



**DEEC**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

# Electrónica Geral

**Docente Responsável:** José A. B. Gerald

**E-mail:** [jabg@tecnico.ulisboa.pt](mailto:jabg@tecnico.ulisboa.pt)

[jabg@inesc-id.pt](mailto:jabg@inesc-id.pt)

**Tel:** 213100368

**Local:** INESC-ID, 2º andar

## Capítulo 1

## Introdução



**DEEC**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

# Electrónica Geral

Autores: José Gerald e Pedro Vitor

Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica  
Mestrado Integrado em Engenharia Aeroespacial

MEAer: 4º ano, 1º semestre

MEFT: 3º ano, 1º semestre

2019/2020

## Capítulo 1

## Introdução



# Electrónica Geral

- **Objectivos**

Desenvolver a capacidade de resolução de problemas de análise e síntese de circuitos simples. Verificação experimental dos principais conceitos apreendidos.

- **Programa**

- Amplificadores Operacionais
- Filtros Ativos
- Osciladores
- Conversores de Sinal
- Conversores Eletrónicos de Potência
- Filtros Digitais
- Circuitos Digitais



**DEEC**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

# Electrónica Geral

Esquema/Plano das Aulas → **fénix**

Semana: 3T+(2L ou 1.5P)

Avaliação → **fénix**

30% Nota Lab + 70% Nota Exame

2 Exames (nota mínima 9,5)

Nota Lab = média 3 relatórios (nota mínima 9,5)

Estrutura da matéria → **fénix**

Bibliografia → **fénix**

Adel S. **Sedra** e Kenneth C. Smith, *Microelectronic Circuits*, Oxford University Press. (5ª Edição)

Alan V. **Oppenheim**, Ronald W. Schafer, *Discrete-Time Signal Processing*, 3/E, Publisher: Prentice Hall, 2013

(3ª Edição)

Enunciados dos problemas → **fénix**

Enunciados dos laboratórios → **fénix**

**DEEC**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA  
ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

TÉCNICO LISBOA

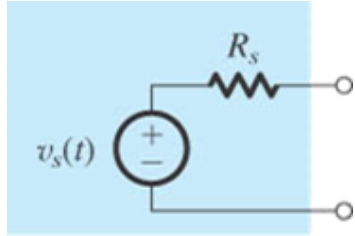
# Electrónica Geral

Electrónica Geral - Planeamento 2019-20 Semestre 1

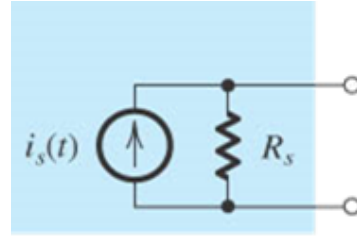
Sem.	TEÓRICAS			PRÁTICAS		LABORATÓRIOS	
	Nº	Cap		Nº	Cap	Nº	Cap
	09/09/2019						
	10/09/2019						
	11/09/2019						
	12/09/2019						
	13/09/2019						
	14/09/2019						
	15/09/2019						
1	16/09/2019						
	17/09/2019						
	18/09/2019						
	19/09/2019	1	1+2	Apresentação da cadeira. Introdução à electrónica. Amplificadores operacionais	1	2	Problemas 4.6 e 3.13 (Rectificador precisão + AMPOPs não ideais)
	20/09/2019	2	2	Amplificadores operacionais	1	2	Problemas 4.6 e 3.13 (Rectificador precisão + AMPOPs não ideais)
	21/09/2019						
	22/09/2019						
2	23/09/2019						
	24/09/2019						
	25/09/2019						
	26/09/2019	3	3	Filtros activos	2	3	Problema de filtros 1
	27/09/2019	4	3	Filtros activos	2	3	Problema de filtros 1
	28/09/2019						
	29/09/2019						
3	30/09/2019						
	01/10/2019						
	02/10/2019						
	03/10/2019	5	3	Filtros activos	3	3	Problema de filtros 2
	04/10/2019	6	3	Filtros activos	3	3	Problema de filtros 2
	05/10/2019						
	06/10/2019						
4	07/10/2019						
	08/10/2019						
	09/10/2019						
	10/10/2019	7	4	Osciladores.			1 3+4 Filtros Activos e osciladores
	11/10/2019	8	4	Osciladores			1 3+4 Filtros Activos e osciladores
	12/10/2019						
	13/10/2019						
5	14/10/2019						
	15/10/2019						
	16/10/2019						
	17/10/2019	9	4	Osciladores			2 3+4 Filtros Activos e osciladores
	18/10/2019	10	4	Osciladores + Prob. Osciladores 3			2 3+4 Filtros Activos e osciladores

