

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina

Departamento Acadêmico de Eletrônica

Eletrônica Analógica I



Diodo Emissor de Luz e Diodo Zener

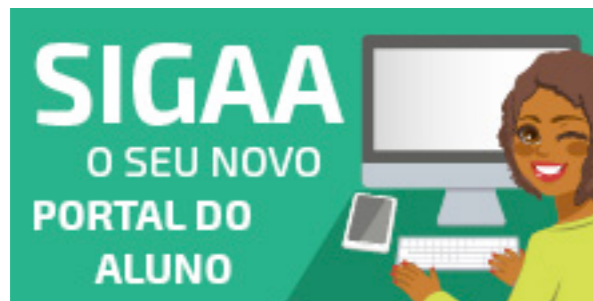
Prof. Clovis Antonio Petry.

Florianópolis, setembro de 2025.

Eletrônica Analógica I

O material do curso está disponível em:

1. SIGAA para os alunos matriculados na disciplina;
2. Página do professor;
3. Canal no youtube do professor.



<https://sigaa.ifsc.edu.br>

ProfessorPetry
Conhecimento para uma vida plena

PRINCIPAL PROJETO PUBLICAÇÕES CONTATO



Bem vindo ao Website pessoal de Clovis Antonio Petry

O objetivo desta página é a divulgação de informações sobre eletrônica, em especial eletrônica de potência. Todos os materiais disponibilizados podem ser livremente utilizados, desde que citados os autores. As disciplinas do semestre corrente podem ser acessadas clicando na imagem da esquerda abaixo. Material didático pode ser encontrado clicando na imagem da direita abaixo.



Eventos

Outubro, 2020
SNCT 2020
Semana Nacional de Ciência e Tecnologia 2020, Florianópolis, SC.
[Acesse...](#)

Setembro, 2020
COBENGE 2020
XLVIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE) e III Simpósio Internacional de Educação em Engenharia da ABENGE, Bento Gonçalves, RS. [Acesse...](#)

www.ProfessorPetry.com.br



<https://www.youtube.com>

Agenda

Esta aula está organizada em:

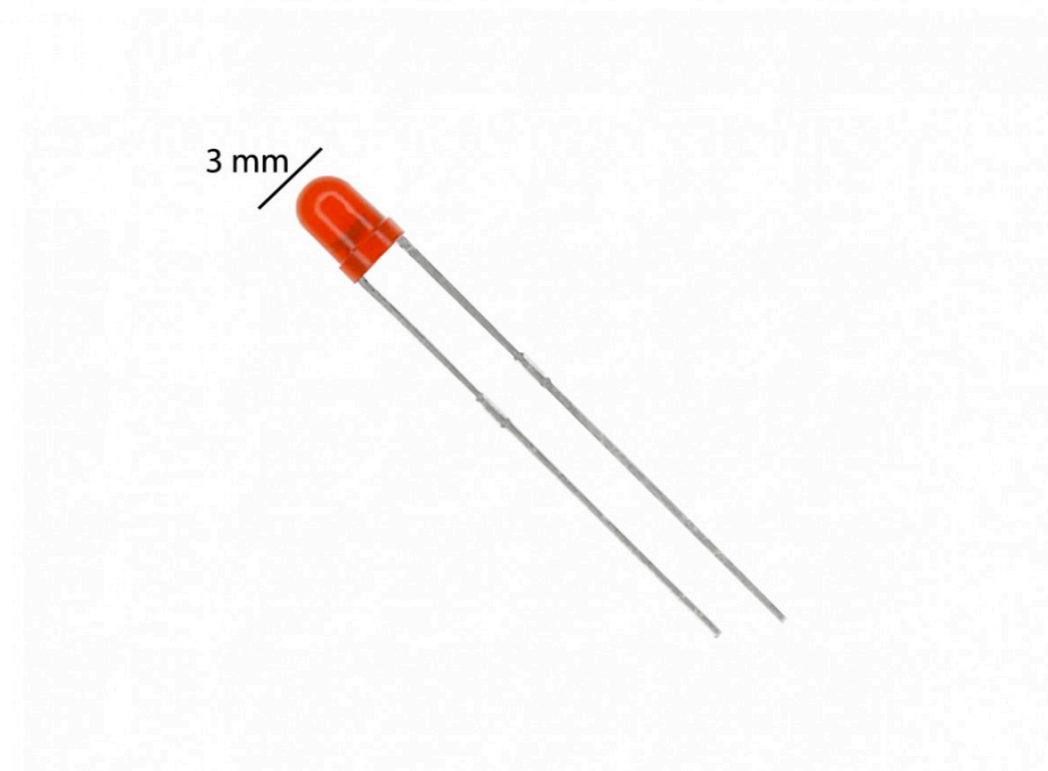
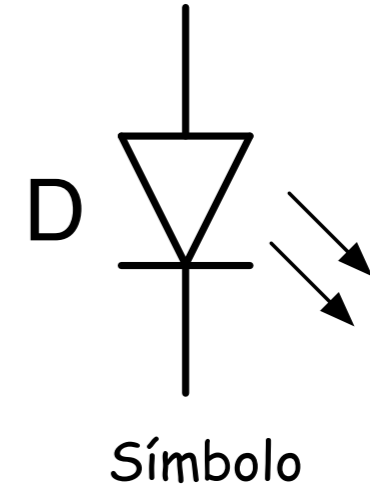
1. Diodo emissor de luz (LED);
2. Diodo zener;
3. Regulador de tensão com diodo zener.



Diodos emissores de luz (LEDs)

Diodo emissor de luz:

- Eletroluminescência - processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia;
- Diodo que emite luz na faixa visível ou infravermelho;
- Utilizados para sinalização;
- Podem ser agrupados formando displays, por exemplo;
- Disponíveis em diferentes cores e tamanhos.



Aspectos físicos

Diodos emissores de luz (LEDs)

Diodo emissor de luz (história):

- O diodo emissor de luz (LED) foi criado em 1927 pelo russo Oleg Losev;
- O LED funcional na cor vermelha foi desenvolvido em 1962 nos EUA por Nick Holonyak;
- A seguir foi desenvolvido o LED verde em 1969 na Monsanto;
- A cor azul, que permitiria a obtenção da cor branca, foi estudada ao longo dos anos 80 e 90, com significativa contribuição do japonês Shuji Nakamura.



Primeiros diodos emissores de luz

Diodos emissores de luz (LEDs)

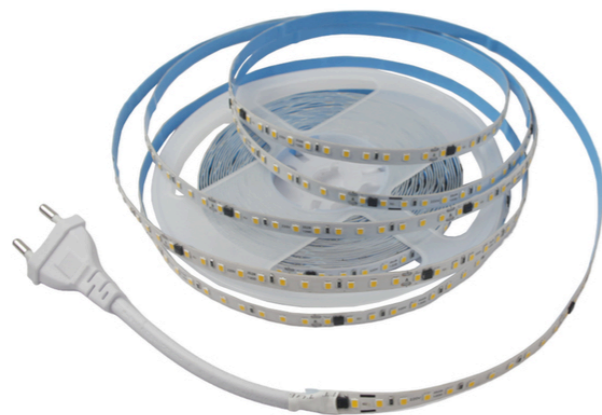
Diodo emissor de luz (aplicações):



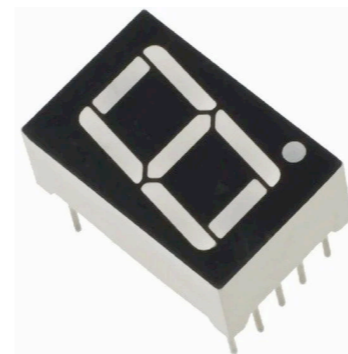
Sinalização



Iluminação



Decoração



Display de 7 segmentos



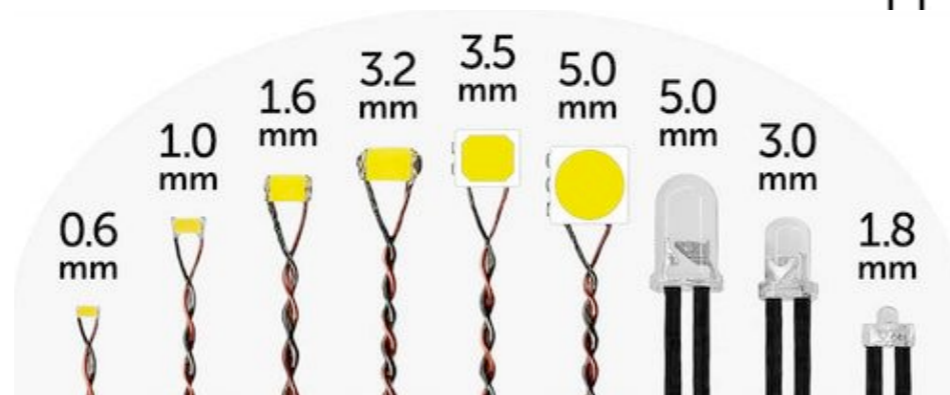
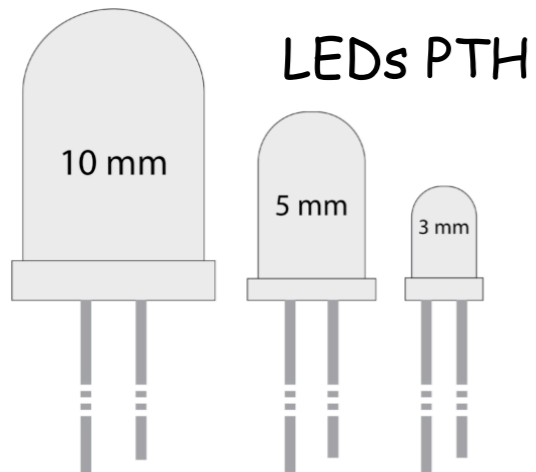
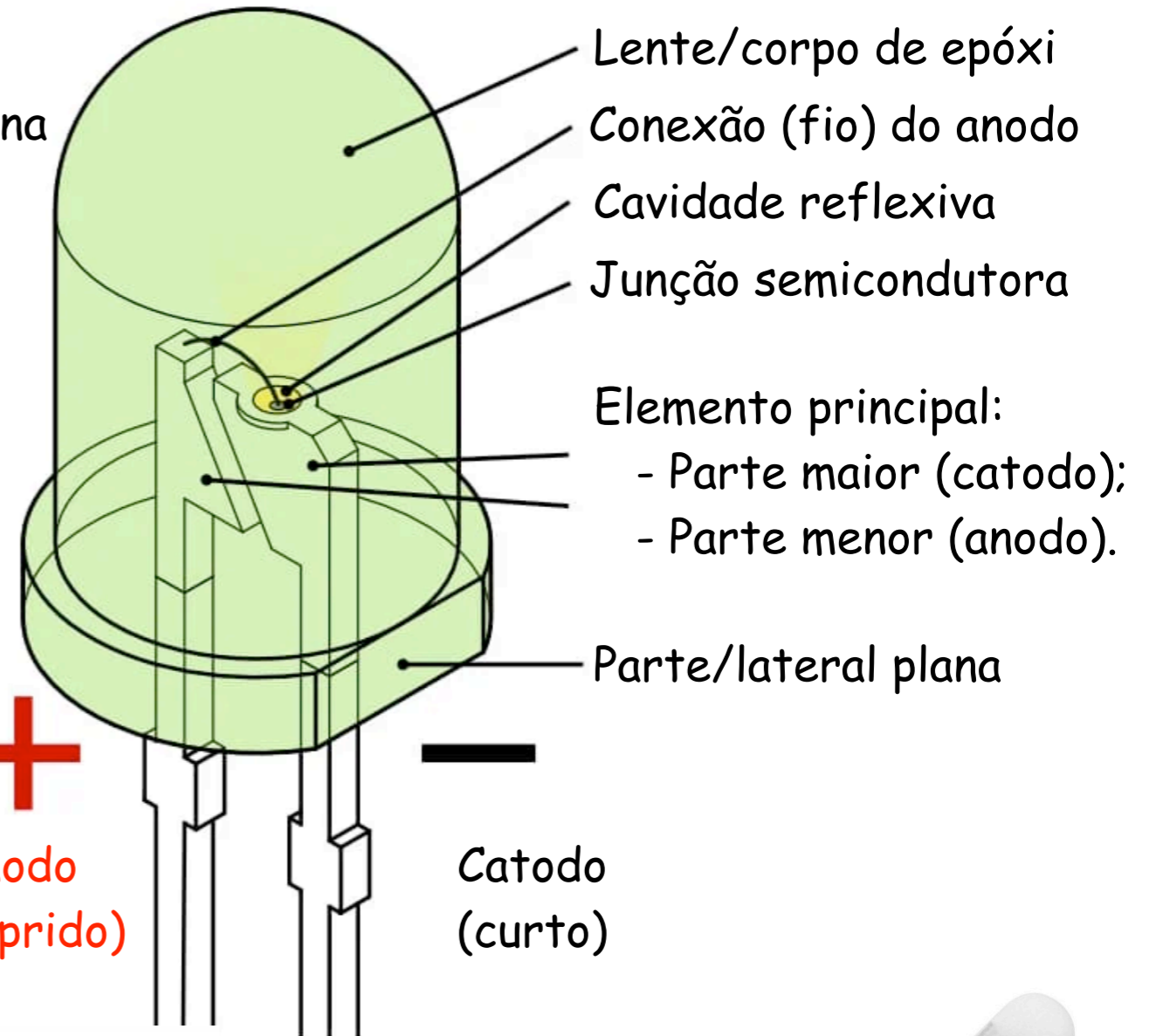
Diodos emissores de luz (LEDs)

