

# Introdução à Eletrônica – PSI 2223

## Aula 4

**O material a seguir complementa o livro texto, Microeletrônica 5ª Edição de Sedra/Smith. Este material não é um substituto para o livro texto, portanto você deve seguir em paralelo com este material e o livro.**

**Dr. Antonio Carlos Seabra**

**Professor Titular**

**Dep. Engenharia de Sistemas Eletrônicos**

**Escola Politécnica da USP**

**2011**

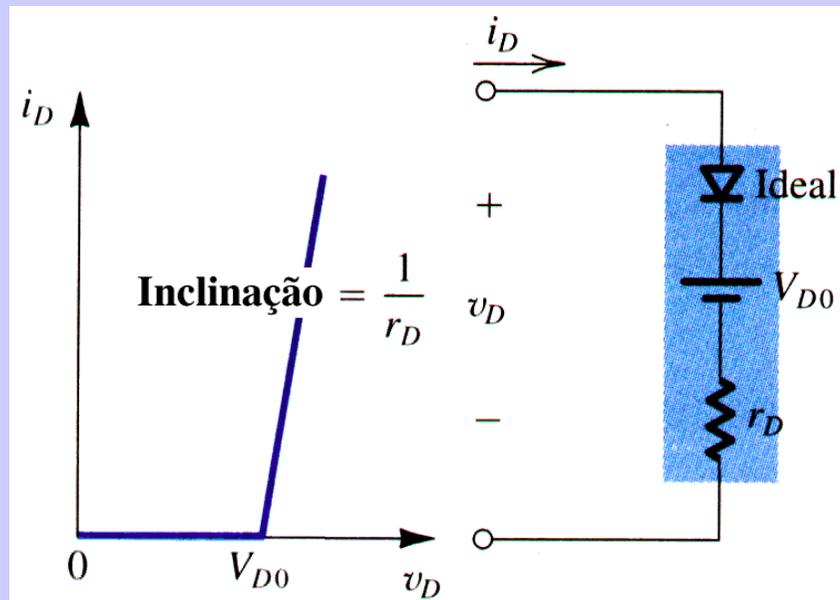
# 4ª Aula: O Diodo Real e o Modelo para Pequenos Sinais

Na aula passada você foi desafiado a:

- Explicar porque a lei do diodo real é de difícil utilização para cálculos rápidos de tensões e correntes em um circuito com diodos
- Listar os modelos alternativos à equação do diodo para cálculos rápidos em regime CC
- Realizar análises gráficas de comportamento de circuitos com diodos reais quando submetidos a variações de parâmetros
- Explicar como construir e determinar os parâmetros dos modelos linearizados para o diodo real
- Empregar modelos linearizados para determinar correntes e tensões em circuitos com diodos reais
- Discutir a adequação e escolher o modelo apropriado para realizar uma análise de circuitos empregando diodos reais

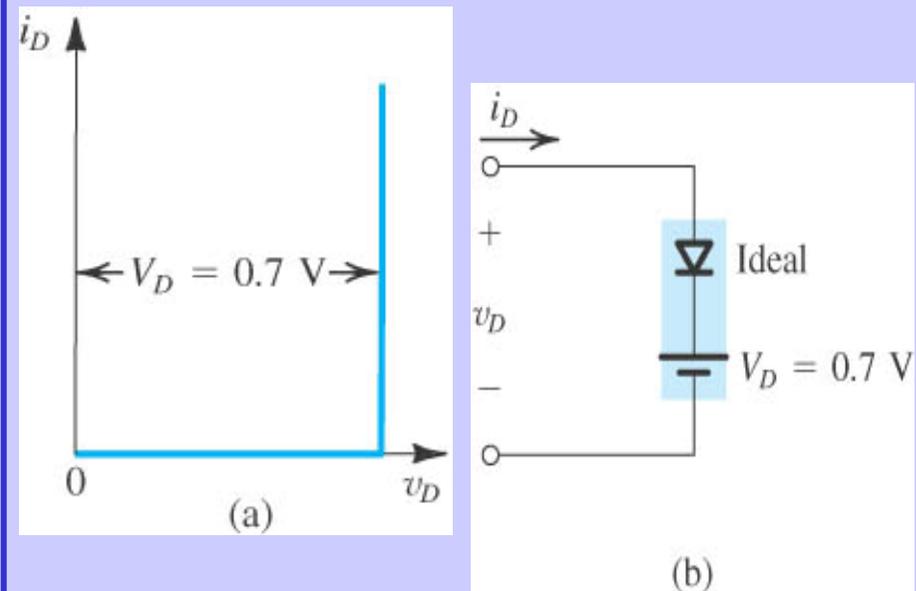
# Na Aula Passada vimos a Análise por Modelos Linearizados (CC)

