



Capítulo 4

Aula 9: Análise simplificada de circuitos não lineares

28

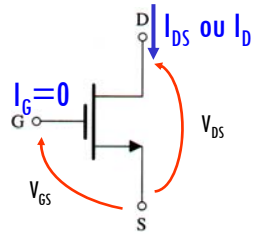
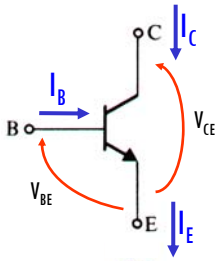
8ª e 9ª Aulas: Introduzindo outros elementos (não lineares) em nossos circuitos

Ao final desta aula você deverá estar apto a:

- Analisar redes não lineares em corrente contínua (CC)
- Analisar circuitos CC com diodos empregando modelos simplificados (modelo diodo ideal, modelo diodo+bateria)

29

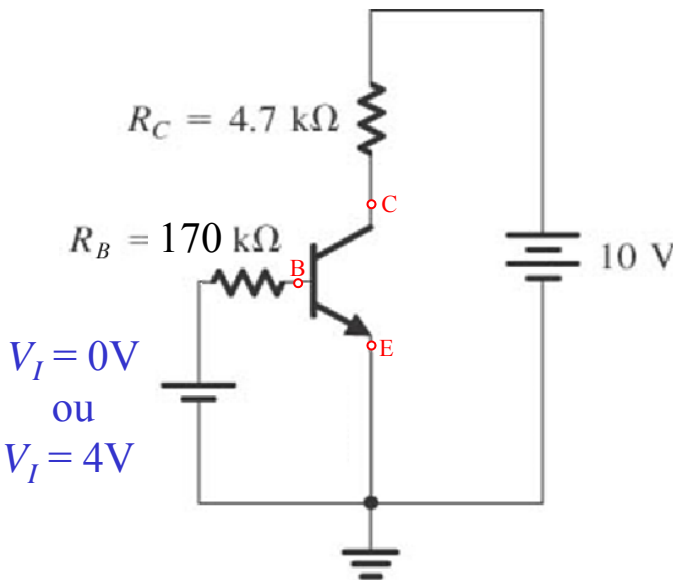
Já vimos: Uma nota sobre os Transistores e suas leis



- As leis apresentadas só valem se garantirmos algumas condições
- Não vamos discutir a origem desses condições agora mas:
 - Para o transistor bipolar npn respeitar as leis apresentadas, ele tem que estar na região ATIVA, onde simplificadamente $V_c > V_b > V_e$ e $V_{BE} > 0,5V$
 - Para o transistor MOS canal n respeitar as leis apresentadas ele tem que estar na região de SATURAÇÃO, onde simplificadamente $V_{GS} > V_t$; $0 < V_{GS} - V_t < V_{DS}$

30

Já vimos: Exercício 2 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 4V?



Leis do Transistor Bipolar npn

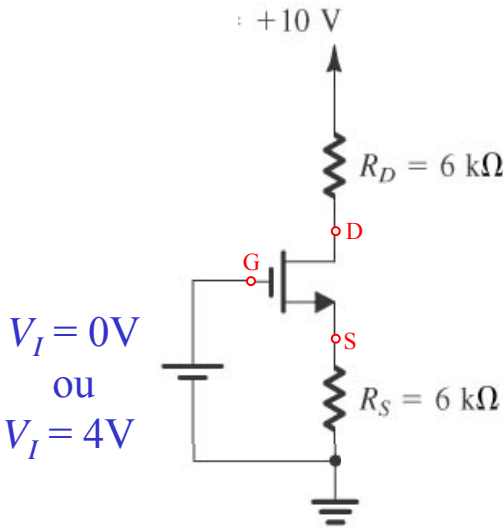
A T I V A
 Se $V_c > V_b > V_e$
 e $V_{BE} > 0,5V$
 $V_{BE} \approx 0,7V$
 $I_c = \beta I_B$
 $\beta = 100$

C O R T E
 Se $V_{BE} < 0,5V$
 $I_c = I_B = I_E = 0$

S R A C U O
 Se $V_{CE} < 0,3V$
 $V_{BE} = 0,7V$
 $V_{CE} = 0,3V$

31

Já vimos: Exercício 4 Revisitado: O que acontece se V_I for 0V? E se for 4V?



