

Zeners e Outros Dispositivos de Dois Terminais

Prof. Carlos Fernando Teodósio Soares

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica/UFRJ

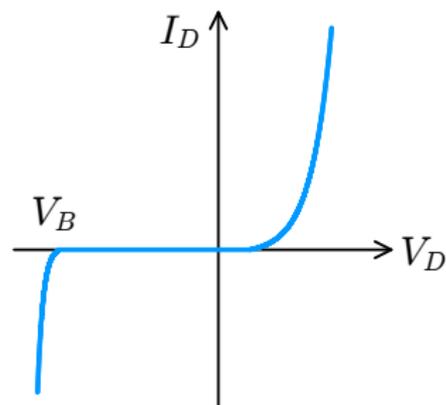
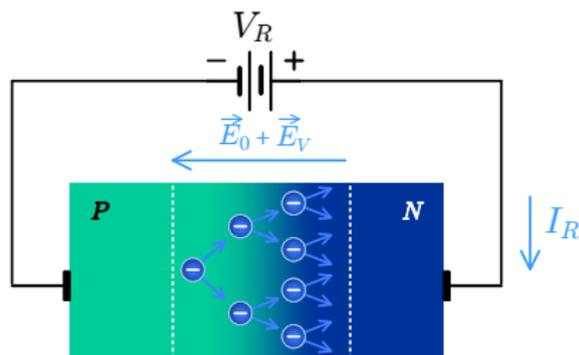
Departamento de Engenharia Eletrônica e de Computação

Agenda da Aula - Capítulos 01 e 02

- Diodos Zener
- Light-Emitting Diode (LED)
- Fotodiodos
- Display de Cristal Líquido (LCD)
- Termistores

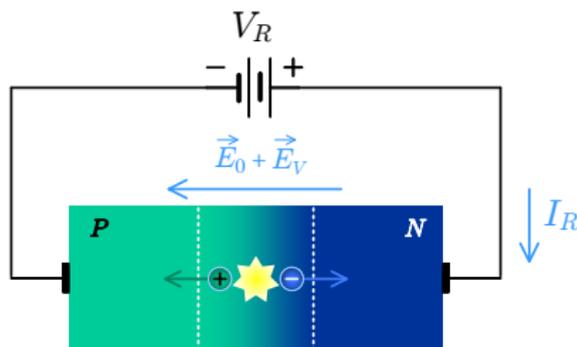
Ruptura (*Breakdown*) por Efeito Avalanche

- Aplicando-se uma tensão reversa suficientemente elevada em um diodo, portadores de carga minoritários que constituem a corrente de fuga podem adquirir energia cinética suficiente para se chocar e romper ligações covalentes do material, gerando pares elétron-buraco (*ionização por impacto*).
- Esses novos portadores de carga também irão adquirir uma grande energia cinética, podendo também quebrar outras ligações covalentes, gerando ainda mais portadores de carga que constituirão uma significativa corrente reversa.



Ruptura (*Breakdown*) por Efeito Zener

- Em uma junção PN reversamente polarizada, se o campo elétrico na região de depleção for suficientemente elevado, elétrons na banda de valência podem adquirir energia suficiente para romper suas respectivas ligações covalentes e gerar pares elétron-buraco.
- Esses novos portadores de carga passam a constituir uma significativa corrente elétrica reversa que irá disparar o efeito avalanche para baixas tensões reversas.
- Esse fenômeno é conhecido como **Efeito Zener** (nome dado em homenagem ao físico americano Clarence Melvin Zener (1905-1993)).



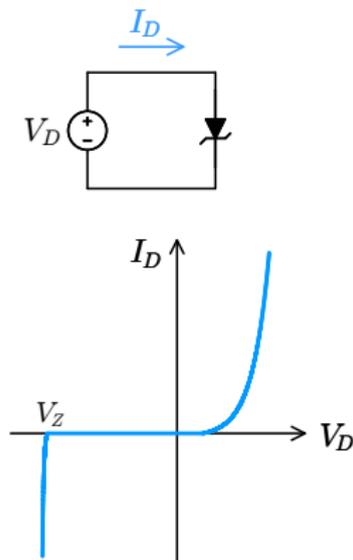
Observação

Construindo-se a junção PN com elevadas concentrações de dopantes em ambos os lados da junção (10^{19} a 10^{20} cm^{-3}), a região de depleção será estreita e o campo elétrico se tornará intenso o suficiente para promover a ocorrência do **Efeito Zener**.

Com isso é possível construir Diodos Zener com tensões de ruptura da ordem de 3,0 a 8,0 V.

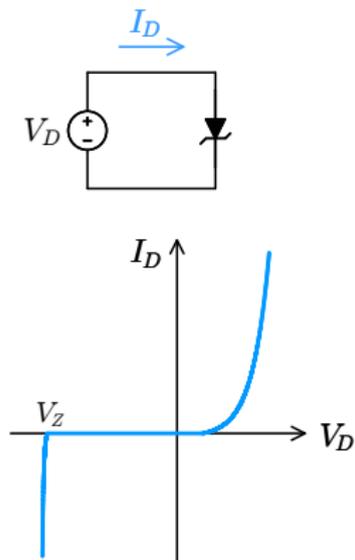
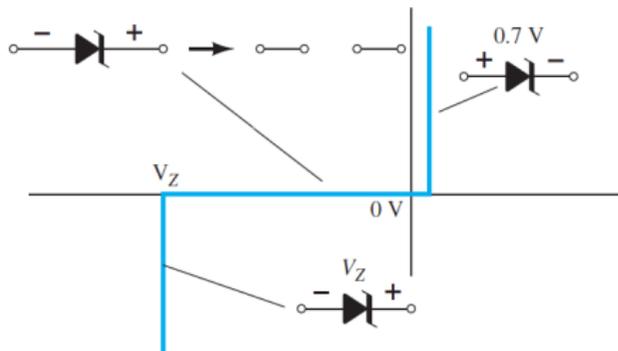
Diodos Zener

- Nos circuitos eletrônicos, os Diodos Zener são normalmente operados na região de ruptura (*breakdown*).
- Na região de ruptura, a curva característica do Diodo Zener é quase vertical, onde o dispositivo apresenta praticamente a mesma queda de tensão para uma ampla faixa de valores de corrente reversa.
- Essa característica torna o Diodo Zener bastante adequado para estabelecer tensões de referência ou para implementar reguladores de tensão.



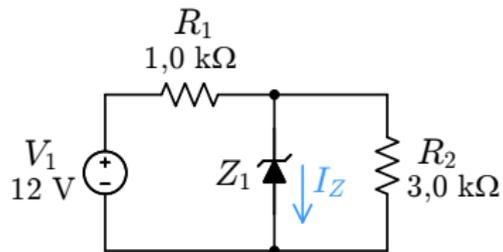
Diodos Zener

- Nos circuitos eletrônicos, os Diodos Zener são normalmente operados na região de ruptura (*breakdown*).
- Na região de ruptura, a curva característica do Diodo Zener é quase vertical, onde o dispositivo apresenta praticamente a mesma queda de tensão para uma ampla faixa de valores de corrente reversa.
- Essa característica torna o Diodo Zener bastante adequado para estabelecer tensões de referência ou para implementar reguladores de tensão.
- Modelagem matemática aproximada de um Diodo Zener de silício:



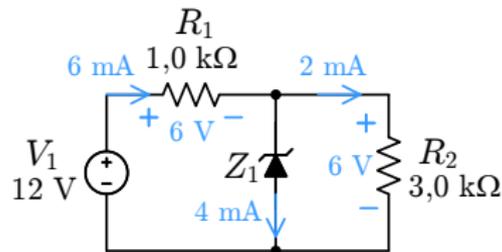
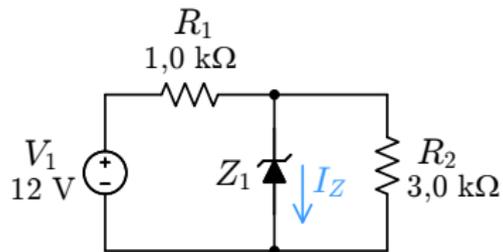
Exemplo de Análise de Circuitos com Diodo Zener

No circuito da figura abaixo, calcule a corrente reversa I_Z , considerando que a tensão de ruptura do Diodo Zener Z_1 é igual a 6,0 V.



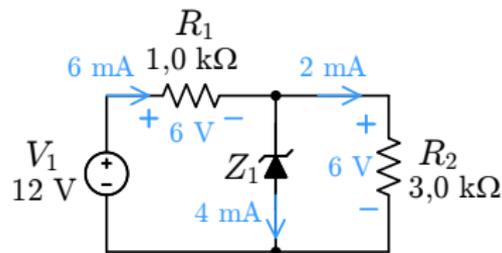
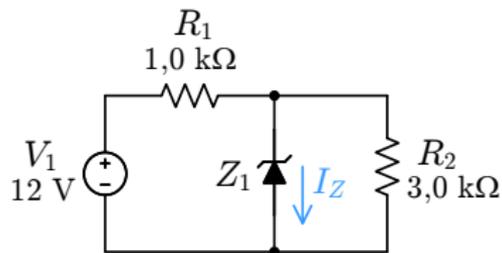
Exemplo de Análise de Circuitos com Diodo Zener

No circuito da figura abaixo, calcule a corrente reversa I_Z , considerando que a tensão de ruptura do Diodo Zener Z_1 é igual a 6,0 V.



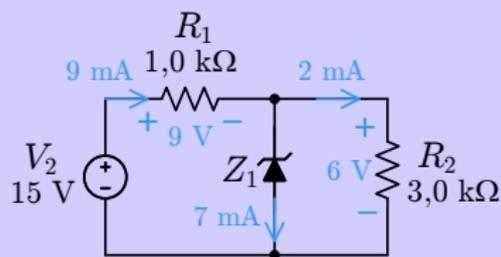
Exemplo de Análise de Circuitos com Diodo Zener

No circuito da figura abaixo, calcule a corrente reversa I_Z , considerando que a tensão de ruptura do Diodo Zener Z_1 é igual a 6,0 V.



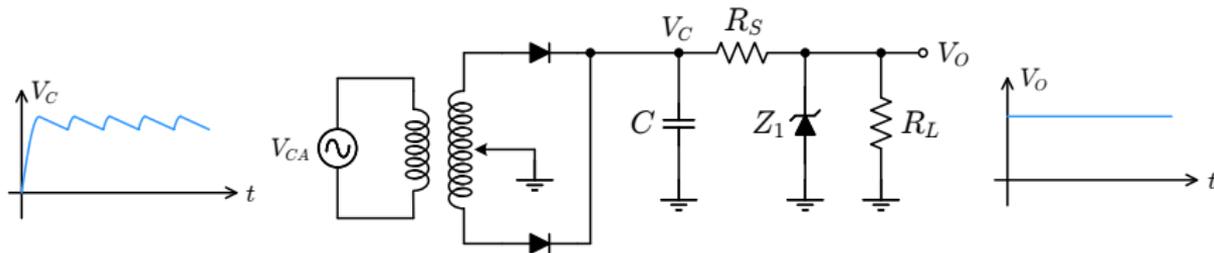
Observação

Se aplicarmos uma fonte de tensão $V_2 = 15$ V ao mesmo circuito, continuaríamos a obter uma tensão de 6,0 V sobre o resistor R_2 . Isso mostra a capacidade que o Diodo Zener possui de regular a tensão sobre ele, mesmo que ocorram variações na tensão da fonte.



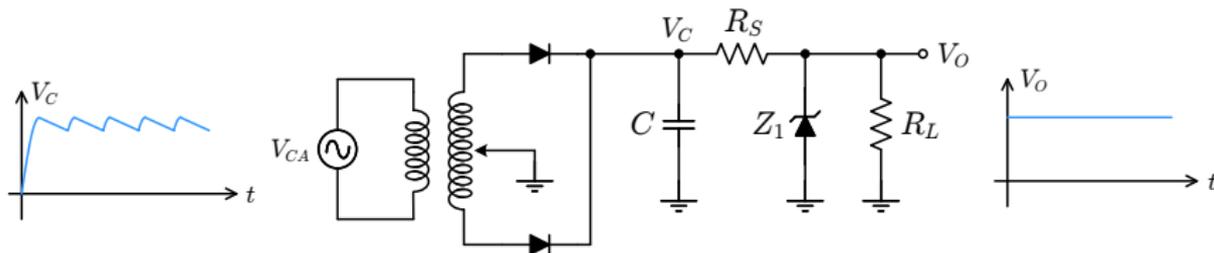
Aplicações de Diodos Zener

- **Circuitos Reguladores de Tensão:** Usados para regular a tensão entregue por uma Fonte de Alimentação CC.