## O Modelo com $V_{D0}$ e $r_D$



## O Modelo só com $V_D$

Assumimos  $V_D = 0,7V$



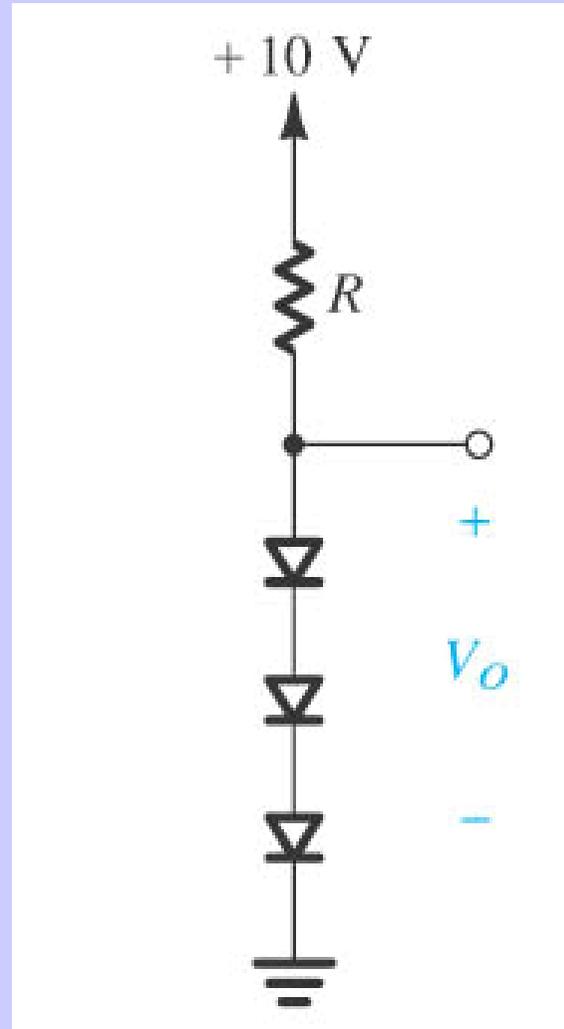
# Na Aula Passada vimos a Análise por Modelos Linearizados (CC)

## Exemplo 3.4:

	Exata	Livro	Ref em 4mA	Modelo só $V_D$
$V_D$	0,762V	0,735V (-4%)	0,752V (-2%)	0,7V (-8%)
$I_D$	4,28mA	4,26mA (-1%)	4,25mA (-1%)	4,3mA (+1%)

Modelo Diodo Ideal (Chave aberta, chave fechada):  
 $V_D = 0$ ;  $I_D = 5\text{mA}$  (17%)

**Exercício 3.12** Projete o circuito da Figura E3.12 para proporcionar uma tensão de saída de 2,4 V. Suponha que os diodos disponíveis tenham 0,7 V de queda com uma corrente de 1 mA e que  $\Delta V = 0,1$  V/década de variação na corrente.



Fazer os exercícios 3.11 e 3.13!

# 4ª Aula: O Diodo Real e o Modelo para Pequenos Sinais

**Ao final desta aula você deverá estar apto a:**

**-Explicar e utilizar a notação empregada em eletrônica para diferenciar sinais constantes e sinais variáveis no tempo.**

**-Diferenciar resistências reais, resistências para modelagem em CC e resistências para modelagem em CA (incrementais)**