Leis do Transistor FET

S R A A Se $V_{GS} > V_T$ e $V_{DS} > V_{GS} - V_T$
T Ç $I_G \approx 0$
U Á

$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \frac{(V_{GS} - V_T)^2}{2}$$

- O
C
O
R
T
E

Se $V_{GS} < V_T$

$$I_G = I_D = I_S = 0$$

Pa
ra
bó
li
ca
T
R
i
o
D
o
L
i
ne
a
r

Se $V_{GS} > V_T$ e $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = k'_n \frac{W}{L} \left[(V_{GS} - V_T)V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

Se $V_{GS} > V_T$ e $V_{DS} < V_{GS} - V_T$

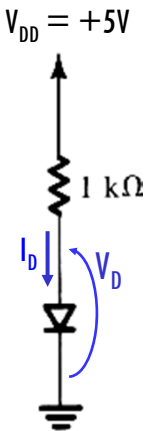
e $V_{DS} < 100mV$

$$I_G \approx 0$$

$$I_D = \frac{V_{DS}}{r_{DS}} \text{ onde } r_{DS} = 1/k'_n \frac{W}{L} (V_{GS} - V_T)$$

Um novo dispositivo: O DIODO

Exercício 4. Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar todas as tensões nodais e todas as correntes nos ramos.



Informações do Dispositivo (DIODO) ????

Informações (leis)

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

Constantes:

$$I_S = 0,69 \times 10^{-12} A$$

$$V_T = 25mV$$

$$2^a \text{ LK : } -5V + 1k \cdot I_D + V_D = 0$$

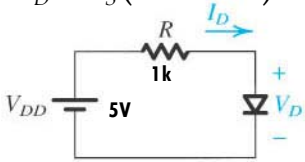
Exercício 4. Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar todas as tensões nodais e todas as correntes nos ramos.

A SOLUÇÃO É ITERATIVA!!!

Considerando valores reais para I_S e V_T verificamos que V_D fica em torno de 0,6~0,7V

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

Se supusermos $I = 1\text{mA}$, $V_{D1} \approx 0,7\text{V}$:



$$I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_{D1}}{R} = \frac{5 - 0,7}{1k} = 4,3\text{ mA}$$

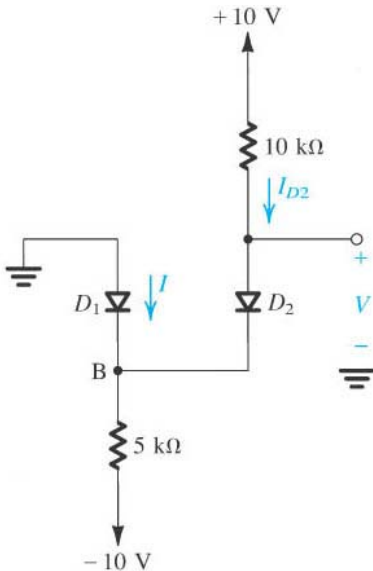
Para $I = 4,3\text{mA}$, qual o novo V_{D2} ?

$$V_{D2} \approx 0,7365 \longrightarrow I_{D3} = \frac{5 - 0,763}{1} = 4,263\text{ mA}$$

$$V_{D3} \approx 0,7363\text{V}$$

Quando se emprega a lei do diodo chamamos a solução de **solução exata**

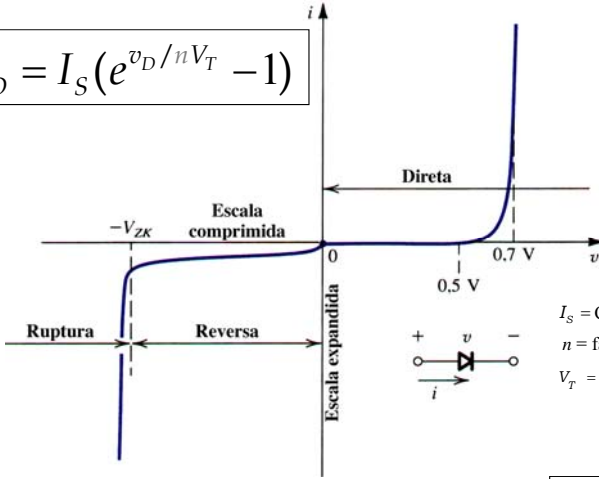
Exercício 5. E se tivermos que analisar o circuito abaixo?