Diodo emissor de luz:



Cores de LEDs

Construção interna



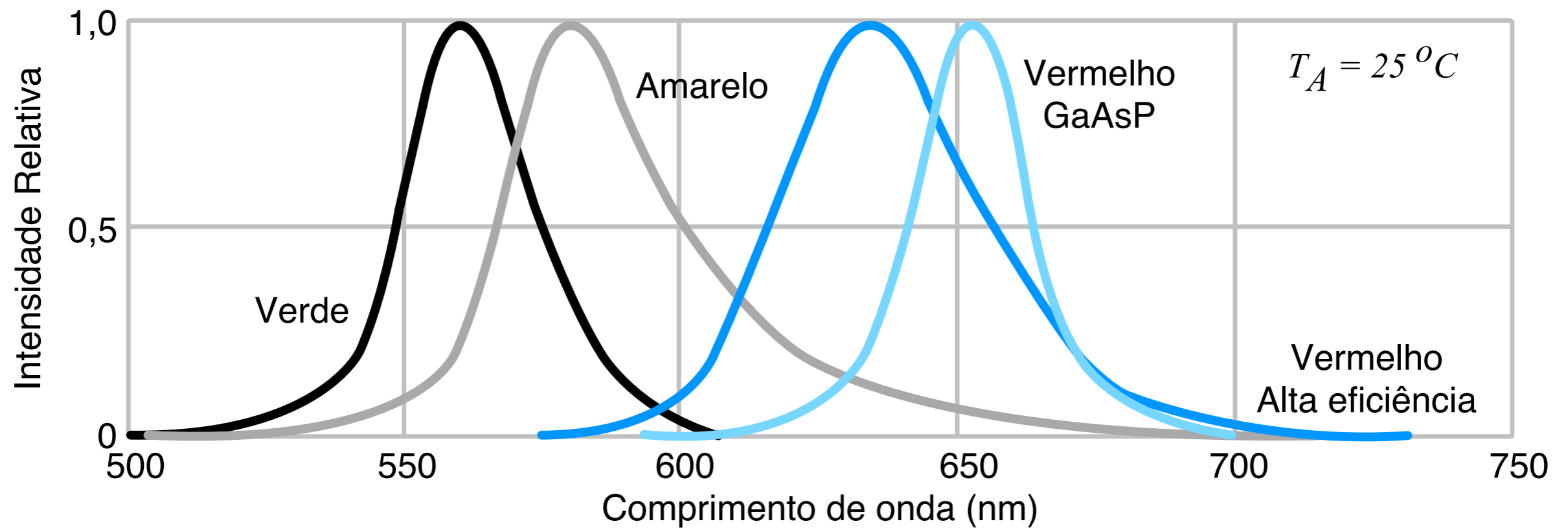
Tamanho de LEDs



Diodos emissores de luz (LEDs)

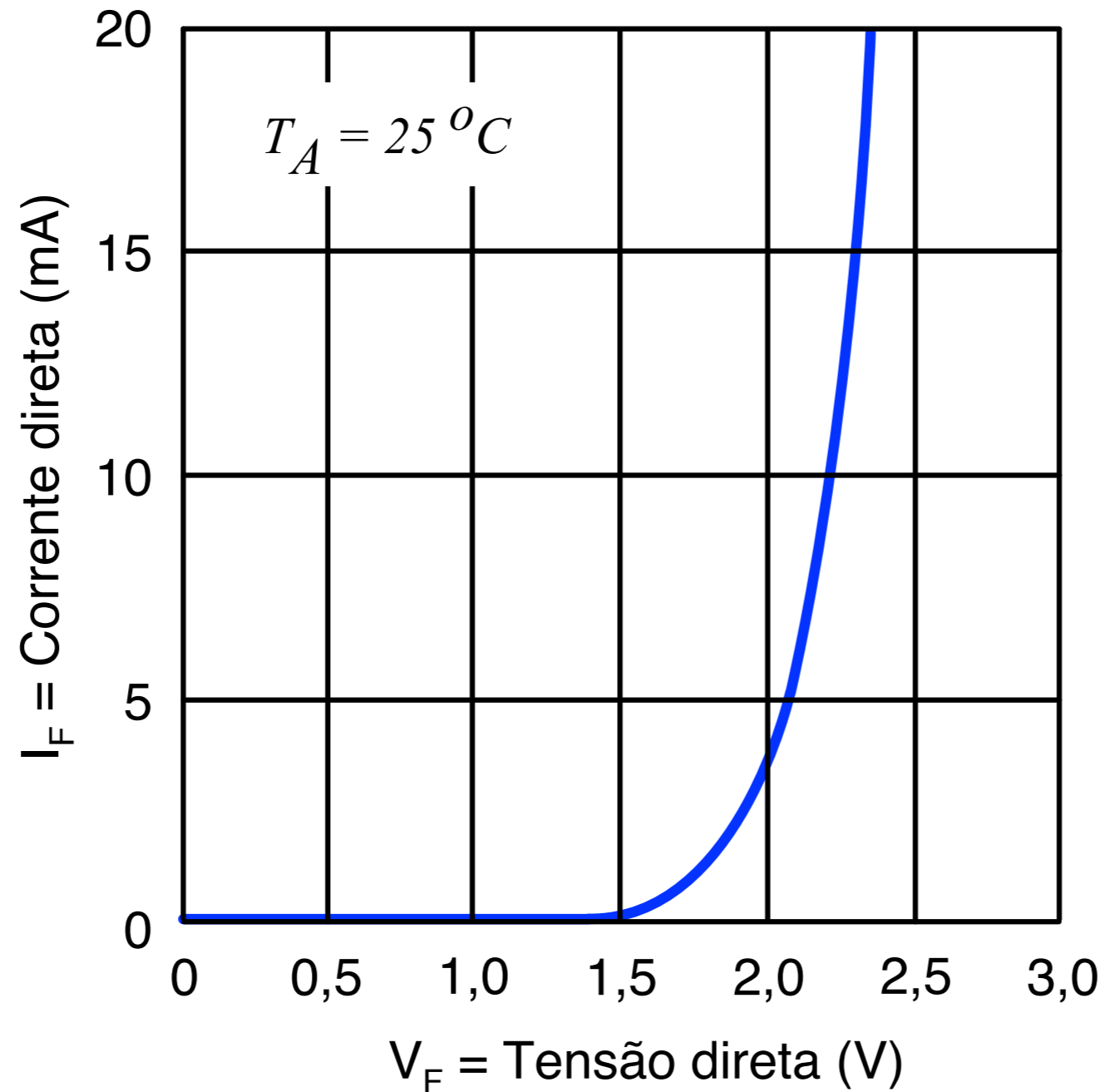
Comprimentos de onda da luz emitida pelo LED:

GaAsP = fosfato de arseneto de gálio



Diodos emissores de luz (LEDs)

Corrente direta versus tensão direta para LED miniatura:



Diodos emissores de luz (LEDs)

Principais informações técnicas para LEDs:

Standard LED

Red Emitting Colour



Absolute Maximum Ratings at $T_a = 25^\circ\text{C}$

Parameter	Maximum	Unit
Power Dissipation	80	mW
Peak Forward Current (1/10 Duty Cycle, 0.1 ms Pulse Width)	100	mA
Continuous Forward Current	20	
Derating Linear From 50°C	0.4	mA / °C
Reverse Voltage	5	V
Operating Temperature Range	-25°C to +80°C	
Storage Temperature Range	-40°C to +100°C	
Lead Soldering Temperature (4 mm (0.157) Inches from Body)	260°C for 5 s	

Corrente direta 

Electrical Optical Characteristics at $T_a = 25^\circ\text{C}$

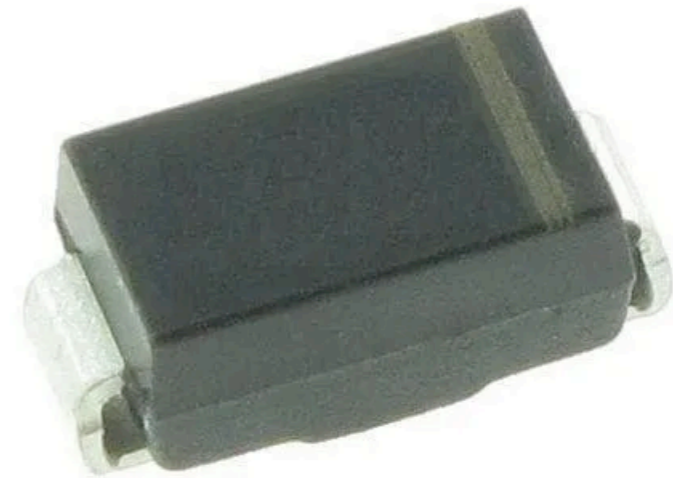
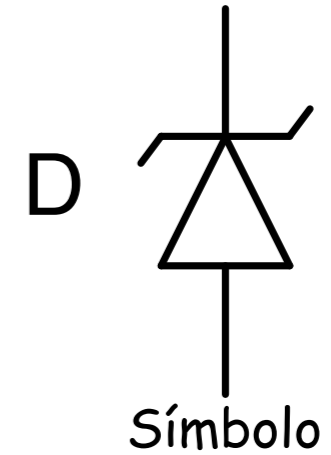
Parameter	Symbol	Minimum	Typical	Maximum	Unit	Test Condition
Luminous Intensity	I_v		40		mcd	$I_f = 20 \text{ mA}$ (Note 1)
Viewing Angle	$2\theta_{1/2}$		25		Deg	(Note 2)
Peak Emission Wavelength	λ_p		640		nm	$I_f = 20 \text{ mA}$
Dominant Wavelength	λ_d		635		nm	$I_f = 20 \text{ mA}$ (Note 3)
Spectral Line Half-Width	$\Delta\lambda$		25		nm	$I_f = 20 \text{ mA}$
Forward Voltage	V_f		2	2.5	V	$I_f = 20 \text{ mA}$
Reverse Current	I_R	-	-	100	μA	$V_R = 5 \text{ V}$

Tensão direta 

Diodos zener

Diodo zener:

- Diodo para operação na região reversa;
- Empregado como referência de tensão;
- Possibilita a implementação de circuitos reguladores de tensão;
- Disponibilizado para diversas tensões e potências.