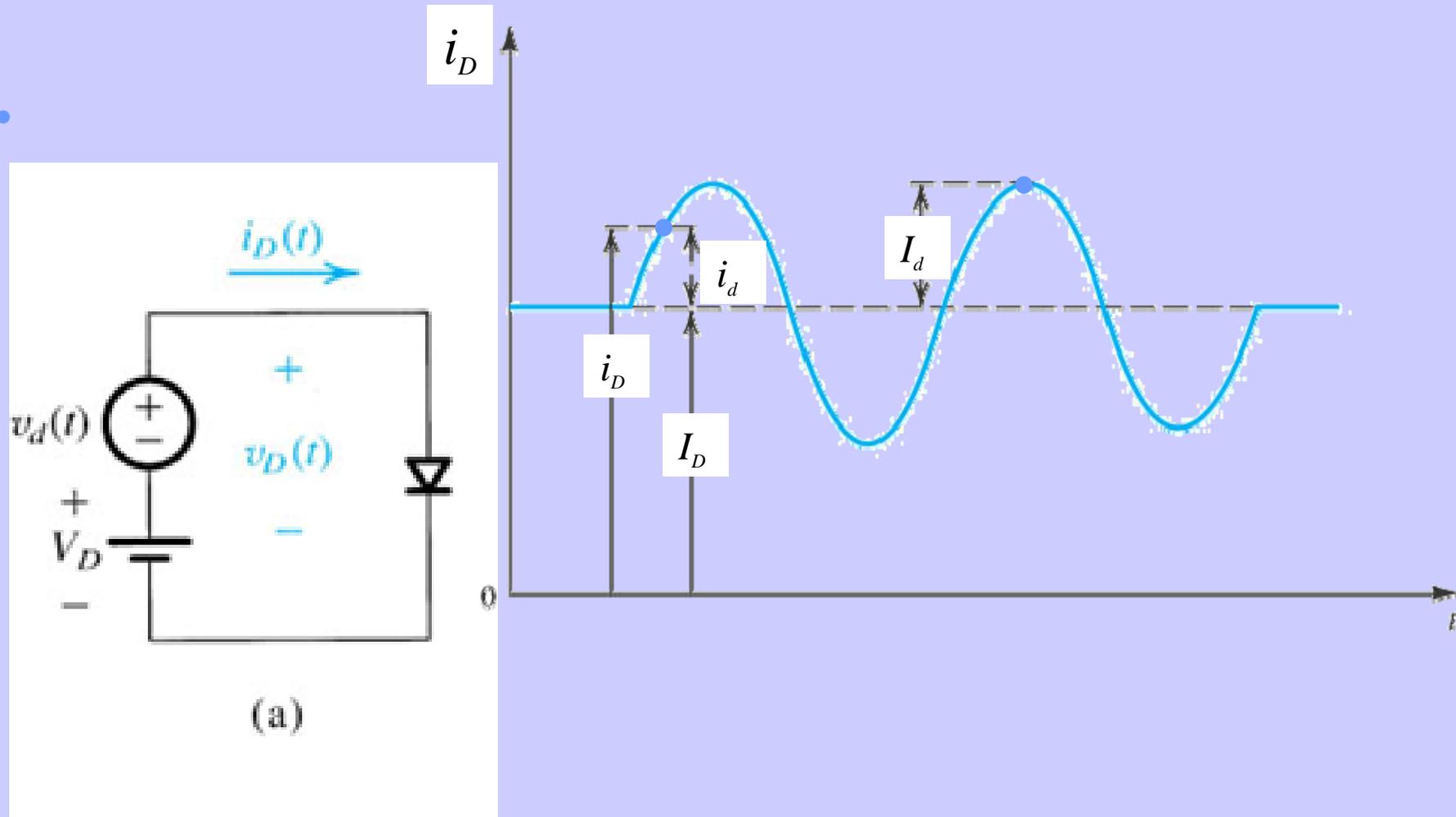
**-Selecionar modelos CC ou CA para realizar análises em circuitos com diodos em função do tipo de problema**

