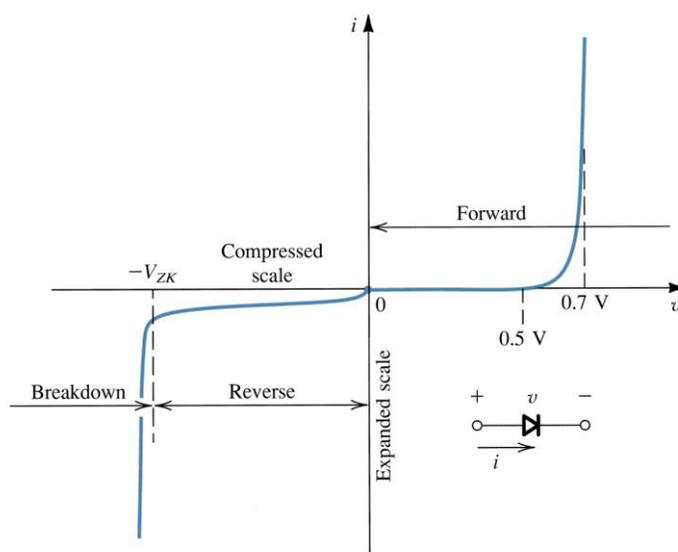


EE 530 Eletrônica Básica I

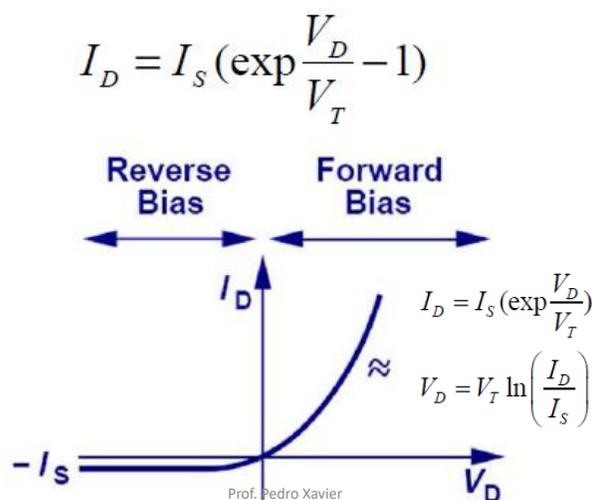
Modelos de Diodo

Prof. Pedro Xavier

Curva característica do diodo



Equação da junção ou característica I versus V

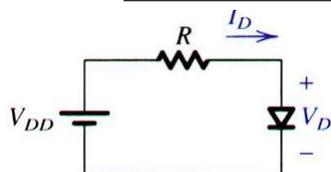


Modelos de diodo

Análise rápida (por inspeção)

A análise rápida usa modelos simplistas para o diodo

Existe uma hierarquia de modelos de diodos, sendo a escolha do modelo apropriado ditada pela aplicação.