# 1. Sinais

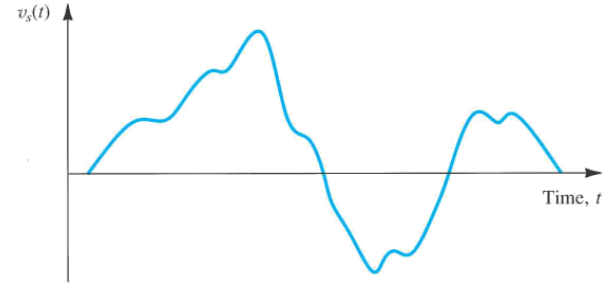
Representações de uma fonte de sinal:



a) Thevenin



b) Norton

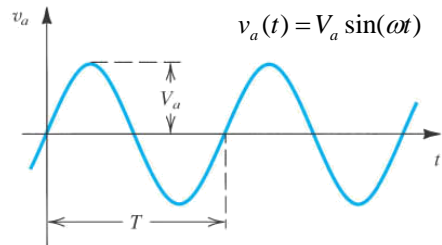


Sinal de tensão arbitrário

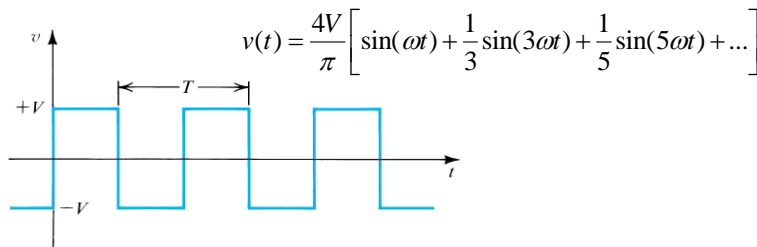
# 2. Espectro de sinais

Domínio do tempo:

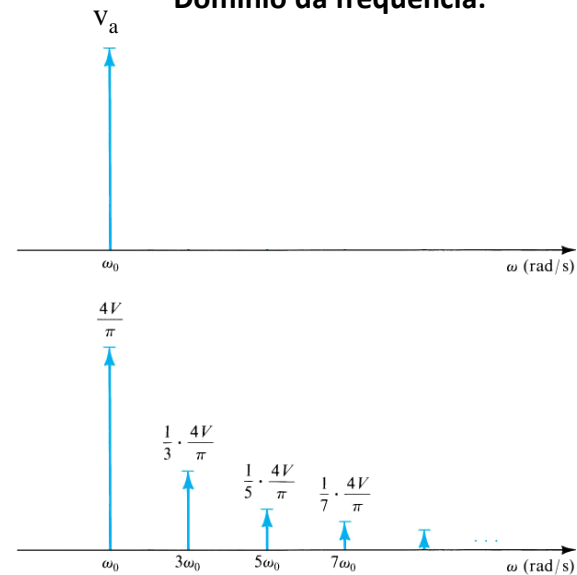
Onda sinusoidal



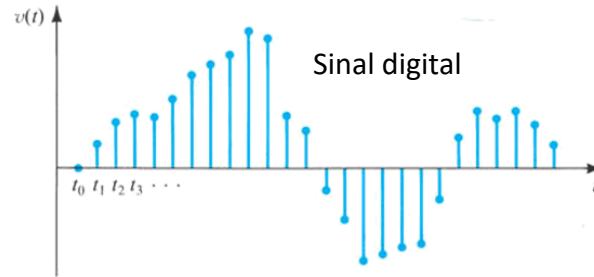
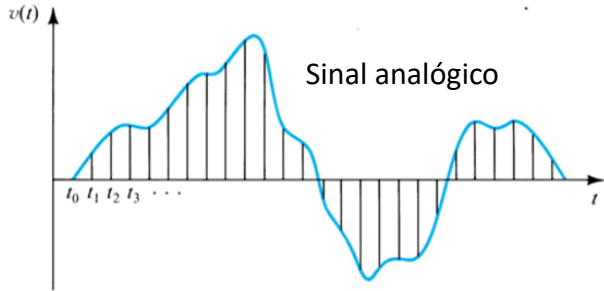
Onda Quadrada



Domínio da frequência:



# 3. Sinais analógicos e digitais



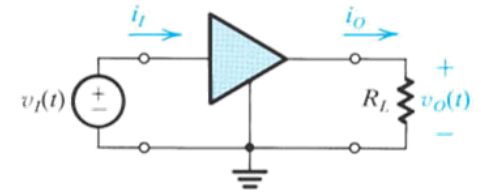
# 4. Amplificadores

## 4.1. Ganhos

Ganho de tensão:  $A_v = \frac{v_o}{v_i}$

Ganho de corrente:  $A_i = \frac{i_o}{i_i}$

Ganho de potência:  $A_p = \frac{v_o i_o}{v_i i_i} = A_v A_i$



## 4.2. Ganhos em dB

$$A_{vdB} = 20 \log_{10}(A_v)$$

$$A_{idB} = 20 \log_{10}(A_i)$$

$$A_{pdB} = 10 \log_{10}(A_p)$$

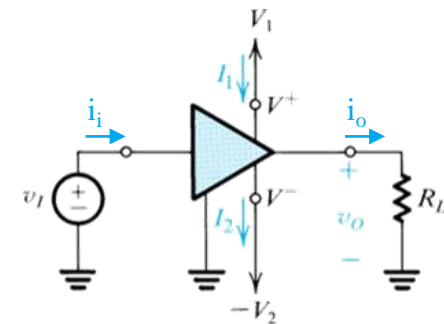
## 4.3. Rendimento

Rendimento em percentagem:  $\eta = \frac{P_L}{P_{DC}} \times 100$

$$P_{DC} + P_i = P_L + P_{dissipada}$$

$$P_{DC} = V_1 I_1 + V_2 I_2$$

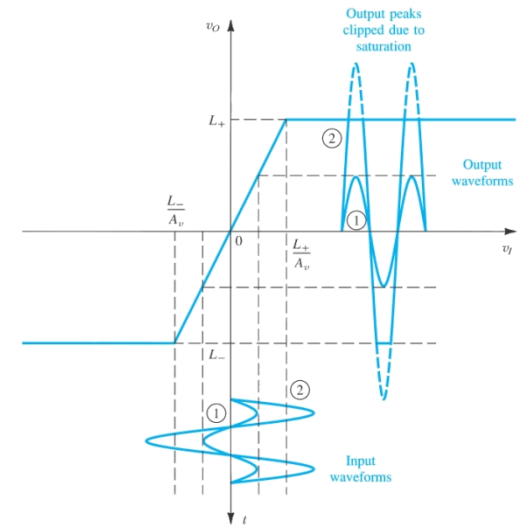
$P_{DC}$  = Potência fornecida pelas fontes de alimentação  
 $P_i = V_i I_i$  = Potência fornecida ao quadripolo  
 $P_L = V_o I_o$  = Potência fornecida à carga  
 $P_{dissipada}$  = Potência dissipada (calor)