Explorando melhor o comportamento do Diodo

Equação da Corrente no Diodo (lei do diodo):

$$i_D = I_S (e^{v_D/nV_T} - 1)$$



I_S = Corrente de saturação $\approx 10^{-9}$ a 10^{-12} A
 n = fator de idealidade ($1 \leq n \leq 2$)
 $V_T = k T/q$ (Tensão Térmica)
 k = Constante de Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23}$ J/K
 T = Temperatura em kelvin = $(273 + T(^{\circ}\text{C}))$
 q = carga do elétron = $1,6 \times 10^{-19}$ C

$$V_T = 25,8 \text{ mV (} 25^{\circ}\text{C)}$$

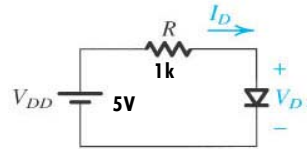
$$V_T = \mathbf{25 \text{ mV}}$$

Explorando melhor o comportamento do Diodo

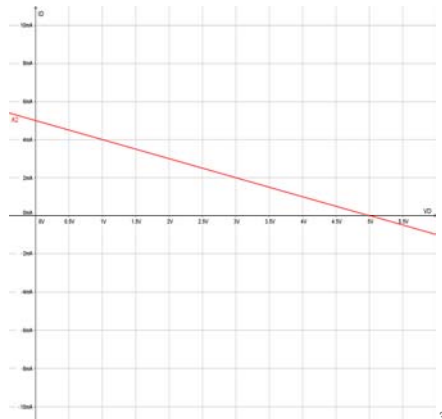
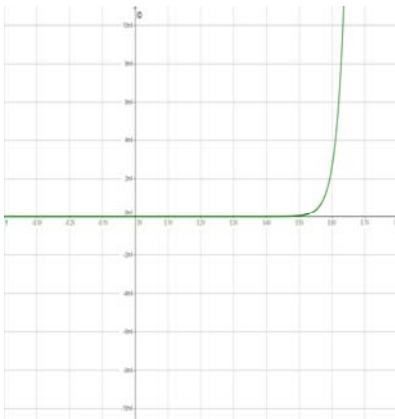
Equação da Corrente no Diodo (lei do diodo):

$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$I_S = 10^{-13}$ A
 $n = 1$
 $V_T = 25 \text{ mV}$



$$I_D = \frac{5V - V_D}{1k\Omega}$$



Explorando melhor o comportamento do Diodo

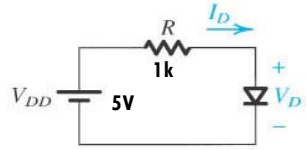
Equação da Corrente no Diodo (lei do diodo):

$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1)$$

$$I_S = 10^{-13} \text{ A}$$

$$n = 1$$

$$V_T = 25 \text{ mV}$$



$$I_D = \frac{5V - V_D}{1k\Omega}$$

Aproximações: $p / V_D < 0,7V \rightarrow I_D = 0$ (silício!)
 $p / I_D > 0 \rightarrow V_D = 0,7V$ (silício!)

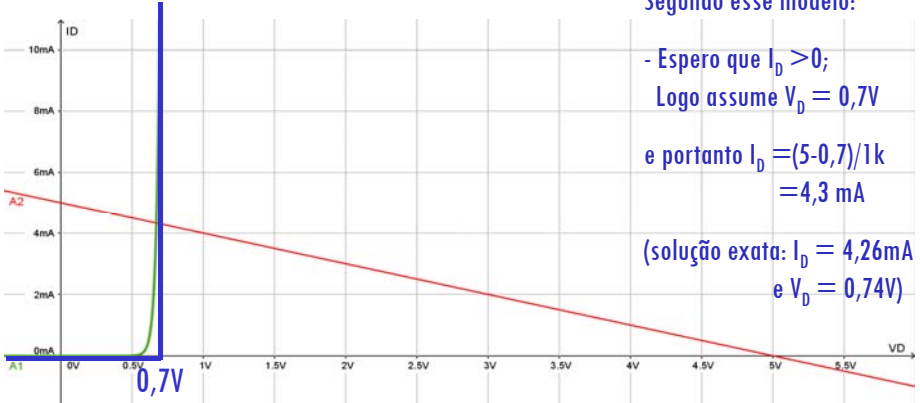
Segundo esse modelo:

- Espero que $I_D > 0$;
 Logo assume $V_D = 0,7V$

$$\text{e portanto } I_D = (5 - 0,7) / 1k$$

$$= 4,3 \text{ mA}$$

(solução exata: $I_D = 4,26 \text{ mA}$
 e $V_D = 0,74V$)



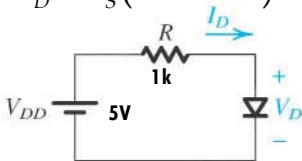
Exercício 4. Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar todas as tensões nodais e todas as correntes nos ramos.