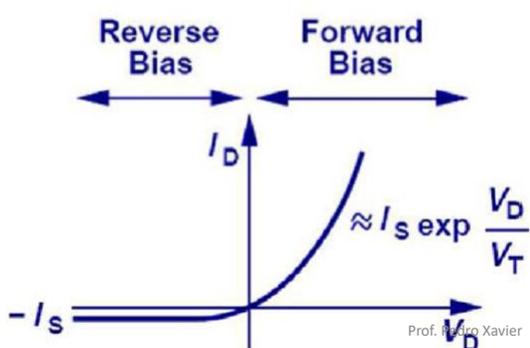


Prof. Pedro Xavier

Modelos de diodo

- Modelo exponencial

$$I_D = I_S \left(\exp \frac{V_D}{V_T} - 1 \right)$$

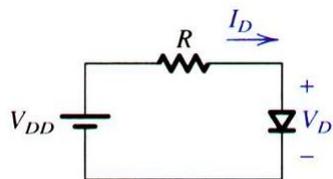


$$I_D = I_S \left(\exp \frac{V_D}{V_T} \right)$$

$$V_D = V_T \ln \left(\frac{I_D}{I_S} \right)$$

Modelos de diodo

- Modelo exponencial



$$I_D \quad V_D \quad ?$$

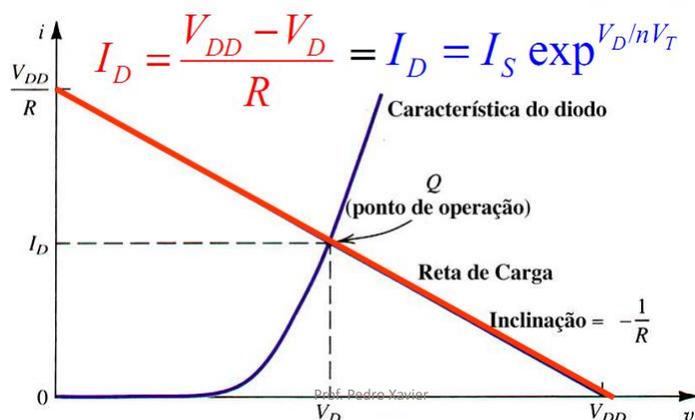
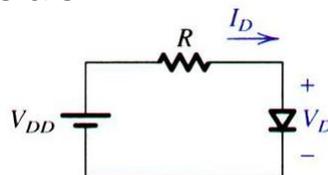
$$I_D = I_S \exp^{V_D/V_T}$$

$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R}$$

Prof. Pedro Xavier

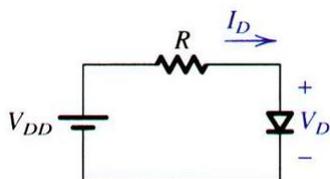
Modelos de diodo

- Modelo exponencial
 - Resolução por método gráfico



Modelos de diodo

- Modelo exponencial
 - Resolução por método numérico



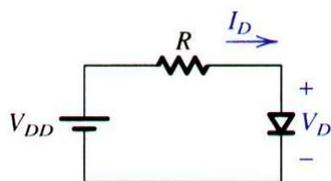
$$I_D = \frac{V_{DD} - V_D}{R} = I_D = I_S \exp^{V_D/nV_T}$$

$$\frac{V_{DD} - V_D}{R} - I_S \exp^{V_D/nV_T} = 0$$

Prof. Pedro Xavier

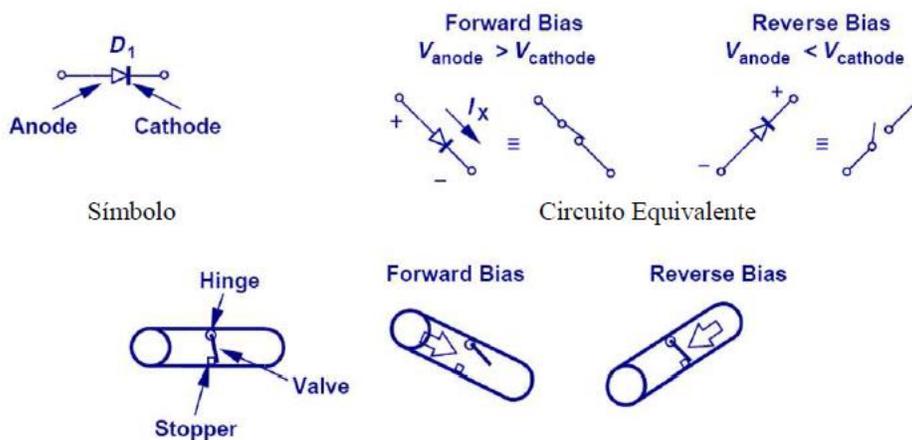
Modelos de diodo

- Modelo exponencial
 - Exercício: Dados $V_{DD}=5V$; $R= 1000\Omega$; $I_S=10^{-14}A$, encontre V_D e I_D .



