

Diodos

ECM305 Sistemas Eletrônicos

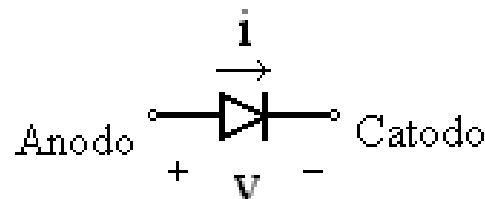
Sergio R. Augusto

Objetivos

- ▶ Apresentar o funcionamento do diodo;
- ▶ Modelos mais comuns: ideal, real, tensão constante e linear por trechos.
- ▶ Análise de circuitos com diodos.
- ▶ Parâmetros importantes e aplicações.

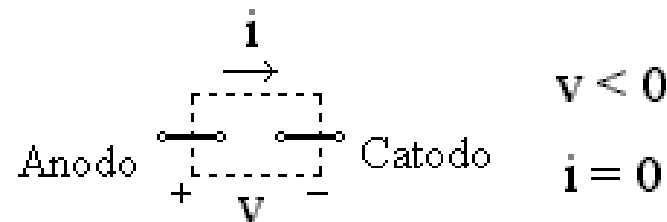
O Diodo Ideal

Simbologia:



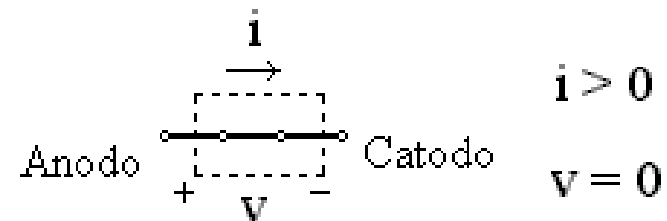
Circuito Equivalente:

Direção reversa:



Circuito aberto

Direção direta:

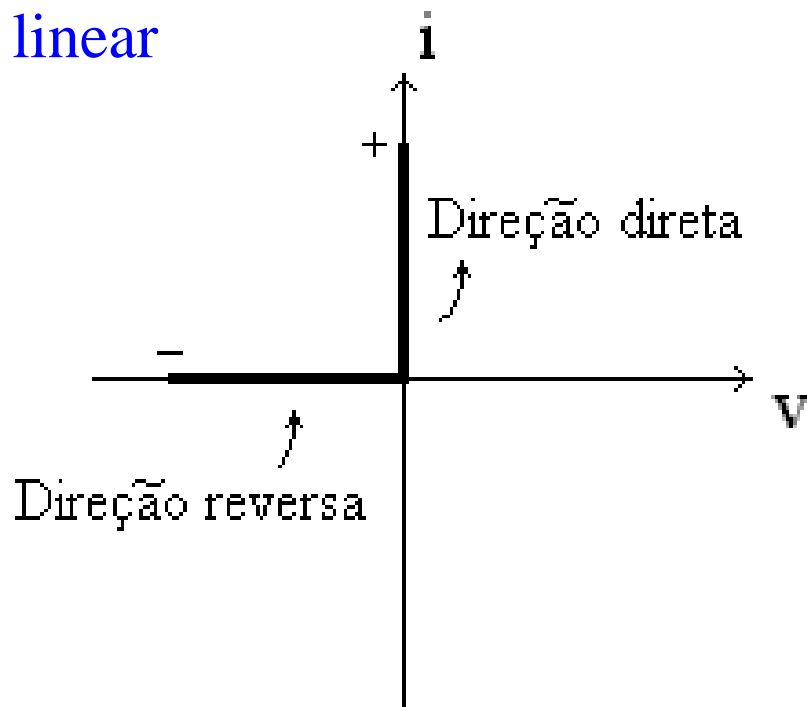


Curto circuito

O Diodo Ideal

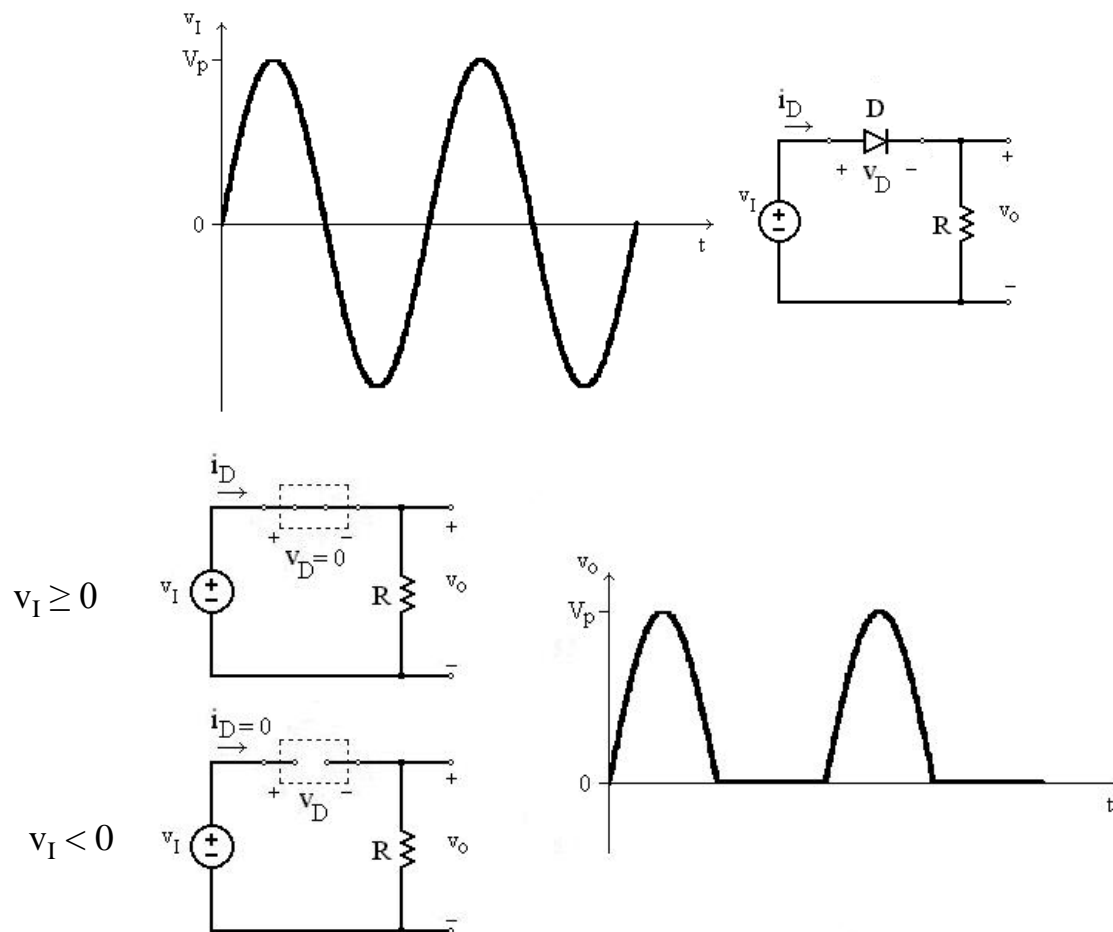
Característica $i \times v$:

Dispositivo não linear



O Diodo Ideal

Exemplo: aplicação como Retificador:



Dispositivos Semicondutores

- Semicondutor: condutividade elétrica entre condutores e isolantes

Condutor

Cobre:

$$\rho \cong 10^{-6} \Omega.\text{cm}$$

Semicondutor

Silício:

$$\rho \cong 50 \times 10^3 \Omega.\text{cm}$$

Isolante

Mica:

$$\rho \cong 10^{12} \Omega.\text{cm}$$

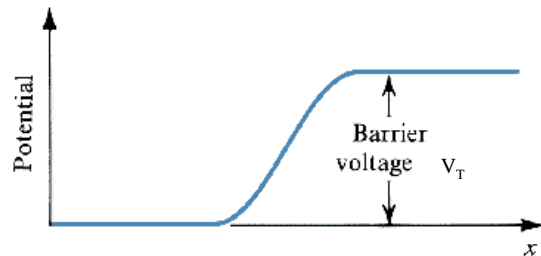
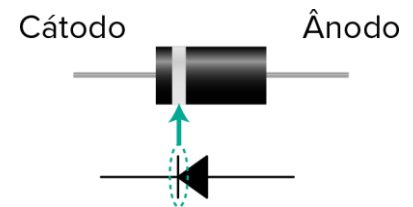
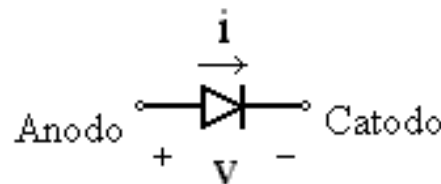
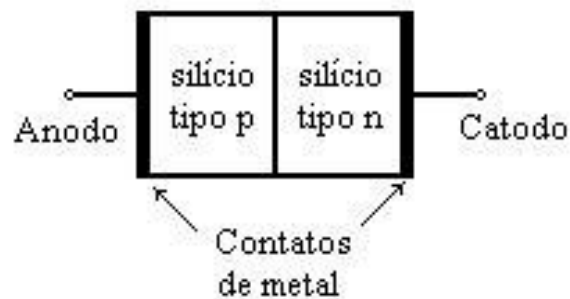
Semicondutor dopado: materias em que elétrons ou lacunas predominam, através da inserção de átomos de impurezas:

Tipo $n \rightarrow$ negativamente carregados (elétrons livres na estrutura do semicondutor))

Tipo $p \rightarrow$ positivamente carregados (falta de elétrons \rightarrow lacunas \rightarrow cargas positivas).

Diodos e junção PN

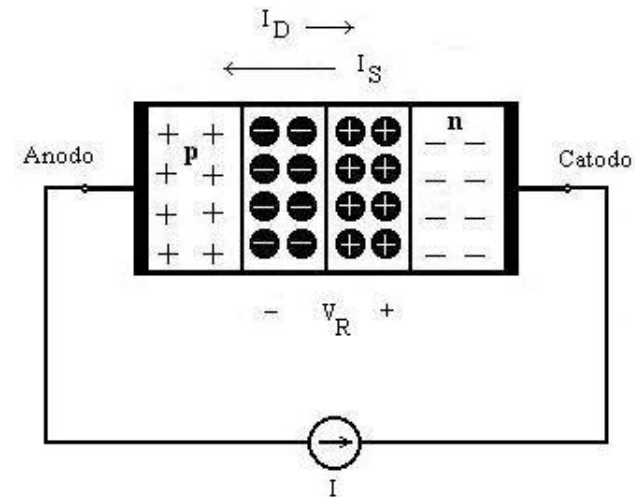
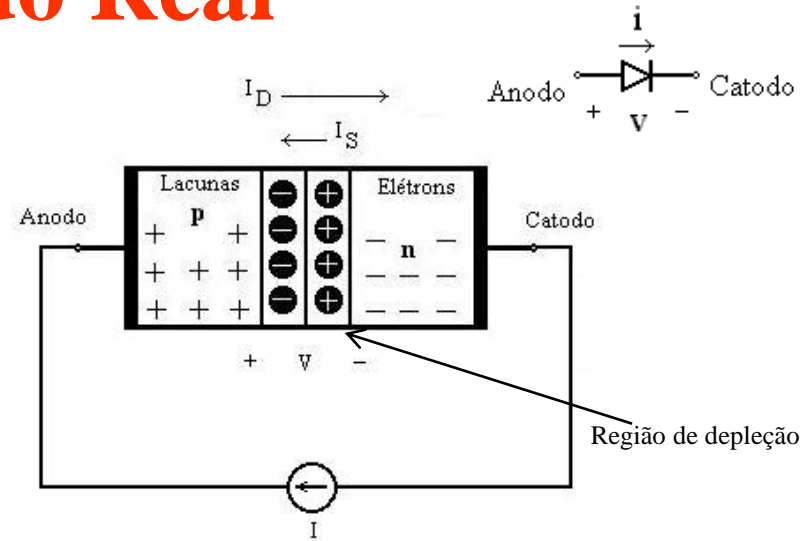
- Os diodos constituem basicamente de um cristal de silício constituído de duas regiões de diferentes dopagens (regiões p e n), formando uma junção pn compactada num mesmo dispositivo e com conexões externas de metal (alumínio).



Polarização da junção PN

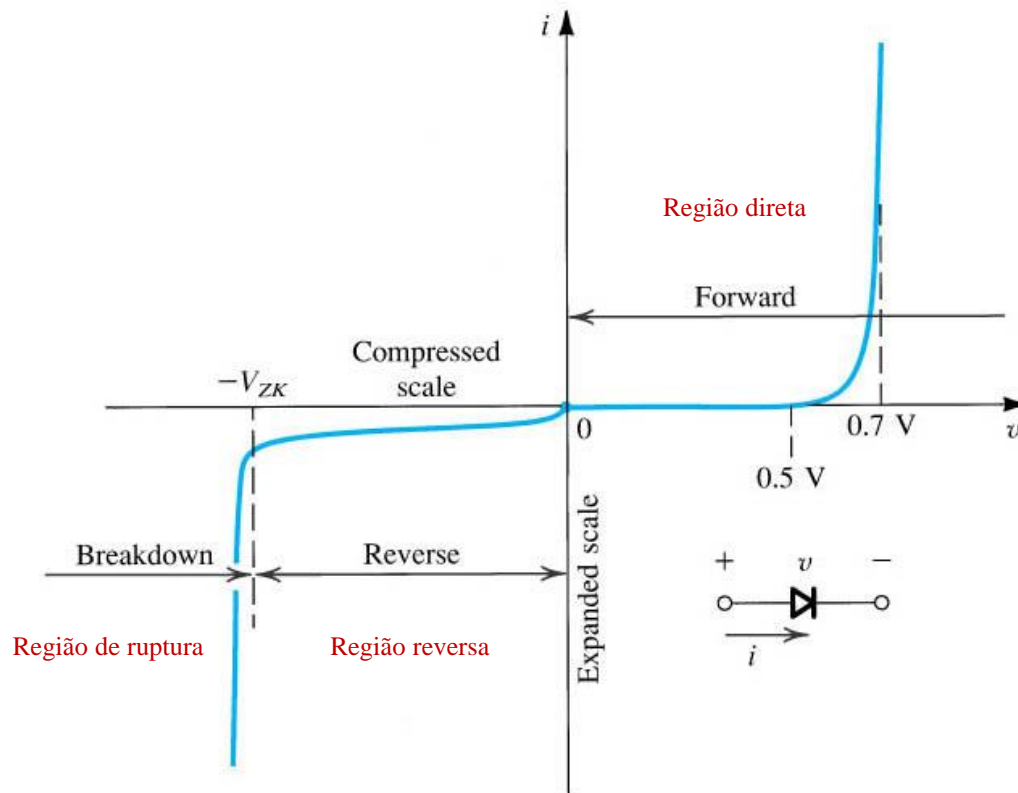
Diodo Real

- **Polarização direta:** energia necessária para vencer a barreira de potencial (V_T ou V_γ).
 $V_T \cong 0,7 \text{ V}$ para diodos silício
- **Polarização reversa:**
Aumento da região de depleção