A SOLUÇÃO É ITERATIVA!!!

Considerando valores reais para I_S e V_T verificamos que V_D fica em torno de $0,6 \sim 0,7V$

$$I_D = I_S (e^{V_D/V_T} - 1)$$

Se supusermos $I = 1 \text{ mA}$, $V_{D1} \approx 0,7V$:



$$I_{D2} = \frac{V_{DD} - V_{D1}}{R}$$

$$= \frac{5 - 0,7}{1k} = 4,3 \text{ mA}$$

Para $I = 4,3 \text{ mA}$, qual o novo V_{D2} ?

$$V_{D2} \approx 0,7365 \longrightarrow I_{D3} = \frac{5 - 0,763}{1} = \boxed{4,263 \text{ mA}}$$

$$\boxed{V_{D3} \approx 0,7363V}$$

Quando se emprega a lei do diodo chamamos a solução de **solução exata**

Explorando melhor o comportamento do Diodo

Lei do diodo:

$$I_D = I_S (e^{V_D/nV_T} - 1)$$



Podemos simplificar mais?

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

Aproximação para o Diodo:

$p / V_D < 0,7V \rightarrow I_D = 0$ (silício!)

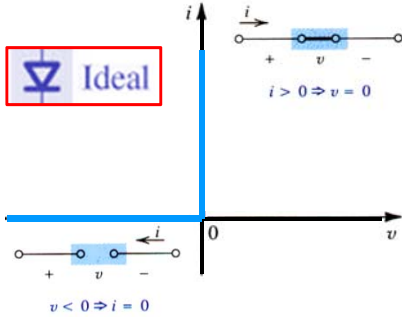
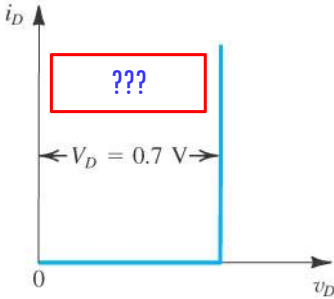
$p / I_D > 0 \rightarrow V_D = 0,7V$ (silício!)

Se $V_{DD} \gg V_D \rightarrow V_D$ desprezível e

$$\therefore V_D \approx 0V$$

$p / V_D < 0,0V \rightarrow I_D = 0$ (silício!)

$p / I_D > 0 \rightarrow V_D = 0,0V$ (silício!)



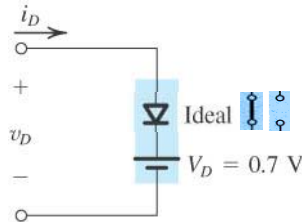
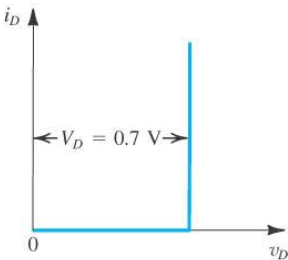
Explorando melhor o comportamento do Diodo

Aproximação para o Diodo:

$p / I_D > 0 \rightarrow V_D = 0,7V$ (silício!)

$p / V_D < 0,7V \rightarrow I_D = 0$ (silício!)

Podemos representar também esse modelo equivalente LINEAR em termos de um circuito equivalente?

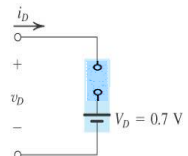
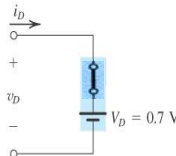


se $V_D \geq 0,7V$

Diodo Ideal = chave fechada

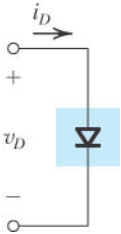
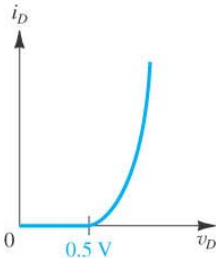
se $V_D < 0,7V$