## 4. Amplificadores (cont.)

### 4.4. Saturação

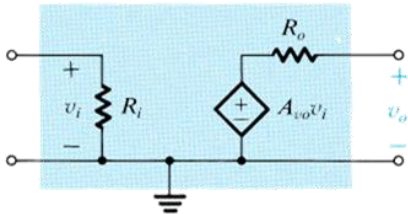
A saturação provoca distorção:



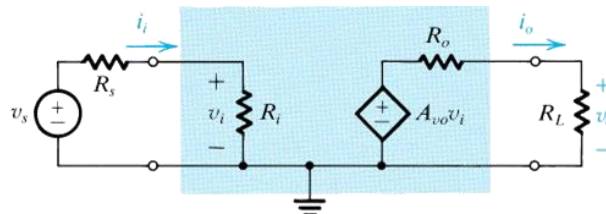
## 5. Modelos de amplificadores

### 5.1. Amplificador de tensão

Modelo de um amplificador de tensão



Gerador e carga ligados a um amplificador de tensão



Fonte de **tensão**  
dependente de **tensão**

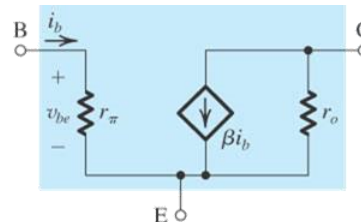
$$v_o = A_{vo} v_i \frac{R_L}{R_L + R_o} \quad A_v = \frac{v_o}{v_i} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o}$$

$$\frac{v_o}{v_s} = \frac{v_o}{v_i} \frac{v_i}{v_s} = A_{vo} \frac{R_L}{R_L + R_o} \frac{R_i}{R_i + R_s}$$

Os divisores de resistência na entrada e na saída provocam redução do ganho

### 5.2. Amplificador de corrente

Modelo de um amplificador de corrente  
(Ex. Transistor bipolar)



$$i_c = \beta i_b$$

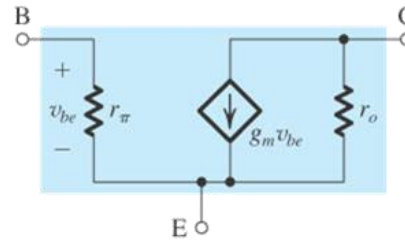
Fonte de **corrente**  
dependente de **corrente**