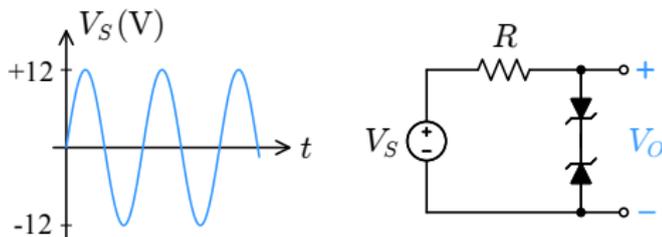


Aplicações de Diodos Zener

- **Circuitos Reguladores de Tensão:** Usados para regular a tensão entregue por uma Fonte de Alimentação CC.

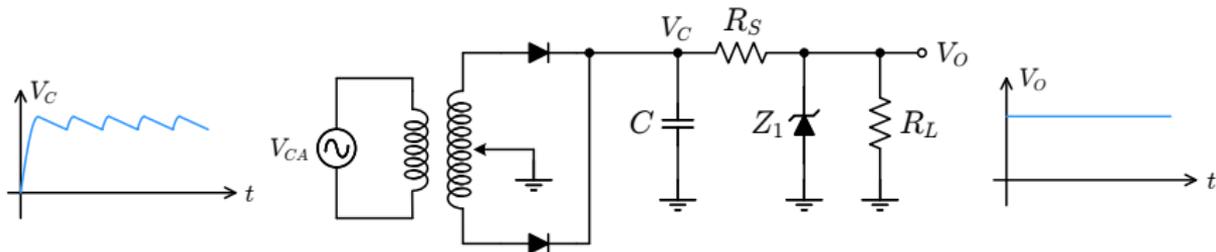


- **Circuitos Limitadores de Tensão (Voltage Clamps):** Considerando que os Diodos Zener do circuito abaixo apresentam tensão de ruptura $V_Z = 5,0$ V, teremos que:

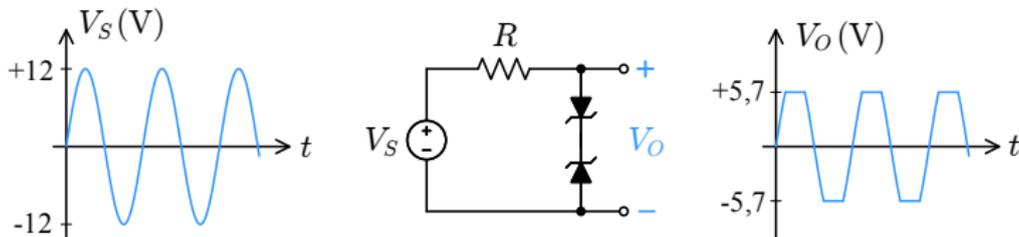


Aplicações de Diodos Zener

- **Circuitos Reguladores de Tensão:** Usados para regular a tensão entregue por uma Fonte de Alimentação CC.



- **Circuitos Limitadores de Tensão (Voltage Clamps):** Considerando que os Diodos Zener do circuito abaixo apresentam tensão de ruptura $V_Z = 5,0$ V, teremos que:



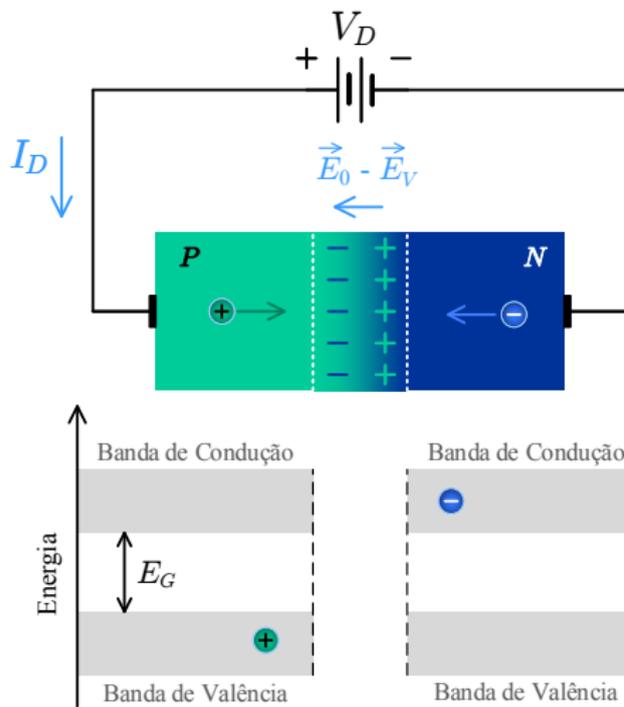
Diodos Zener Comerciais

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_{amb} = 25^{\circ}C$, unless otherwise specified)									
PART NUMBER	ZENER VOLTAGE RANGE ⁽¹⁾	TEST CURRENT		REVERSE LEAKAGE CURRENT		DYNAMIC RESISTANCE $f = 1\text{ kHz}$		SURGE CURRENT ⁽³⁾	REGULATOR CURRENT ⁽²⁾
	V_Z at I_{ZT1}	I_{ZT1}	I_{ZT2}	I_R at V_R		Z_{T1} at I_{ZT1}	Z_{TK} at I_{ZT2}	I_R	I_{ZM}
	V	mA	mA	μA	V	Ω	Ω	mA	mA
	NOM.			MAX.		TYP.	MAX.		MAX.
1N4728A	3.3	76	1	100	1	10	400	1380	276
1N4729A	3.6	69	1	100	1	10	400	1260	252
1N4730A	3.9	64	1	50	1	9	400	1190	234
1N4731A	4.3	58	1	10	1	9	400	1070	217
1N4732A	4.7	53	1	10	1	8	500	970	193
1N4733A	5.1	49	1	10	1	7	550	890	178
1N4734A	5.6	45	1	10	2	5	600	810	162
1N4735A	6.2	41	1	10	3	2	700	730	146
1N4736A	6.8	37	1	10	4	3.5	700	660	133
1N4737A	7.5	34	0.5	10	5	4	700	605	121
1N4738A	8.2	31	0.5	10	6	4.5	700	550	110
1N4739A	9.1	28	0.5	10	7	5	700	500	100
1N4740A	10	25	0.25	10	7.6	7	700	454	91
1N4741A	11	23	0.25	5	8.4	8	700	414	83
1N4742A	12	21	0.25	5	9.1	9	700	380	76
1N4743A	13	19	0.25	5	9.9	10	700	344	69
1N4744A	15	17	0.25	5	11.4	14	700	304	61
1N4745A	16	15.5	0.25	5	12.2	16	700	285	57
1N4746A	18	14	0.25	5	13.7	20	750	250	50
1N4747A	20	12.5	0.25	5	15.2	22	750	225	45
1N4748A	22	11.5	0.25	5	16.7	23	750	205	41
1N4749A	24	10.5	0.25	5	18.2	25	750	190	38
1N4750A	27	9.5	0.25	5	20.6	35	750	170	34
1N4751A	30	8.5	0.25	5	22.8	40	1000	150	30
1N4752A	33	7.5	0.25	5	25.1	45	1000	135	27
1N4753A	36	7	0.25	5	27.4	50	1000	125	25
1N4754A	39	6.5	0.25	5	29.7	60	1000	115	23
1N4755A	43	6	0.25	5	32.7	70	1500	110	22
1N4756A	47	5.5	0.25	5	35.8	80	1500	95	19
1N4757A	51	5	0.25	5	38.8	95	1500	90	18
1N4758A	56	4.5	0.25	5	42.6	110	2000	80	16
1N4759A	62	4	0.25	5	47.1	125	2000	70	14
1N4760A	68	3.7	0.25	5	51.7	150	2000	65	13
1N4761A	75	3.3	0.25	5	56	175	2000	60	12
1N4762A	82	3	0.25	5	62.2	200	3000	55	11
1N4763A	91	2.8	0.25	5	69.2	250	3000	50	10
1N4764A	100	2.5	0.25	5	76	350	3000	45	9

Agenda da Aula - Capítulo 01

- Diodos Zener
- Light-Emitting Diode (LED)
- Fotodiodos
- Display de Cristal Líquido (LCD)
- Termistores

Light-Emitting Diode (LED)

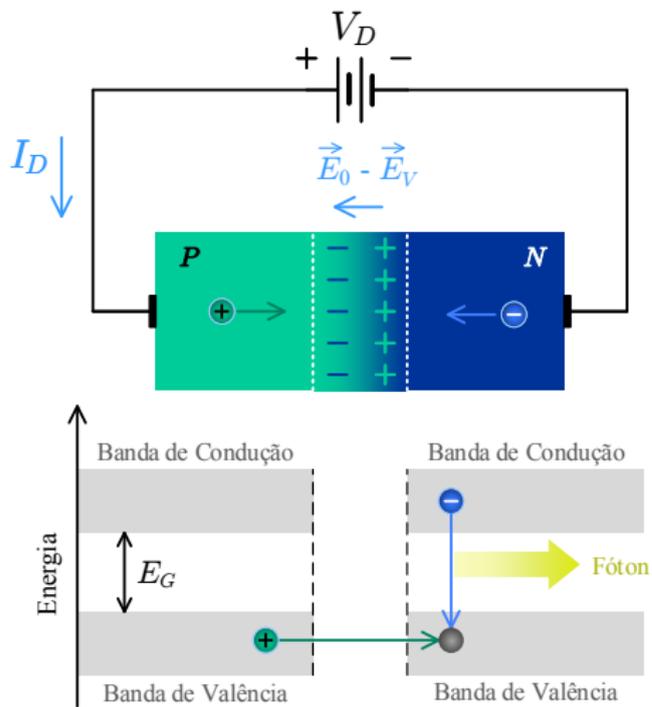


LEDs

- Em um diodo diretamente polarizado, o fluxo de difusão promove a ocorrência de muitas recombinações entre elétrons livres e buracos.
- Ao passar da banda de condução para a banda de valência, o elétron livre perde energia.
- Essa energia pode ser convertida em calor (silício e germânio) ou em luz (GaAs, GaAsP, GaN, GaP, etc.).
- A cor da luz emitida é dada pela Equação de Planck:

$$E_G = h \cdot f \quad \therefore \quad f = \frac{E_G}{h}$$

Light-Emitting Diode (LED)

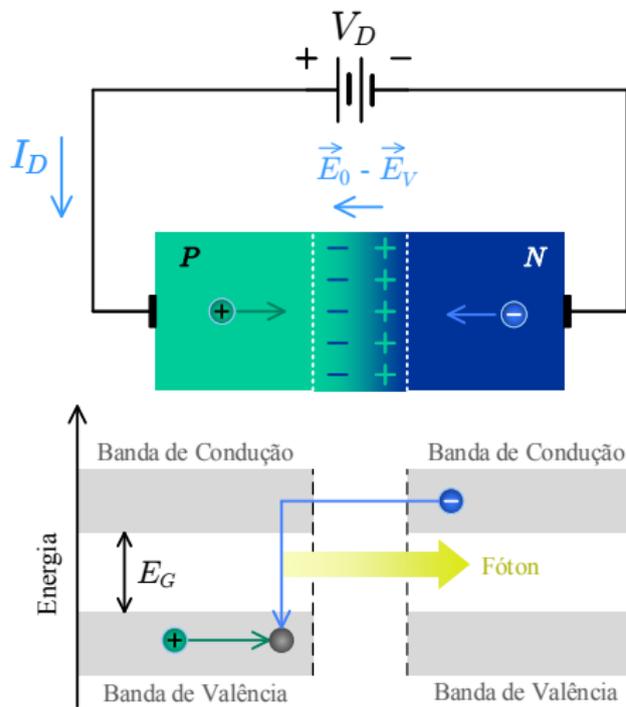


LEDs

- Em um diodo diretamente polarizado, o fluxo de difusão promove a ocorrência de muitas recombinações entre elétrons livres e buracos.
- Ao passar da banda de condução para a banda de valência, o elétron livre perde energia.
- Essa energia pode ser convertida em calor (silício e germânio) ou em luz (GaAs, GaAsP, GaN, GaP, etc.).
- A cor da luz emitida é dada pela Equação de Planck:

$$E_G = h \cdot f \quad \therefore \quad f = \frac{E_G}{h}$$

Light-Emitting Diode (LED)



