



Aluno:

Aula Teórica #4

Disciplina:

EEL315 — Eletrônica I

Turma:

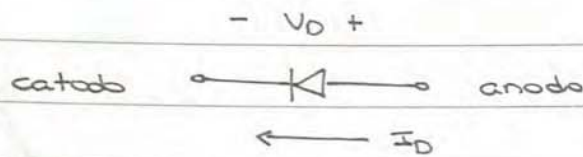
Professor:

José Gabriel

1	
2	
3	
4	
5	

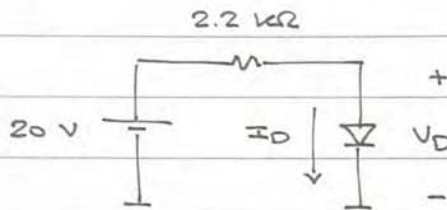
2 Diodos

Símbolo:



2.1 Modelos para Polarização Direta

Exemplo de polarização direta:

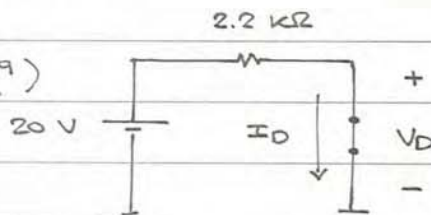


2.1.1 Modelo Ideal ("curto-circuito")

$$V_D = \boxed{0 \text{ V}}$$

$$I_D = \frac{20}{2200} = \boxed{9.09 \text{ mA}}$$

(X correção: 9.09 mA)

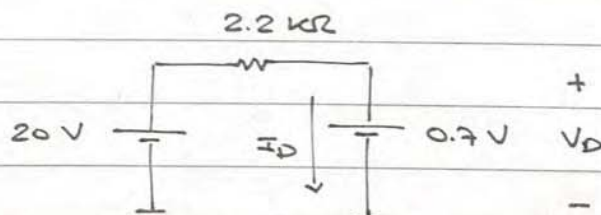


Obs.: se a sua análise do circuito indicar que $V_D < 0 \text{ V}$, use então um circuito aberto no lugar do diodo.

2.1.2 Modelo com Bateria $V_B = 0.7 \text{ V}$

$$V_D = \boxed{0.7 \text{ V}}$$

$$I_D = \frac{20 - 0.7}{2200} = \boxed{8.77 \text{ mA}}$$



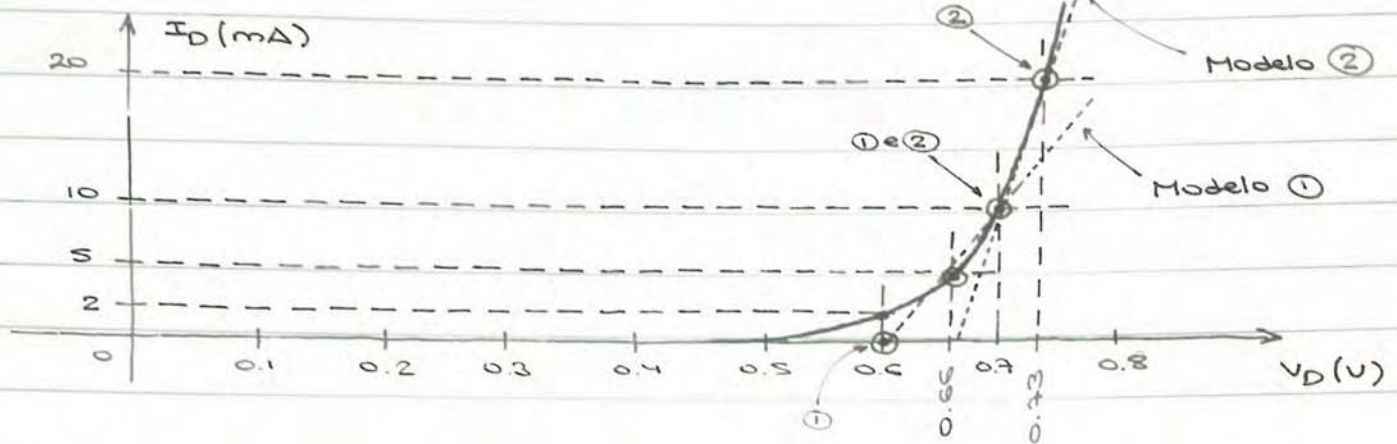
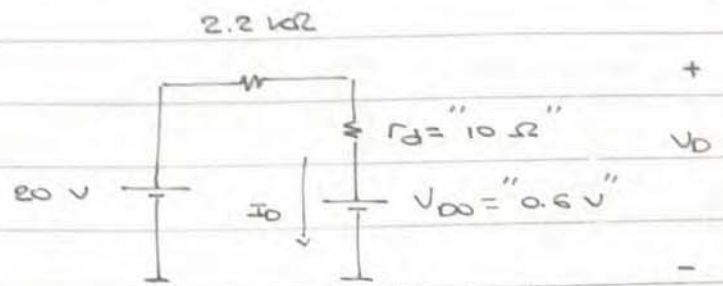
(X correção: 0.7 V)