**-Calcular resistências e outros parâmetros para modelagem CC e para modelagem CA**

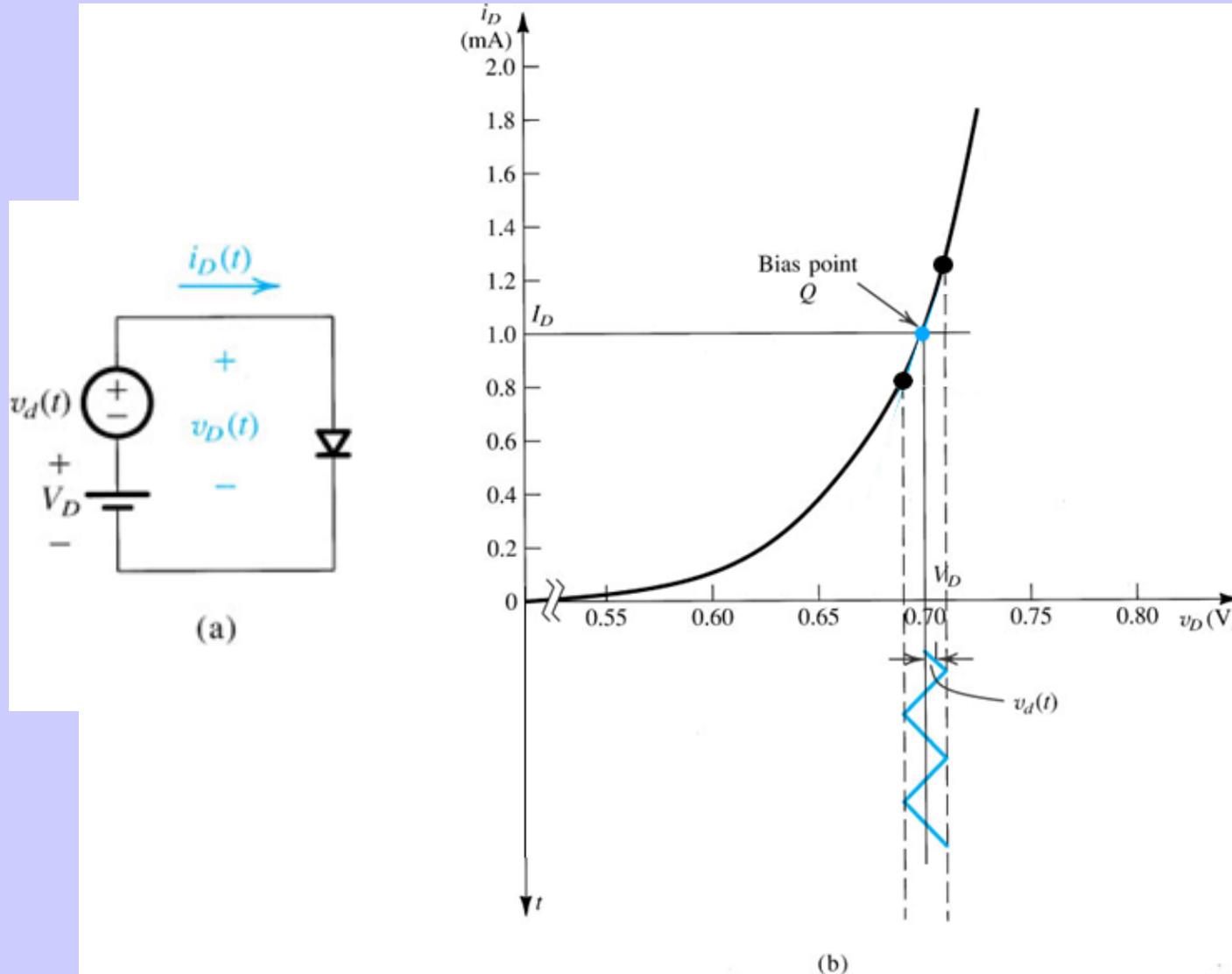
**-Descrever o procedimento para cálculo de grandezas CC e CA em circuitos com diodos**

**-Calcular tensões e correntes tanto CC como CA em circuitos com diodos**

# Vamos inserir uma Variação CA na Entrada (um Pequeno Sinal)



# Vamos inserir um Pequeno Sinal na entrada



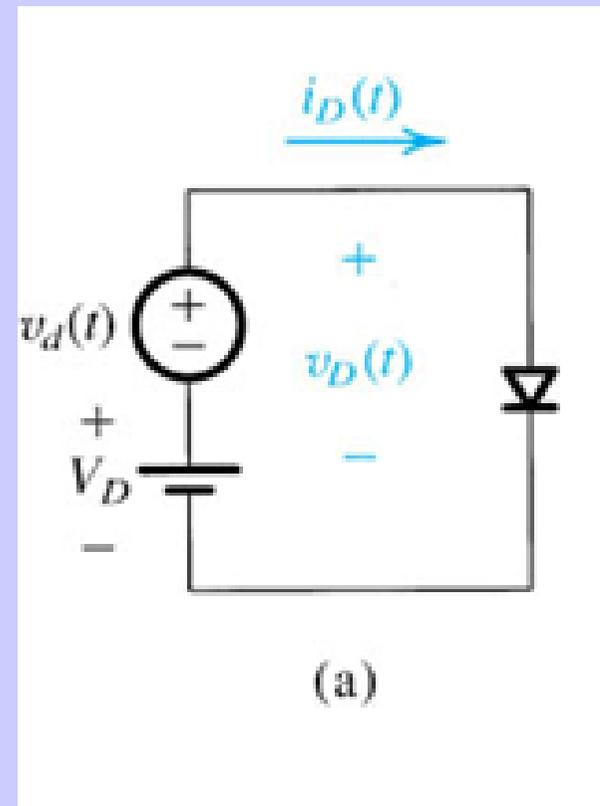
# Que modelo utilizar para pequenos sinais?

Qual modelo utilizar?

-Modelo chave aberta, chave fechada (diodo ideal)?