LEDs

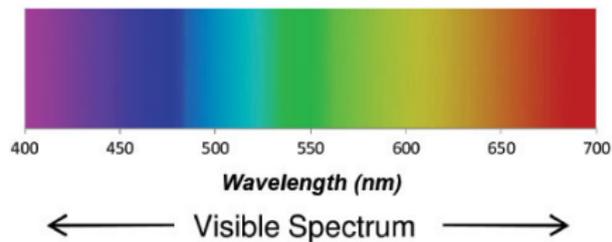
- Em um diodo diretamente polarizado, o fluxo de difusão promove a ocorrência de muitas recombinações entre elétrons livres e buracos.
- Ao passar da banda de condução para a banda de valência, o elétron livre perde energia.
- Essa energia pode ser convertida em calor (silício e germânio) ou em luz (GaAs, GaAsP, GaN, GaP, etc.).
- A cor da luz emitida é dada pela Equação de Planck:

$$E_G = h \cdot f \quad \therefore \quad f = \frac{E_G}{h}$$

Light-Emitting Diode (LED)

Levando-se em conta que a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz é dada por $c = \lambda \cdot f$, podemos encontrar o comprimento de onda da luz emitida pelo LED da seguinte forma:

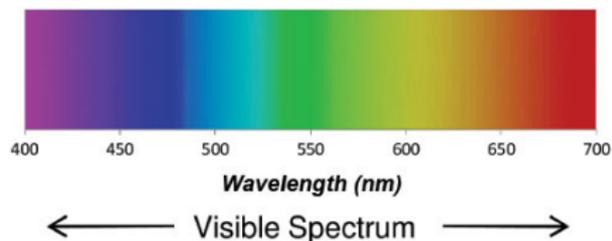
$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_G}{h} \quad \therefore \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{E_G}$$



Light-Emitting Diode (LED)

Levando-se em conta que a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz é dada por $c = \lambda \cdot f$, podemos encontrar o comprimento de onda da luz emitida pelo LED da seguinte forma:

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_G}{h} \quad \therefore \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{E_G}$$



Exemplo

O gap de energia entre as bandas de condução e de valência de um material semicondutor do tipo GaAsP é $E_G = 1,9$ eV. Nesse caso, considerando que $1,0$ eV = $1,6 \cdot 10^{-19}$ J, que a velocidade da luz é $c = 3 \cdot 10^8$ m/s e que a constante de Planck é $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ J·s, teremos que:

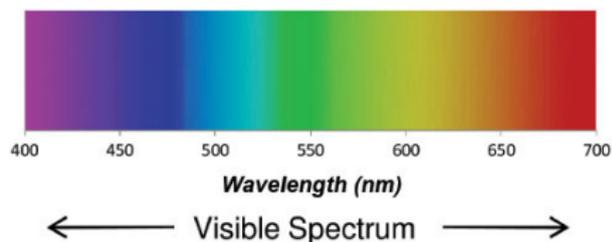
$$\lambda = \frac{c \cdot h}{E_G} = \frac{3 \cdot 10^8 \times 6,626 \cdot 10^{-34}}{1,9 \times 1,6 \cdot 10^{-19}} = 653,9 \text{ nm}$$

Este comprimento de onda corresponde à faixa entre o laranja e o vermelho.

Light-Emitting Diode (LED)

Levando-se em conta que a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz é dada por $c = \lambda \cdot f$, podemos encontrar o comprimento de onda da luz emitida pelo LED da seguinte forma:

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_G}{h} \quad \therefore \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{E_G}$$

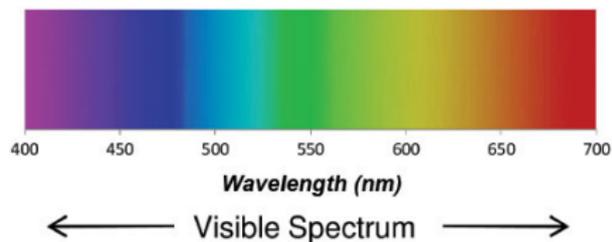


Material	Comprimento de Onda (nm)	Cor	V_D (V)
GaAs	850-940	Infravermelho	1,2
GaAsP	630-660	Vermelho	1,8
GaAsP	605-620	Âmbar	2,0
GaAsPN	585-595	Amarelo	2,2
AlGaP	550-570	Verde	3,5
SiC	430-505	Azul	3,6
GaInN	450	Branco	4,0

Light-Emitting Diode (LED)

Levando-se em conta que a relação entre a frequência e o comprimento de onda da luz é dada por $c = \lambda \cdot f$, podemos encontrar o comprimento de onda da luz emitida pelo LED da seguinte forma:

$$\frac{c}{\lambda} = \frac{E_G}{h} \quad \therefore \quad \lambda = \frac{c \cdot h}{E_G}$$

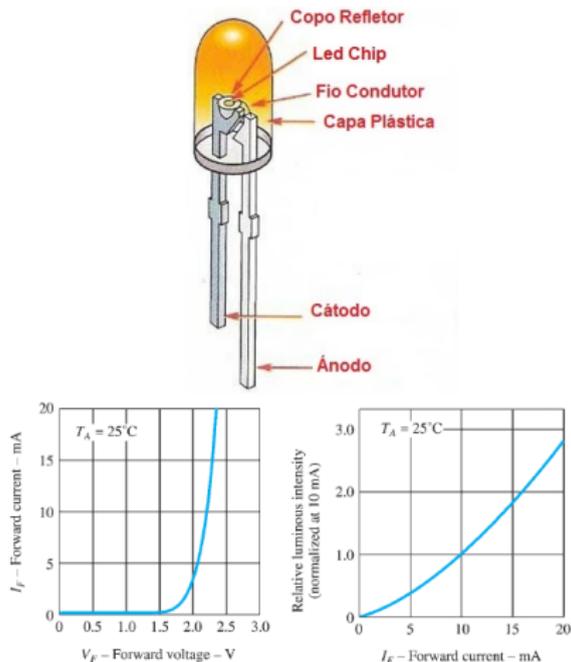


LED Branco

Hoje, os “LEDs brancos” são construídos a partir de um LED azul abaixo de um filme fino fosforescente. Quando a luz azul atinge o filme fosforescente, uma luz amarelada é gerada pelo próprio filme. Assim, é a mistura dessa emissão amarelada com a emissão azul do LED que formam a luz branca percebida pelo olho humano.



LED Vermelho Prático

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

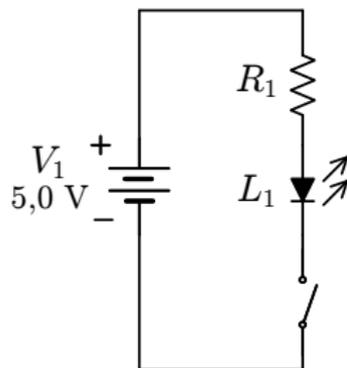
Symbol	Description	High-Efficiency Red 4160			Units	Test Conditions
		Min.	Typ.	Max.		
I_V	Axial luminous intensity	1.0	3.0		mcld	$I_F = 10\text{ mA}$
$2\theta_{1/2}$	Included angle between half luminous intensity points		80		degree	Note 1
λ_{peak}	Peak wavelength		635		nm	Measurement at peak
λ_d	Dominant wavelength		628		nm	Note 2
τ_r	Speed of response		90		ns	
C	Capacitance		11		pF	$V_F = 0$; $f = 1\text{ Mhz}$
θ_{JC}	Thermal resistance		120		$^\circ\text{C/W}$	Junction to cathode lead at 0.79 mm (0.031 in.) from body
V_F	Forward voltage		2.2	3.0	V	$I_F = 10\text{ mA}$
BV_R	Reverse breakdown voltage	5.0			V	$I_R = 100\ \mu\text{A}$
η_h	Luminous efficacy		147		lm/W	Note 3

NOTES:

- $\theta_{1/2}$ is the off-axis angle at which the luminous intensity is half the axial luminous intensity.
- The dominant wavelength, λ_d , is derived from the CIE chromaticity diagram and represents the single wavelength that defines the color of the device.
- Radiant intensity, I_e , in watts/steradian, may be found from the equation $I_e = I_v/\eta_h$, where I_v is the luminous intensity in candelas and η_h is the luminous efficacy in lumens/watt.

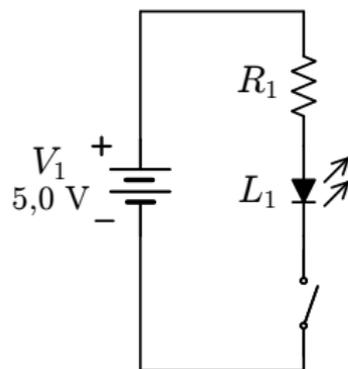
Exemplo de Projeto

No circuito da figura ao lado, considere que o LED vermelho apresenta uma queda de tensão $V_D = 2,3 \text{ V}$ quando polarizado diretamente com uma corrente de 10 mA . Dessa forma, dimensione o resistor R_1 de modo que o LED acenda com esse valor de corrente elétrica quando a chave for fechada.



Exemplo de Projeto

No circuito da figura ao lado, considere que o LED vermelho apresenta uma queda de tensão $V_D = 2,3$ V quando polarizado diretamente com uma corrente de 10 mA. Dessa forma, dimensione o resistor R_1 de modo que o LED acenda com esse valor de corrente elétrica quando a chave for fechada.



Solução

A partir da equação de malha do circuito, temos que:

$$V_1 - R_1 I_D - V_D = 0 \quad \therefore \quad R_1 = \frac{V_1 - V_D}{I_D}$$

Dessa forma, usando as especificações do projeto, teremos:

$$R_1 = \frac{5,0 - 2,3}{10} = 0,27 \text{ k}\Omega$$

$$R_1 = 270\Omega$$

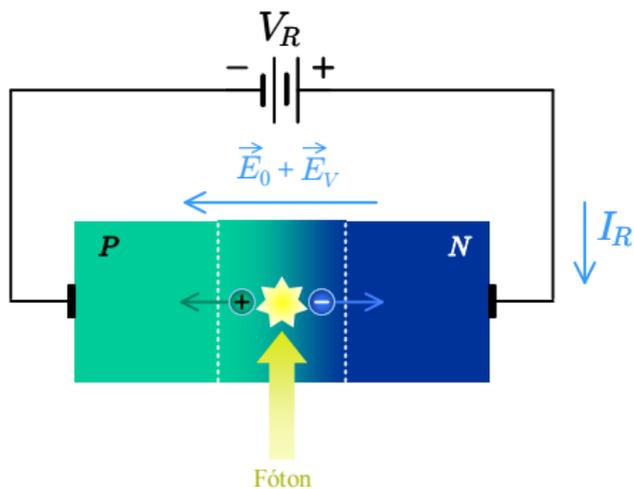
Agenda da Aula - Capítulo 16

- Diodos Zener
- Light-Emitting Diode (LED)
- **Fotodiodos**
- Display de Cristal Líquido (LCD)
- Termistores

Fotodiodos



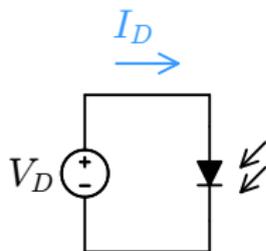
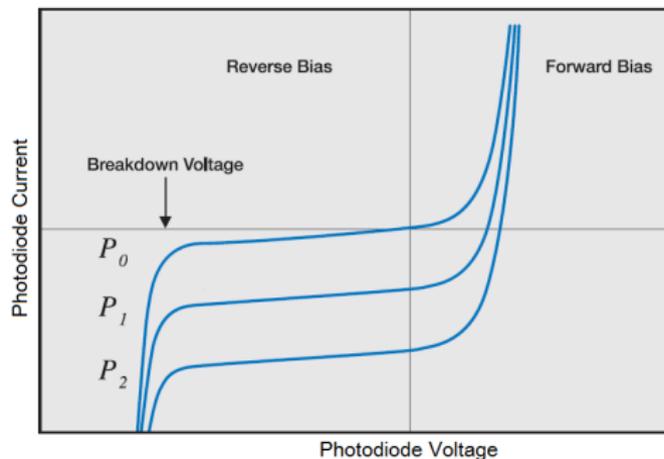
Fotodiodos - Operação Física



Operação Física

- Os fotodiodos são diodos que operam de forma oposta aos LEDs, ou seja, são dispositivos que produzem uma resposta elétrica quando são irradiados por luz.
- Cada fóton de luz incidente fornece energia suficiente para arrancar um elétron da banda de valência e levá-lo para a banda de condução, produzindo um par elétron-buraco.
- Esses portadores minoritários gerados são impulsionados pelo campo elétrico da região de depleção, provocando um aumento na corrente reversa I_R .
- Quanto maior a incidência de luz, maior será a quantidade de pares elétron-buraco gerada e maior será a corrente reversa.