Obs.: novamente, se $V_D < 0 \text{ V}$, use circuito aberto.

2.1.3 Modelo com Bateria V_{D0} em Série com Resistência r_D

Também é informalmente chamado de modelo "linear por partes".

Linearização "em torno" de um ponto da curva $I_D \times V_D$ (por exemplo, $V_D = 0.7 \text{ V}$ e $I_D = 10 \text{ mA}$).



Há várias opções de modelagem. Vejamos duas opções:

Modelo ① $V_D = 0.6 \text{ V} \rightarrow I_D = 0 \text{ mA} \rightarrow V_{D0} = 0.6 \text{ V}$

$V_D = 0.7 \text{ V} \rightarrow I_D = 10 \text{ mA}$

$\frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0.1}{0.01} = 10 \Omega \rightarrow r_D = 10 \Omega$

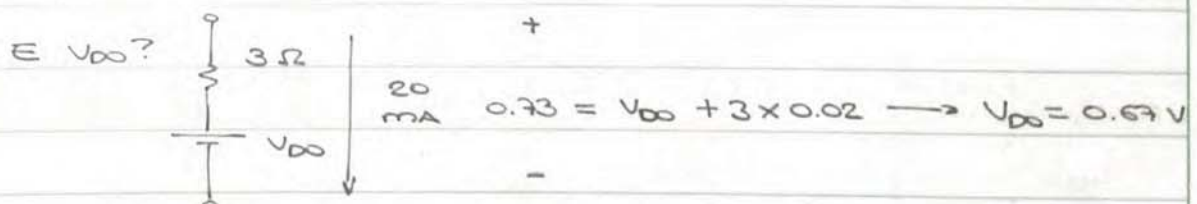
Usando este modelo: $I_D = \frac{20 - 0.6}{2210} = 8.78 \text{ mA}$

$V_D = 0.6 + 10 \times 8.78 \times 10^{-3} = 0.688 \text{ V}$

Modelo ② $V_D = 0.7 \text{ V} \rightarrow I_D = 10 \text{ mA}$

$V_D = 0.73 \text{ V} \rightarrow I_D = 20 \text{ mA}$

$\frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} = \frac{0.03}{0.01} = 3 \Omega \rightarrow r_D = 3 \Omega$



Usando este modelo: $I_D = \frac{20 - 0.67}{2203} = 8.77 \text{ mA}$

$V_D = 0.67 + 3 \times 8.77 \times 10^{-3} = 0.696 \text{ V}$

Obs.: se você calcular $V_D < V_{D0}$, isso significa que $I_D = 0$ (use circuito aberto).

2.1.4 Modelo Exponencial

(X correção: V_T)

$I_D = I_S \exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right)$, onde $V_T = 26 \text{ mV}$ @ $T = 300 \text{ K}$

09/09/2020: Vamos usar $I_S = 14.1 \text{ nA}$ e $n = 1.98$ (parâmetros do diodo D1N4001)

$I_S = 10 \text{ nA}$ (note que $I_S \gg 10^{-17} \text{ A}$ da Secção 1.2.4)

$n = 2 \rightarrow$ fator de não-idealidade do diodo

Obs.: comumente o diodo não segue, na prática, exatamente o comportamento de 60 mV/década de variação em I_D previsto na Secção 1.2.4. Normalmente usamos $n \approx 2$ para representar aproximadamente 120 mV/década de variação em I_D .