Característica $i \times v$ – Diodo real

- ▶ A curva característica $i - v$ de diodos de silício apresenta três regiões distintas:
 - Região de polarização direta ($v > 0$)
 - Região de polarização inversa ($v < 0$)
 - Região de ruptura ou zener ($v < V_{ZK}$)



Característica $i \times v$ de Diodos

- ▶ A relação entre i - v de uma junção PN, e portanto de um diodo, é dada aproximadamente por:

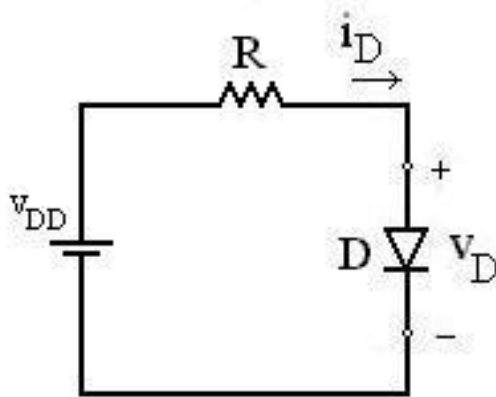
$$i = I_S \left(e^{v / (nV_T)} - 1 \right)$$

- I_S – Corrente de saturação (da ordem de $10e^{-15}A$ para diodos de pequenos sinais)
- V_T – Constante de tensão térmica $\cong 25,2$ mV em $20^\circ C$;
- n – Constante relacionada à estrutura física do diodo (valor entre 1 e 2).
- Na região de polarização direta, para $i \gg I_S$, a equação pode ser aproximada por uma exponencial:

$$i = I_S e^{v / (nV_T)}$$

Calculando corrente e tensão em um circuito com diodo

- ▶ Considere o seguinte circuito da figura abaixo. Determine a corrente I_D e a tensão V_D para o circuito assumindo $V_{DD} = 5\text{ V}$ e $R = 1\text{ K}\Omega$.



- ▶ Considerando $V_{DD} \geq 0,5\text{ V}$, a corrente do diodo $I_D \gg I_S$ e podemos escrever a relação exponencial para o diodo

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

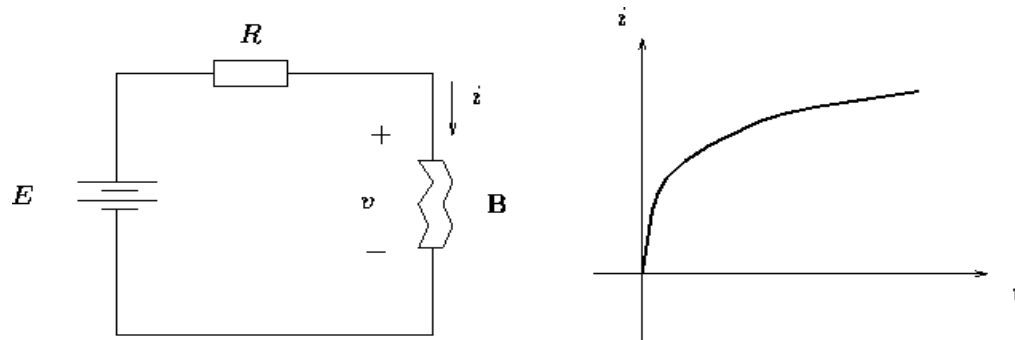
- ▶ Também, a equação de malha (Kirchhoff) para o circuito é dada por:

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

Duas equações e duas incógnitas \rightarrow Sistema não linear \rightarrow análise gráfica ou análise iterativa

Análise Gráfica: Reta de Carga e Ponto de Operação

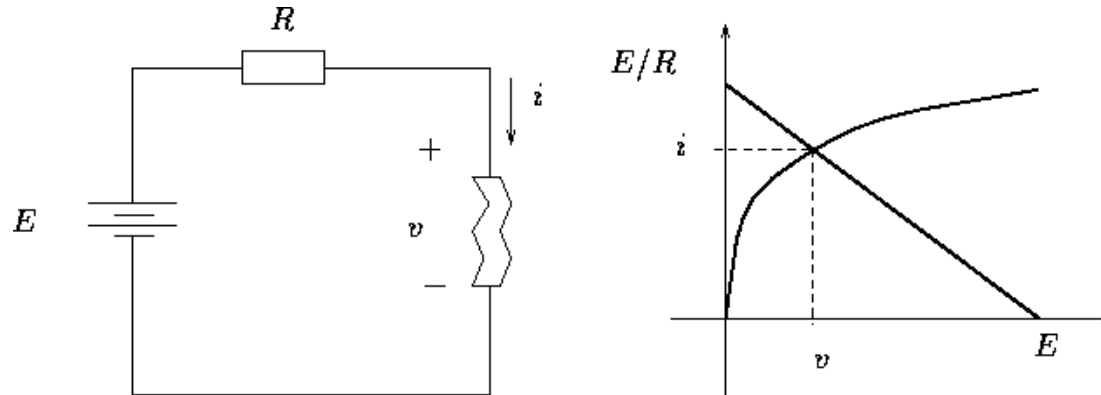
- Considere o circuito abaixo (bipolo B não linear, com característica $v \times i$ indicada):



Para a determinação dos valores de v e i no circuito, é conveniente obter a **reta de carga** definida pela fonte de tensão E e pela resistência R :

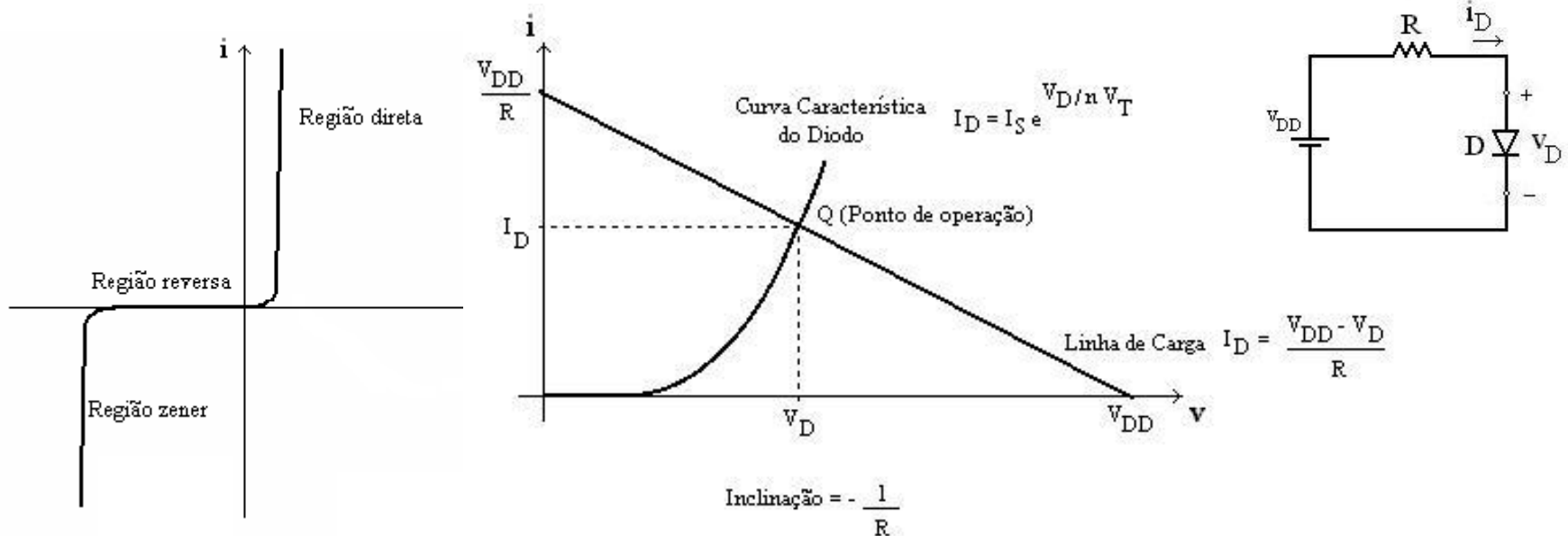
$$v = E - Ri \quad \text{ou} \quad i = \frac{E - v}{R}$$

Traçando esta reta no plano $v \times i$ do bipolo não linear obtém-se o **ponto de operação** do circuito.