Fotodiodos - Operação Física



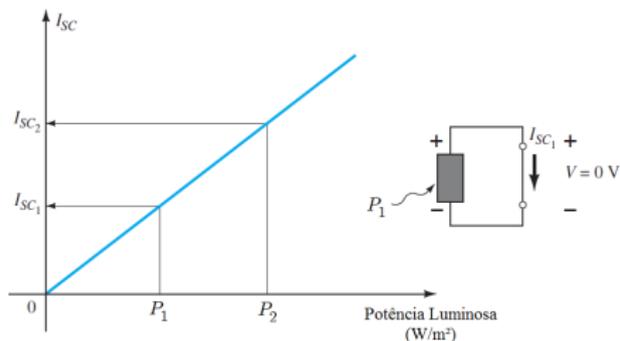
Operação Física

- Os fotodiodos são diodos que operam de forma oposta aos LEDs, ou seja, são dispositivos que produzem uma resposta elétrica quando são irradiados por luz.
- Cada fóton de luz incidente fornece energia suficiente para arrancar um elétron da banda de valência e levá-lo para a banda de condução, produzindo um par elétron-buraco.
- Esses portadores minoritários gerados são impulsionados pelo campo elétrico da região de depleção, provocando um aumento na corrente reversa I_R .
- Quanto maior a incidência de luz, maior será a quantidade de pares elétron-buraco gerada e maior será a corrente reversa.

Modos de Operação do Fotodiodo

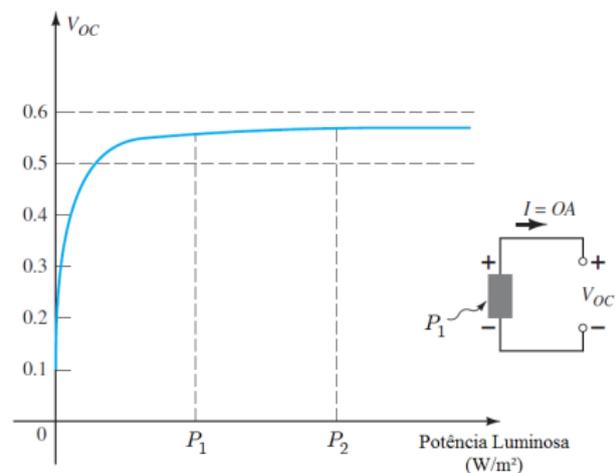
Modo Fotocondutivo

Nesse modo de operação, a tensão sobre o fotodiodo é mantida em zero.



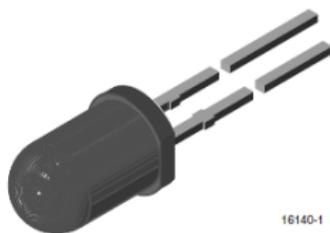
Modo Fotovoltaico

Nesse modo de operação, a corrente no fotodiodo é mantida em zero.



Fotodiodos Práticos

Silicon PIN Photodiode



FEATURES

- Package type: leaded
- Package form: T-1¼
- Dimensions (in mm): \varnothing 5
- Radiant sensitive area (in mm²): 0.78
- Leads with stand-off
- High radiant sensitivity
- Daylight blocking filter matched with 870 nm to 950 nm emitters
- High bandwidth: > 100 MHz at $V_R = 12$ V
- Fast response times
- Angle of half sensitivity: $\varphi = \pm 20^\circ$
- Material categorization: for definitions of compliance please see www.vishay.com/doc?99912

APPLICATIONS

- High speed detector for infrared radiation
- Infrared remote control and free air data transmission systems, e.g. in combination with TSFFxxxx series IR emitters

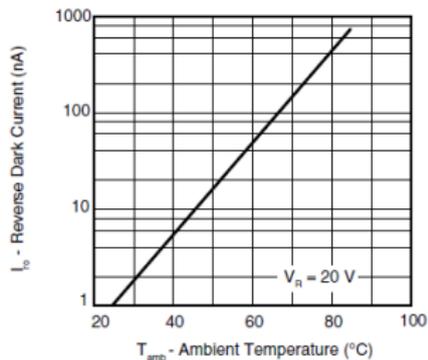


RoHS
COMPLIANT

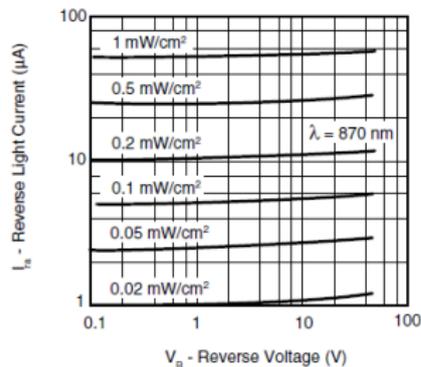
DESCRIPTION

BPV10NF is a PIN photodiode with high speed and high radiant sensitivity in black, T-1¼ plastic package with daylight blocking filter. Filter bandwidth is matched with 870 nm to 950 nm IR emitters.

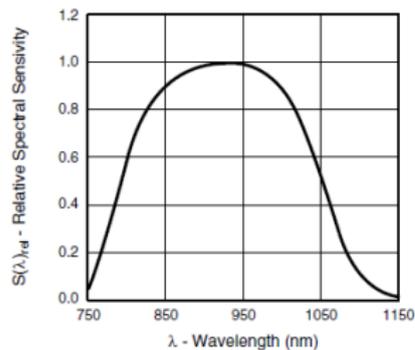
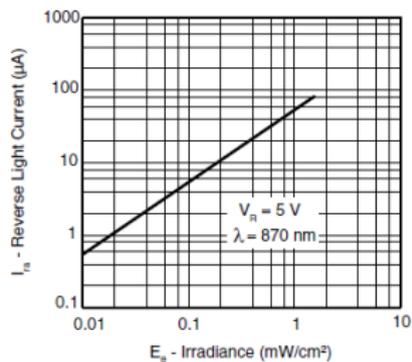
Fotodiodos Práticos



Reverse Dark Current vs. Ambient Temperature



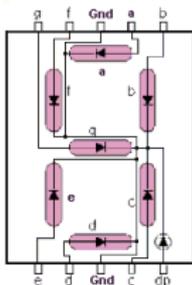
Reverse Light Current vs. Reverse Voltage



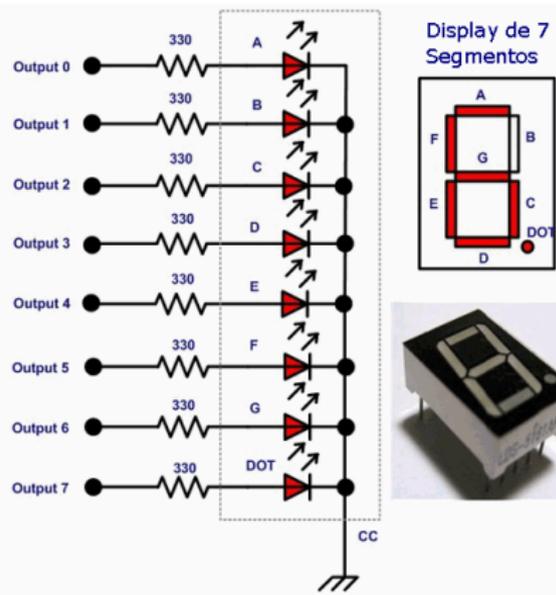
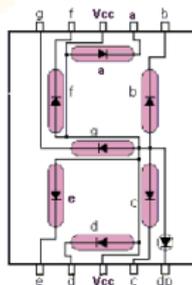
Aplicações de LEDs e Fotodiodos

- Iluminação e Displays:

Common Cathode



Common Anode



Aplicações de LEDs e Fotodiodos

- Controles Remotos:

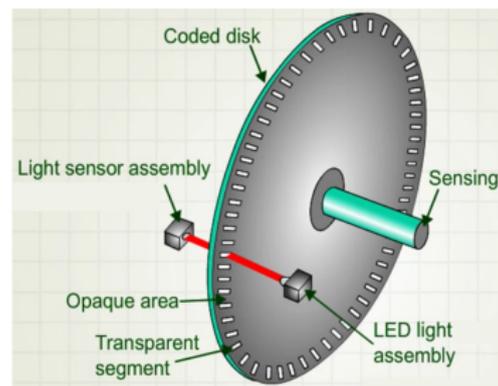
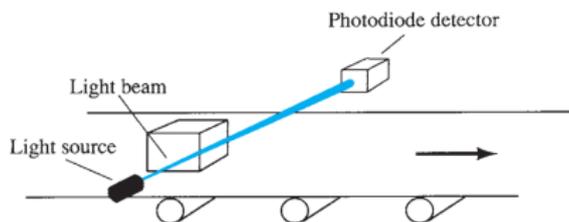


Aplicações de LEDs e Fotodiodos

- Controles Remotos:

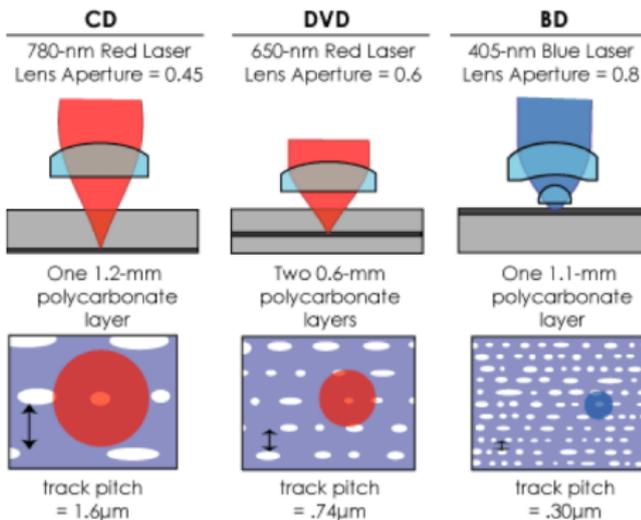
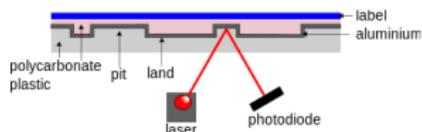


- Instrumentação:



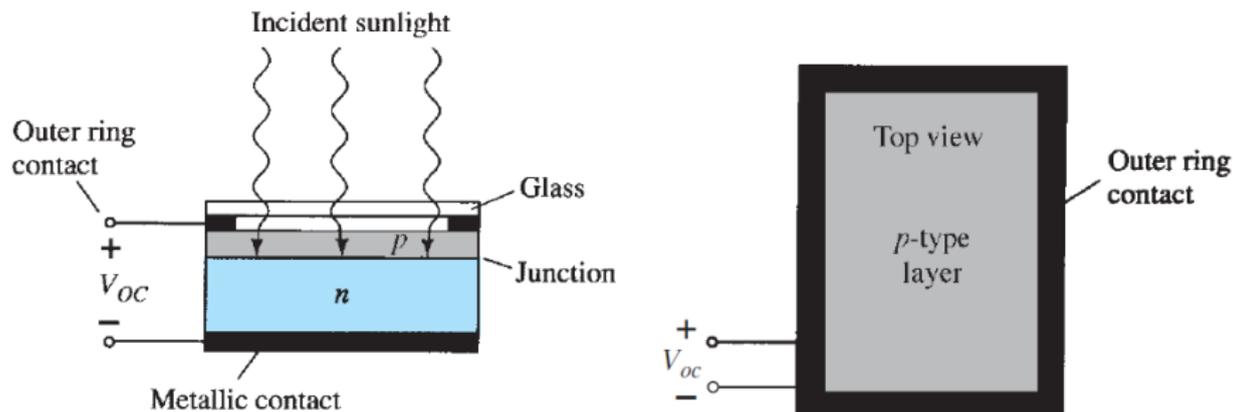
Aplicações de LEDs e Fotodiodos

- Leitores Ópticos:



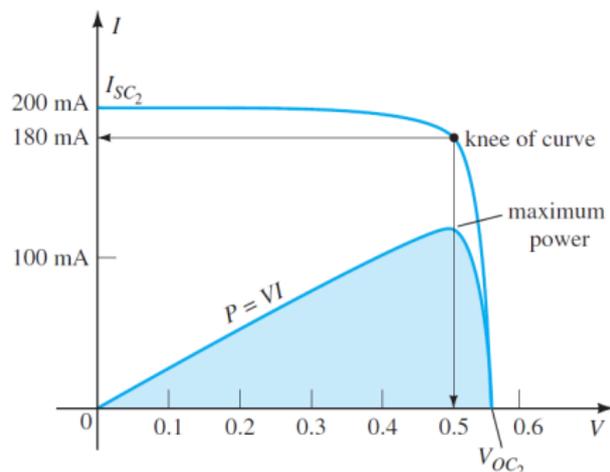
Aplicação de Fotodiodos: Células Solares

- O princípio físico de funcionamento dos fotodiodos permite a captação de energia solar, cuja densidade de potência ao nível do mar é de até $1,0 \text{ kW/m}^2$.
- Os dispositivos usados para a captação de energia solar são chamados de Células Solares e são basicamente fotodiodos com uma grande área de junção PN para maximizar a conversão de luz em energia elétrica.