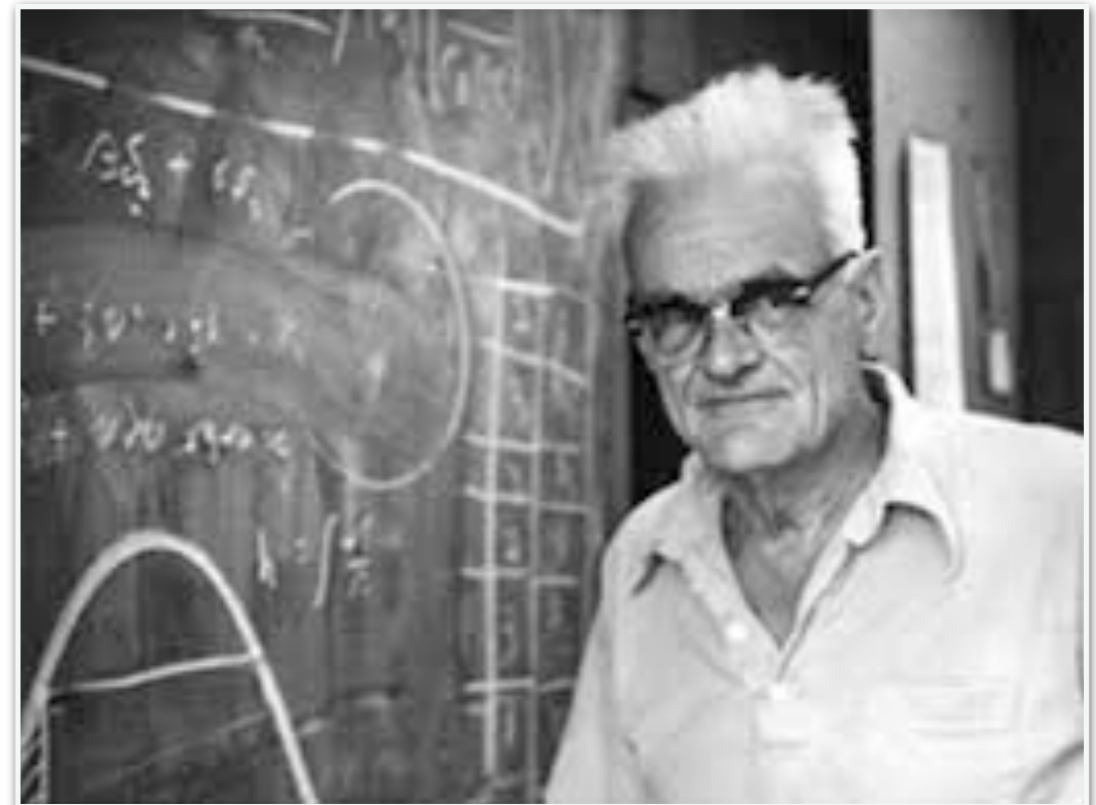
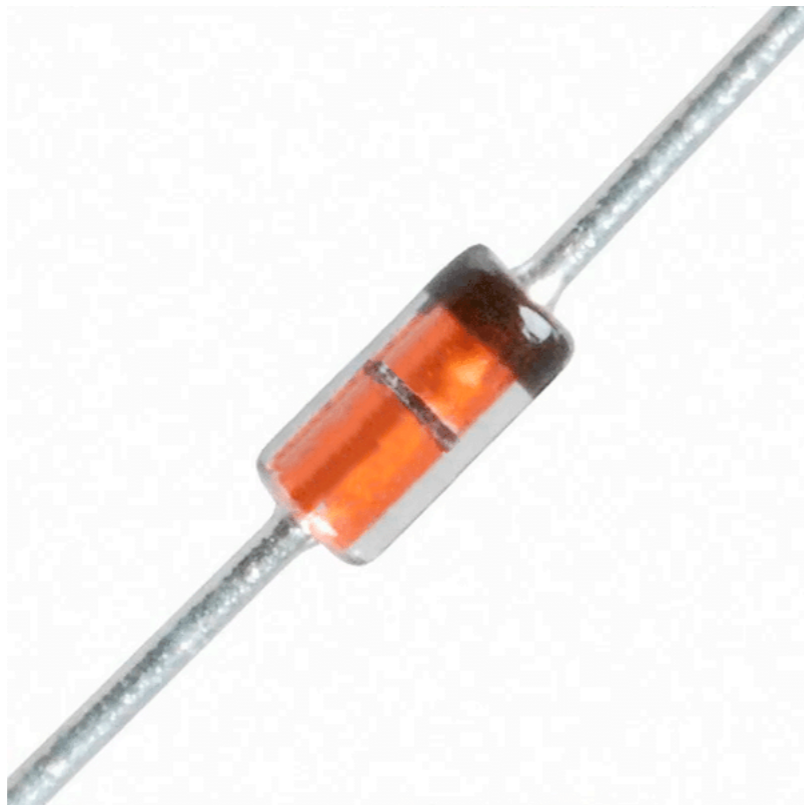


Aspectos físicos

Diodos zener

Diodo zener (história):

- O efeito de ruptura, como efeito zener, foi descoberto em 1932 nos laboratórios da Bell, nos EUA, por Clarence Zener;
- Continuando os estudos e trabalhos na área, em 1950 foi desenvolvido o diodo zener para uso prático.



Pesquisador Clarence Zener

Diodos zener

Diodo zener (aplicações):