Diodo Ideal = chave aberta



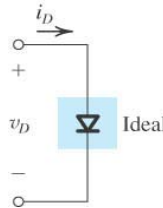
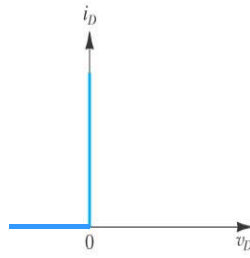
Análise por Modelos Linearizados (CC)

Lei do Diodo (Exponencial)

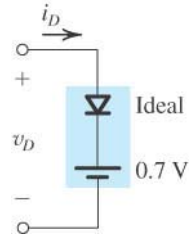
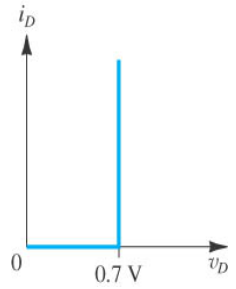


MODELOS CC

Ideal (ou chave aberta, chave fechada)

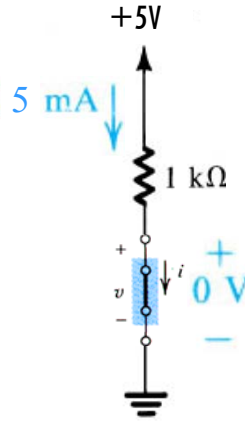
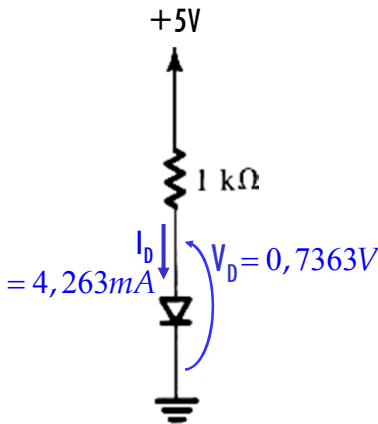


Bateria



42

Exercício 4. Desejamos analisar o circuito abaixo para determinar todas as tensões nodais e todas as correntes nos ramos.



2ª LK : $-5\text{ V} + 1\text{ k}\cdot I_D + V_D = 0$

Lei do Diodo : $I_D = I_S(e^{V_D/V_T} - 1)$

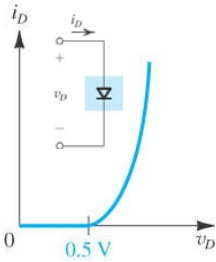
2ª LK : $-5\text{ V} + 1\text{ k}\cdot I_D + V_D = 0$

Modelo do Diodo : Chave Fechada

43

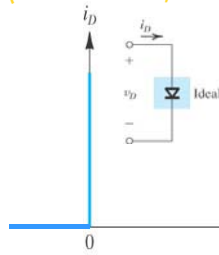
Análise por Modelos Linearizados (CC)

Lei do Diodo (Exponencial)

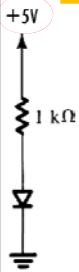
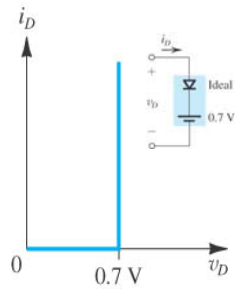


MODELOS CC

Ideal (ou chave aberta, chave fechada)



Bateria



$$I_D = 4,263 \text{ mA}$$

$$V_D = 0,7363 \text{ V}$$

$$I_D = 5,0 \text{ mA}$$

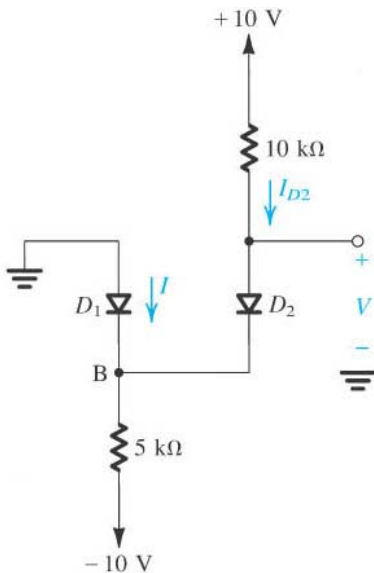
$$V_D = 0,0 \text{ V}$$

$$I_D = 4,3 \text{ mA}$$

$$V_D = 0,7 \text{ V}$$

44

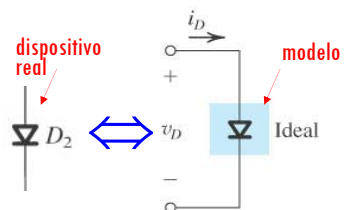
Exercício 5. Voltando ao nosso problema



Resolver usando:

- Lei do Diodo?
- Modelo Diodo Ideal?
- Modelo Bateria?

