra de decisão:

- 1) O correlador determina a semelhança entre o pulso recebido e o pulso de referência
- 2) Usando o valor desta semelhança, aplica-se uma regra de decisão binária, para decidir o bit decodificado



5. Exercícios

Considere as seguintes questões relativas ao processo de comunicação digital.

- a) Qual o inconveniente causado pela transmissão de sequências com elevado número de bits iguais, nos códigos de linha NRZ unipolar e bipolar?
- b) Quais as vantagens da utilização do código de Manchester, em relação ao código NRZ Bipolar?



5. Exercícios

Solução

a) Perda de sincronismo.

b) O código Manchester possui mudança de estado tanto para o bit “1” como para o bit “0”. Assim, não há perda de sincronismo, o que aconteceria com o código NRZ Bipolar para longas sequências do mesmo bit.



5. Exercícios

Considere a sequência binária 010111110 e código de linha Manchester.

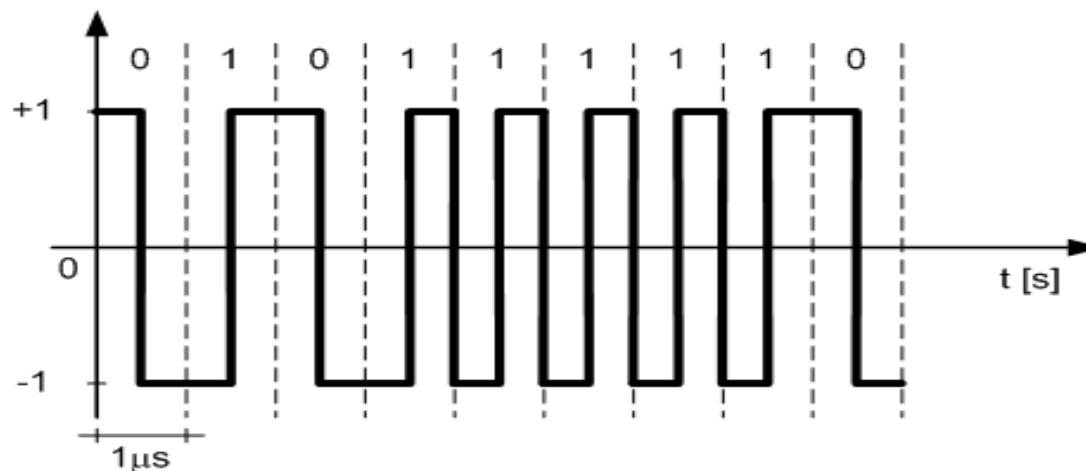
- a) Esboce a forma de onda resultante da codificação da sequência, através de código Manchester com energia de bit $1 \mu\text{J}$ e amplitude $\pm 1 \text{ Volt}$.
- b) Nas condições da alínea anterior, qual o débito binário do código de linha?
- c) Apresente o diagrama de blocos detalhado do recetor ótimo.