Prof. Pedro Xavier

Diodo Ideal

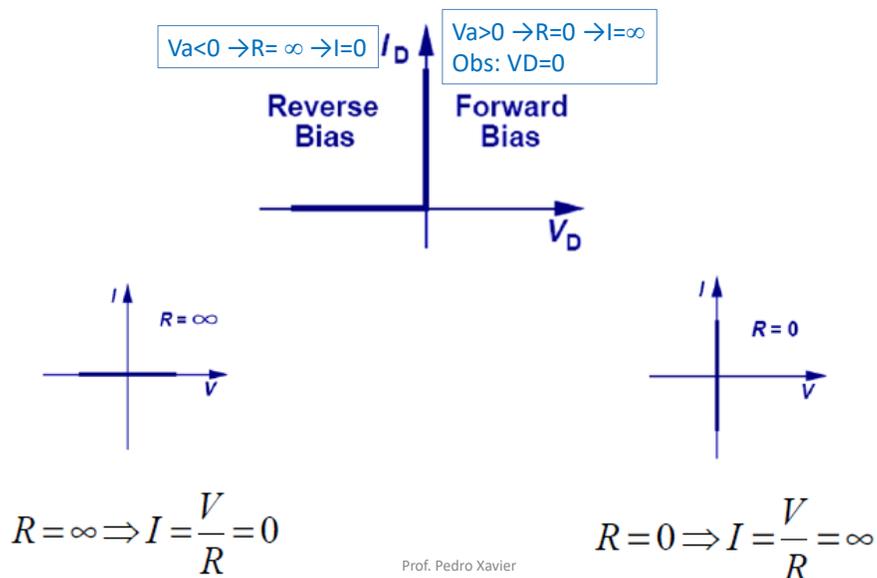


Analogia hidráulica

Obs: válido somente quando há passagem de corrente (direta ou reversa) no diodo real.
Quando não ocorre passagem de corrente, substituir o diodo por uma resistência altíssima.

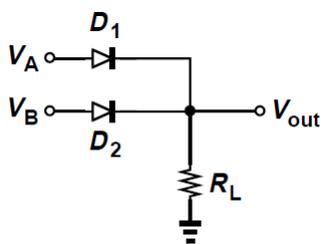
Prof. Pedro Xavier

Característica I versus V de um diodo ideal

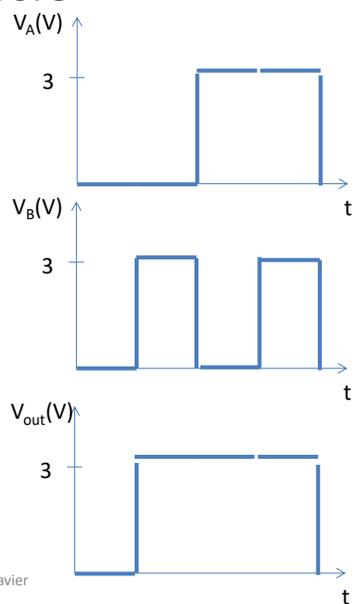


Exercício

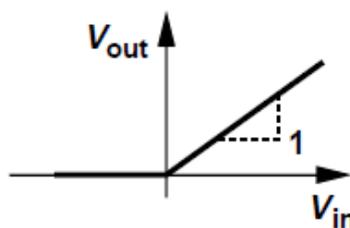
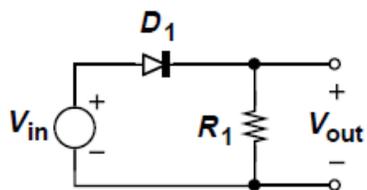
- Determine V_{out}



PORTA OR

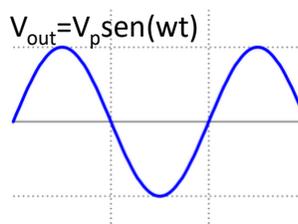
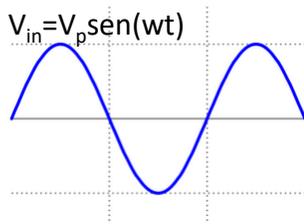
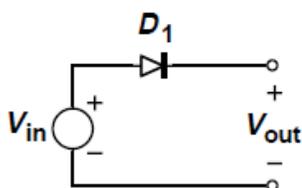