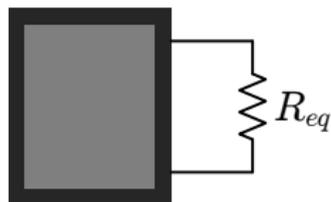
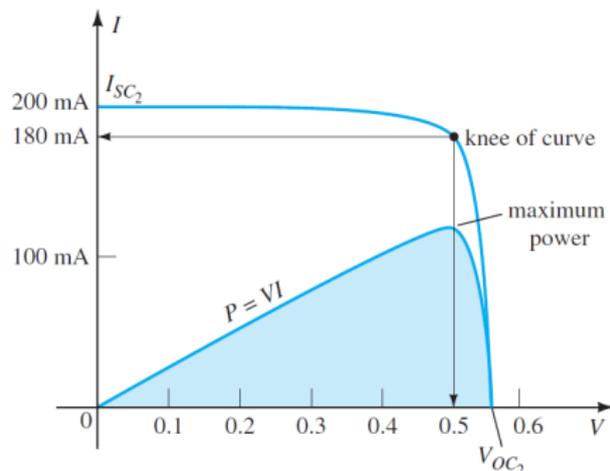
Princípio de Captação da Energia Solar

- Para uma dada intensidade de luz incidente, existe uma única combinação de tensão e corrente na célula solar que maximiza a potência extraída desta.
- Para maximizar a potência gerada, a célula solar deve enxergar uma resistência de carga equivalente tal que $R_{eq} = \frac{V_k}{I_k}$.
- Para isso, é usado um circuito conversor que é controlado para fazer com que a célula solar sempre enxergue o valor ótimo de resistência de carga.



Princípio de Captação da Energia Solar

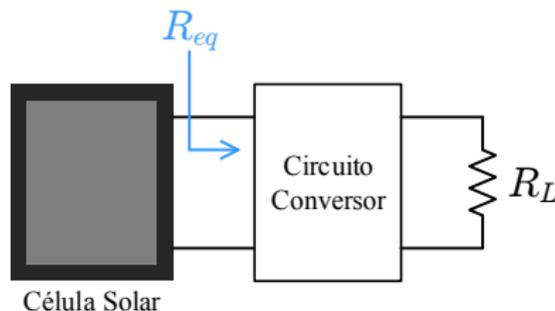
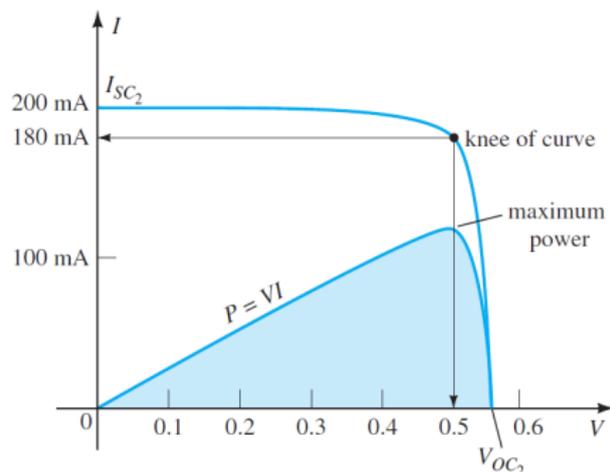
- Para uma dada intensidade de luz incidente, existe uma única combinação de tensão e corrente na célula solar que maximiza a potência extraída desta.
- Para maximizar a potência gerada, a célula solar deve enxergar uma resistência de carga equivalente tal que $R_{eq} = \frac{V_k}{I_k}$.
- Para isso, é usado um circuito conversor que é controlado para fazer com que a célula solar sempre enxergue o valor ótimo de resistência de carga.



Célula Solar

Princípio de Captação da Energia Solar

- Para uma dada intensidade de luz incidente, existe uma única combinação de tensão e corrente na célula solar que maximiza a potência extraída desta.
- Para maximizar a potência gerada, a célula solar deve enxergar uma resistência de carga equivalente tal que $R_{eq} = \frac{V_k}{I_k}$.
- Para isso, é usado um circuito conversor que é controlado para fazer com que a célula solar sempre enxergue o valor ótimo de resistência de carga.



Agenda da Aula - Capítulo 16

- Diodos Zener
- Light-Emitting Diode (LED)
- Fotodiodos
- Display de Cristal Líquido (LCD)
- Termistores

Display de Cristal Líquido

Os Displays de Cristal Líquido (LCD) têm sido amplamente utilizados em aparelhos eletrônicos em virtude do menor consumo de energia, quando comparados aos displays de LED ou de CRT. Mas, o que são exatamente os cristais líquidos?



Display de Cristal Líquido

Os Displays de Cristal Líquido (LCD) têm sido amplamente utilizados em aparelhos eletrônicos em virtude do menor consumo de energia, quando comparados aos displays de LED ou de CRT. Mas, o que são exatamente os cristais líquidos?

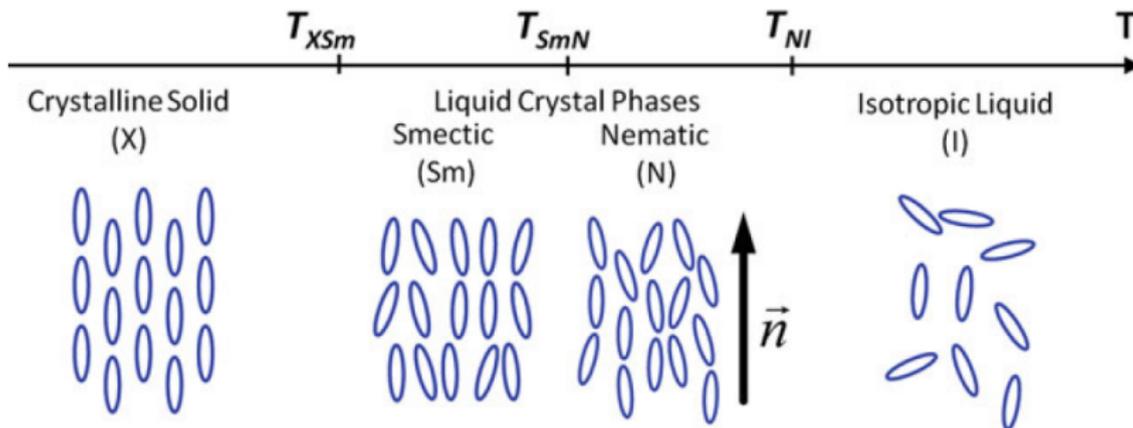


A distinção entre os estados físicos da matéria (sólido, líquido e gasoso) é dada pelo grau de tipo de ordenamento que suas moléculas exibem com respeito às suas vizinhanças:

- Sólidos cristalinos apresentam elevado grau de ordenamento de suas moléculas.
- Líquidos apresentam um certo grau de ordenamento, mas que sofre alterações ao longo do tempo.
- Gases não apresentam nenhum grau de ordenamento de suas moléculas.

Cristais Líquidos

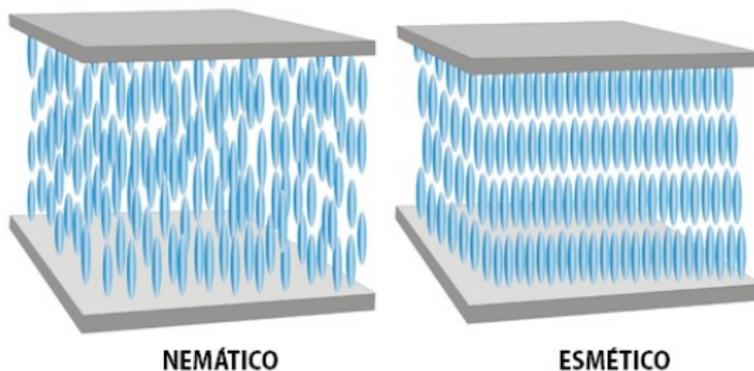
Materiais constituídos por moléculas com formato anisotrópico (elipsoidal, discoide, etc.) podem apresentar um estado **líquido cristalino**, que é intermediário entre os estados sólido cristalino e o líquido isotrópico.



Cristais Líquidos

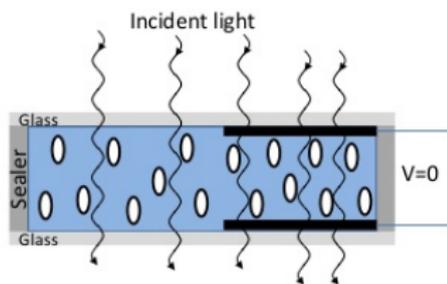
Materiais constituídos por moléculas com formato anisotrópico (elipsoidal, discoide, etc.) podem apresentar um estado **líquido cristalino**, que é intermediário entre os estados sólido cristalino e o líquido isotrópico.

- **Fase Nemática:** as moléculas apresentam um ordenamento orientacional de longo prazo, mas não apresentam ordenamento posicional. A grande maioria dos displays de cristal líquido usam materiais que estão nessa fase na temperatura ambiente.
- **Fase Esmética:** as moléculas se organizam em camadas com ordenamento orientacional. Em cada camada os centros de massa de cada molécula se encontram numa ordem do tipo líquida isotrópica. Entretanto, ao longo da direção perpendicular às camadas, há um ordenamento posicional de longo prazo dos centros de massa.

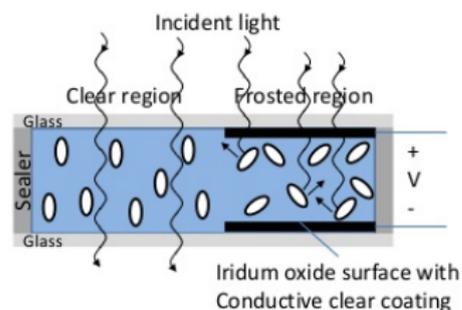


Dynamic Scattering Mode (DSM)

Os primeiros displays de cristal líquido foram desenvolvidos pela RCA em 1968 e se baseavam na mudança de orientação que as moléculas no estado nemático sofrem ao aplicar-se um campo elétrico ao cristal líquido. Dependendo da orientação das moléculas, o material pode-se apresentar transparente ou opaco à luz.



Nematic Liquid crystal with no bias



Nematic Liquid crystal with applied bias

A polarização do cristal líquido é realizada através da aplicação de uma tensão elétrica a duas placas condutoras e transparentes de óxido de índio.



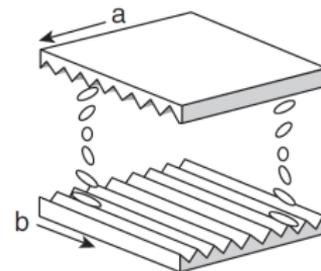
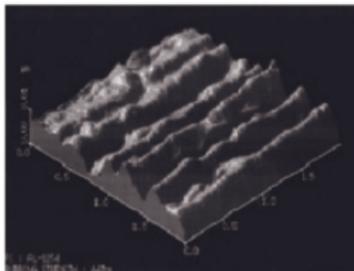
Twisted Nematic (TN)

A tecnologia Nemática Torcida (*Twisted Nematic*) baseia-se na mudança de orientação da luz polarizada quando esta atravessa um cristal nemático torcido.

Twisted Nematic (TN)

A tecnologia Nemática Torcida (*Twisted Nematic*) baseia-se na mudança de orientação da luz polarizada quando esta atravessa um cristal nemático torcido.