Fontes de alimentação



Carregadores de baterias



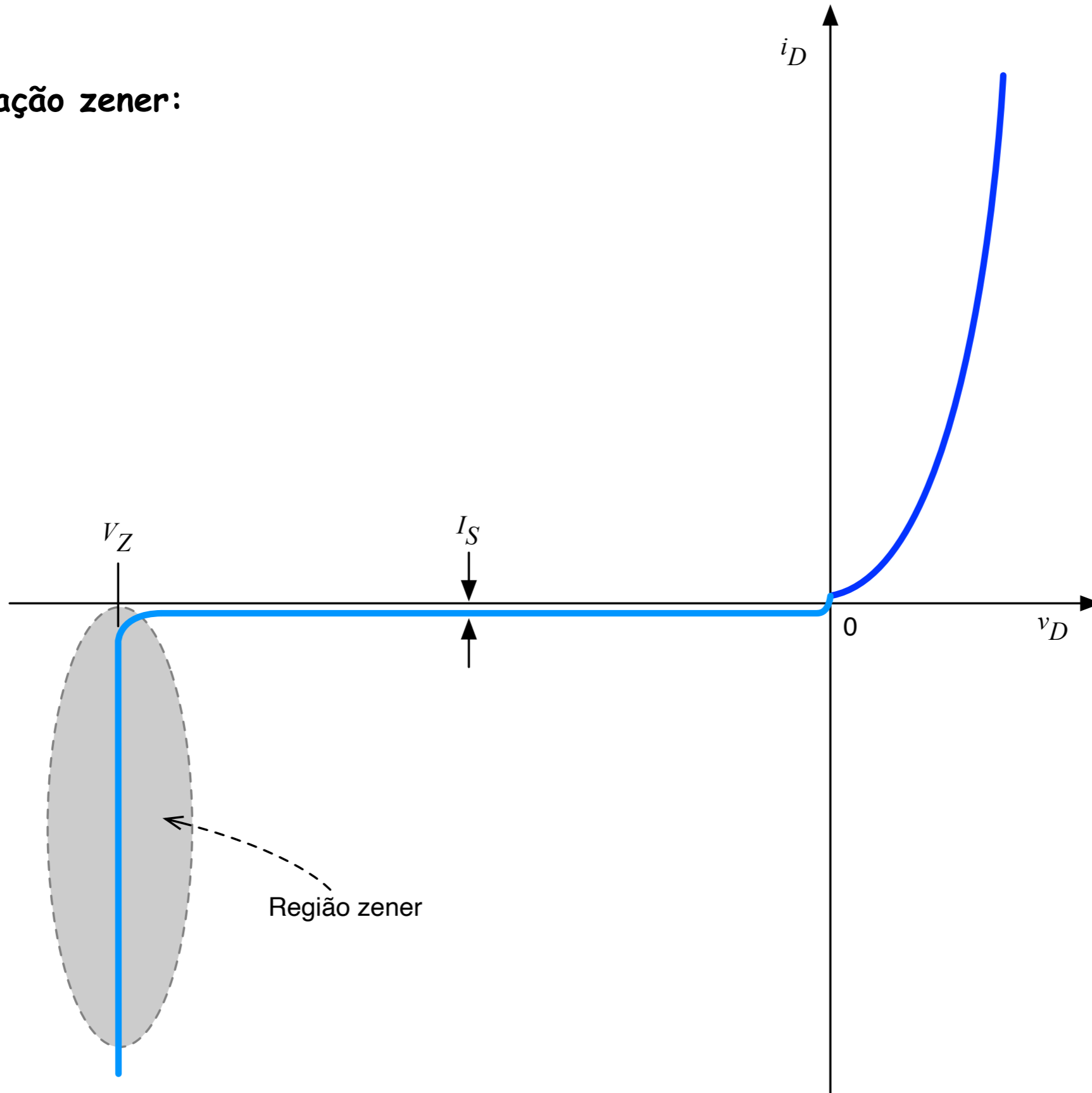
Proteção de circuitos



Detecção de níveis de tensão

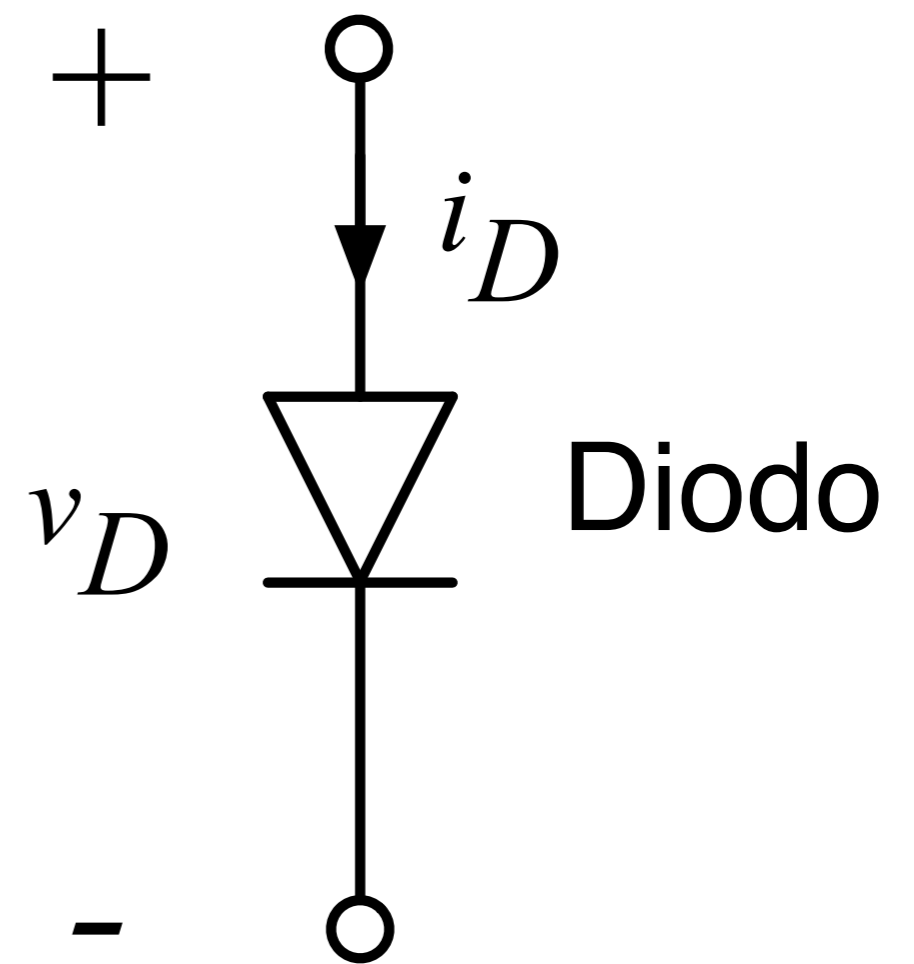
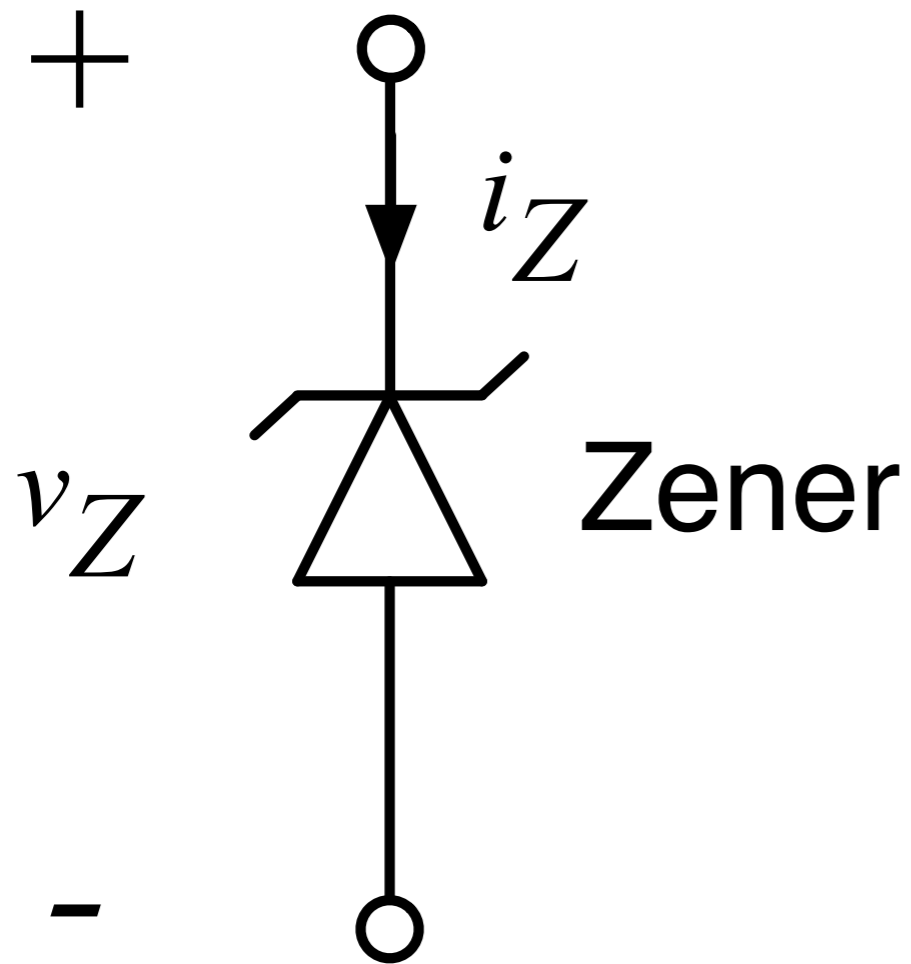
Diodos zener

Região de operação zener:



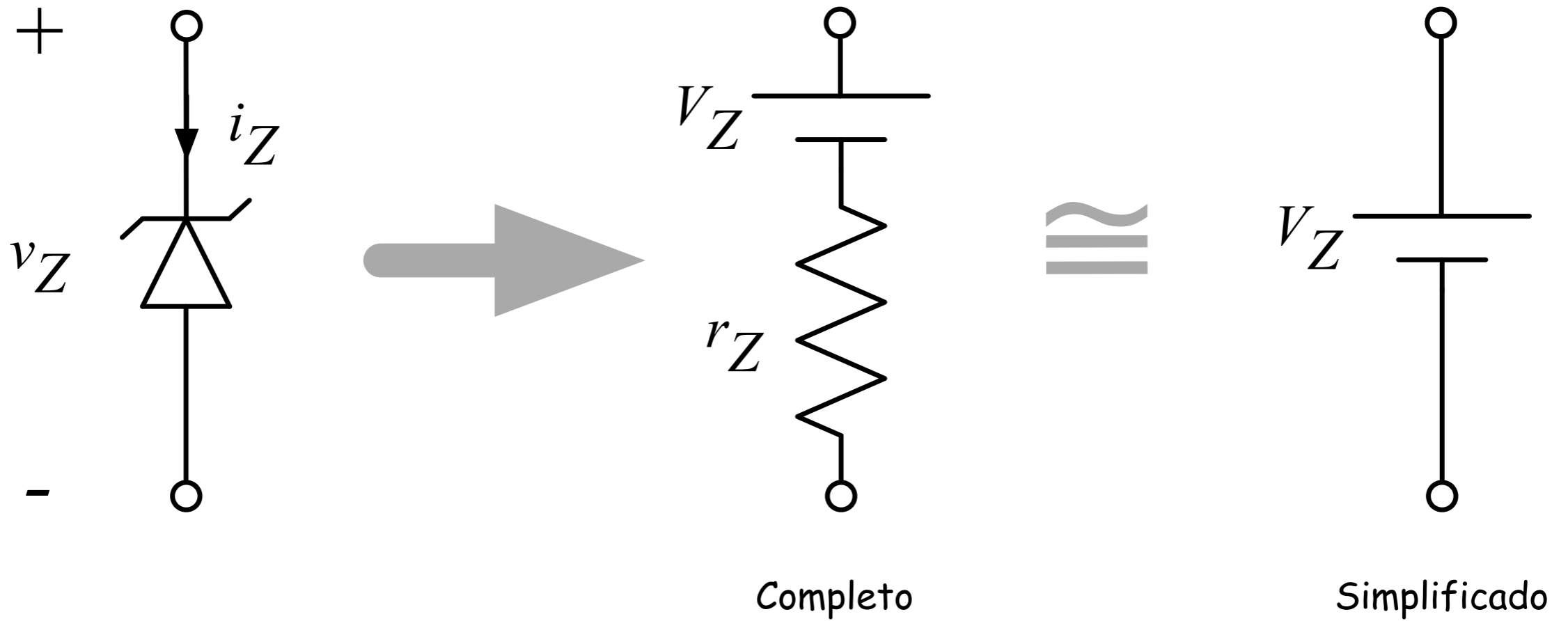
Diodos zener

Sentido de condução:



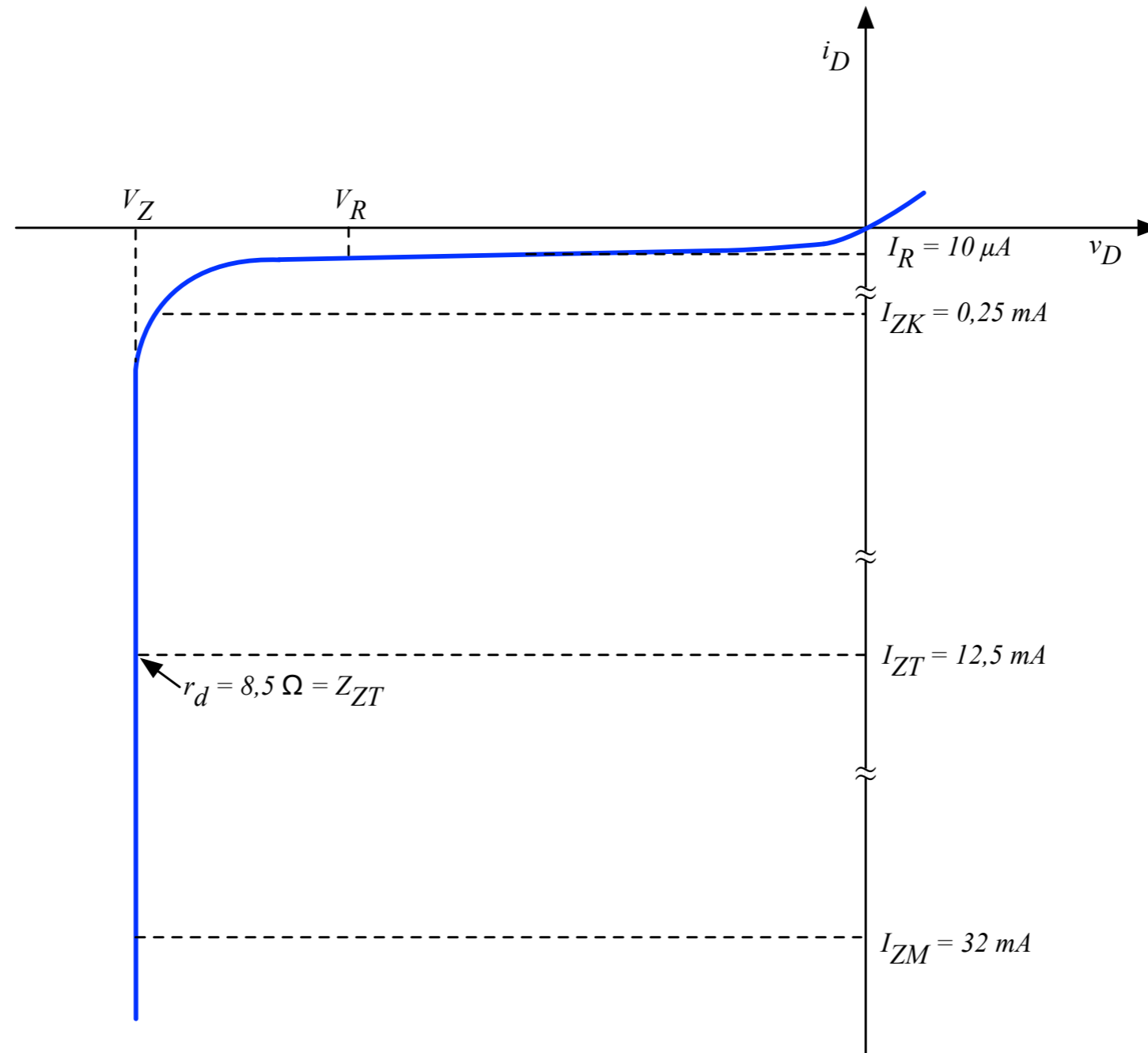
Diodos zener

Modelos equivalentes do diodo zener:



Diodos zener

Curva característica de um diodo zener:



Diodos zener

Principais características elétricas:

- Tensão zener nominal - V_Z [V];
- Corrente de teste - I_{ZT} [mA];
- Impedância dinâmica - Z_{ZT} @ I_{ZT} [Ω];
- Corrente de joelho - I_{ZK} [mA];
- Impedância de joelho máxima - Z_{ZK} @ I_{ZK} [Ω];
- Corrente reversa máxima - I_R @ V_R [μ A];
- Tensão de teste - V_R [V];
- Corrente máxima de regulação - I_{ZM} [mA];
- Coeficiente de temperatura típico - %/oC.