## 5. Modelos de amplificadores (cont.)

### 5.3. Amplificador de transcondutância

Modelo de um amplificador de transcondutância

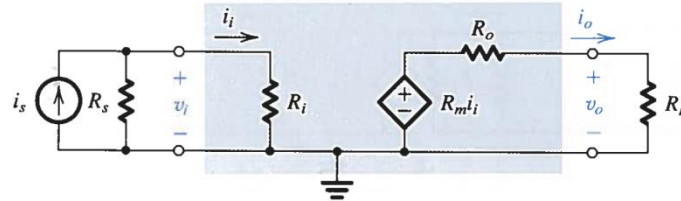


Fonte de **corrente**  
dependente de **tensão**

TJB:  $i_C = g_m v_{BE}$

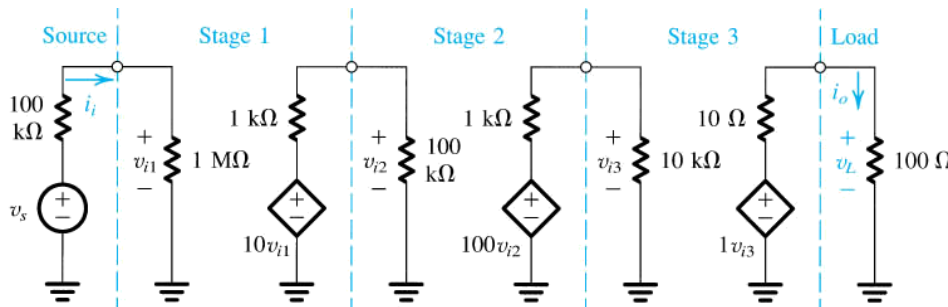
MOSFET:  $i_D = g_m v_{GS}$

### 5.4. Amplificador de transresistência



Fonte de **tensão**  
dependente de **corrente**

### 5.5. Exemplo – Amplificador de três andares



$$\frac{v_{i1}}{v_s} = \frac{1M}{1M + 100k} = 0.909$$

$$\frac{v_{i2}}{v_{i1}} = 10 \frac{100k}{100k + 1k} = 9.901$$

$$\frac{v_{i3}}{v_{i2}} = 100 \frac{10k}{10k + 1k} = 90.909$$

$$\frac{v_L}{v_{i3}} = 1 \frac{100}{100 + 10} = 0.909$$

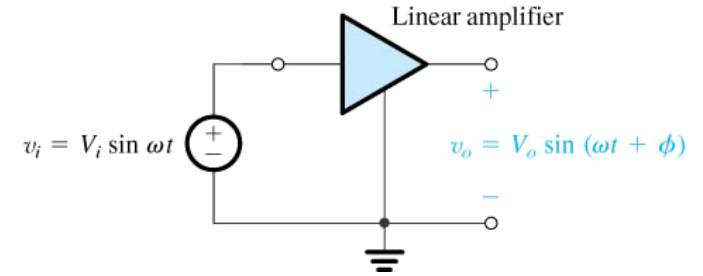
$$\frac{v_L}{v_s} = 743.6$$

# 6. Resposta em frequência de amplificadores

## 6.1. Definições

Função de transferência:

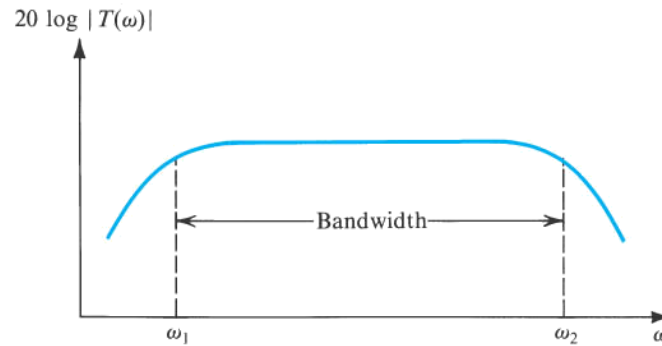
$$T(\omega) = \frac{v_o(\omega)}{v_i(\omega)} \Rightarrow \begin{cases} |T(\omega)| & \text{Módulo} \\ \arg\{T(\omega)\} & \text{Fase} \end{cases}$$