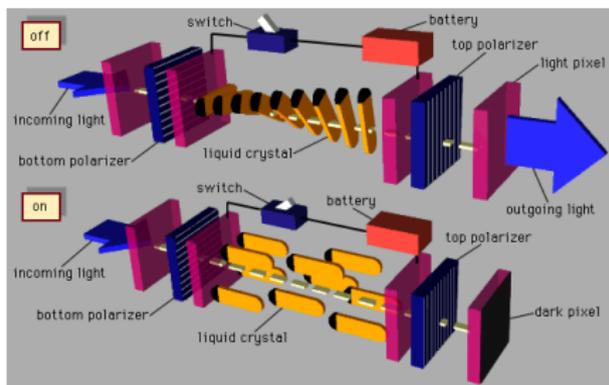
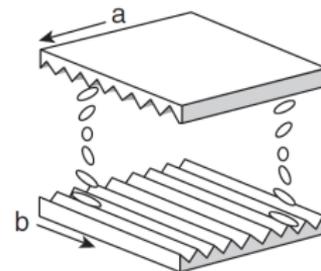
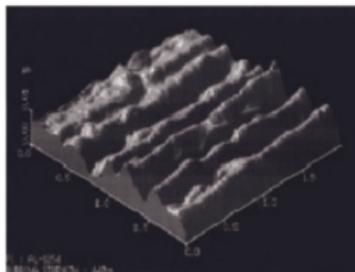
Usando substratos de vidro com micro ranhuras para ancorar as moléculas do cristal líquido em orientações perpendiculares em ambas as faces do material, é possível produzir um cristal líquido com orientação nemática torcida.



Twisted Nematic (TN)

A tecnologia Nemática Torcida (*Twisted Nematic*) baseia-se na mudança de orientação da luz polarizada quando esta atravessa um cristal nemático torcido.

Usando substratos de vidro com micro ranhuras para ancorar as moléculas do cristal líquido em orientações perpendiculares em ambas as faces do material, é possível produzir um cristal líquido com orientação nemática torcida.

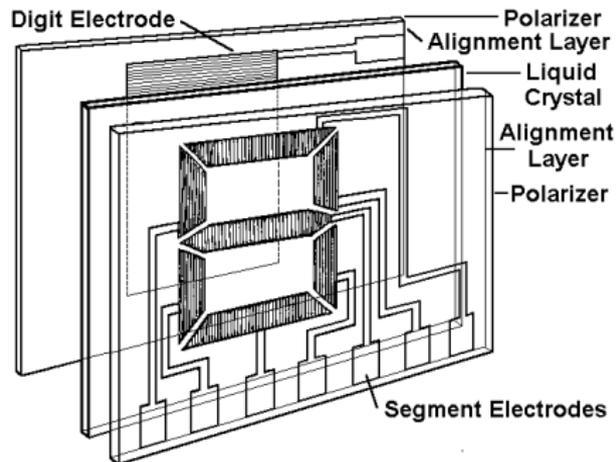
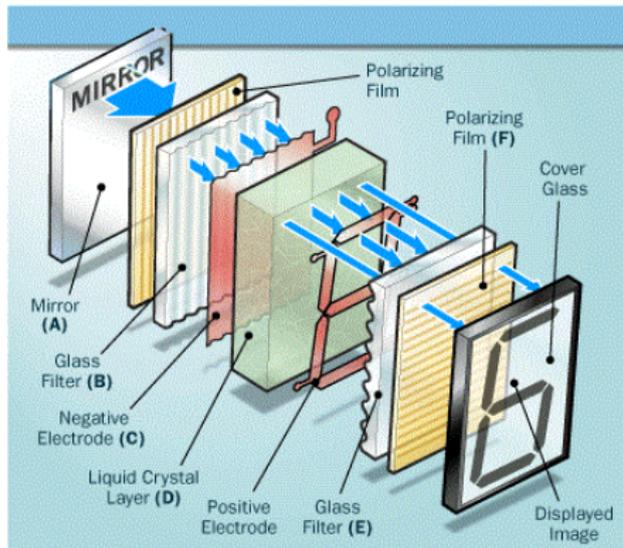


Aplicando-se um campo elétrico ao cristal líquido, a orientação torcida das moléculas é desfeita e a polarização da luz não sofre o deslocamento de 90° .

A grande vantagem dessa técnica é a capacidade de se produzir vários níveis de cinza, dependendo da tensão elétrica aplicada.

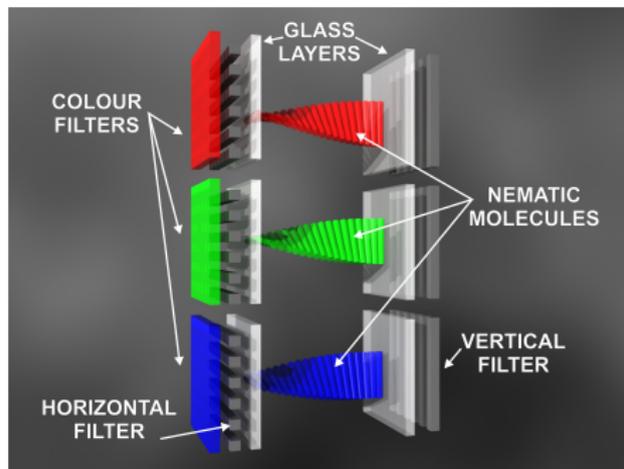
Twisted Nematic (TN)

Em virtude do seu baixíssimo consumo de potência, os displays da tecnologia TN são os mais usados hoje na construção de mostradores de relógios de pulso e calculadoras.



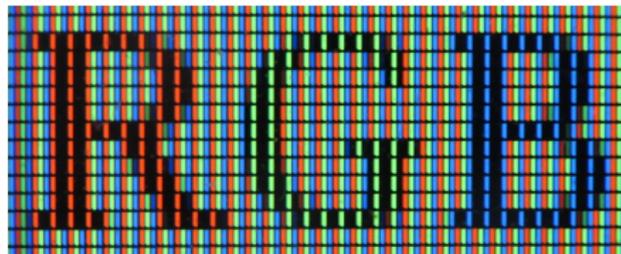
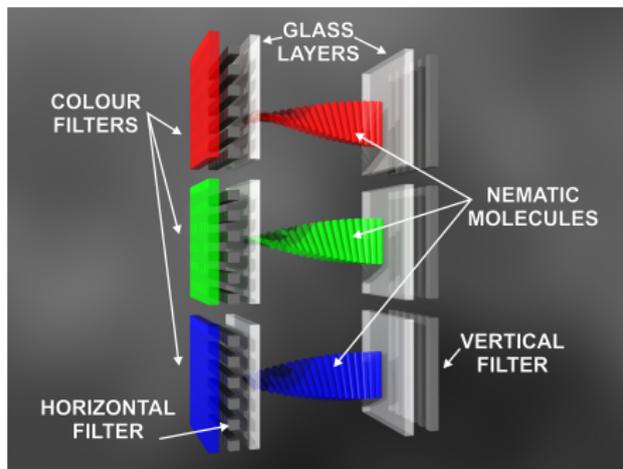
Telas de LCD Coloridas

As telas de LDC coloridas usadas em monitores de vídeo e televisões seguem o mesmo princípio de funcionamento que os displays monocromáticos. A diferença é que cada ponto da tela (pixel) é composto por três elementos responsáveis por definir as parcelas de vermelho (R), verde (G) e azul (B).



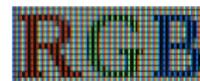
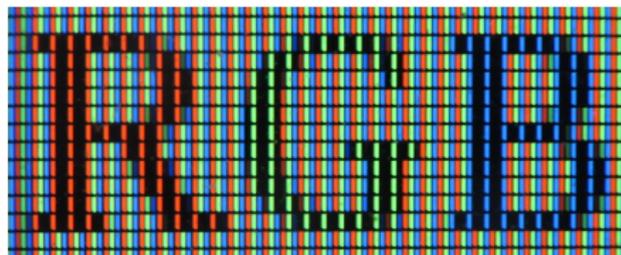
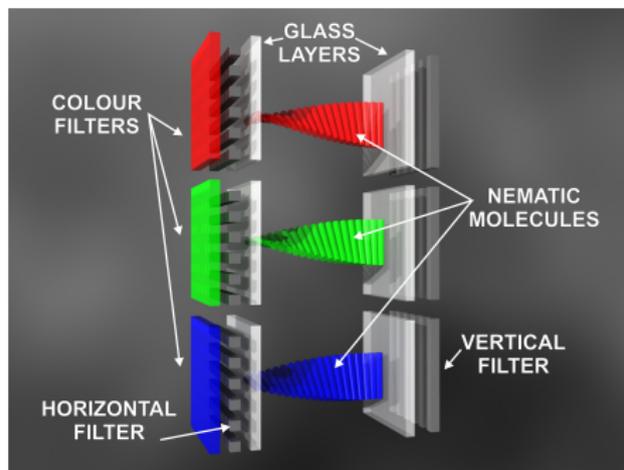
Telas de LCD Coloridas

As telas de LDC coloridas usadas em monitores de vídeo e televisões seguem o mesmo princípio de funcionamento que os displays monocromáticos. A diferença é que cada ponto da tela (pixel) é composto por três elementos responsáveis por definir as parcelas de vermelho (R), verde (G) e azul (B).



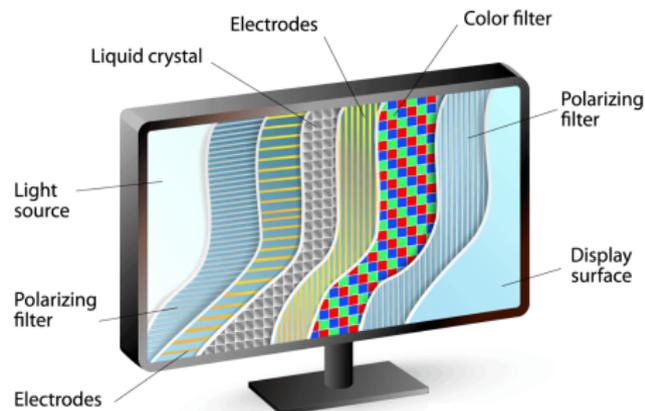
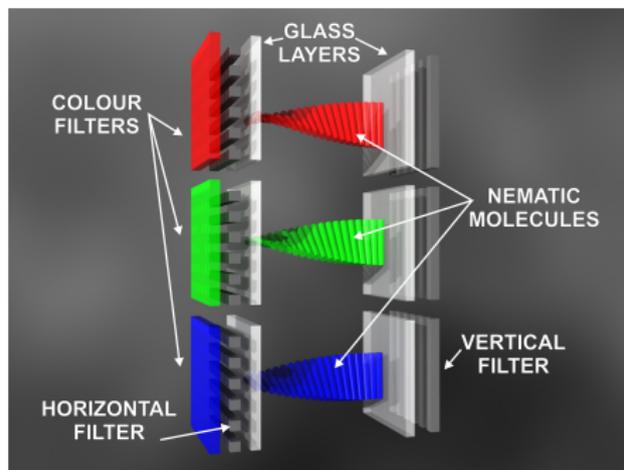
Telas de LCD Coloridas

As telas de LDC coloridas usadas em monitores de vídeo e televisões seguem o mesmo princípio de funcionamento que os displays monocromáticos. A diferença é que cada ponto da tela (pixel) é composto por três elementos responsáveis por definir as parcelas de vermelho (R), verde (G) e azul (B).



Telas de LCD Coloridas

As telas de LDC coloridas usadas em monitores de vídeo e televisões seguem o mesmo princípio de funcionamento que os displays monocromáticos. A diferença é que cada ponto da tela (pixel) é composto por três elementos responsáveis por definir as parcelas de vermelho (R), verde (G) e azul (B).



Agenda da Aula - Capítulo 16

- Diodos Zener
- Light-Emitting Diode (LED)
- Fotodiodos
- Display de Cristal Líquido (LCD)
- **Termistores**

Termistores

Termistores são resistores construídos com um material semicondutor, cuja resistência elétrica varia significativamente com a temperatura.



Termistores

Termistores são resistores construídos com um material semicondutor, cuja resistência elétrica varia significativamente com a temperatura.



Existem dois tipos de termistores:

- Coeficiente de Temperatura Positivo (**PTC**): onde a resistência aumenta com o aumento da temperatura.
- Coeficiente de Temperatura Negativo (**NTC**): onde a resistência diminui com o aumento da temperatura.