Análise Gráfica

- A solução pode ser obtida pelas coordenadas do ponto de intersecção entre a curva característica do diodo e a linha de carga.



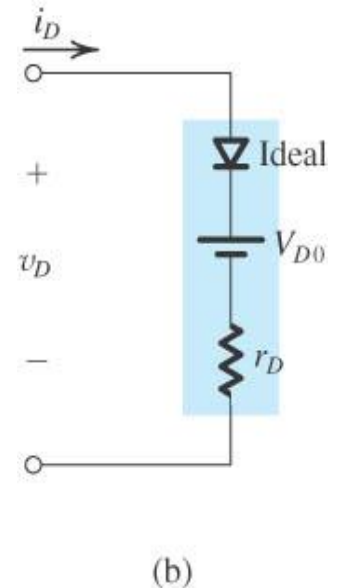
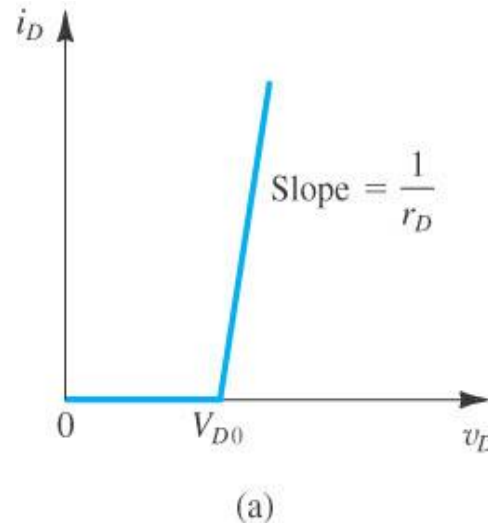
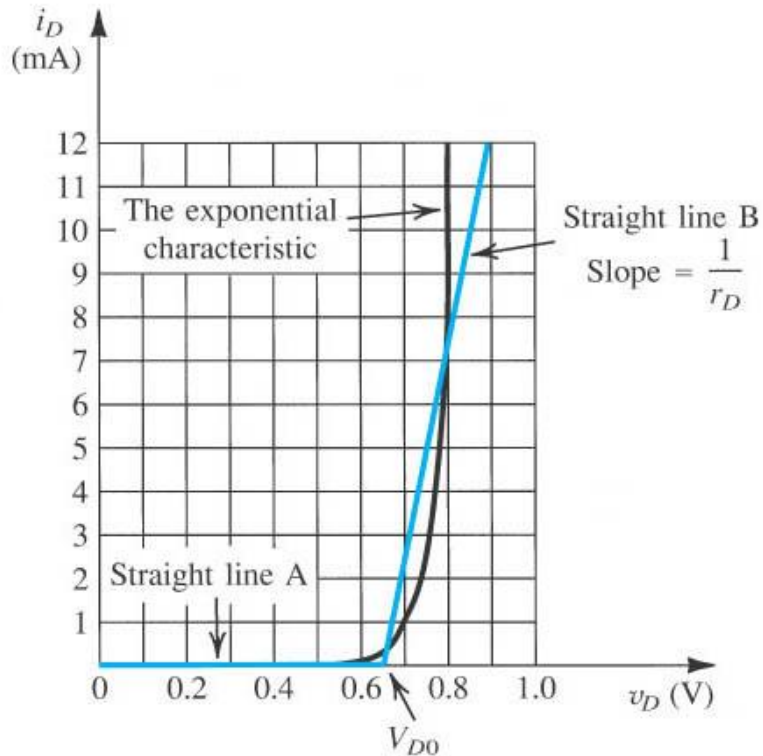
Ponto $Q \Rightarrow I_D = 4,24 \text{ mA}; v_D = 0,76 \text{ V}$

OBS: Se $V_{DD} < 0 \Rightarrow$ Região reversa: $I_D = 0; v_D = V_{DD}$

Modelos Simplificados do Diodo

- Modelo linear por trechos
 - Diodo com V_γ e R_D
- Modelo com queda de tensão constante
 - Diodo com V_γ
- Modelo Diodo ideal

Modelo Linear por Trechos

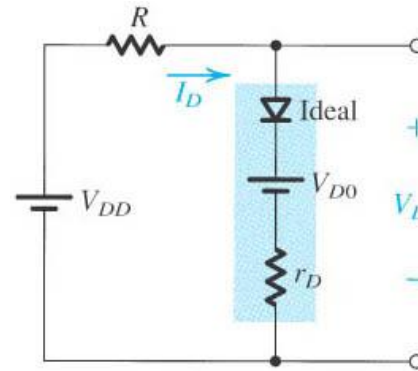
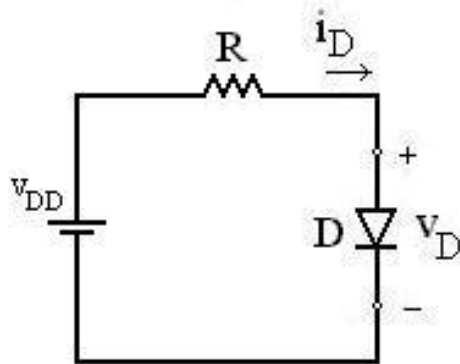


$V_{D0} = V_T$ ou V_γ é aproximadamente 0,7 V (típico)

Para o modelo da figura $V_{D0} = 0,65\text{V}$, $r_d = (0,9\text{V} - 0,65\text{V}) / (12\text{ mA} - 0\text{mA}) \cong 20\ \Omega$

Refazendo o problema usando o modelo linear por trechos

- Determine a corrente I_D e a tensão V_D assumindo $V_{DD}=5\text{ V}$, $R=1\text{ K}\Omega$, $V_{D0}=0.65\text{ V}$ e $r_D = 20\ \Omega$:



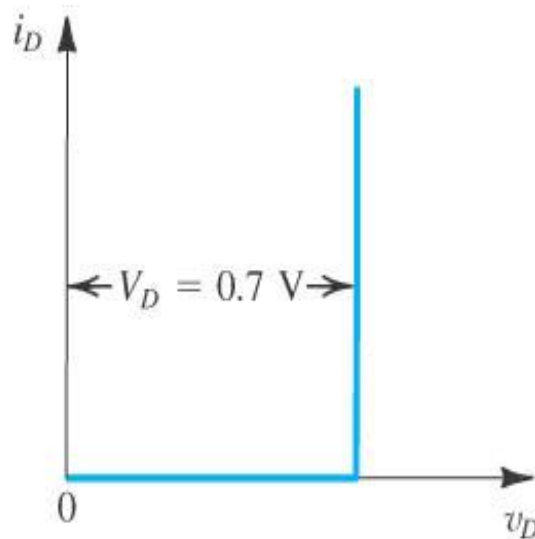
$$I_D = (V_{DD} - V_{D0}) / (R + r_D)$$

$$I_D = (5 - 0,65) / (1 + 0,02) = 4,26\text{ mA}$$

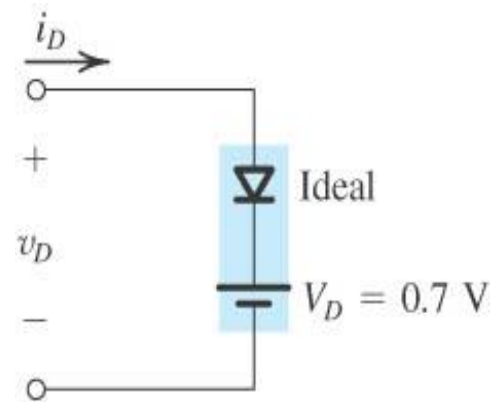
$$V_D = V_{D0} + r_D * I_D = 0,65 + 4,26 * 0.02 = 0,74\text{ V}$$