## 6.2. Largura de banda

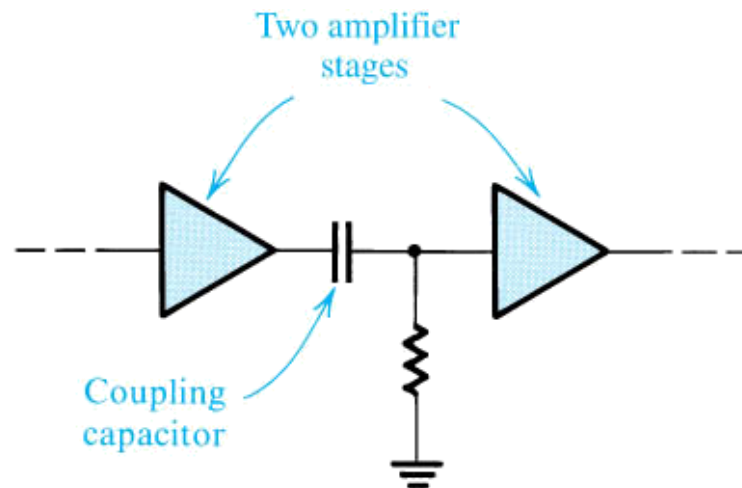
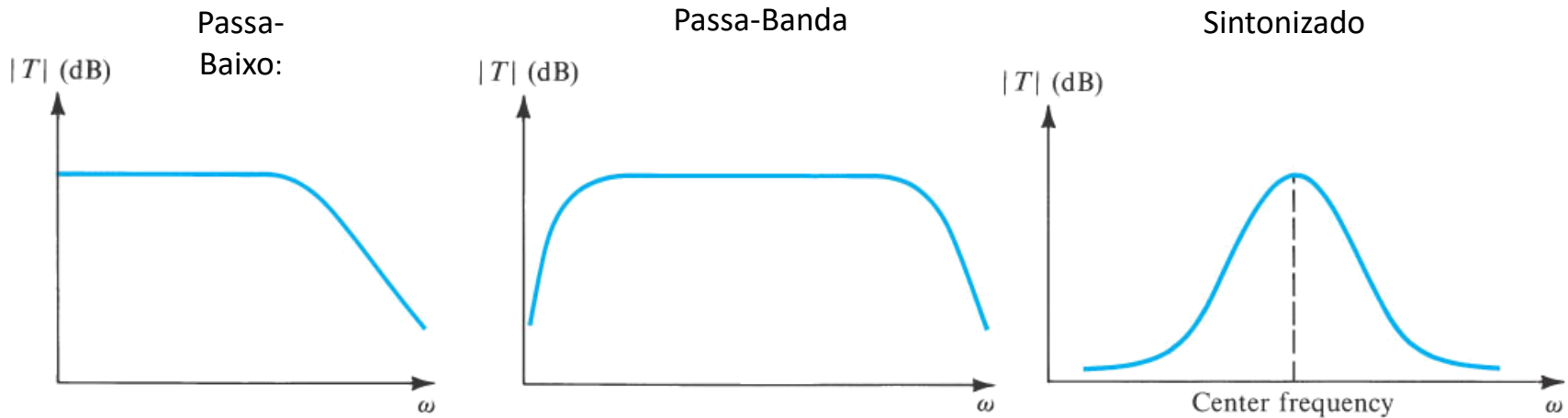
Largura de banda: -3 dB do patamar (banda de passagem)

$$LB = \omega_2 - \omega_1$$



## 6. Resposta em frequência de amplificadores

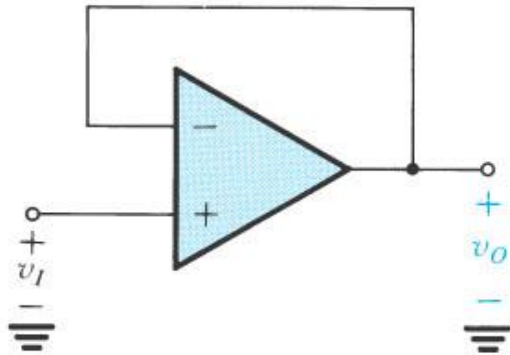
### 6.1. Largura de banda (cont.)



# 6. Resposta em frequência de amplificadores

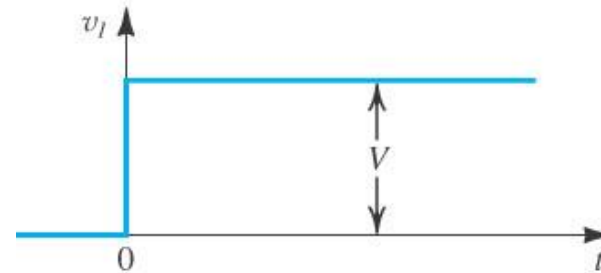
## 6.1. Largura de banda (cont.)