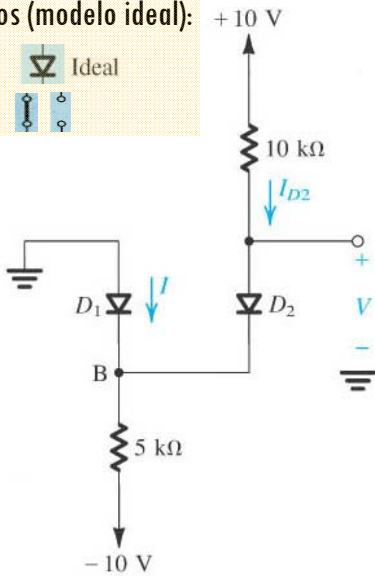
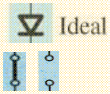
Não complique!!!!



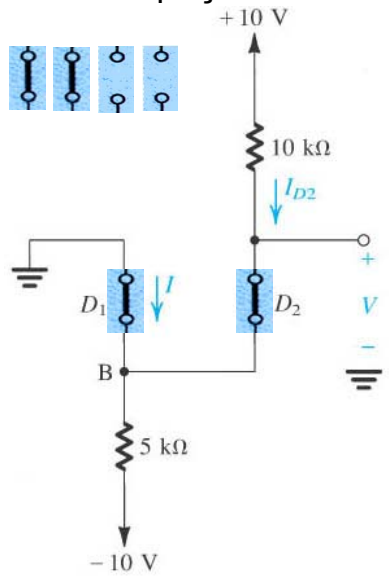
45

Exercício 5. Voltando ao nosso problema

Diodos (modelo ideal):

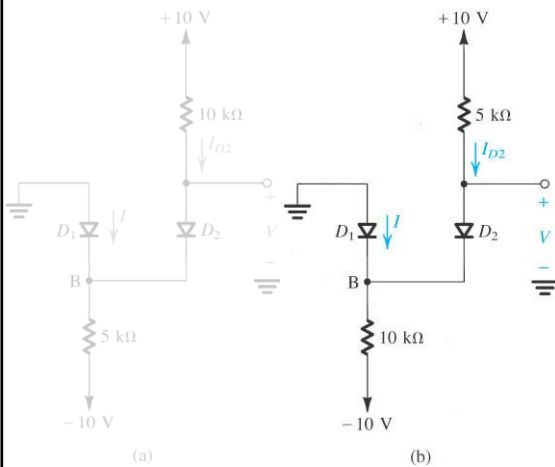


Suposição:

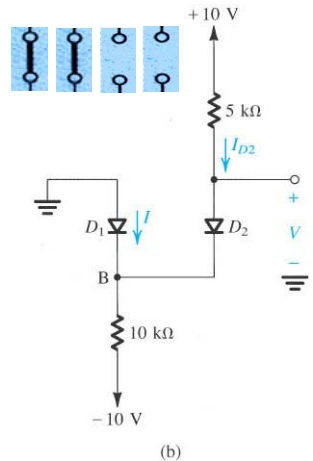


46

Exercício 6. Supondo os diodos ideais, calcule os valores de I e V .



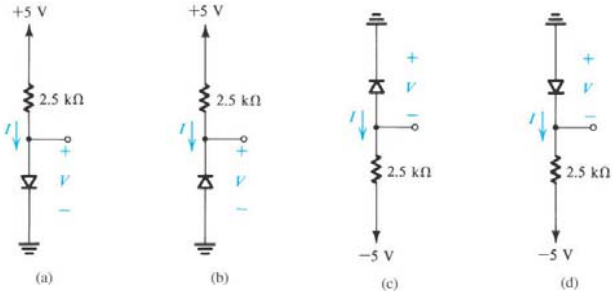
Suposição???



47

Outros Exemplos

I, V ?



Uma aplicação bonita de modelos lineares

Exercício 7. Para o Circuito retificador abaixo e considerando a forma de onda de entrada, desenhe as formas de onda v_O e v_D .