Potência do zener →

Tensão direta →



www.vishay.com

1N4728A to 1N4761A

Vishay Semiconductors

Zener Diodes



FEATURES

- Silicon planar power Zener diodes
- For use in stabilizing and clipping circuits with high power rating
- Standard Zener voltage tolerance is $\pm 5\%$
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

APPLICATIONS

- Voltage stabilization



RoHS
COMPLIANT
HALOGEN
FREE

LINKS TO ADDITIONAL RESOURCES



PRIMARY CHARACTERISTICS		
PARAMETER	VALUE	UNIT
V_Z range nom.	3.3 to 75	V
Test current I_{ZT}	3.3 to 76	mA
V_Z specification	Thermal equilibrium	
Circuit configuration	Single	

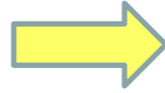
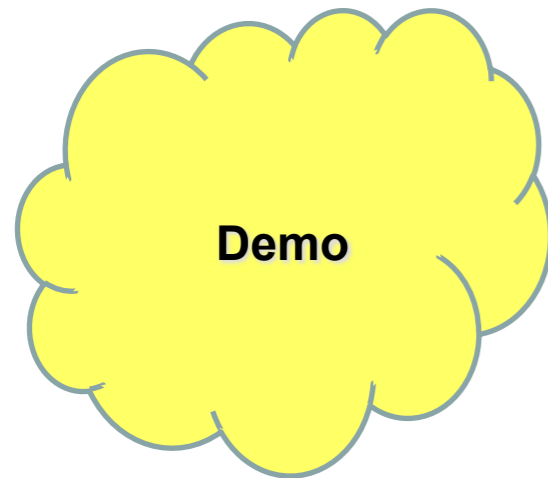
← Tensão do zener

ORDERING INFORMATION			
DEVICE NAME	ORDERING CODE	TAPED UNITS PER REEL	MINIMUM ORDER QUANTITY
1N4728A to 1N4761A	1N4728A to 1N4761A -series-TR	5000 per 14" reel	25 000/box
1N4728A to 1N4761A	1N4728A to 1N4761A-series-TAP	5000 per ammpack (52 mm tape)	25 000/box

PACKAGE				
PACKAGE NAME	WEIGHT	MOLDING COMPOUND FLAMMABILITY RATING	MOISTURE SENSITIVITY LEVEL	SOLDERING CONDITIONS
DO-41 (DO-204AL)	approx. 310 mg	UL 94 V-0	MSL level 1 (according J-STD-020)	Peak temperature max. 260 °C

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS ($T_{amb} = 25\text{ °C}$, unless otherwise specified)				
PARAMETER	TEST CONDITION	SYMBOL	VALUE	UNIT
Power dissipation	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature $t_p = 10\text{ ms}$	P_{tot}	1300	mW
Zener current		I_Z	P_V/V_Z	mA
Thermal resistance junction to ambient air	Valid provided that leads at a distance of 4 mm from case are kept at ambient temperature $t_p = 10\text{ ms}$	R_{thJA}	110	K/W
Junction temperature		T_j	175	°C
Storage temperature range		T_{stg}	-65 to +175	°C
Forward voltage (max.)	$I_F = 200\text{ mA}$	V_F	1.2	V

Diodos zener

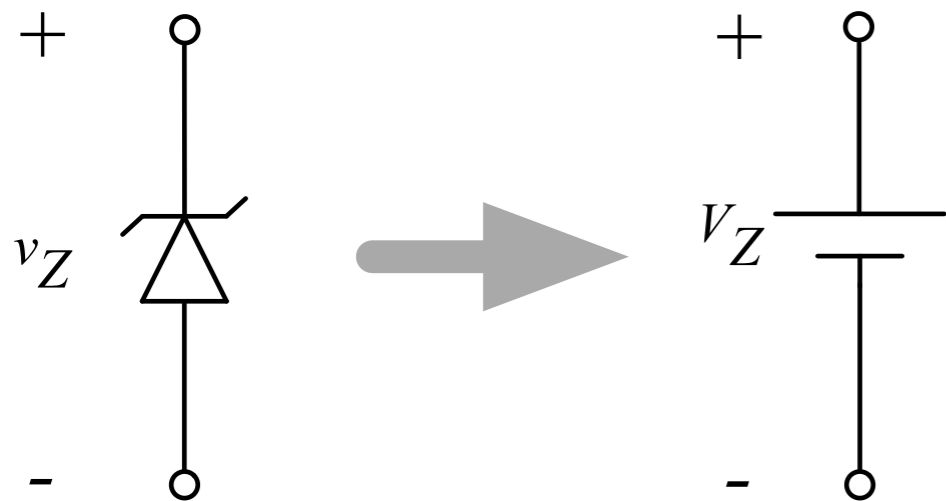


Demo:

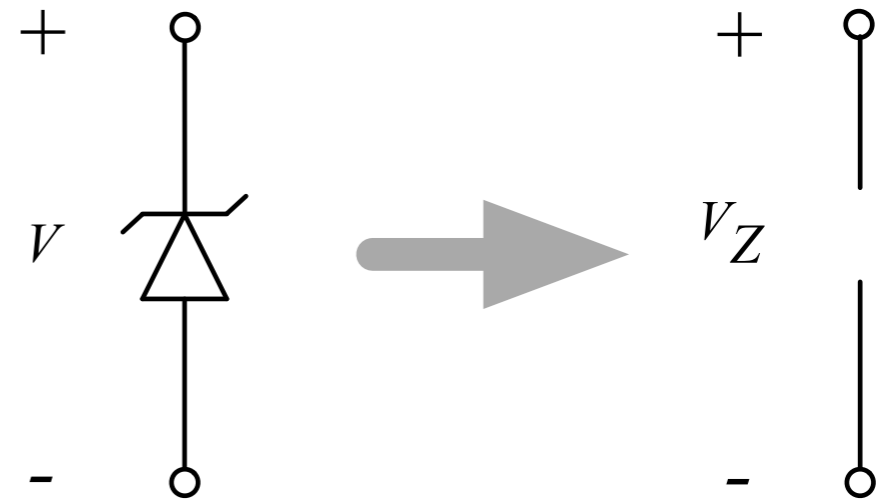
- Teste de diodo zener.

Diodos zener

Regulador zener:



Ligado (on)



$$V < V_Z$$

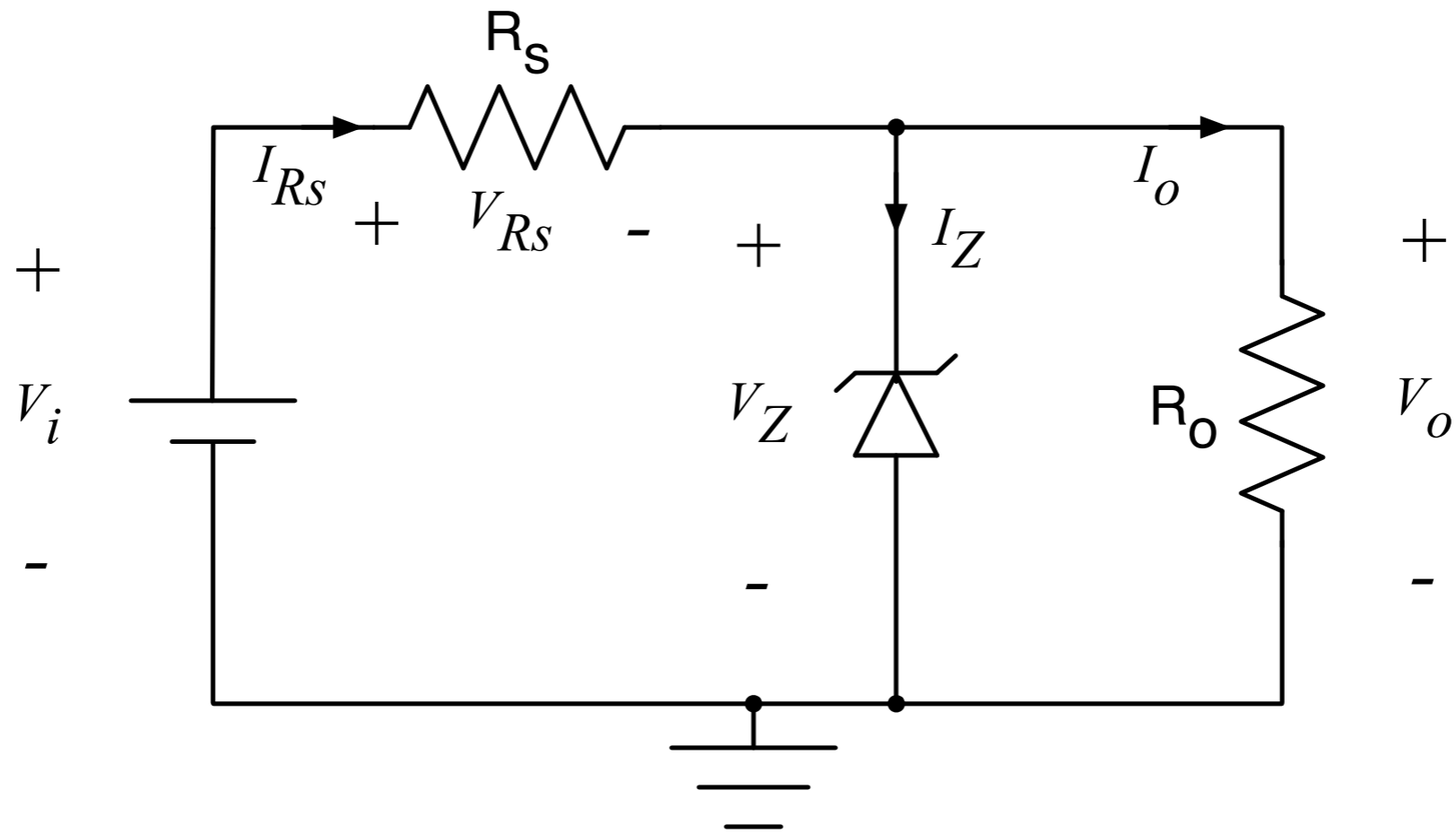
Desligado (off)

Comportamento do zener em condução e bloqueado

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

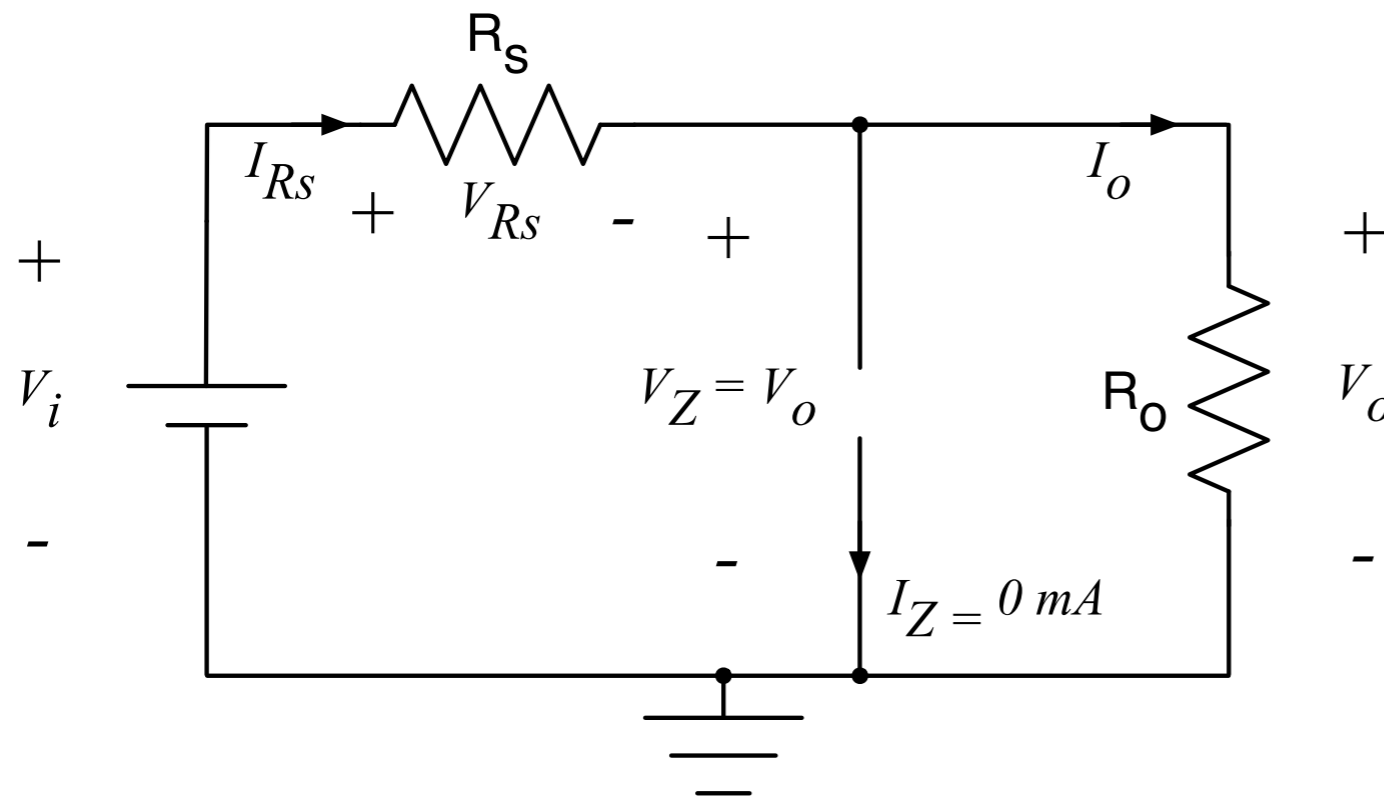
- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) fixa.



Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) fixa.



$$V_Z = V_o = \frac{R_o \cdot V_i}{R_s + R_o}$$

$$V_o = V_Z$$

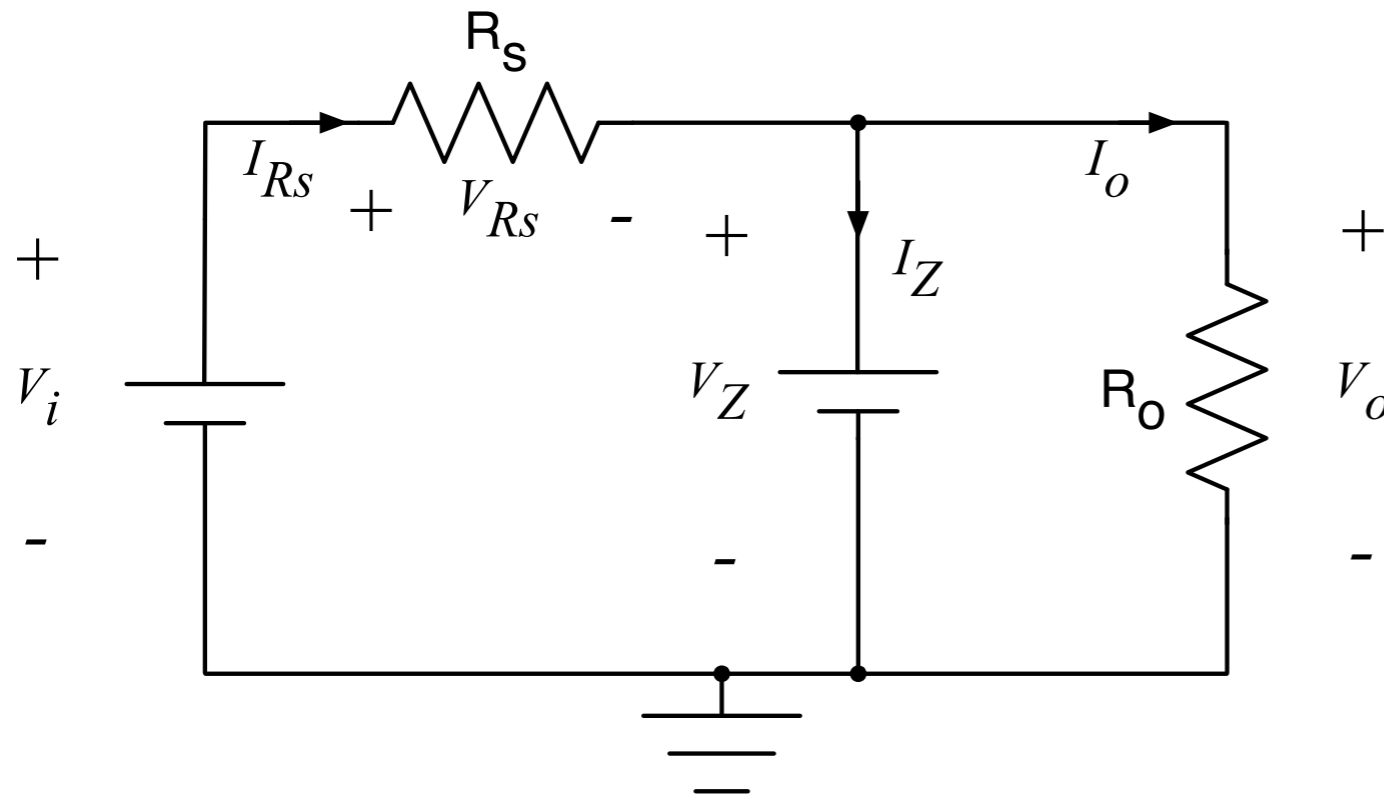
Para verificar se o zener está ligado, retira-se o mesmo do circuito e calcula-se a tensão sobre o zener. Se a tensão for maior que a tensão zener, ele estará ligado.

→ $V_o \geq V_Z$

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) fixa.



$$I_{R_s} = I_Z + I_o$$

$$I_Z = I_{R_s} - I_o$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_o}$$

$$I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = \frac{V_i - V_o}{R_s}$$

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z$$

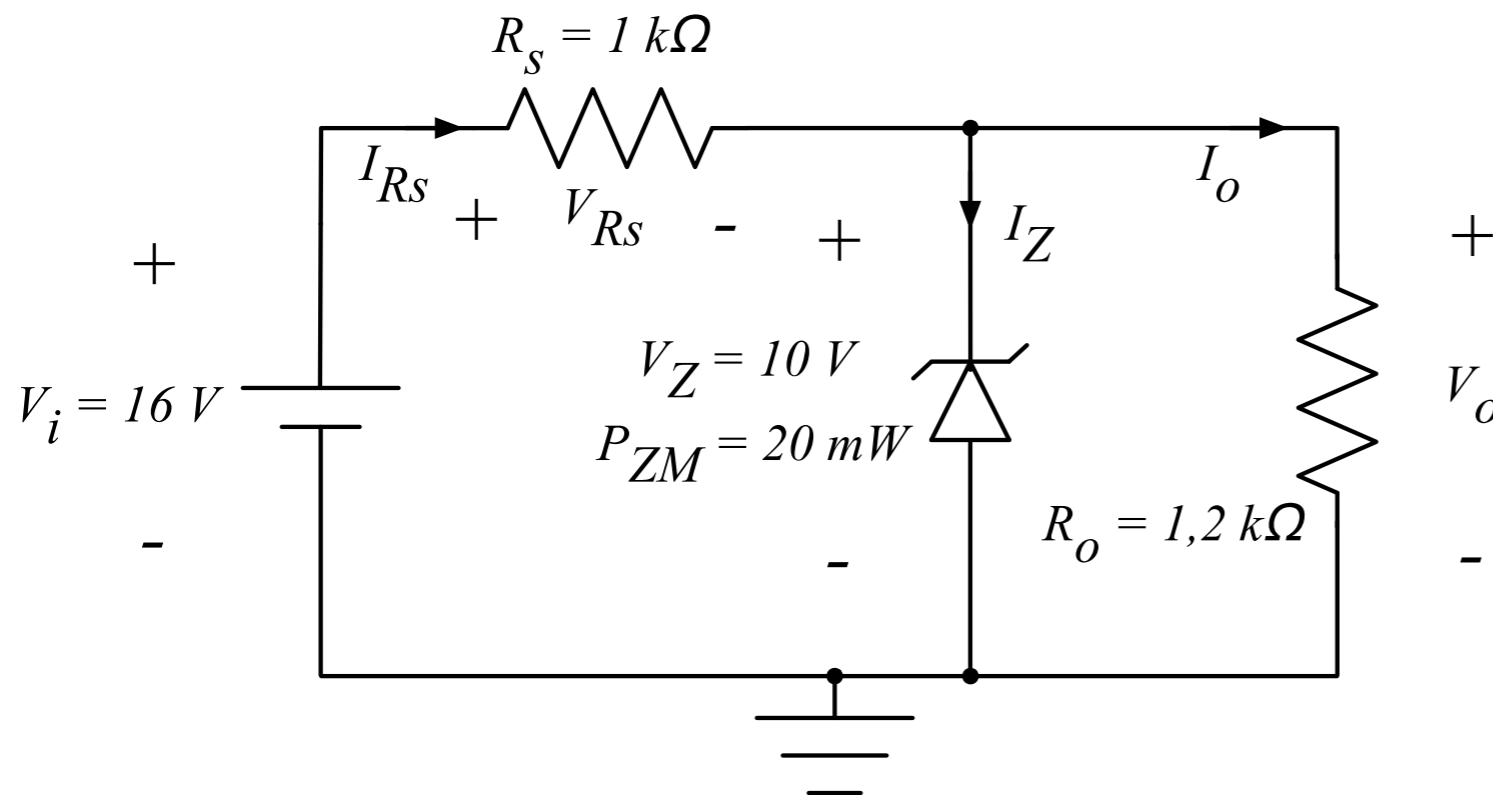
Se:

$$V_o \geq V_Z$$

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) fixa.



$$V_o = \frac{R_o \cdot V_i}{R_s + R_o} = \frac{1,2k \cdot 16}{1k + 1,2k}$$

$$V_Z = V_o = 8,73V$$

Como:

$$8,73V < 10V$$

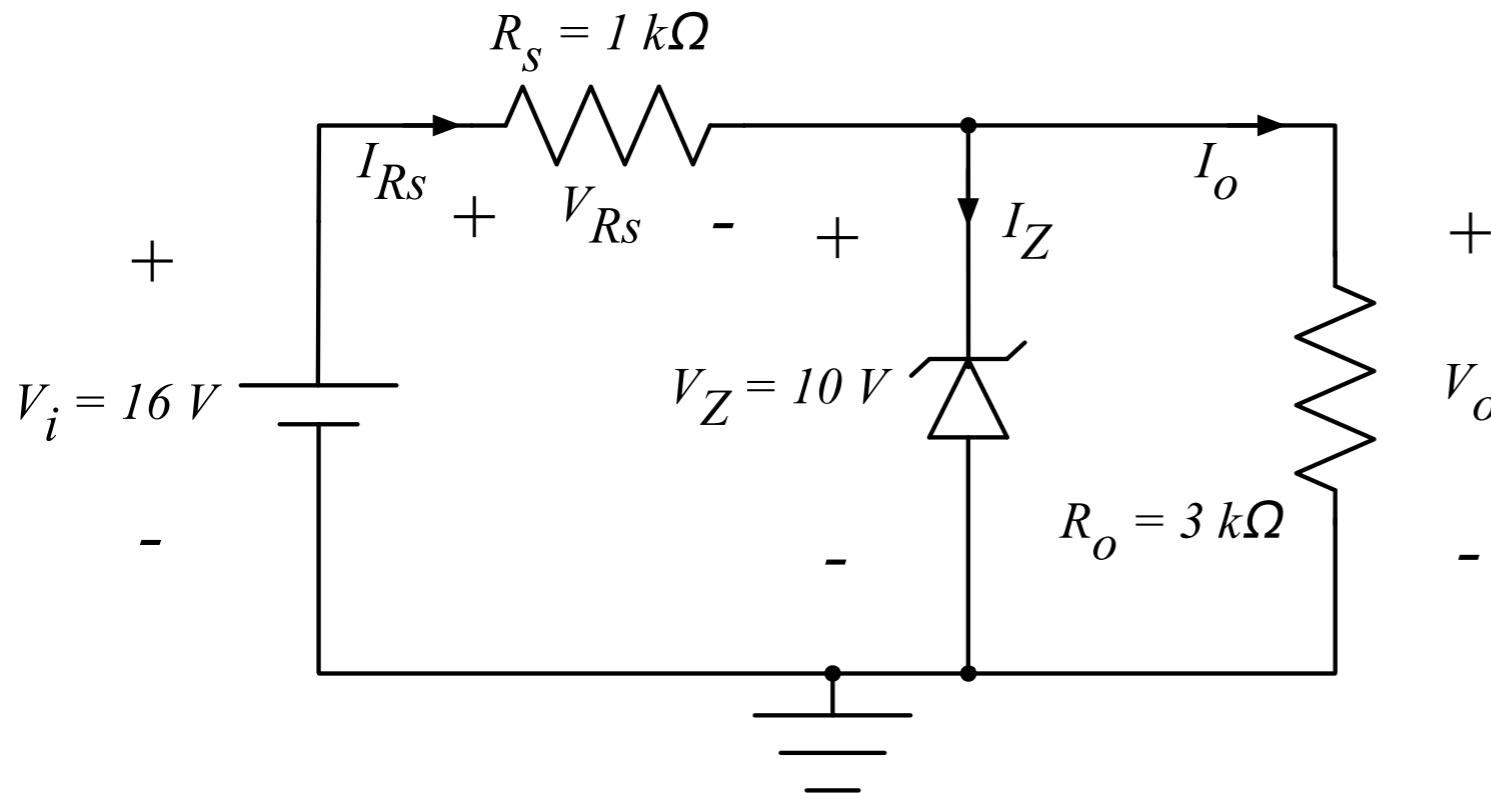
$$V_o < V_Z$$

O diodo zener não está conduzindo.