Característica entrada/saída



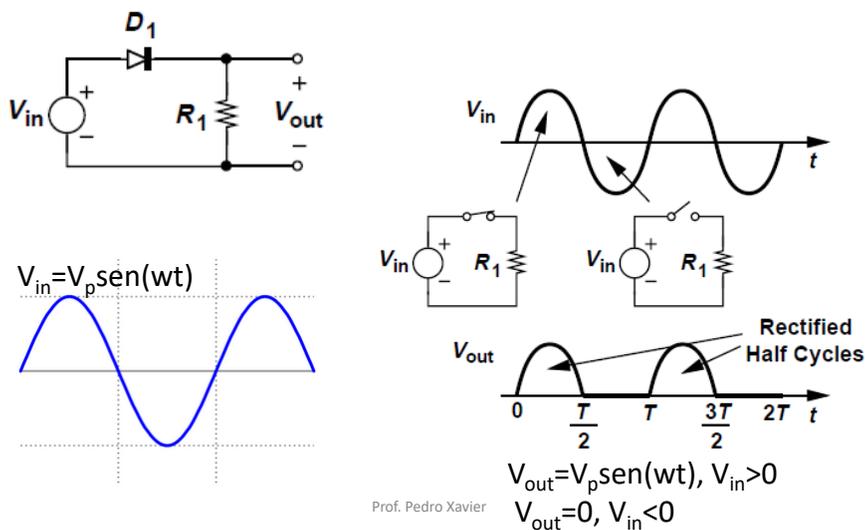
Prof. Pedro Xavier

Diodo como retificador

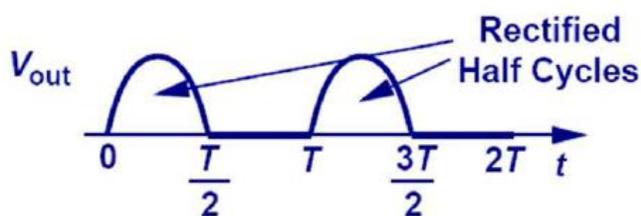


Prof. Pedro Xavier

Diodo como retificador



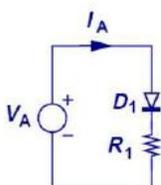
Cálculo do valor médio da onda retificada



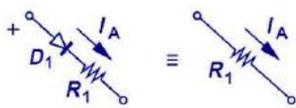
$$\begin{aligned}
 V_{out,med} &= \frac{1}{T} \int_0^T V_{out}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} V_p \sin \omega t dt \\
 &= \frac{1}{T} \frac{V_p}{\omega} [-\cos \omega t]_0^{T/2} = \frac{V_p}{\pi}
 \end{aligned}$$

Prof. Pedro Xavier

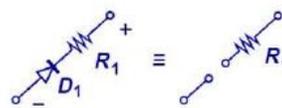
Circuito diodo-resistor série



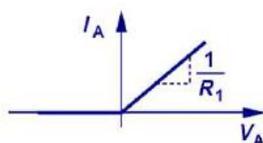
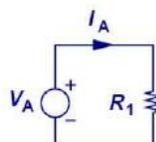
Diodo e resistor em série



Polarização direta



Polarização reversa

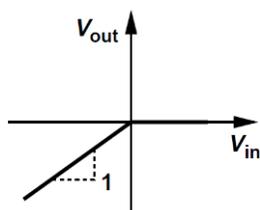
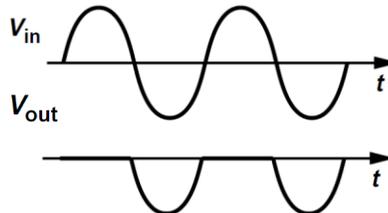
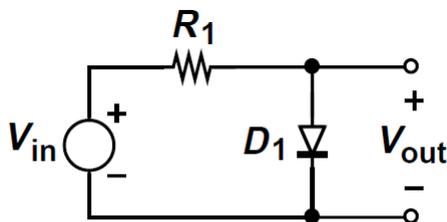
Característica I versus V 