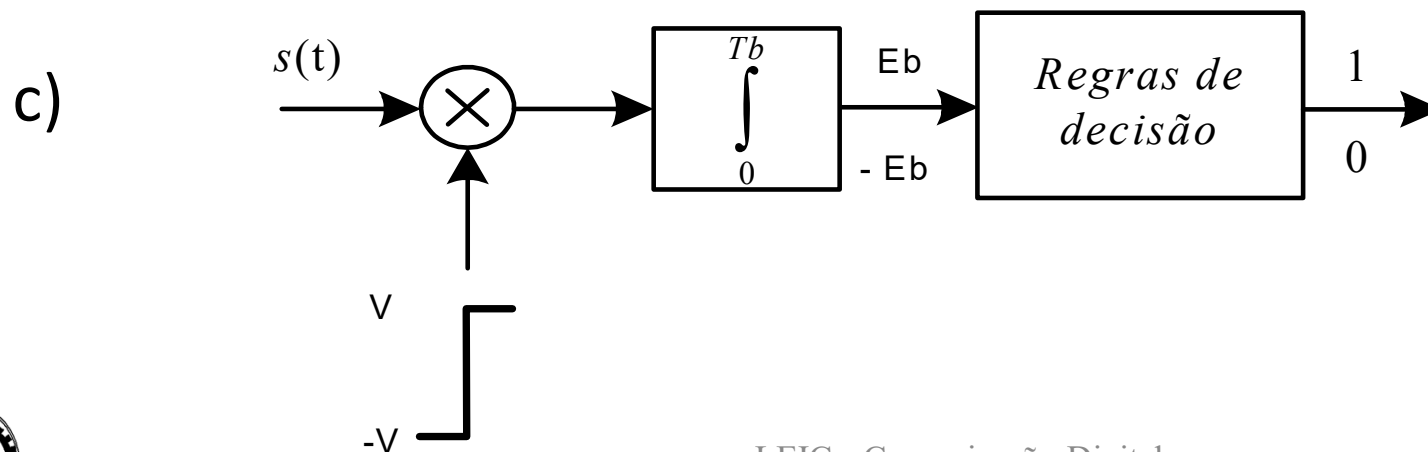
5. Exercícios

Solução

a) Sabendo que $E_b = A^2 T_b$, para $A = 1 \text{ V}$ e $E_b = 1 \mu\text{J}$, $T_b = 1 \mu\text{s}$.



b) $R_b = 1/T_b$ logo: $R_b = 1 \text{ Mbit/s}$



5. Exercícios

Um codificador em banda base suporta os seguintes códigos de linha:

- (i) Código NRZ-Bipolar-Mark, com energia média por bit $E_b = 4 \mu\text{J}$ e ritmo binário $R_b = 1 \text{ Mbit/s}$;
 - (ii) Código RZ-Bipolar-Absoluto, com energia média por bit $E_b = 4 \mu\text{J}$ e amplitude $A = \pm 4 \text{ Volt}$.
-
- (a) {1,25} Esboce o sinal resultante da codificação da sequência 01110101, com ambos os códigos de linha.
 - (b) {1,25} Indique a largura de banda necessária para a transmissão de cada código de linha. Nestas condições de transmissão, qual a relação de grandeza ($>$, $<$ ou $=$) existente entre BER_{NRZ} e BER_{RZ} ?
 - (c) {1,25} Relativamente ao código RZ-Bipolar, apresente: o diagrama de olho correspondente; o diagrama de blocos do recetor.



5. Exercícios

{R2||TG} Um Sistema de Comunicação Digital usa código de linha Manchester com amplitude $A = \pm 2$ Volt e energia média por bit $E_b = 40 \mu\text{J}$.

- (a) {1,5||1,0} Esboce o sinal resultante da codificação da sequência binária 11000110 e indique qual o tempo de bit, T_b .
- (b) {1,5||1,0} Sabendo que o código opera num SCD com relação sinal ruído $\text{SNR} = E_b/N_o = 16$, determine o tempo médio esperado entre erros consecutivos, T_{err} .
- (c) {1,5||1,0} Apresente o diagrama de blocos do recetor ótimo. Explique sucintamente as funcionalidades de cada elemento, indicando as regras de decisão.

Determinado SCD suporta os códigos de linha Manchester e RZ Bipolar, com ritmo binário $R_b = 50$ kbit/s e energia média por bit $E_b = 80 \mu\text{J}$.

- (a) {1,0} Esboce os sinais resultantes da codificação da sequência 10110100, por ambos os códigos de linha.
- (b) {1,0} Determine: a largura de banda mínima para a transmissão de cada código de linha; o valor de BER esperado, quando se aplicam estes códigos num canal de transmissão com relação sinal/ruído $E_b/N_o = 16$.
- (c) {1,0} Pretende-se aplicar a técnica de bit de enchimento (*bit stuffing*) sobre estes dois códigos de linha. Indique em que consiste esta técnica e se faz sentido aplicá-la a estes códigos de linha.