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) fixa.



$$V_{R_s} = V_i - V_o = 16 - 10 = 6V$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_o} = \frac{10}{3k} = 3,33mA$$

$$I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = \frac{6}{1k} = 6mA$$

$$I_{R_s} = I_Z + I_o = 6m - 3,33m = 2,67mA$$

$$P_Z = V_Z \cdot I_Z = 10 \cdot 2,67m = 26,7mW$$

$$V_o = \frac{R_o \cdot V_i}{R_s + R_o} = \frac{3k \cdot 16}{1k + 3k}$$

$$V_Z = V_o = 12V$$

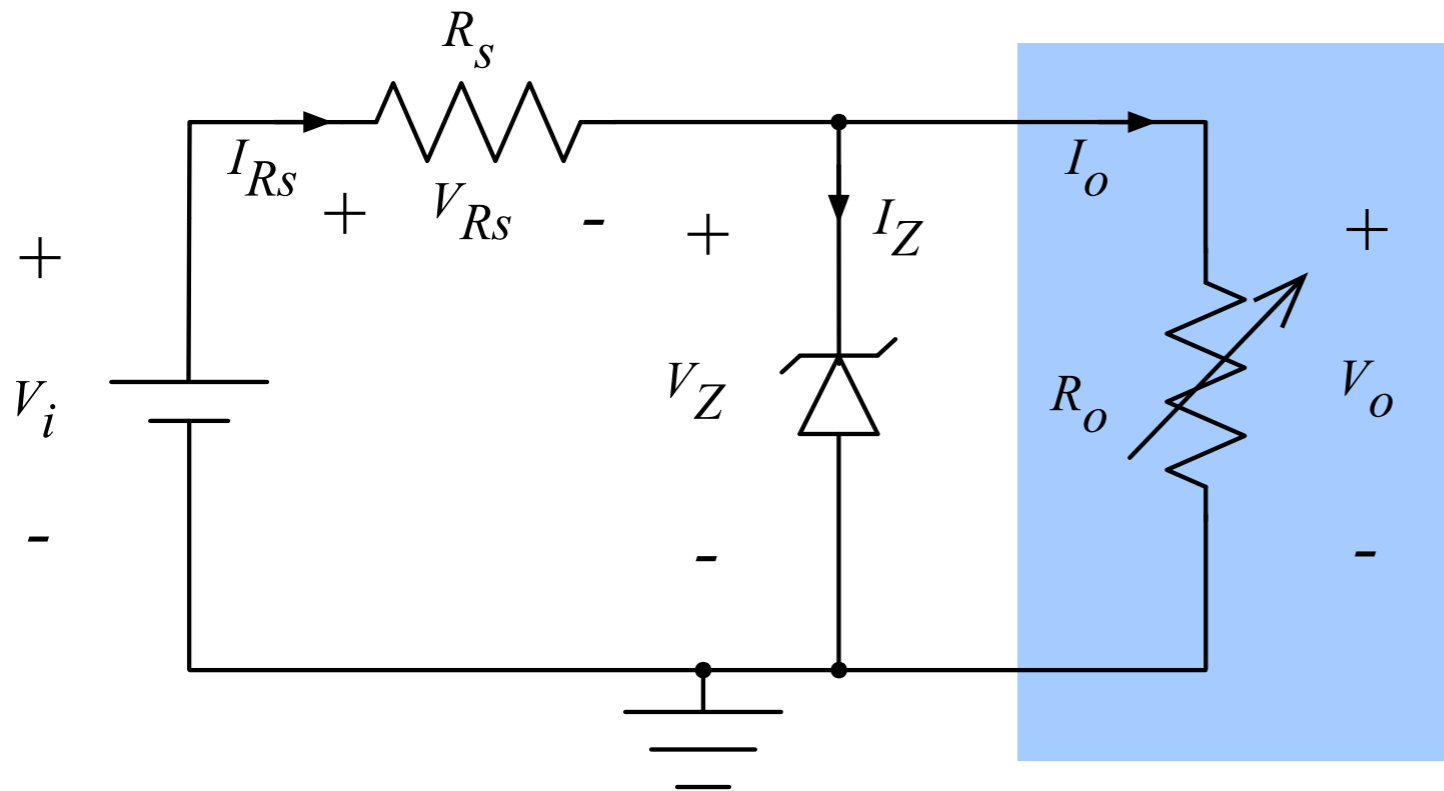
Como: $12V > 10V$

O diodo zener está conduzindo.

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) **variável**.



$$V_o = V_Z = \frac{R_o \cdot V_i}{R_s + R_o}$$

$$R_{o(min)} = \frac{R_s \cdot V_Z}{V_i - V_Z}$$

$$I_{o(max)} = \frac{V_o}{R_o} = \frac{V_Z}{R_{o(min)}}$$

$$V_{R_s} = V_i - V_o = V_i - V_Z$$

$$I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s}$$

$$I_Z = I_{R_s} - I_o$$

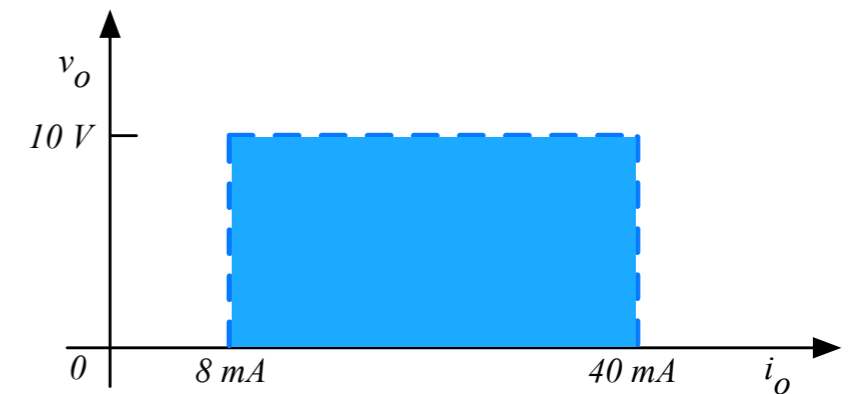
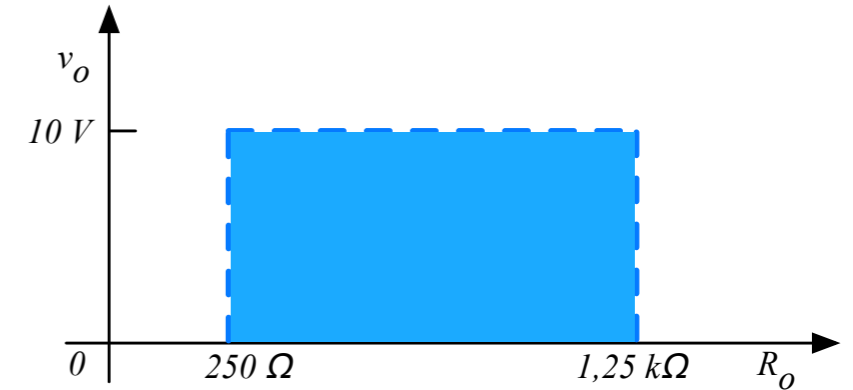
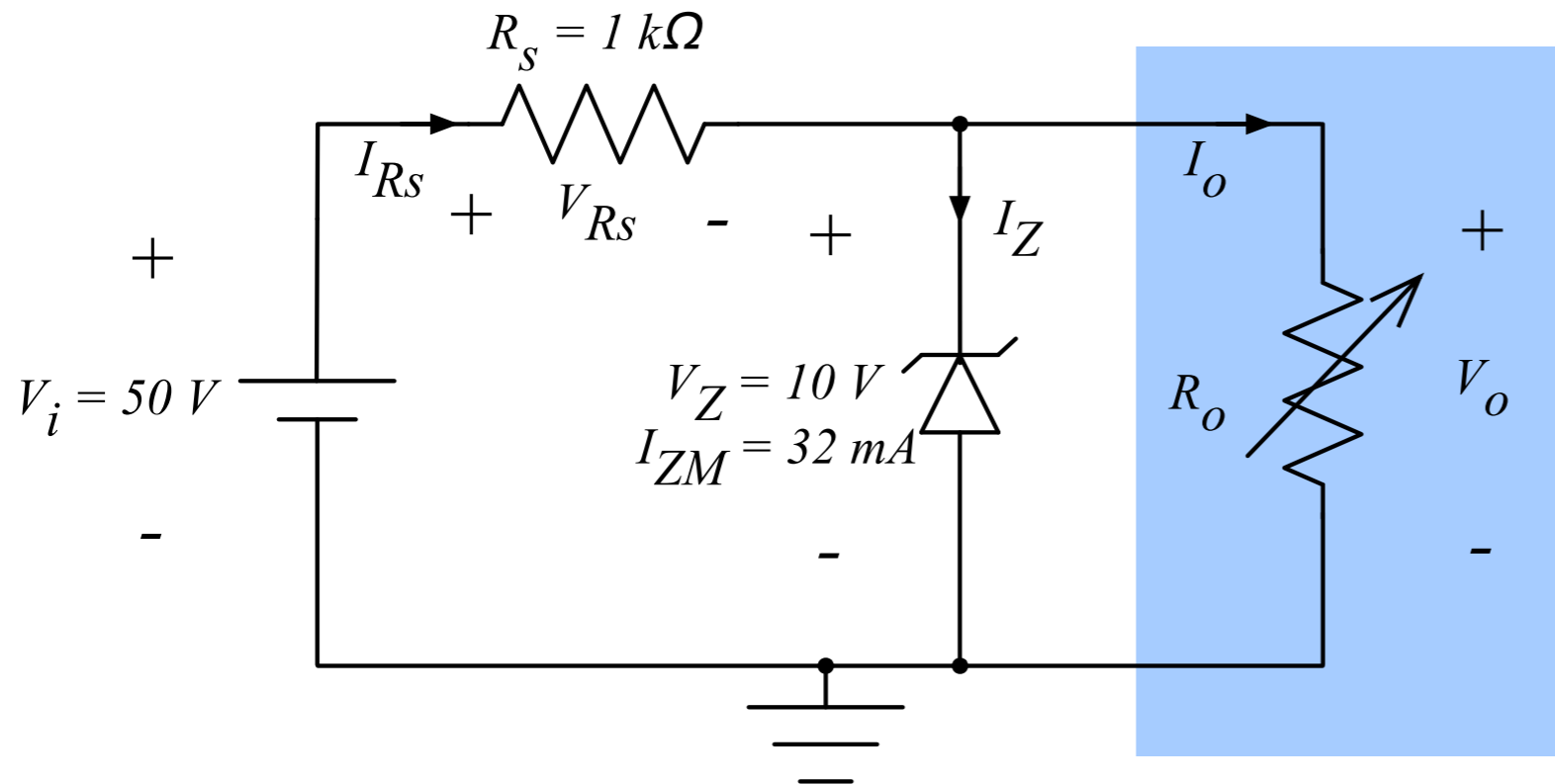
$$I_{o(min)} = I_{R_s} - I_{ZM}$$

$$R_{o(max)} = \frac{V_Z}{I_{o(min)}}$$

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) fixa;
- Carga (R_o) **variável**.