Seguidor de tensão



(a)

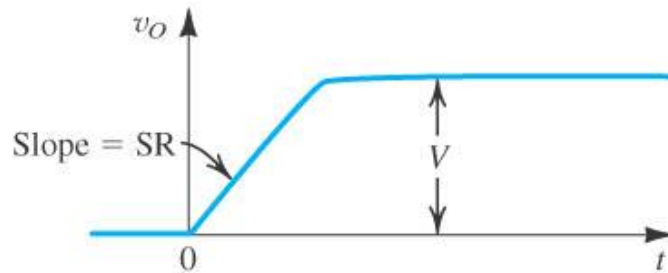
Sinal de Entrada:



(b)

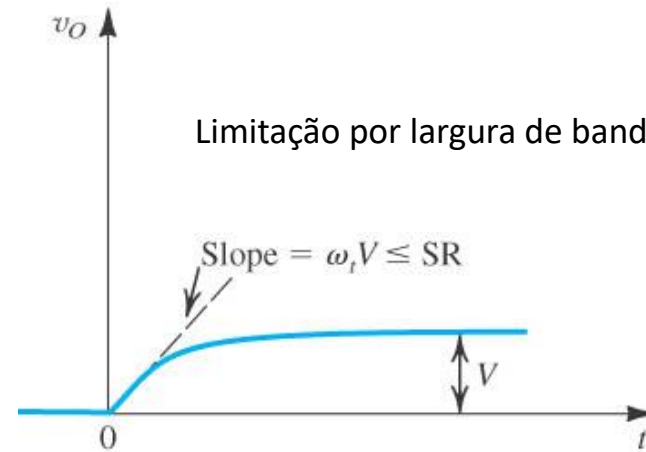
Sinal de Saída:

Limitação por slew-rate



(c)

Limitação por largura de banda



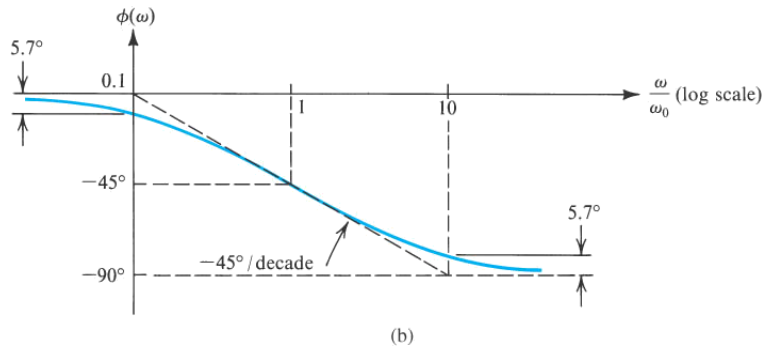
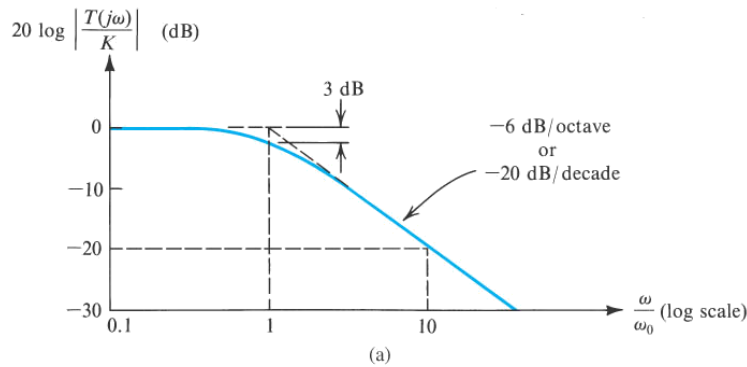
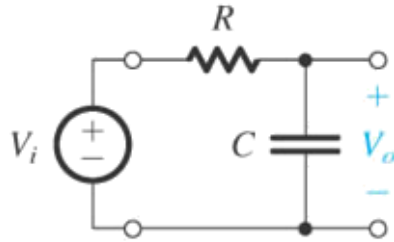
(d)

# 6. Resposta em frequência de amplificadores

## 6.3. Redes baseadas numa constante de tempo simples

**Circuito  
Passa-Baixo:**

$$T(j\omega) = \frac{1}{1 + j\omega RC}$$



**Circuito  
Passa-Alto:**

$$T(j\omega) = \frac{j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