Solução pelo método "iterativo":

51.23 x 10⁻³ 1.41 x 10⁻⁸

1) Chute inicial: $V_D = 0.7 \text{ V}$

2) $I_D = \frac{20 - V_D}{2200} = \frac{20 - 0.7}{2200} = 8.77 \text{ mA}$

3) $V_D = 52 \times 10^{-3} \ln\left(\frac{8.77 \times 10^{-3}}{10^{-8}}\right) = 0.712 \text{ V}$ 0.683 V

4) $I_D = \frac{20 - 0.712}{2200} = 8.80 \text{ mA}$ 8.78 mA

5) $V_D = 52 \times 10^{-3} \ln\left(\frac{8.80 \times 10^{-3}}{10^{-8}}\right) = 0.712 \text{ V}$ 0.684 V

2ª iteração — V_D convergiu para 0.712 V e $I_D = 8.80 \text{ mA}$

Obs.: para voltagens baixas aplicadas ao diodo (por exemplo, se substituíssemos a bateria de 20 V por uma bateria de 0.5 V), para que V_D e I_D converjam, resolvemos as iterações de forma diferente:

Chute inicial: " $V_D = 0.5 \text{ V}$ "

$I_D = I_S \exp\left(\frac{V_D}{nV_T}\right)$ $V_D = 0.5 - 2200 I_D$

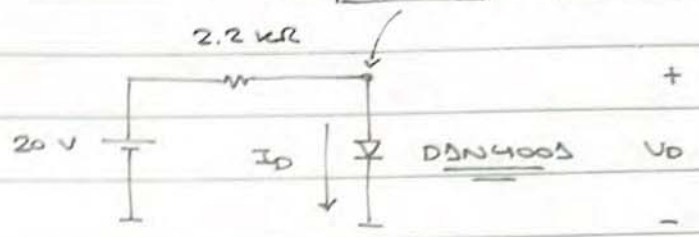
(X correção: 0.5)

2.1.5 Simulação (diode.lib)

0.684 V ; 8.78 mA

Para simulação, use o arquivo

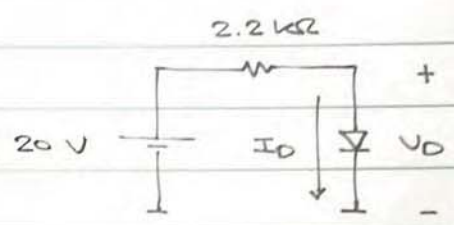
diode.lib. Execute simulação
"Bias Point" ou "Time
Domain (Transient)"



Obs.: procurando pelo texto "DSN4005" dentro do arquivo "diode.lib", você encontra $I_S = 14.11 \text{ nA}$ e $n = 1.924$. Os valores usados no gráfico da Seção 2.1.3 são aproximações dos valores obtidos com o modelo DSN4005 no diode.lib. Os valores exatos aparecem no formulário da Prova Parcial #3.

2.1.6 Solução Gráfica (Experimental)

O diodo é representado por dados tabelados.