$$R_{o(min)} = \frac{R_s \cdot V_Z}{V_i - V_Z} = \frac{1k \cdot 10}{50 - 10} = 250\Omega$$

$$V_{R_s} = V_i - V_Z = 50 - 10 = 40V$$

$$I_{R_s} = \frac{V_{R_s}}{R_s} = \frac{40}{1k} = 40mA$$

$$I_{o(min)} = I_{R_s} - I_{ZM} = 40m - 32m = 8mA$$

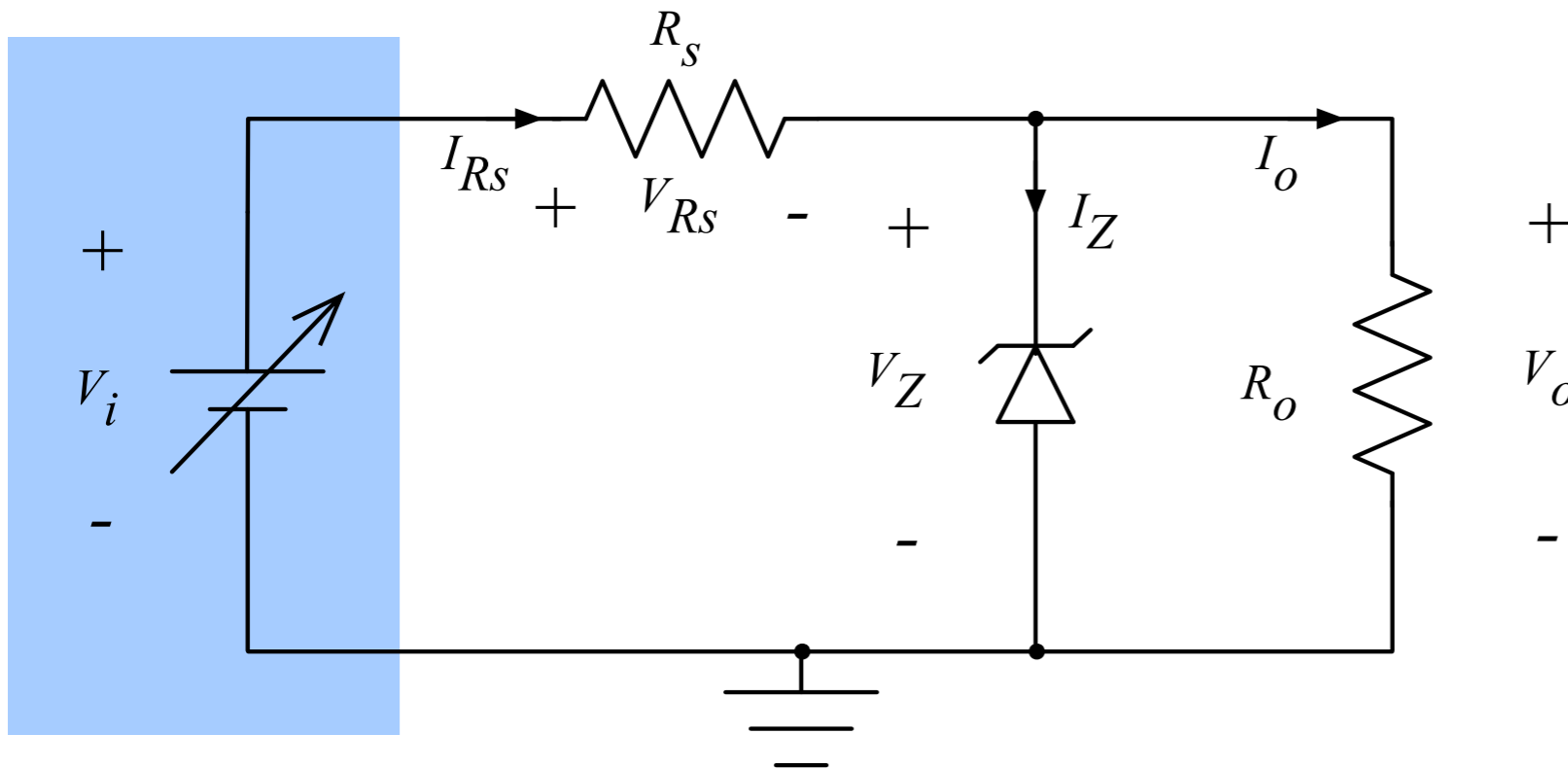
$$R_{o(max)} = \frac{V_Z}{I_{o(min)}} = \frac{10}{8m} = 1,25k\Omega$$

$$P_{max} = V_Z \cdot I_{ZM} = 10 \cdot 32m = 320mW$$

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) **variável**;
- Carga (R_o) fixa.



$$V_o = V_Z = \frac{R_o \cdot V_i}{R_s + R_o}$$

$$V_{i(min)} = \frac{(R_s + R_o) \cdot V_Z}{R_o}$$

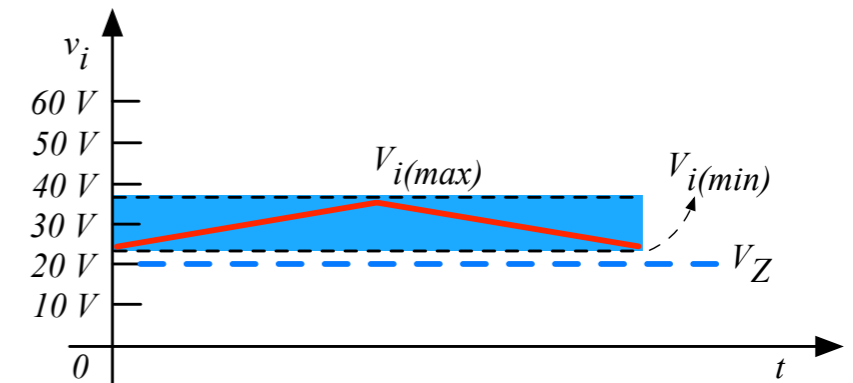
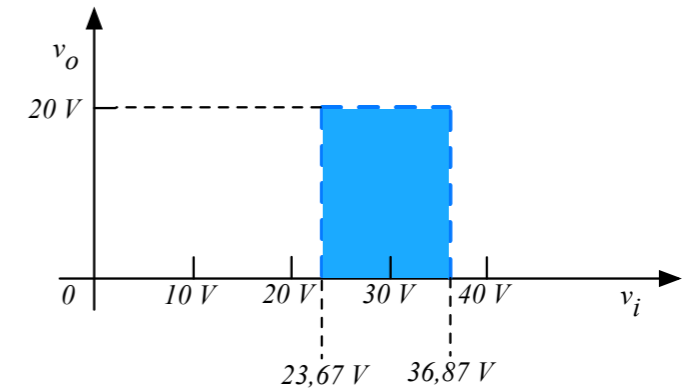
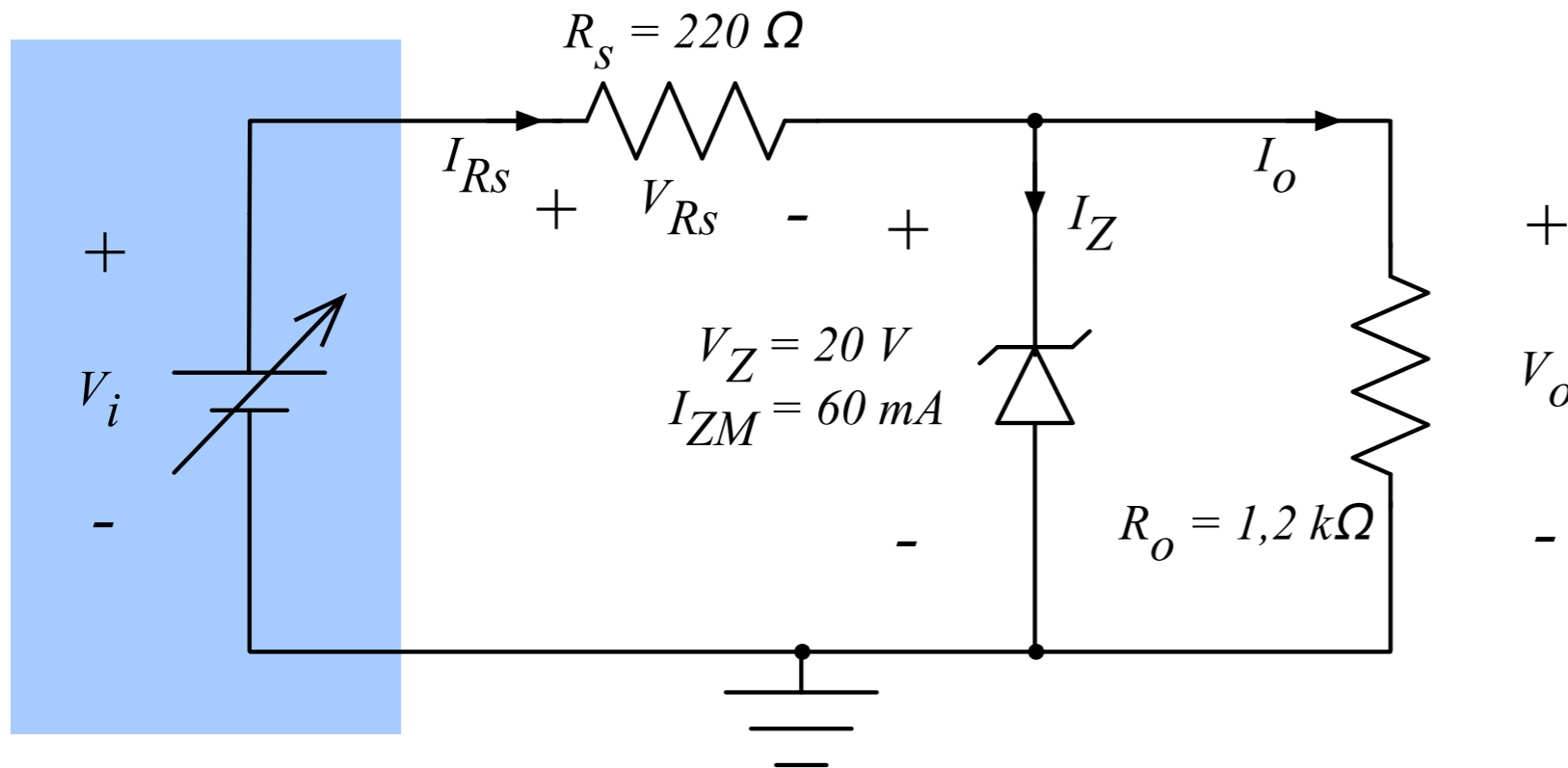
$$I_{R_s(max)} = I_{ZM} + I_o$$

$$V_{i(max)} = I_{R_s(max)} \cdot R_s + V_Z$$

Diodos zener

Circuito regulador zener básico:

- Tensão de entrada (V_i) **variável**;
- Carga (R_o) fixa.



$$V_{i(min)} = \frac{(R_s + R_o) \cdot V_Z}{R_o} = \frac{(220 + 1200) \cdot 20}{1200} = 23,67V$$

$$I_{Rs(max)} = I_{ZM} + I_o = 60m + 16,67m = 76,67mA$$

$$V_{i(max)} = I_{Rs(max)} \cdot R_s + V_Z = 76,67m \cdot 0,22k + 20 = 36,87V$$

$$I_o = \frac{V_o}{R_o} = \frac{V_Z}{R_o} = \frac{20}{1,2k} = 16,67mA$$

Próxima Aula

Transistores bipolares de junção