Próximos aos valores reais usando iteração ou reta de carga

Modelo com queda de Tensão constante V_γ



(a)



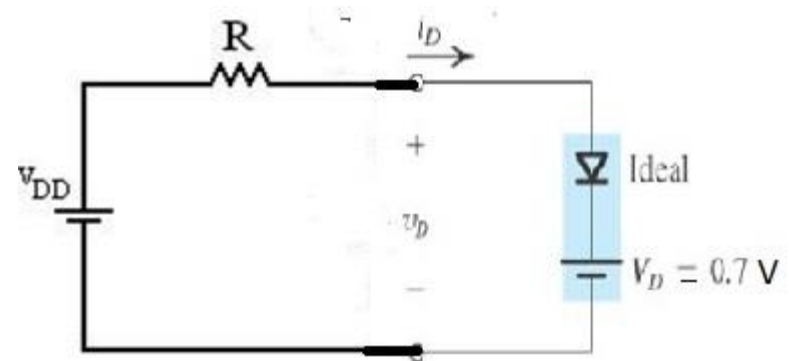
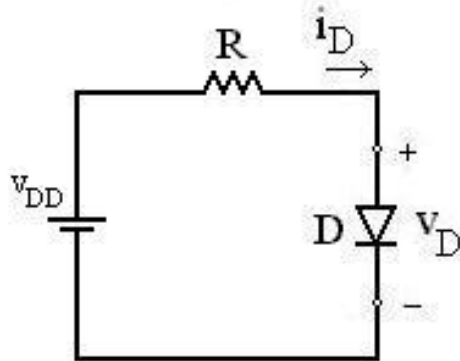
(b)

$V_D = V_T$ ou V_γ é aproximadamente 0,7 V (típico)

OBS: É o modelo mais utilizado na prática

Refazendo o problema usando o modelo com queda de tensão constante

- Determine a corrente I_D e a tensão V_D assumindo $V_{DD}=5\text{ V}$ e $R=1\text{ K}\Omega$,



$$I_D = (V_{DD} - V_D)/R$$

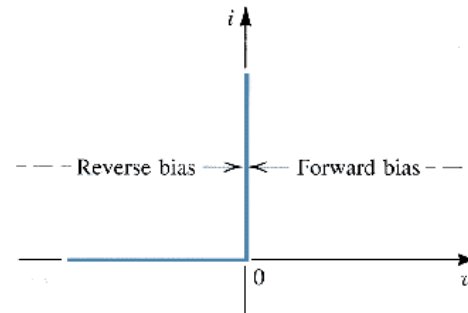
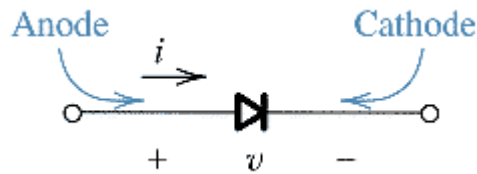
$$I_D = (5 - 0,7)/1 = 4,3\text{ mA}$$

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

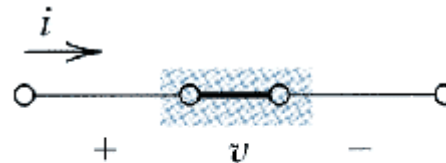
Próximos aos valores obtidos usando modelos mais elaborados!

Modelo Diodo Ideal

- Despreza-se V_γ ($V_\gamma = 0$)

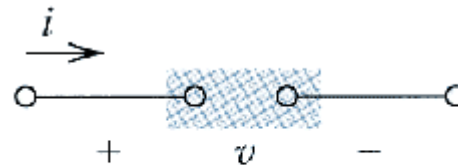


- Polarização direta
- curto circuito



$$i > 0 \Rightarrow v = 0$$

- Polarização reversa
- circuito aberto

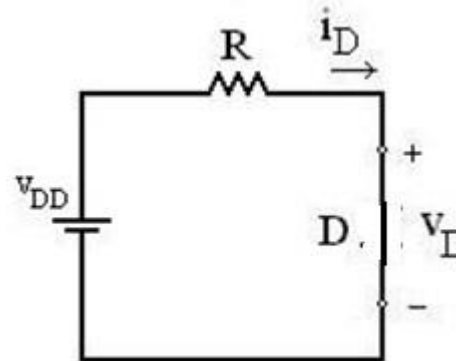
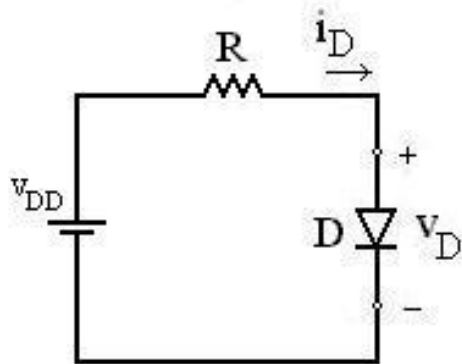


$$v < 0 \Rightarrow i = 0$$

OBS: Usa-se aplicações que envolvem tensões muito maiores que a queda de tensão V_γ do diodo, ou para rápidas análises (por exemplo quais diodos estão conduzindo ou não).

Refazendo o problema usando o modelo ideal do diodo

- Determine a corrente I_D e a tensão V_D assumindo $V_{DD}=5\text{ V}$ e $R=1\text{ K}\Omega$,



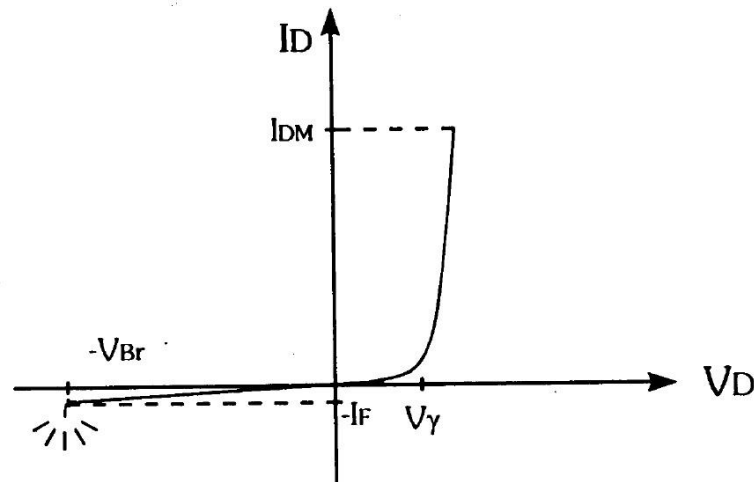
$$I_D = V_{DD} / R$$

$$I_D = 5/1 = 5\text{ mA}$$

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

Para uma análise rápida não é uma estimativa muito ruim

Principais Especificações



•Polarização direta

- Tensão direta (V_D , V_F) ($V_D \geq V_\gamma$)
- Corrente contínua direta máxima (I_{DM})
- Potência máxima de dissipação (contínua) (P_{DM})

$$P_{DM} = V_D * I_{DM}$$

•Polarização reversa

- Tensão reversa máxima (*breakdown*) - (V_{Br})
- Corrente reversa ou de fuga (I_R)