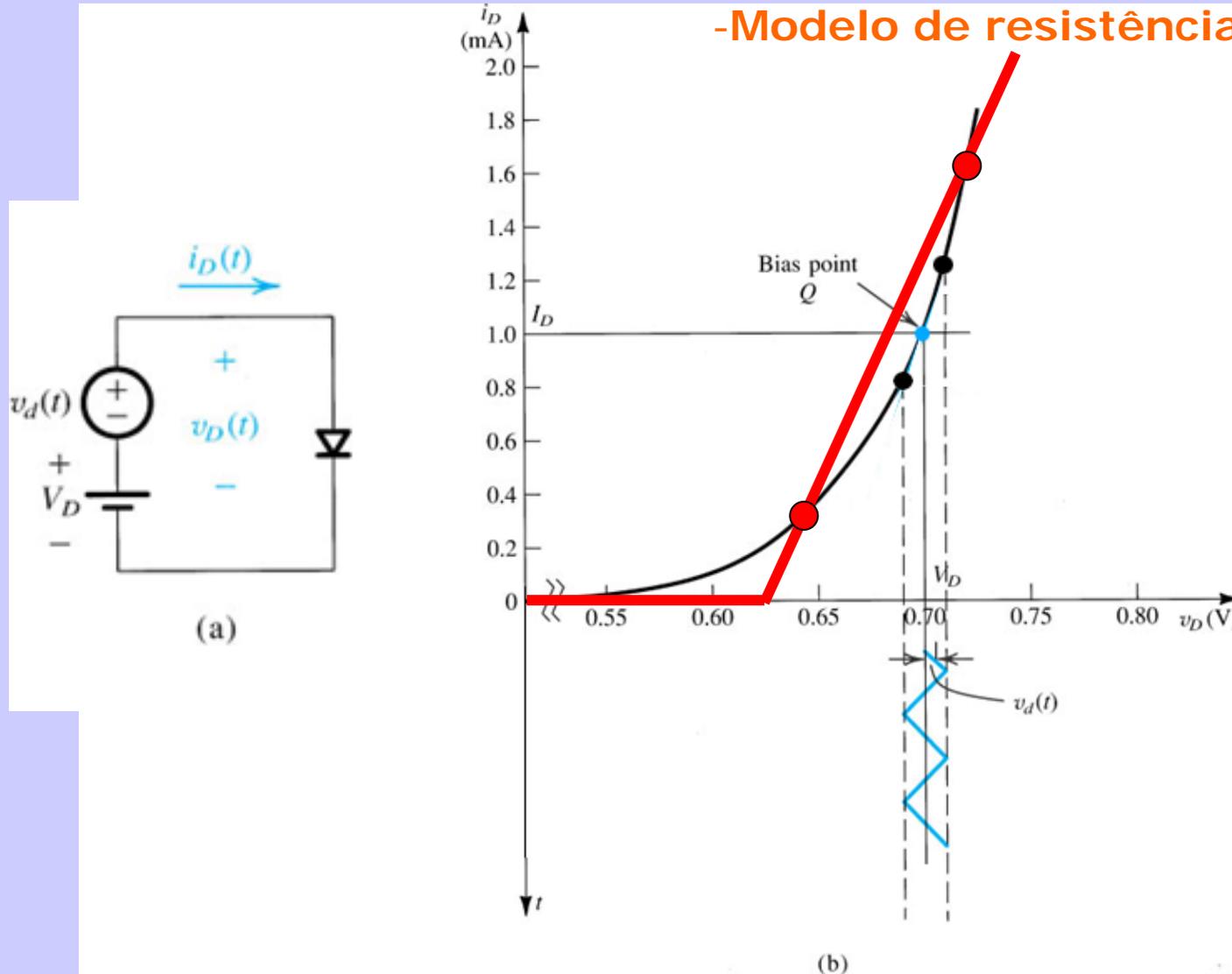
-Modelo  $V_D$  constante = 0,7V?

-Modelo de resistência  $r_D$  +  $V_{D0}$ ?