Circuito equivalente para polarização direta

Prof. Pedro Xavier

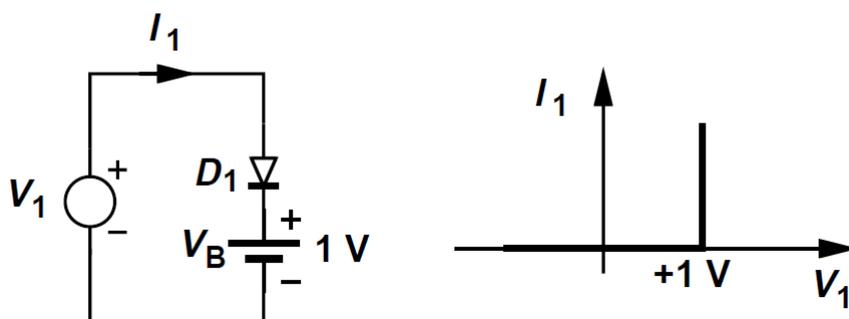
Exercício

- Determine V_{out} e a relação entrada-saída



Prof. Pedro Xavier

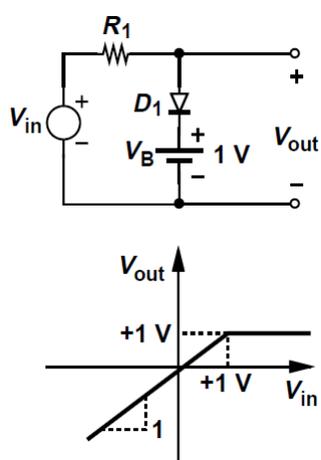
Circuito diodo-bateria (limitador)