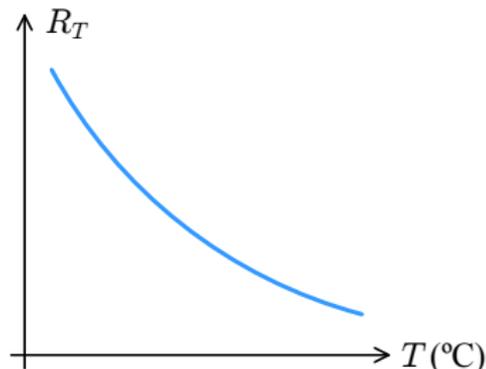
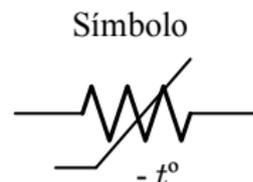
Termistores NTC

- Termistores NTC são geralmente construídos por óxidos metálicos que exibem um comportamento semicondutor, entre eles os óxidos de cromo, cobalto, níquel, cobre, ferro, manganês e titânio.
- O aumento da excitação térmica dos elétrons no material semicondutor aumenta a geração de elétrons livres e buracos, reduzindo a resistência elétrica do material.
- A variação da resistência elétrica em um termistor NTC é dada por:

$$R(T) = R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)},$$

onde R_0 é a resistência medida na temperatura de referência T_0 (em Kelvin) e B é a constante característica do termistor.

- Entre as principais aplicações de termistores NTC estão: sensores de temperatura, sistemas de compensação de temperatura, sensores de fluxo de líquidos e gases e sensores de nível de líquidos.



Termistores NTC

Temperature measurement

B57560G, B57560G1

Glass-encapsulated sensors

G560/G1560

Applications

- Temperature measurement

Features

- Glass-encapsulated, heat-resistive and highly stable
- For temperature measurement up to 300 °C
- Leads: dumet wires (copper-clad FeNi)

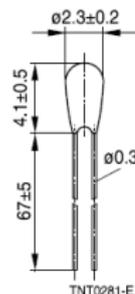
Options

- Leads: nickel-plated dumet wires
- Alternative dimensions available on request

Delivery mode

Bulk

Dimensional drawing



Dimensions in mm

General technical data

Climatic category	(IEC 60068-1)		55/300/56	
Max. power	(at 25 °C)	P_{25}	50	mW
Resistance tolerance		$\Delta R_R/R_R$	$\pm 1, \pm 2, \pm 3$	%
Rated temperature		T_R	25	°C
Dissipation factor	(in air)	δ_{th}	approx. 1.3	mW/K
Thermal cooling time constant	(in air)	τ_c	approx. 15	s
Heat capacity		C_{th}	approx. 20	mJ/K

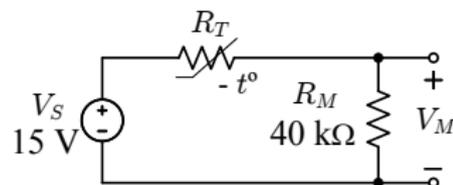
Termistores NTC

Electrical specification and ordering codes

R_{25} Ω	$B_{25/85}$ K	$B_{0/100}$ K	$B_{25/100}$ K	Ordering code
2 k	3420	3390	3436	B57560G0202+000
2 k	3420	3390	3436	B57560G0202+002
5 k	3480	3450	3497	B57560G0502+000
5 k	3480	3450	3497	B57560G0502+002
10 k	3612	3586	3625	B57560G1103+005
10 k	3612	3586	3625	B57560G1103+007
10 k	3478	3450	3492	B57560G1103+000
10 k	3478	3450	3492	B57560G1103+002
20 k	3992	3970	4006	B57560G0203+000
20 k	3992	3970	4006	B57560G0203+002
30 k	3973	3944	3988	B57560G1303+005
30 k	3973	3944	3988	B57560G1303+007
50 k	3992	3970	4006	B57560G0503+000
50 k	3992	3970	4006	B57560G0503+002
100 k	4072	4036	4092	B57560G1104+000
100 k	4072	4036	4092	B57560G1104+002
1400 k	4557	5133	4581	B57560G0145+000
1400 k	4557	5133	4581	B57560G0145+002

Medição de Temperatura com um Termistor NTC

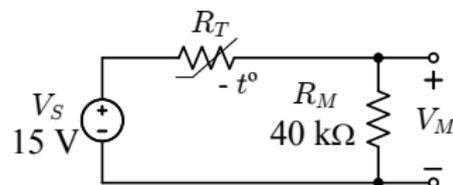
- Embora a relação entre a resistência do termistor e a sua temperatura seja não linear, pode-se construir um sensor de temperatura razoavelmente linear através de um divisor de tensão resistivo.
- No exemplo ao lado, consideramos um termistor NTC com $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $R_0 = 40\text{ k}\Omega$ e $B = 3970\text{ K}$. Nesse circuito, a tensão na saída V_M depende da temperatura do termistor da seguinte forma:



Medição de Temperatura com um Termistor NTC

- Embora a relação entre a resistência do termistor e a sua temperatura seja não linear, pode-se construir um sensor de temperatura razoavelmente linear através de um divisor de tensão resistivo.
- No exemplo ao lado, consideramos um termistor NTC com $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $R_0 = 40\text{ k}\Omega$ e $B = 3970\text{ K}$. Nesse circuito, a tensão na saída V_M depende da temperatura do termistor da seguinte forma:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_T + R_M} \right)$$



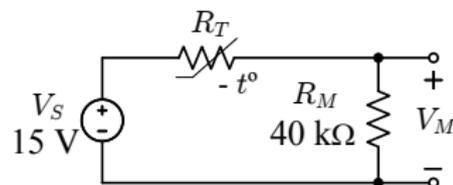
Medição de Temperatura com um Termistor NTC

- Embora a relação entre a resistência do termistor e a sua temperatura seja não linear, pode-se construir um sensor de temperatura razoavelmente linear através de um divisor de tensão resistivo.
- No exemplo ao lado, consideramos um termistor NTC com $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $R_0 = 40\text{ k}\Omega$ e $B = 3970\text{ K}$. Nesse circuito, a tensão na saída V_M depende da temperatura do termistor da seguinte forma:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_T + R_M} \right)$$

- Considerando que:

$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$



Medição de Temperatura com um Termistor NTC

- Embora a relação entre a resistência do termistor e a sua temperatura seja não linear, pode-se construir um sensor de temperatura razoavelmente linear através de um divisor de tensão resistivo.
- No exemplo ao lado, consideramos um termistor NTC com $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $R_0 = 40\text{ k}\Omega$ e $B = 3970\text{ K}$. Nesse circuito, a tensão na saída V_M depende da temperatura do termistor da seguinte forma:

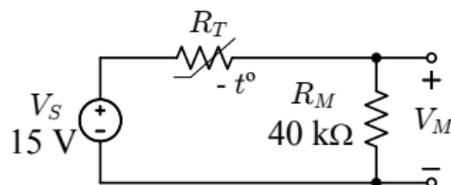
$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_T + R_M} \right)$$

- Considerando que:

$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

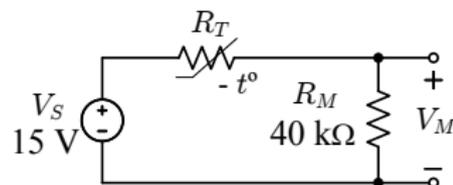
- Teremos a seguinte relação:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} + R_M} \right)$$



Medição de Temperatura com um Termistor NTC

- Embora a relação entre a resistência do termistor e a sua temperatura seja não linear, pode-se construir um sensor de temperatura razoavelmente linear através de um divisor de tensão resistivo.
- No exemplo ao lado, consideramos um termistor NTC com $T_0 = 25^\circ\text{C}$, $R_0 = 40\text{ k}\Omega$ e $B = 3970\text{ K}$. Nesse circuito, a tensão na saída V_M depende da temperatura do termistor da seguinte forma:



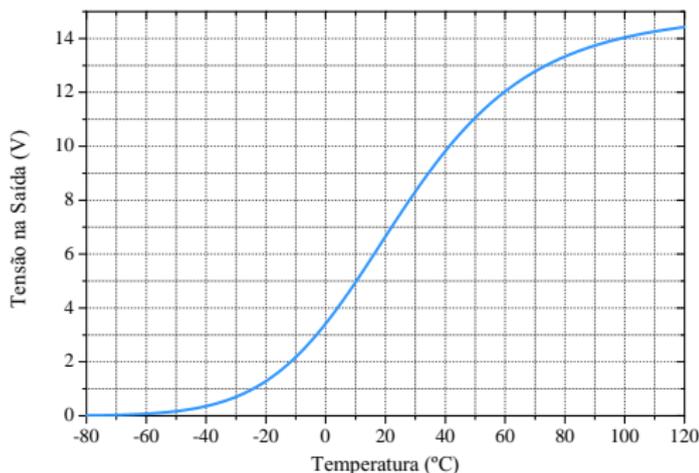
$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_T + R_M} \right)$$

- Considerando que:

$$R_T = R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)}$$

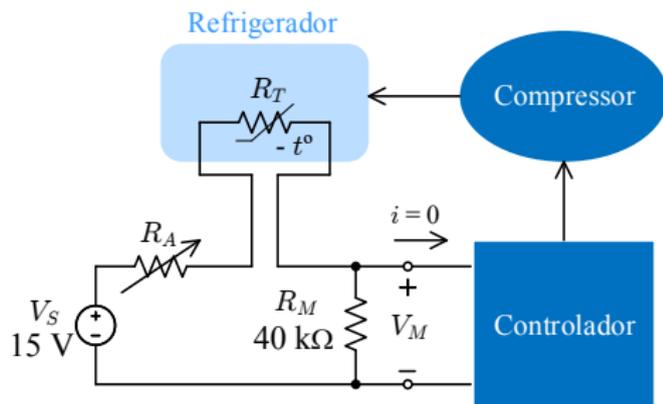
- Teremos a seguinte relação:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_0 e^{B \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)} + R_M} \right)$$



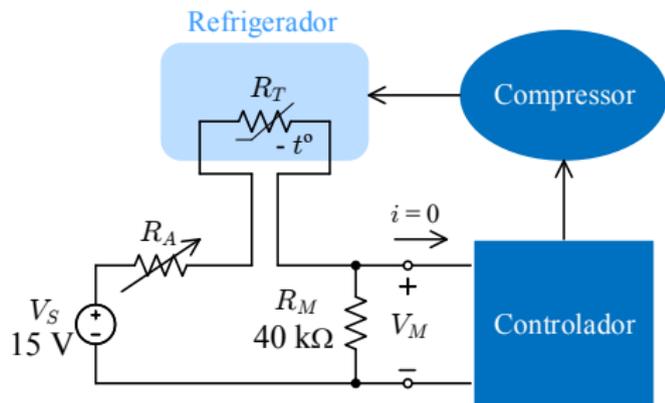
Exemplo de Aplicação - Termostato

- No sistema de controle de temperatura ao lado, considere que o termistor R_T é do tipo NTC e que apresenta $R_T(25^\circ\text{C}) = 4,0\text{ k}\Omega$ e um parâmetro $B = 3604\text{ K}$.
- Sabendo-se que o Controlador aciona o compressor de modo que a tensão V_M fique regulada em um valor de referência igual a $6,0\text{ V}$, em qual valor de resistência R_A deve ser ajustado o potenciômetro do termostato para que a temperatura dentro do refrigerador fique regulada em -10°C ?



Exemplo de Aplicação - Termostato

- No sistema de controle de temperatura ao lado, considere que o termistor R_T é do tipo NTC e que apresenta $R_T(25^\circ\text{C}) = 4,0\text{ k}\Omega$ e um parâmetro $B = 3604\text{ K}$.
- Sabendo-se que o Controlador aciona o compressor de modo que a tensão V_M fique regulada em um valor de referência igual a $6,0\text{ V}$, em qual valor de resistência R_A deve ser ajustado o potenciômetro do termostato para que a temperatura dentro do refrigerador fique regulada em -10°C ?



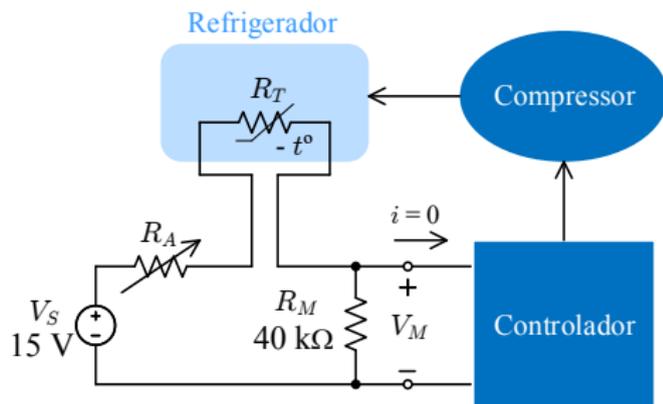
Primeiramente, precisamos expressar as temperaturas de interesse em Kelvin:

$$T_0 = 273 + 25 = 298\text{ K}$$

$$T = 273 - 10 = 263\text{ K}$$

Exemplo de Aplicação - Termostato

- No sistema de controle de temperatura ao lado, considere que o termistor R_T é do tipo NTC e que apresenta $R_T(25^\circ\text{C}) = 4,0 \text{ k}\Omega$ e um parâmetro $B = 3604 \text{ K}$.
- Sabendo-se que o Controlador aciona o compressor de modo que a tensão V_M fique regulada em um valor de referência igual a $6,0 \text{ V}$, em qual valor de resistência R_A deve ser ajustado o potenciômetro do termostato para que a temperatura dentro do refrigerador fique regulada em -10°C ?