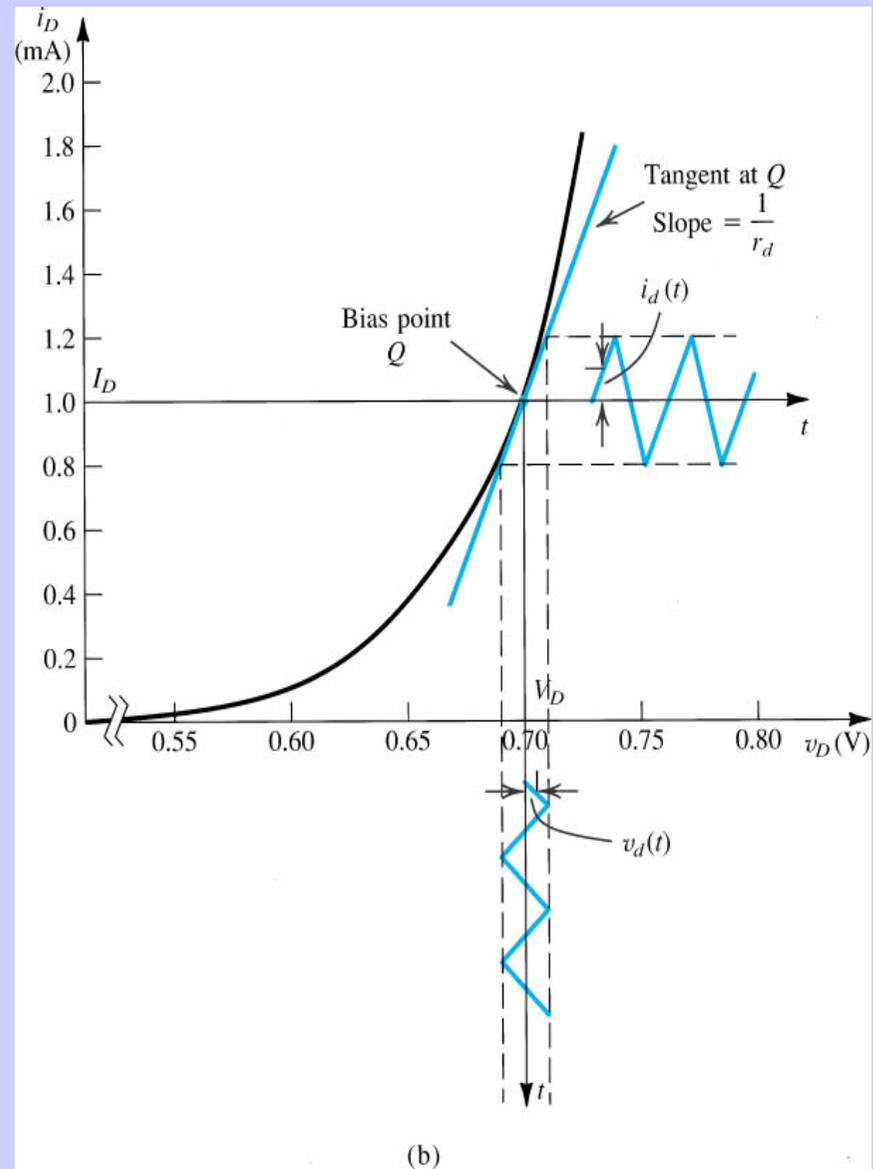
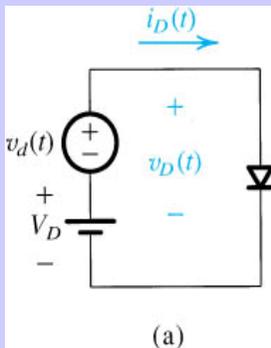
# Pequenos sinais (CA)

## Tentando utilizar o modelo $r_D + V_{D0}$



# Pequenos sinais (CA)

## O ideal é a tangente ao ponto!!!



# Pequenos sinais (CA)

## A tangente ao ponto: uma análise matemática

Qual a tangente à expressão?

$$I_D = I_S e^{V_D/nV_T}$$

$$v_D(t) = V_D + v_d(t) \Rightarrow i_D(t) = I_S e^{v_D(t)/nV_T}$$

$$i_D(t) = I_S e^{[V_D + v_d(t)]/nV_T} \Rightarrow i_D(t) = I_S e^{V_D/nV_T} e^{v_d(t)/nV_T}$$

$$i_D(t) = I_D e^{v_d(t)/nV_T}$$

# Pequenos sinais (CA)

## A tangente ao ponto: uma análise matemática

Qual a tangente (primeira derivada) da expressão?

$$i_D(t) = I_D e^{v_d(t)/nV_T}$$

Representar a expressão por uma soma infinita de termos calculados como as derivadas em um determinado ponto (Série de Taylor):

$$f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x - a) + \frac{f''(a)}{2!}(x - a)^2 + \frac{f^{(3)}(a)}{3!}(x - a)^3 + \dots$$

# Pequenos sinais (CA)

## A tangente ao ponto: uma análise matemática

$$f(a) + \frac{f'(a)}{1!}(x-a) + \frac{f''(a)}{2!}(x-a)^2 + \frac{f^{(3)}(a)}{3!}(x-a)^3 + \dots$$

$$i_D(t) = I_D e^{v_d(t)/nV_T} = I_D \cdot \left\{ 1 + \frac{1}{1} \frac{v_d}{nV_T} + \frac{1}{2} \left( \frac{v_d}{nV_T} \right)^2 + \frac{1}{6} \left( \frac{v_d}{nV_T} \right)^3 + \dots \right\}$$