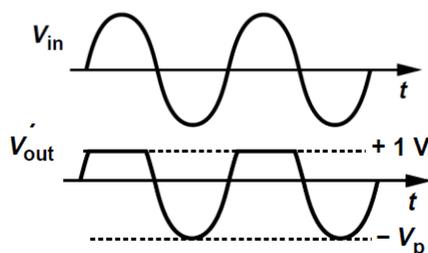
Prof. Pedro Xavier

Exercício

- Determine V_{out} e a relação entrada-saída



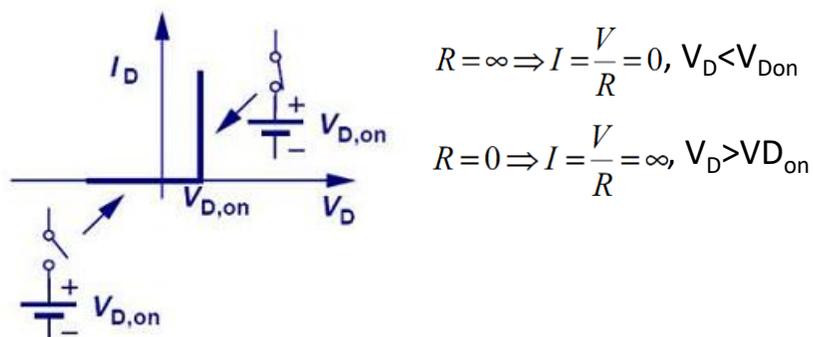
PARA NOTA



Prof. Pedro Xavier

Modelos de diodo

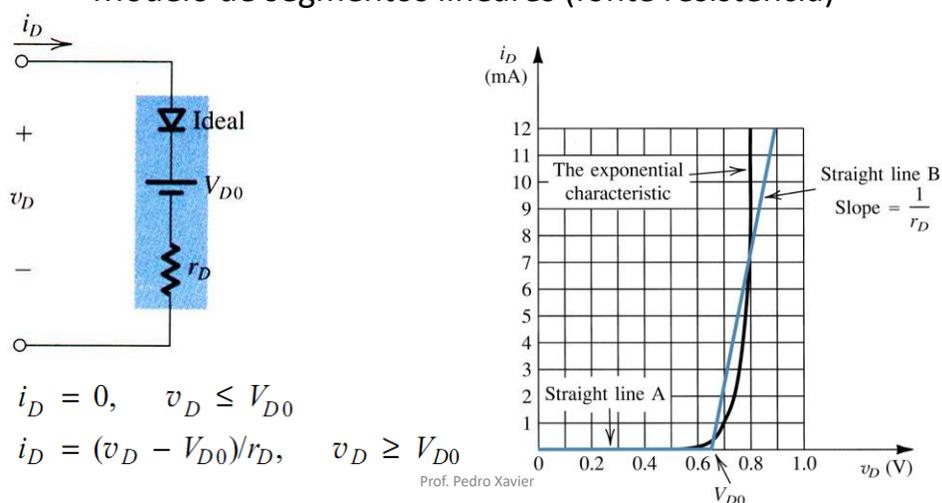
- Modelo com queda de tensão constante



Prof. Pedro Xavier

Modelos de diodo

- Modelo de segmentos lineares (fonte resistência)



Prof. Pedro Xavier

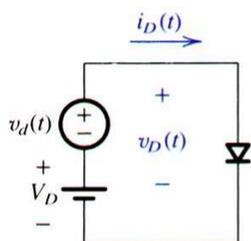
Afinal, qual modelo utilizar



A questão sobre a escolha do modelo numa aplicação particular é algo que o projetista enfrenta repetidamente, não somente com diodos mas com qualquer elemento de circuito. O problema está em encontrar um compromisso adequado entre exatidão e complexidade. A capacidade de escolher o modelo apropriado para um dispositivo aumenta com a prática e com a experiência.

Modelo para pequenos sinais

$$(v_d(t) \ll V_T)$$



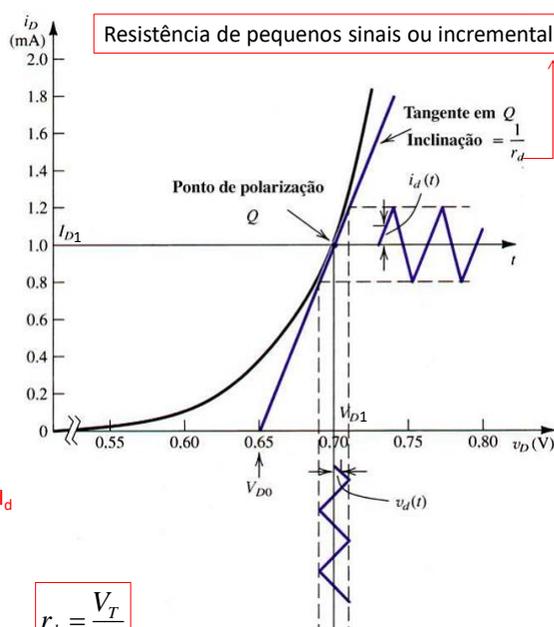
$$\frac{1}{r_d} = \frac{dI_D}{dV_D} \Big|_{V_D=V_{D1}}$$

$$= \frac{I_S}{V_T} \exp \frac{V_{D1}}{V_T}$$

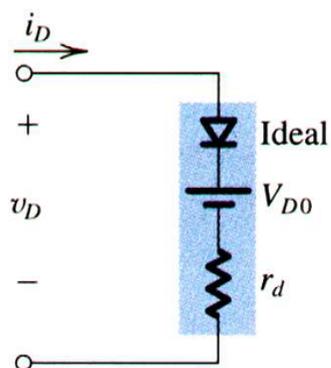
$$\frac{1}{r_d} = \frac{I_d}{V_T}$$



$$r_d = \frac{V_T}{I_d}$$



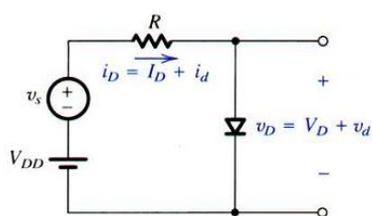
Modelo do diodo para pequenas variações próximas do ponto de polarização Q .



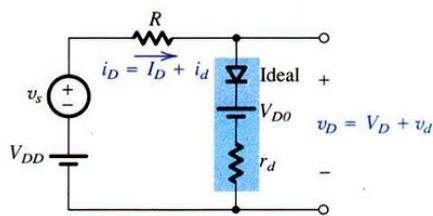
$$\begin{aligned}
 v_D &= V_{D0} + i_D r_d \\
 &= V_{D0} + (I_D + i_d) r_d \\
 &= (V_{D0} + I_D r_d) + i_d r_d \\
 &= V_D + i_d r_d
 \end{aligned}$$

V_{D0} é determinado pelo ponto de polarização e pela resistência incremental

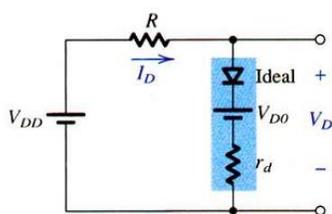
Formas de análise



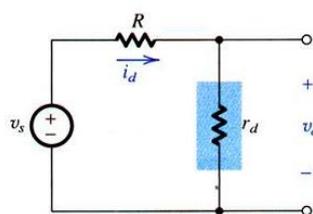
Circuito com valores cc e de sinal



Substituição do diodo pelo modelo



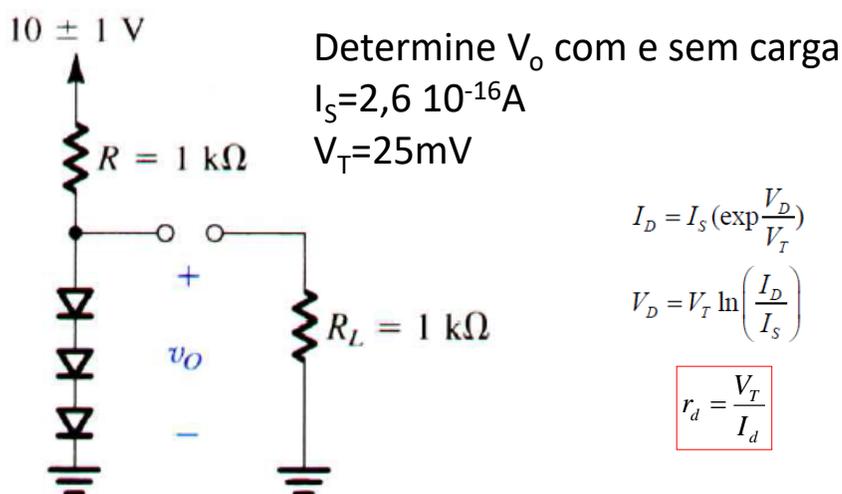
Análise cc



Análise de sinal

Prof. Pedro Xavier

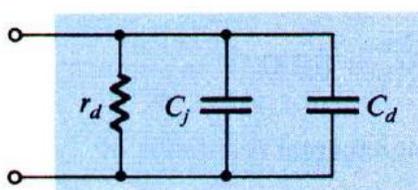
Regulador de tensão a diodo



Prof. Pedro Xavier

Modelo do Diodo em Altas Frequências para Pequenos Sinais *

Ponto de polarização: I_D, V_D



$$r_d = V_T / I_D$$

$$C_d = (\tau_T / V_T) I_D, \text{ para } V_D > 0$$

$$C_j = C_{j0} / \left(1 - \frac{V_D}{V_0} \right)^m \text{ para } V_D < 0$$

$$C_j \cong 2C_{j0}, \text{ para } V_D > 0$$

Prof. Pedro Xavier

Fontes de figuras da aula

- Aula do prof. Fabiano Fruett
- Introdução à física dos semicondutores (H.A. Mello)
- Fundamentos da microeletrônica (Razavi)
- Microeletrônica (Sedra)

Prof. Pedro Xavier

Sugestão de estudo

- Razavi, Cap. 3 até seção 3.4
- Sedra/Smith Cap. 3 até seção 3.4
 - Exercícios e problemas correspondentes

Prof. Pedro Xavier