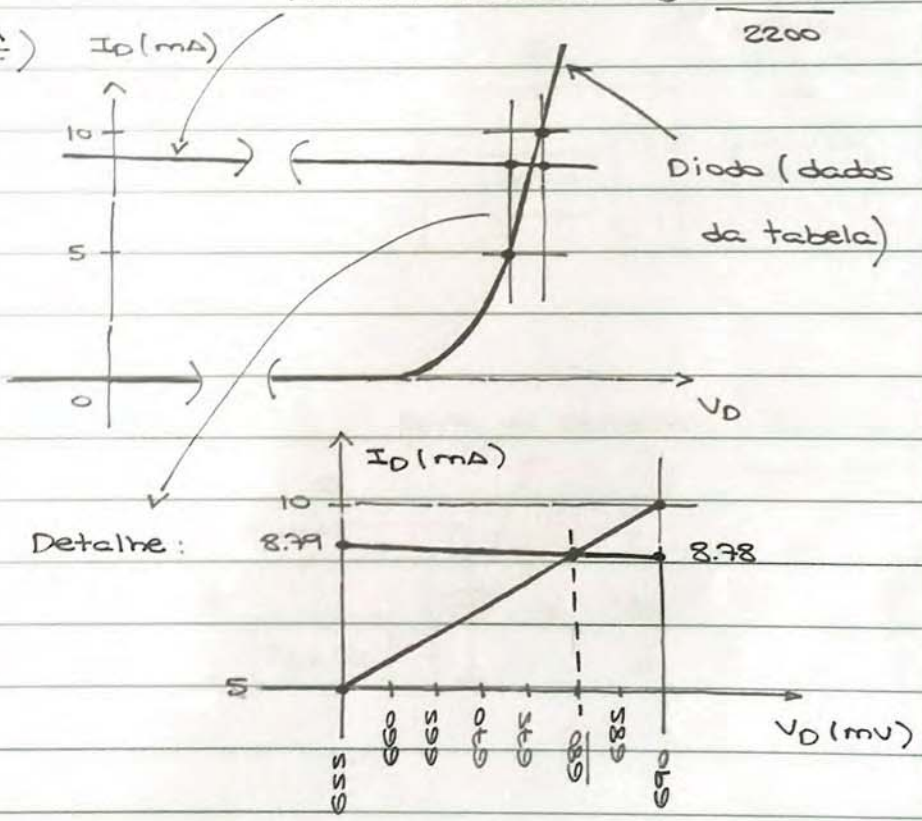


Exemplo de dados experimentais (diodos DSN400X), usados na Experiência #3:

Malha resistiva: $I_D = \frac{20 - V_D}{2200}$

(X correção: $\frac{A}{=}$)

V_D (mV)	I_D (mA)
250	2×10^{-6}
300	5×10^{-6}
340	1×10^{-5}
370	2×10^{-5}
420	5×10^{-5}
455	1×10^{-4}
490	2×10^{-4}
535	5×10^{-4}
575	1×10^{-3}
610	2×10^{-3}
655	5×10^{-3}
690	1×10^{-2}



A análise visual do gráfico indica que a solução experimental é $V_D = 0.68 \text{ V}$, $I_D = 8.78 \text{ mA}$.

Assumindo que a resposta verdadeira é a solução experimental, podemos comparar os erros dos diversos modelos considerados:

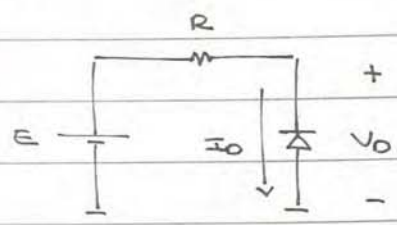
	Erro em V_D	Erro em I_D
2.1.1 Ideal	100 %	2.6 %
2.1.2 Bateria	2.9 %	0.1 %
2.1.3 V_{D0} e r_D	1.2 %	0
2.1.4 Exponencial	4.7 % 0.6 %	0.1 % 0
2.1.5 Simulador	0.6 %	0

(X correção: 3.5%)

← repare na boa combinação entre simplicidade e precisão!

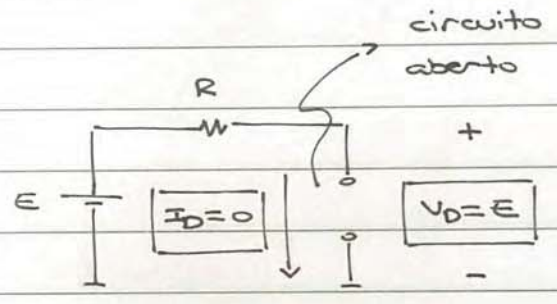
2.2 Modelos para Polarização Reversa

Exemplo de polarização reversa:



- 2.2.1, 2.2.2 e 2.2.3

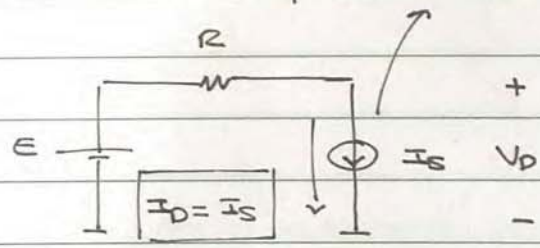
O modelo ideal, o modelo da bateria de 0.7 V e o modelo da bateria V_{D0} em série com a resistência r_D se resumem, no caso da polarização reversa, ao circuito aberto:



2.2.4 Modelo "Exponencial"

fonte de corrente: $I_D \approx I_S$

$$V_D = E - R I_S \approx E$$



Exemplo:

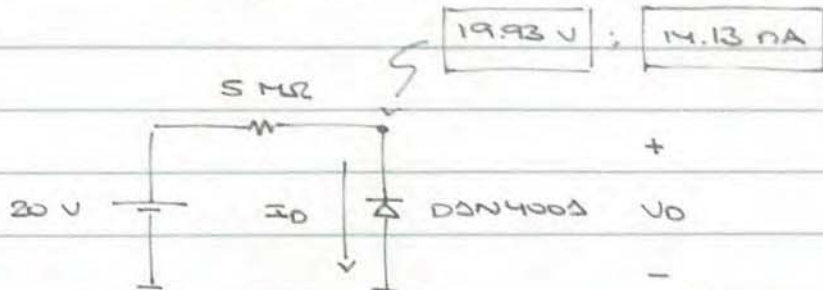
$$I_S = 10 \text{ nA}$$

$$R = 5 \times 10^6 \Omega \text{ e } V_D = 20 \text{ V}$$

$$V_D = 20 - 5 \times 10^6 \times 10 \times 10^{-9} = 19.95 \text{ V}$$

2.2.5 Simulação (diode.lib)

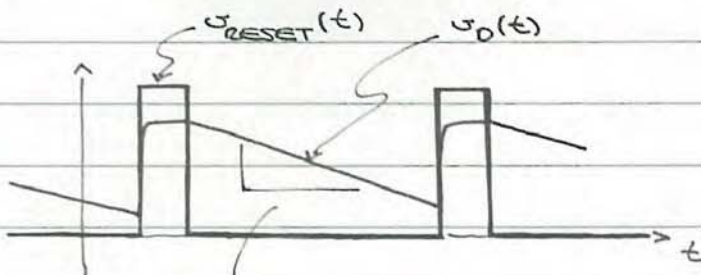
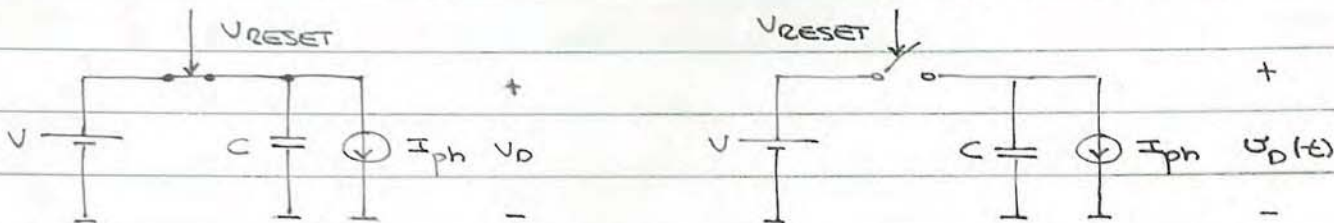
Modo de simulação: "Bias Point"



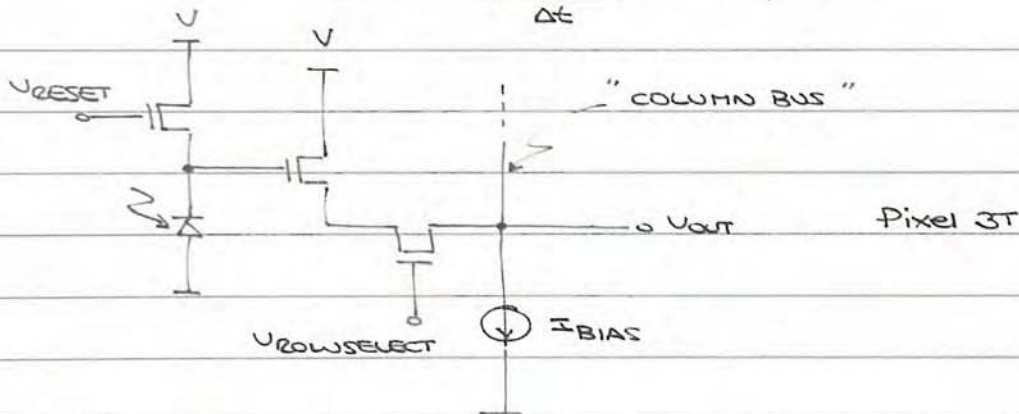
2.2.6 Capacitor em Paralelo com Fonte de Corrente (fotodiodo)

Chave analógica fechada

Chave analógica aberta



$$\frac{\Delta V_D(t)}{\Delta t} = C \cdot I_{ph}$$



2.2.7 Coeficiente de Temperatura

A corrente de polarização reversa dobra, aproximadamente, para cada 10°C de variação de temperatura.

Exemplo: 27°C → I_{D, inicial} = 14.13 nA

47°C → I_{D, final} = 60.10 nA

Podemos calcular, então:

$$\Delta T = 10 \cdot \log_2 \left(\frac{I_{D, final}}{I_{D, inicial}} \right)$$