Exemplo Folha de dados Diodo 1N4001

MAXIMUM RATINGS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)									
PARAMETER	SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum repetitive peak reverse voltage	V _{RRM}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum RMS voltage	V _{RMS}	35	70	140	280	420	560	700	V
Maximum DC blocking voltage	V _{DC}	50	100	200	400	600	800	1000	V
Maximum average forward rectified current 0.375" (9.5 mm) lead length at T _A = 75 °C	I _{F(AV)}	1.0							A
Peak forward surge current 8.3 ms single half sine-wave superimposed on rated load	I _{FSM}	30							A
Non-repetitive peak forward surge current square waveform T _A = 25 °C (fig. 3)	t _p = 1 ms	45							A
	t _p = 2 ms	35							
	t _p = 5 ms	30							
Maximum full load reverse current, full cycle average 0.375" (9.5 mm) lead length T _L = 75 °C	I _{R(AV)}	30							μA
Rating for fusing (t < 8.3 ms)	I ² t ⁽¹⁾	3.7							A ² s
Operating junction and storage temperature range	T _J , T _{STG}	- 50 to + 150							°C

1N4001 thru 1N4007

Vishay General Semiconductor



ELECTRICAL CHARACTERISTICS (T _A = 25 °C unless otherwise noted)											
PARAMETER	TEST CONDITIONS		SYMBOL	1N4001	1N4002	1N4003	1N4004	1N4005	1N4006	1N4007	UNIT
Maximum instantaneous forward voltage	1.0 A		V _F	1.1							V
Maximum DC reverse current at rated DC blocking voltage		T _A = 25 °C	I _R	5.0							μA
		T _A = 125 °C		50							
Typical junction capacitance	4.0 V, 1 MHz		C _J	15							pF

- $V_F = 1,1\text{V} @ 1,0\text{A}$

- Corrente contínua direta
máxima $I_{DM} = I_{F(AV)} = 1,0\text{A}$

- Potência contínua máxima
de dissipação (P_{DM})
 $P_{DM} = V_F * I_{DM} = 1,1\text{W}$

- Tensão reversa máxima
(breakdown) - $V_{Br} = V_{DC} = 50\text{V}$

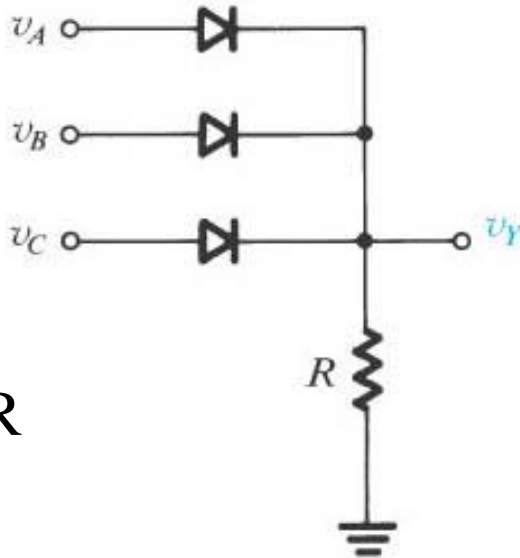
- Corrente reversa ou de fuga
 $I_R = 5\text{ }\mu\text{A} (25^\circ\text{C})$

Exemplos e Aplicações

Lógica

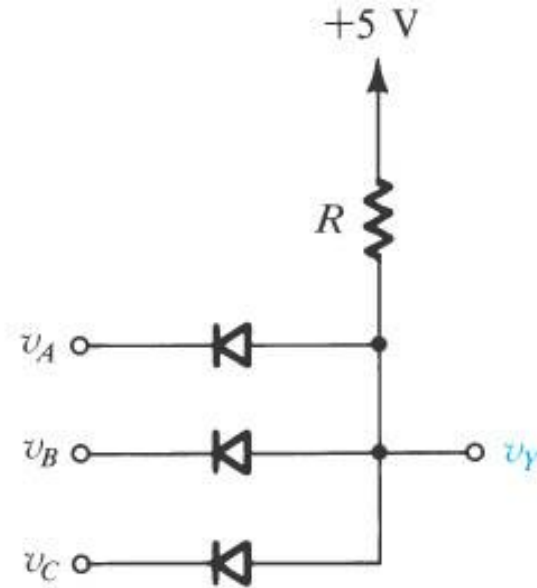
Supondo, v_A , v_B , v_C 0V ('0') ou 5V ('1')

OR



(a)

AND



(b)

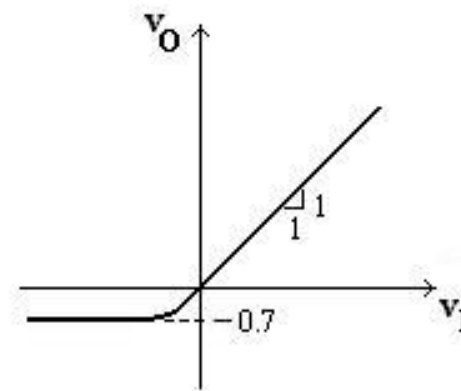
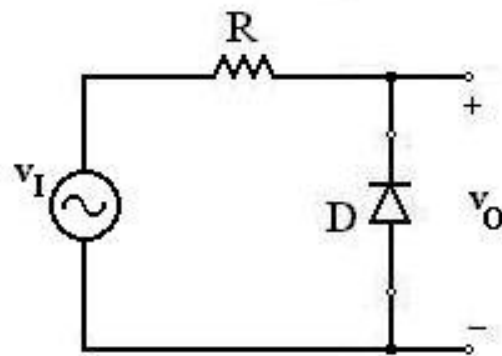
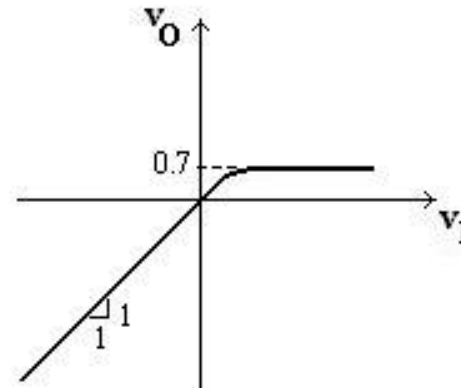
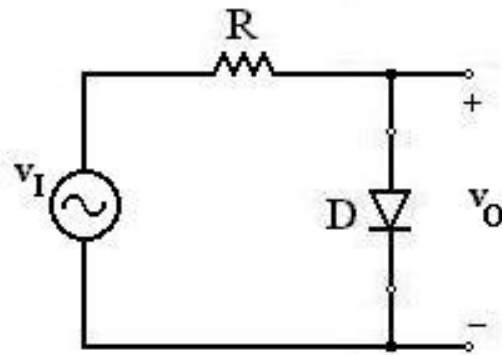
OR \rightarrow SE v_A OU v_B OU $v_C = 5V \rightarrow v_Y = 5V$ ('1')

AND \rightarrow SE v_A E v_B E $v_C = 5V \rightarrow v_Y = 5V$ ('1')