Se  $\frac{v_d}{nV_T} \ll 1$  podemos fazer uma boa aproximação considerando apenas os dois primeiros termos:

$$i_D(t) = I_D e^{v_d(t)/nV_T} \cong I_D + \frac{I_D}{nV_T} v_d(t)$$

# Pequenos sinais (CA)

## A tangente ao ponto: uma análise matemática

$$i_D(t) = I_D e^{v_d(t)/nV_T} \cong I_D + \frac{I_D}{nV_T} v_d(t)$$

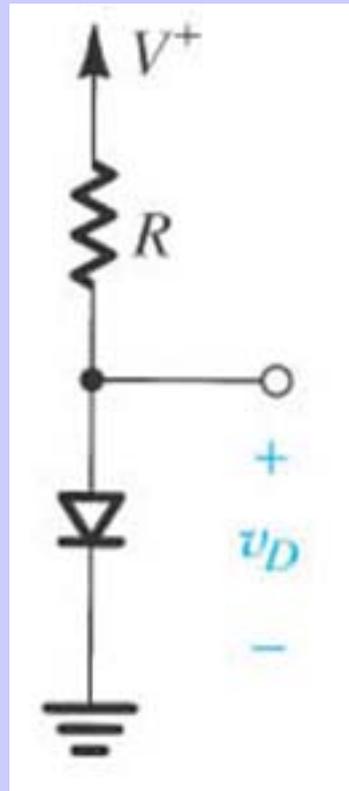
Como  $i_D(t) = I_D + i_d(t)$ , por inspeção:

$$i_d(t) = \frac{I_D}{nV_T} v_d(t)$$

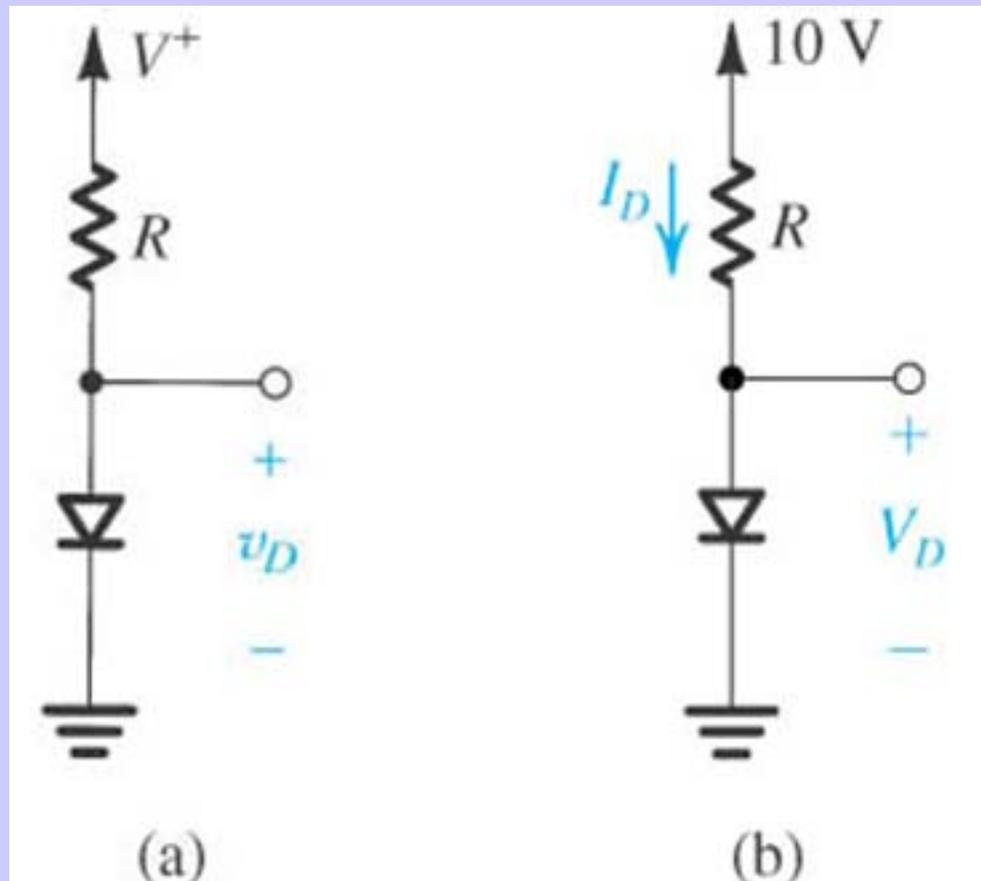
↘  $\frac{1}{r_d}$

$$r_d = \frac{nV_T}{I_D}$$

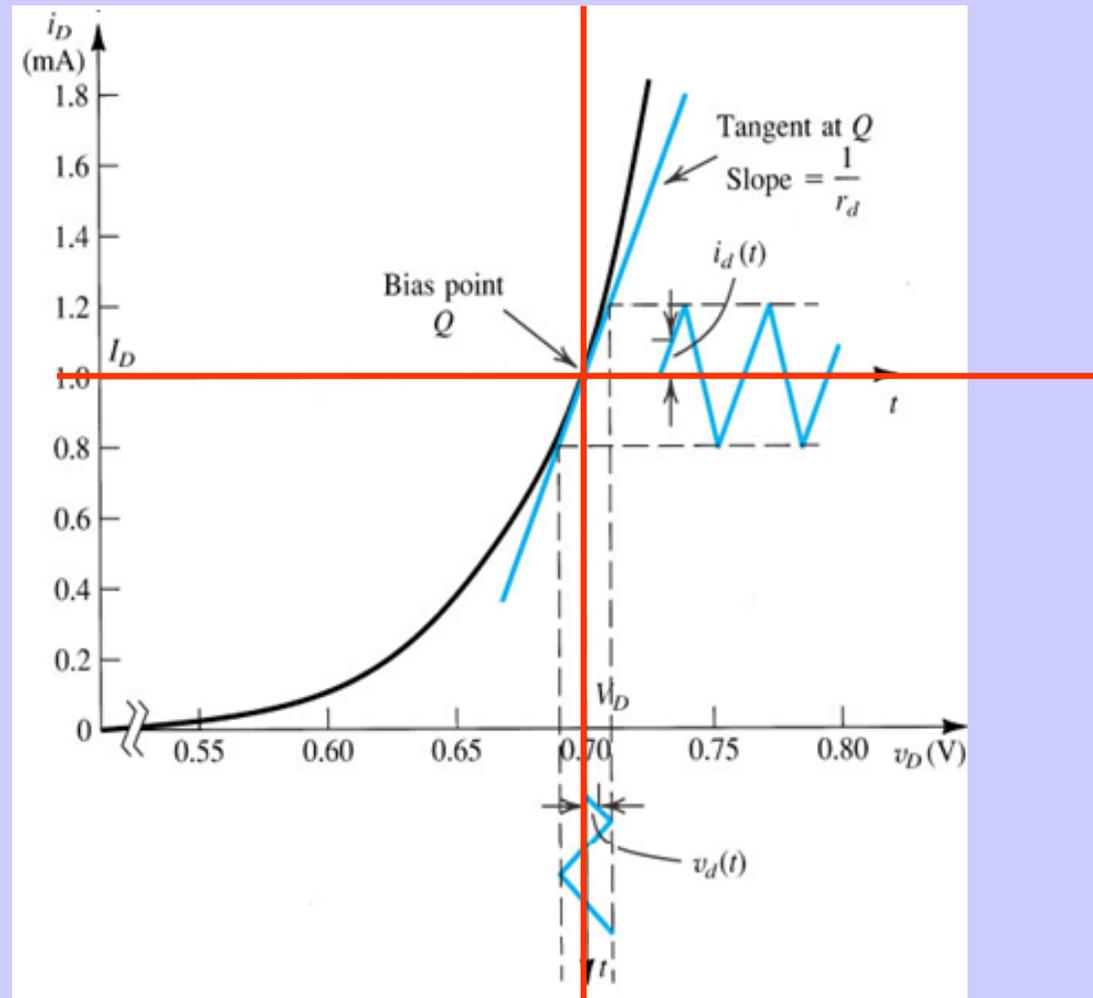
**Exemplo 3.6:** Considere o circuito abaixo, alimentado por uma fonte  $V^+$  constituída por um sinal CC de 10V sobre o qual aplica-se um sinal senoidal de 60Hz com 1V<sub>p</sub> de amplitude. Calcule a tensão CC sobre o diodo e a amplitude do sinal senoidal sobre ele. Assuma que o diodo tem uma queda de tensão de 0,7V em 1mA e  $n=2$ .



**Exemplo 3.6:** Considere o circuito abaixo, alimentado por uma fonte  $V^+$  constituída por um sinal CC de 10V sobre o qual aplica-se um sinal senoidal de 60Hz com 1V<sub>p</sub> de amplitude. Calcule a tensão CC sobre o diodo e a amplitude do sinal senoidal sobre ele. Assuma que o diodo tem uma queda de tensão de 0,7V em 1mA e  $n=2$ .



**Exemplo 3.6:** Considere o circuito abaixo, alimentado por uma fonte  $V^+$  constituída por um sinal CC de 10V sobre o qual aplica-se um sinal senoidal de 60Hz com 1V<sub>p</sub> de amplitude. Calcule a tensão CC sobre o diodo e a amplitude do sinal senoidal sobre ele. Assuma que o diodo tem uma queda de tensão de 0,7V em 1mA e  $n=2$ .



**Exemplo 3.6:** Considere o circuito abaixo, alimentado por uma fonte  $V^+$  constituída por um sinal CC de 10V sobre o qual aplica-se um sinal senoidal de 60Hz com 1V<sub>p</sub> de amplitude. Calcule a tensão CC sobre o diodo e a amplitude do sinal senoidal sobre ele. Assuma que o diodo tem uma queda de tensão de 0,7V em 1mA e  $n=2$ .