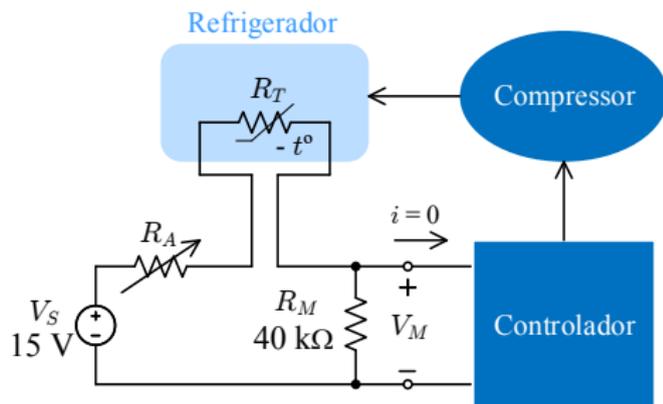


Assim, podemos calcular a resistência do termistor sob a temperatura desejada de -10°C :

$$\begin{aligned}
 R(-10^\circ\text{C}) &= R_0 e^{B\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0}\right)} \\
 &= 4,0 e^{3604\left(\frac{1}{263} - \frac{1}{298}\right)} \\
 &= 20 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Exemplo de Aplicação - Termostato

- No sistema de controle de temperatura ao lado, considere que o termistor R_T é do tipo NTC e que apresenta $R_T(25^\circ\text{C}) = 4,0\text{ k}\Omega$ e um parâmetro $B = 3604\text{ K}$.
- Sabendo-se que o Controlador aciona o compressor de modo que a tensão V_M fique regulada em um valor de referência igual a $6,0\text{ V}$, em qual valor de resistência R_A deve ser ajustado o potenciômetro do termostato para que a temperatura dentro do refrigerador fique regulada em -10°C ?

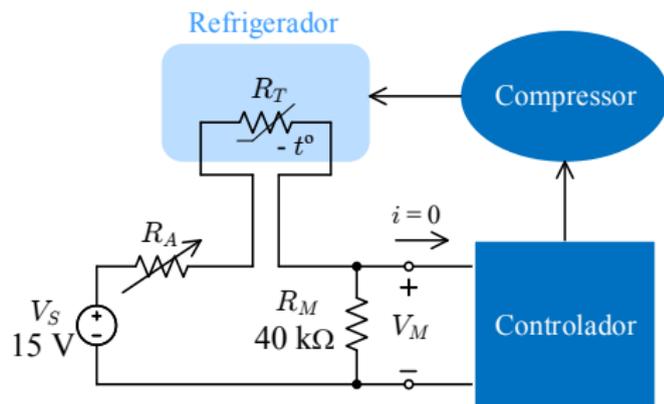


Para que $V_M = 6,0\text{ V}$ em $T = -10^\circ\text{C}$, devemos ter que:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_A + R_T + R_M} \right) \quad \therefore \quad 6,0 = 40 \cdot \left(\frac{15}{R_A + 20 + 40} \right)$$

Exemplo de Aplicação - Termostato

- No sistema de controle de temperatura ao lado, considere que o termistor R_T é do tipo NTC e que apresenta $R_T(25^\circ\text{C}) = 4,0 \text{ k}\Omega$ e um parâmetro $B = 3604 \text{ K}$.
- Sabendo-se que o Controlador aciona o compressor de modo que a tensão V_M fique regulada em um valor de referência igual a $6,0 \text{ V}$, em qual valor de resistência R_A deve ser ajustado o potenciômetro do termostato para que a temperatura dentro do refrigerador fique regulada em -10°C ?



Para que $V_M = 6,0 \text{ V}$ em $T = -10^\circ\text{C}$, devemos ter que:

$$V_M = R_M \cdot \left(\frac{V_S}{R_A + R_T + R_M} \right) \quad \therefore \quad 6,0 = 40 \cdot \left(\frac{15}{R_A + 20 + 40} \right)$$

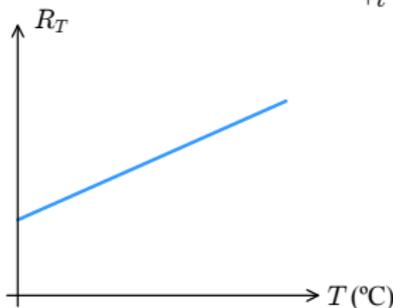
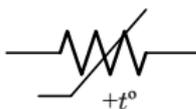
$$R_A = \frac{40 \cdot 15}{6,0} - (20 + 40) \quad \therefore \quad R_A = 40 \text{ k}\Omega$$

Termistores PTC

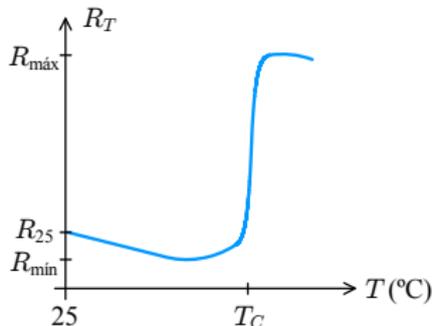
Existem dois tipos de termistores com coeficiente de temperatura positivo (PTC):

- Termistores construídos com silício (Silistores), apresentam uma relação quase linear da resistência com a temperatura, mas apresentam coeficientes de temperatura muito baixos ($0,4$ a $0,5\% ^\circ\text{C}^{-1}$).
- Termistores de Chaveamento, construídos com titanatos de bário (BaTiO_3), de chumbo (PbTiO_3) ou de estrôncio (SrTiO_3).

Símbolo



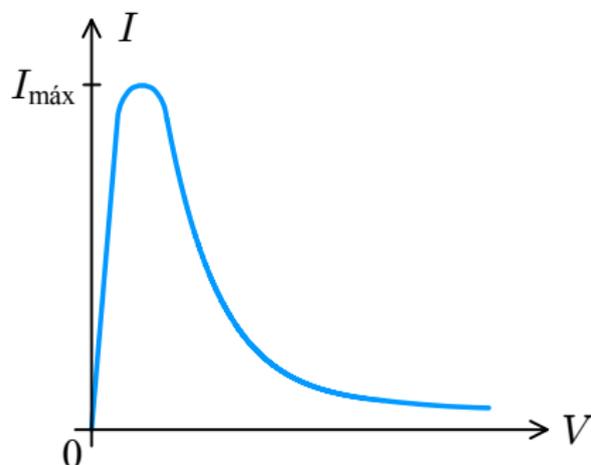
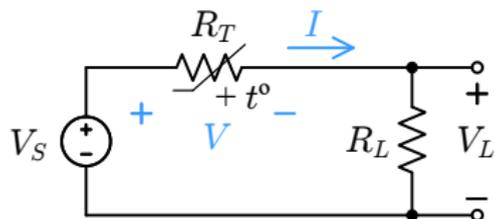
Termistor de Silício (Silistor)



Termistor tipo Chaveamento

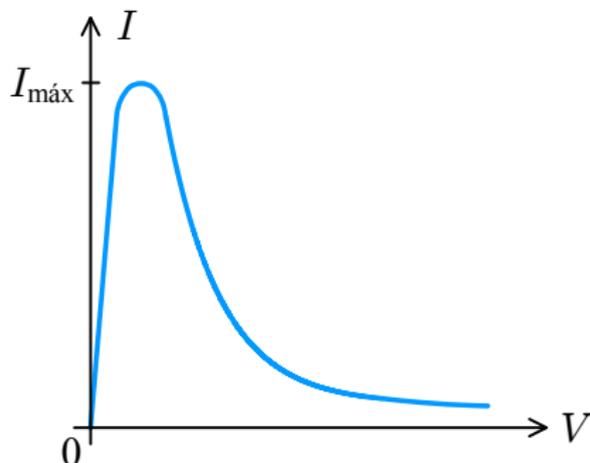
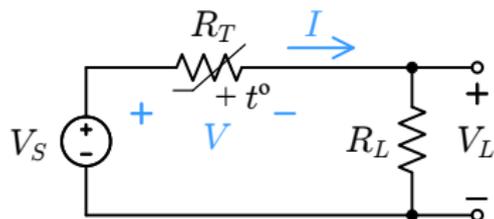
Aplicações de Termistores PTC de Chaveamento

- O aumento abrupto de resistência em um termistor na temperatura de transição T_C o torna bastante adequado para a implementação de circuitos limitadores de corrente:



Aplicações de Termistores PTC de Chaveamento

- O aumento abrupto de resistência em um termistor na temperatura de transição T_C o torna bastante adequado para a implementação de circuitos limitadores de corrente:



Outros Exemplos de Aplicação

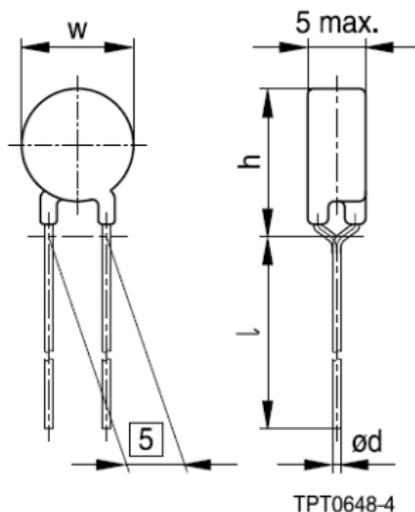
- Sistemas de proteção contra superaquecimento ou surtos de corrente.
- Termostatos de fogões e fornos elétricos.
- Sensores de nível de líquidos.
- Circuitos de atraso usados em desmagnetizadores.

Termistor PTC Tipo Chaveamento

Applications

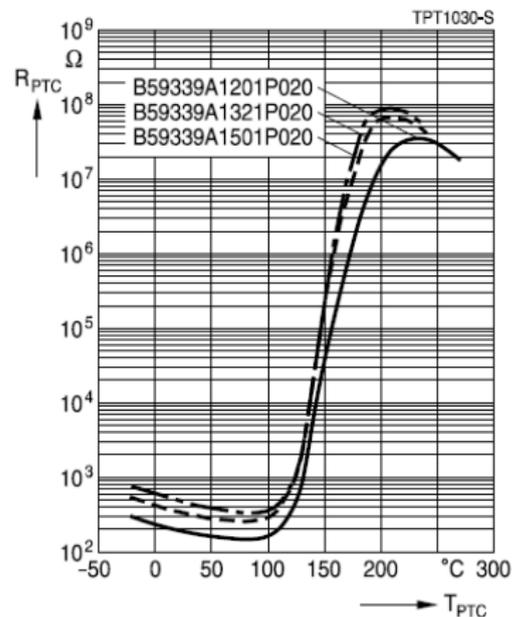
- Overcurrent protection
- Short circuit protection

Dimensional drawing



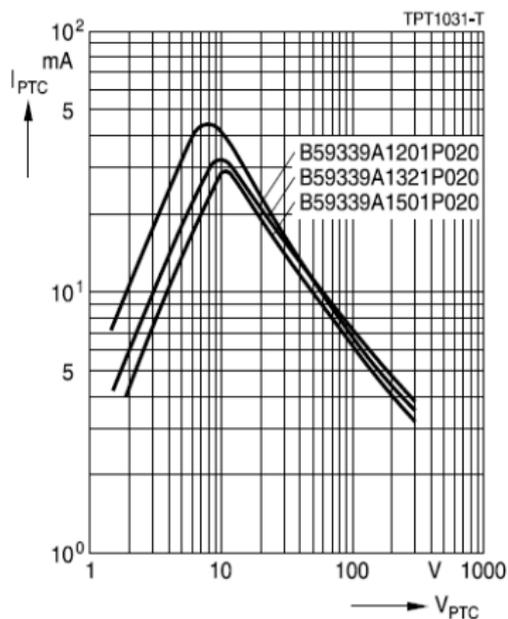
Characteristics (typical)

PTC resistance R_{PTC} versus
PTC temperature T_{PTC}
(measured at low signal voltage)



Termistor PTC Tipo Chaveamento

PTC current I_{PTC} versus PTC voltage V_{PTC}
(measured at 25 °C in still air)



Switching time t_s versus switching current I_s
(measured at 25 °C in still air)