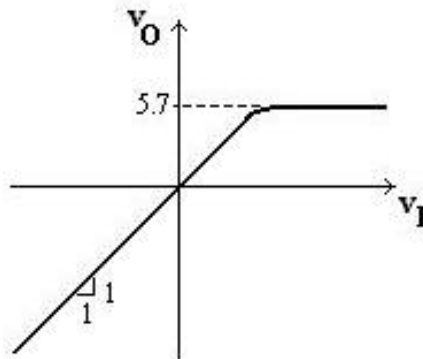
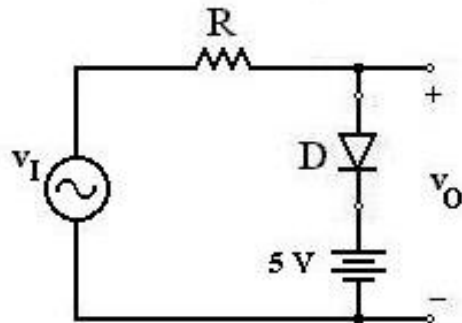
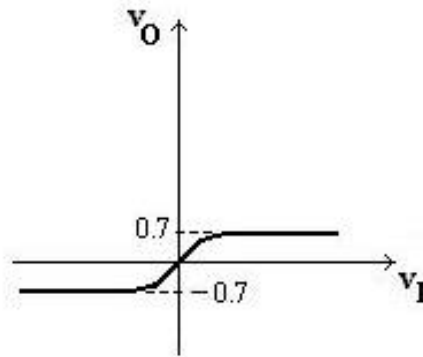
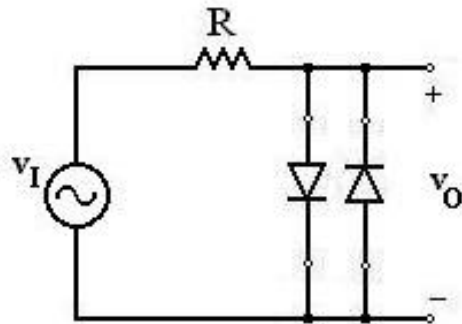
Circuitos Ceifadores (Limitadores)

- ▶ São circuitos a diodo cuja saída aparece como se uma parte do sinal de entrada fosse cortado, podendo incluir no circuito mais de uma fonte.

Circuitos Ceifadores (Limitadores)

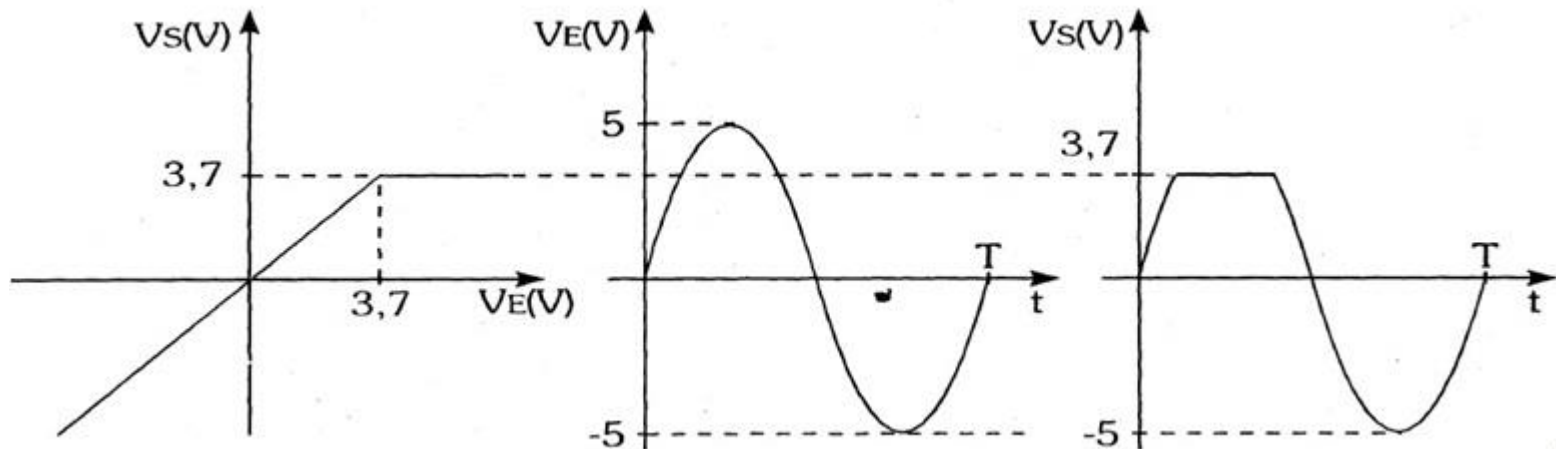
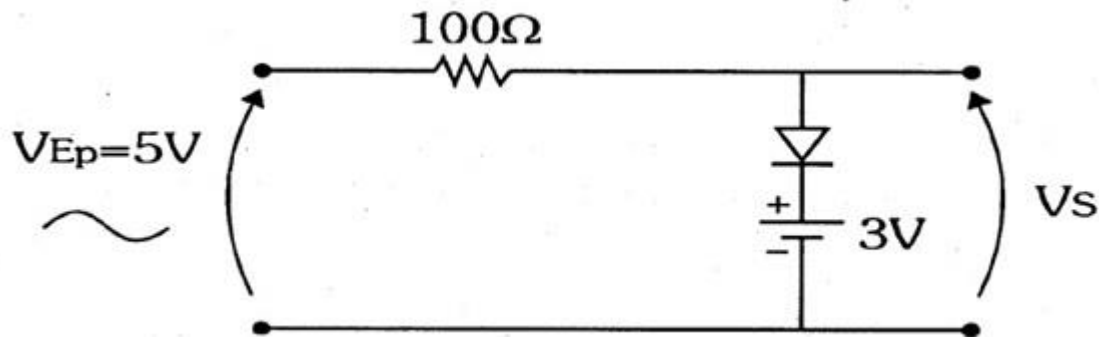


Circuitos Ceifadores (Limitadores)



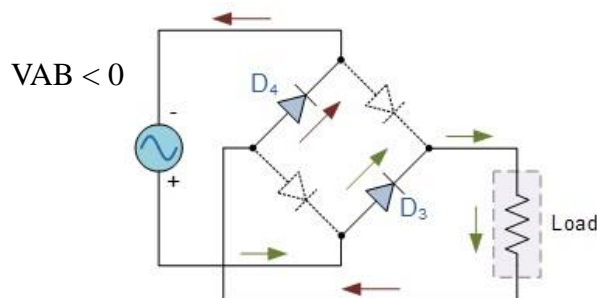
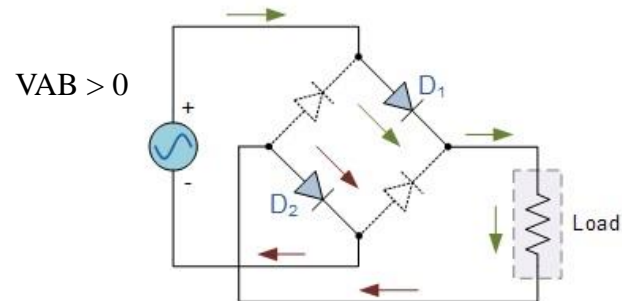
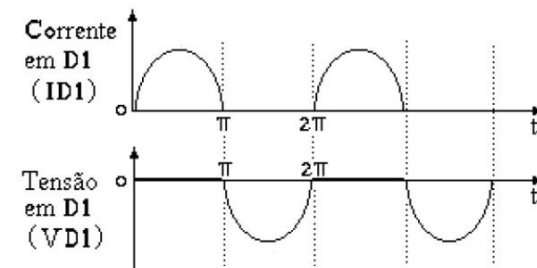
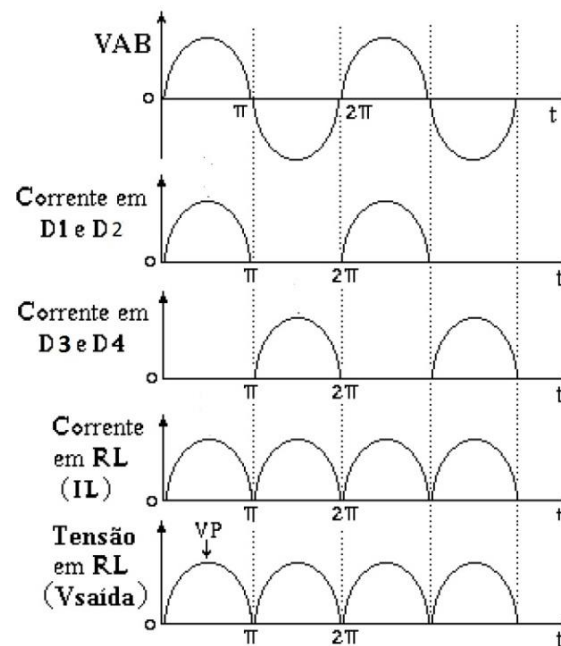
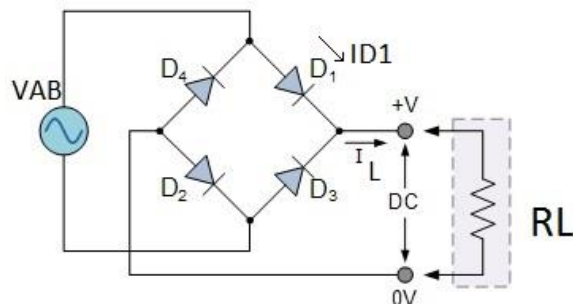
Circuitos Ceifadores (Limitadores)

Determinar a forma de saída V_s para o sinal V_e senoidal com valor de pico 5V, considerando V_γ do diodo.



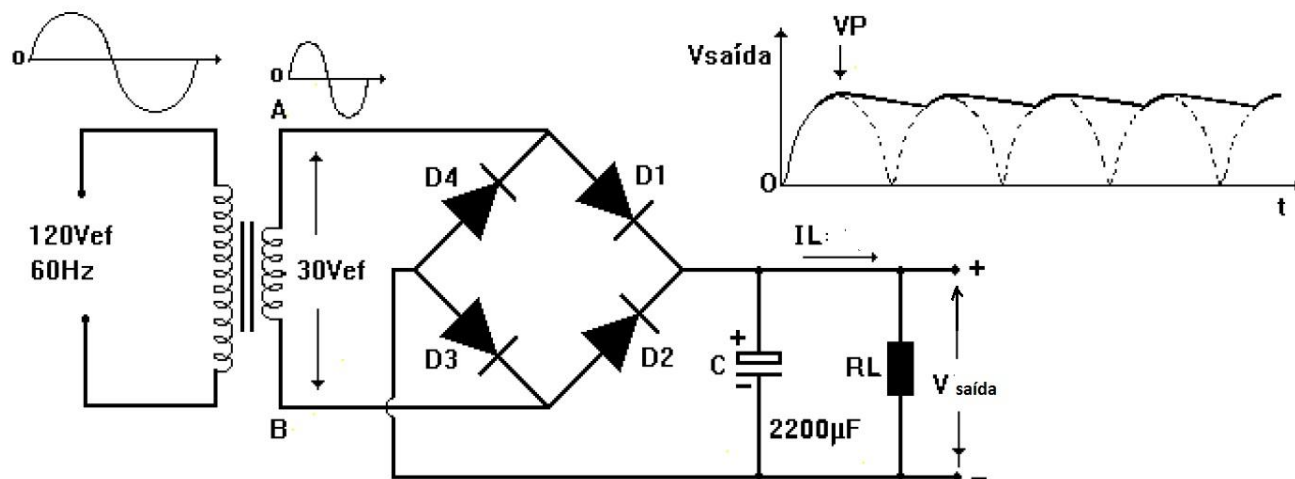
Circuitos Retificadores

- ▶ Retificador de Onda Completa em Ponte
- ▶ Obs: forma de onda considerando diodos ideais.

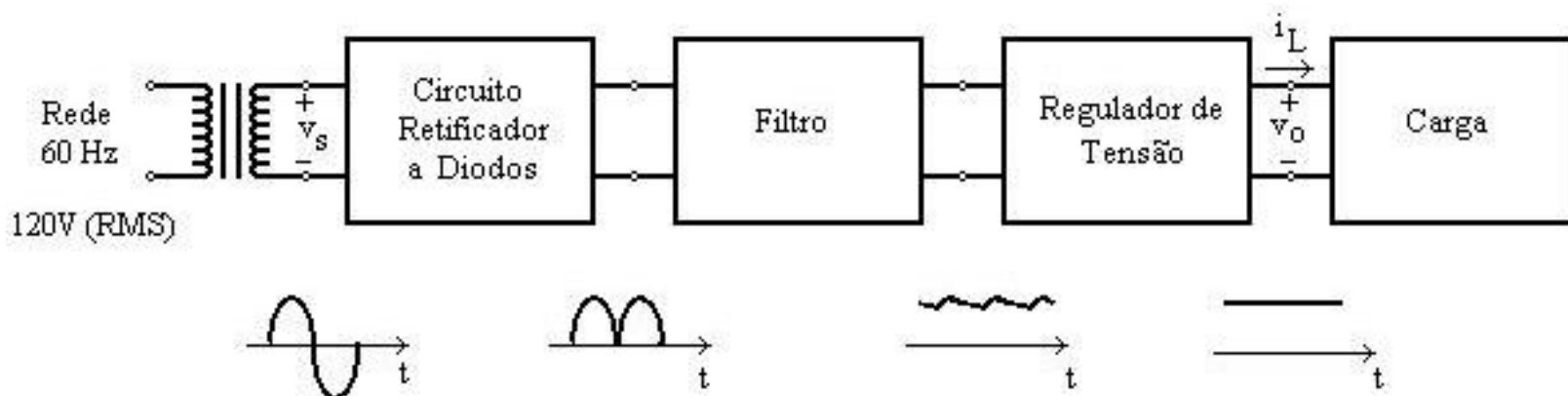


Circuitos Retificadores

► Retificador de Onda Completa em Ponte com Filtro Capacitivo



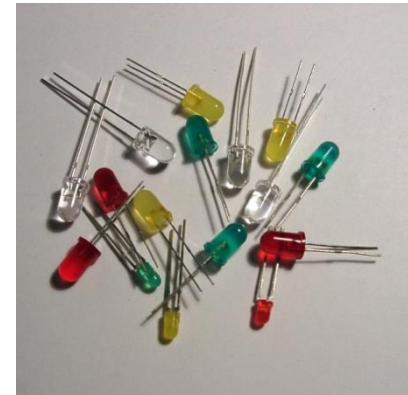
Fonte linear



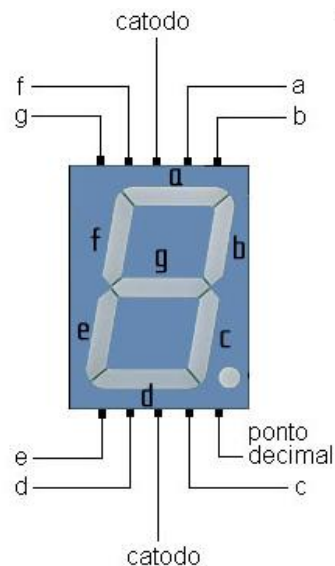
Diodos Emissores de Luz (LED's)

















- ▶ O diodo emissor de luz é um diodo tipicamente fabricado com materiais que emitem fótons suficiente para constituir uma fonte de luz visível quando em polarização direta.

Simbologia:



Display de 7 Segmentos



 pabodefg = 10000001	 pabodefg = 11001111	 pabodefg = 10010010	 pabodefg = 10000110
 pabodefg = 11001100	 pabodefg = 10100100	 pabodefg = 10100001	 pabodefg = 10001111
 pabodefg = 10000000	 pabodefg = 10001100	 pabodefg = 10001000	 pabodefg = 11100000
 pabodefg = 10110001	 pabodefg = 11000010	 pabodefg = 10100001	 pabodefg = 10111000

Tipos:

