

10.3) Assinale V (Verdadeiro) ou F (Falso) para as afirmações seguintes referentes ao TRIAC.

- I - () Trata-se de um componente bidirecional.
- II - () Para que entre em condução, tanto no semicírculo positivo, como no semicírculo negativo, deve-se aplicar um pulso positivo no gatilho.
- III - () Possui três terminais: anodo, catodo e gatilho.
- IV - () Possui como especificações, entre outras: I_H (corrente de manutenção) e I_L (corrente de retenção), sendo $I_H < I_L$.
- V - () I_H refere-se à corrente mínima de gatilho para se manter a condução do TRIAC.

10.4) Considere o circuito da Figura 3.37 e complete as lacunas com as opções entre parênteses.

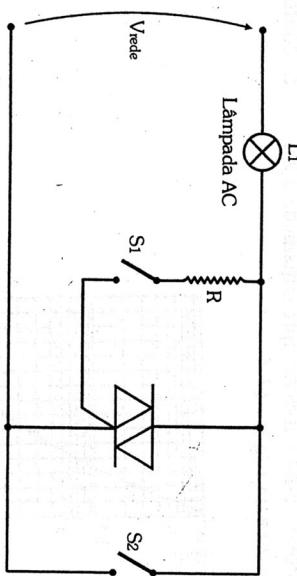


Figura 10.37 - Circuito com TRIAC.

Com S_1 aberta e S_2 fechada, a lâmpada estará _____ (acesa/apagada) e o TRIAC _____ (conduzindo/cortado). Abrindo-se S_2 e mantendo-se S_1 acionada, a lâmpada _____ (acende/apaga) e o TRIAC _____ (conduz/corta). Mantendo-se S_2 aberta e abrindo-se também S_1 , a lâmpada permanecerá _____ (acessa/apagada) até a tensão da rede chegar próxima de _____ ($127\sqrt{2}$ V / 0V / $-127\sqrt{2}$ V).

Capítulo 11

DISPOSITIVOS ESPECIAIS

11.1. LDR

O LDR (Light Dependent Resistor ou Resistor Dependente da Luz) é um dispositivo semicondutor feito à base de sulfeto de cádmio, o que o torna extremamente sensível às radiações luminosas. Sua resistência é inversamente proporcional à intensidade da luz. A Figura 11.1 mostra um exemplo de curva característica do LDR e seu símbolo.

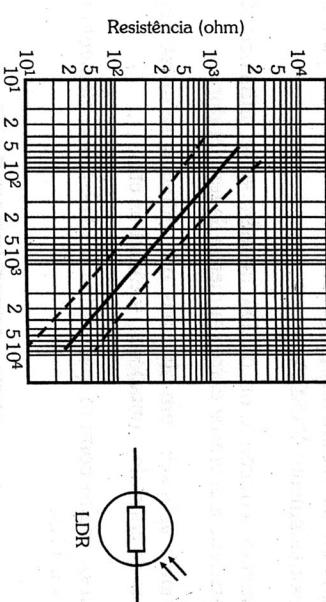


Figura 11.1 - Curva característica e símbolo do LDR.

A resistência do LDR varia de forma não linear em relação à intensidade da luz. Na Figura 11.1, o gráfico tem uma característica retílinea pelo fato de ter sido implementado a partir de escalas logarítmicas nos dois eixos.

A expressão do LDR é do tipo $R = C \cdot L^\alpha$

Em que:

R = resistência, em ohm

L = intensidade luminosa, em lux

C e α = constantes que dependem do processo e do material usado na fabricação do LDR

A sensibilidade do LDR à luz depende também do seu comprimento de onda (λ), conforme a curva de resposta mostrada na Figura 11.2.

Nesse caso, a sensibilidade máxima ocorre para luz com comprimento de onda em torno de $\lambda = 7000\text{\AA}$ ($\text{\AA} = \text{angström} = 10^{-10}\text{m}$). Esse número decresce percentualmente conforme o comprimento de onda da luz incidente se afasta desse valor.

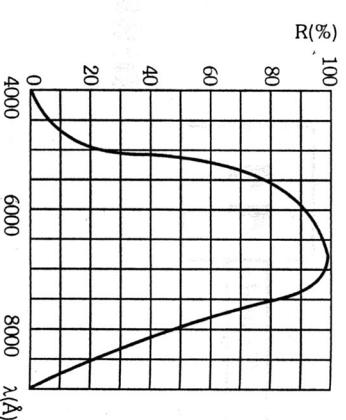


Figura 11.2 - Curva de resposta do LDR.

A variação da resistência do LDR em função da variação da intensidade luminosa não é instantânea e não ocorre de modo igual para variações bruscas de claro e escuro. Por exemplo, a redução da resistência do LDR, quando ele sai da condição de ausência de luz para a condição de incidência forte de luz, é muito rápida. Já o aumento da sua resistência quando ele sai da condição de incidência forte de luz para o escuro total é mais lenta, aproximadamente 200k Ω /s.

Por ser um elemento semicondutor, o LDR também sofre influência da temperatura, ou seja, a sua resistência decresce com o aumento da temperatura.

O LDR tem grande aplicação em sistemas que utilizam sensores luminosos, como alarmes, sistemas de controle, contadores, fotômetros etc.

Um circuito sensor muito comum que utiliza o LDR como elemento transdutor está indicado na Figura 11.3.

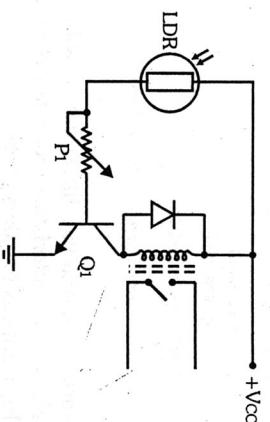


Figura 11.3 - Exemplo de aplicação do LDR.

Nesse circuito, a resistência do LDR é o elemento sensível à luz. Quando não há incidência de luz, a sua resistência é elevada, mantendo o transistor cortado. Ao incidir luz sobre o LDR, a sua resistência cai abruptamente e leva o transistor à saturação.

energizando o relé. O contato do relé, nesse caso, serve para ativar uma carga qualquer.

O potenciômetro P_1 serve para ajustar a intensidade luminosa que provoca a comutação do transistor.

11.2. Termistores

O termistor é um dispositivo semicondutor cuja resistência é extremamente sensível à temperatura. Dependendo do seu comportamento, o termistor pode ser classificado em NTC ou PTC.

11.2.1. NTC

O NTC (Negative Temperature Coefficient Resistor ou Resistor com Coeficiente Negativo de Temperatura) é um termistor cuja resistência decresce com o aumento da temperatura. Possui uma variação aproximada de 3 a 6% / °C, conforme o exemplo de curva característica da Figura 11.4.

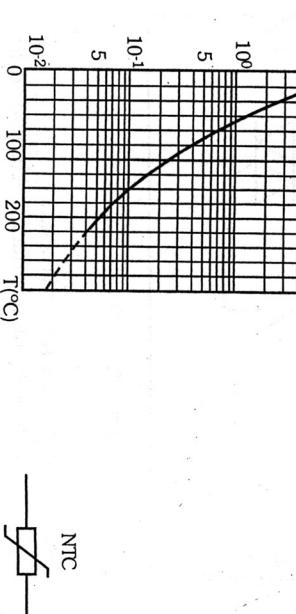


Figura 11.4 - Curva característica e símbolo do NTC.

A expressão que descreve a dependência da resistência de um NTC com a temperatura é dada em seguida:

$$R = R_0 \cdot e^{-\frac{K}{T} \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right]}$$

Em que:

R = resistência do NTC a uma temperatura T

R_0 = resistência do NTC a uma temperatura T_0

K = constante do material empregado na construção do NTC

O valor da constante K pode ser determinado experimentalmente medindo-se a resistência do NTC em duas temperaturas distintas e usando a expressão seguinte:

$$K = \ln \left[\frac{R}{R_0} \right] \cdot \frac{1}{\frac{1}{T_0} - \frac{1}{T}}$$

Ao passar corrente pelo NTC, ele dissipá potência e produz uma quantidade de calor que pode provocar uma queda em sua resistência. No entanto, essa variação é desprezível diante da provocada pela temperatura externa.

O NTC é muito utilizado em sistemas que necessitam de sensores de temperatura, como alarmes, sistemas de controle, termômetros etc. Um circuito sensor muito comum que utiliza o NTC como elemento transdutor é exibido na Figura 11.5.

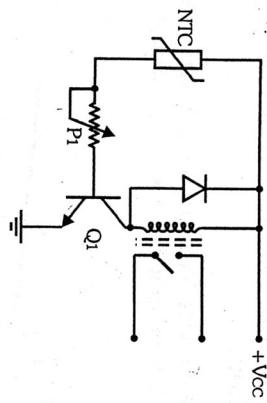


Figura 11.5 - Exemplo de aplicação do NTC.

Observe que esse circuito é similar ao apresentado na Figura 11.3, só que o elemento sensível é o NTC e não o LDR. Nesse caso, quando a temperatura é baixa, a sua resistência é elevada, mantendo o transistor cortado. O aumento da temperatura provoca uma redução na resistência do NTC, levando o transistor à saturação e energizando o relé. Da mesma forma que na aplicação anterior, o contato do relé é usado para ativar uma carga qualquer.

O potenciômetro P_1 serve para ajustar a temperatura que causa a comutação do transistor.

A Figura 11.6 apresenta um outro tipo de aplicação.

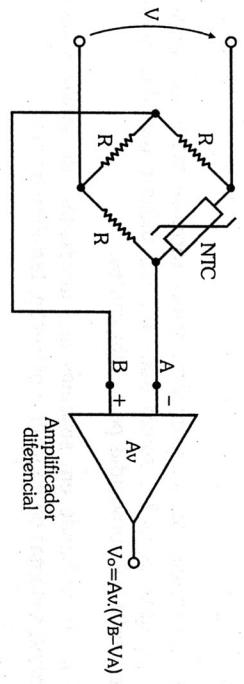


Figura 11.6 - NTC em Ponte de Wheatstone.

A ponte de Wheatstone produz uma tensão entre os pontos A e B cujo valor depende do seu desequilíbrio causado pela variação do NTC com a temperatura. Essa tensão é aplicada às entradas inversora e não inversora do amplificador operacional que, nesse caso, está funcionando como um amplificador diferencial.

Esse circuito tem uma resposta analógica e pode ser utilizado em sistemas de medição de temperatura.

11.2.2 - PTC

O PTC (Positive Temperature Coefficient Resistor ou Resistor com Coeficiente Positivo de Temperatura) é um termistor cuja resistência *aumenta* com o aumento da temperatura, conforme o exemplo de curva característica da Figura 11.7.



Figura 11.7 - Curva característica e símbolo do PTC.

Como podemos observar, esse termistor apresenta uma pequena faixa de temperatura na qual a sua característica é de PTC, ou seja, entre 150°C e 250°C. Fora dessa faixa, ele tem um comportamento similar ao do NTC ou tem um coeficiente de temperatura quase nulo.

Por causa da variação de seu comportamento, torna-se muito complexo expressá-lo por meio de uma equação, sendo mais prático utilizar medidas experimentais ou curvas características fornecidas pelos fabricantes.

O PTC é muito utilizado em sistemas que necessitam de sensores de temperatura, como alarmes, sistemas de controle e proteção, termômetros etc.

Como um exemplo de aplicação de PTC apresentamos na Figura 11.8 um amplificador. Nele, o PTC está conectado no emissor para funcionar como dispositivo de estabilização.

Se o ponto de polarização do transistor varia provocando um aumento na corrente de emissor I_E , a sua temperatura aumenta, bem como a sua resistência, forçando a redução de I_E .

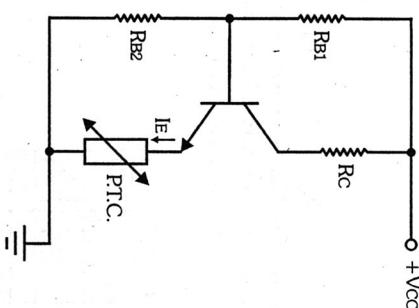


Figura 11.8 - Exemplo de aplicação do PTC.

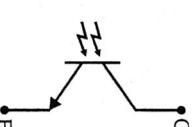


Figura 11.9 - Símbolo do fototransistor.

Se uma certa quantidade de radiação luminosa (na faixa de luz visível ou infravermelha) atinge a base, ocorre a geração de portadores, aumentando a corrente de base, o que implica em uma variação na corrente de coletor h_{FE} vezes maior e proporcional à intensidade de luz incidente.

Sua curva característica de saída $I_C(\text{mA}) \times V_{CE}(\text{V})$ para vários valores de intensidade luminosa $H(\text{mW/cm}^2)$ é bem semelhante à de um transistor comum, como mostra a Figura 11.10.

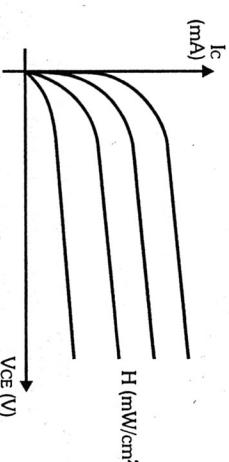


Figura 11.10 - Curva característica do fototransistor.

Por ter uma boa sensibilidade e precisão, o fototransistor é muito utilizado em controles remotos infravermelhos.

O **fototransistor** é um dispositivo semicondutor baseado no fenômeno da fotocondutividade. Trata-se de um transistor bipolar sem o terminal de base que é substituído pela incidência de radiação luminosa. Seu símbolo é mostrado na Figura 11.9.

11.3. Fototransistor

11.4. Optoacoplador

Um fototransistor trabalhando em conjunto com um LED forma um *optoacoplador*. Sua aplicação básica é de fotointerruptor, como mostra a Figura 11.11.

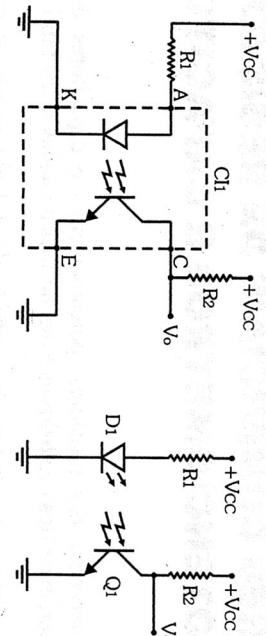


Figura 11.11. Fotointerruptor.
(a) Encapsulamento único
(b) Dispositivos separados

O LED e o fototransistor podem estar no mesmo encapsulamento, como na Figura 11.11(a), ou separados, como na Figura 11.11(b), e têm inúmeras aplicações, tais como: contador de eventos, tacômetro digital etc.

O optoacoplador pode ser denominado também fotoacoplador, acoplador óptico e optoisolador. Isso, por ter a característica de poder trabalhar com fontes de alimentação independentes para o transmissor (LED) e receptor (fototransistor).

A Figura 11.12 apresenta um optoacoplador isolando a porta paralela do PC de um circuito eletrônico. Dado que os terras são independentes, não há ligação elétrica entre os dois circuitos (a transmissão de dados é realizada por luz) e, portanto, se ocorrer qualquer problema no circuito eletrônico causado por curto-círcito ou sobrecarga, a porta paralela não é afetada.

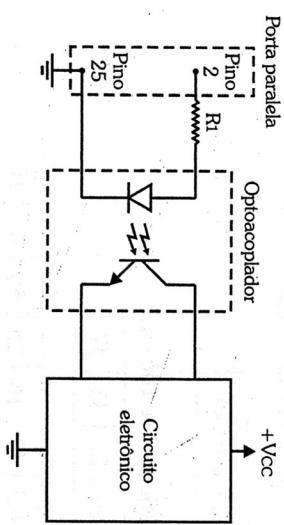


Figura 11.12 - Circuito de isolamento para porta paralela.

11.5. Exercícios Propostos

11.1) Considere a curva característica do LDR apresentada em seguida:

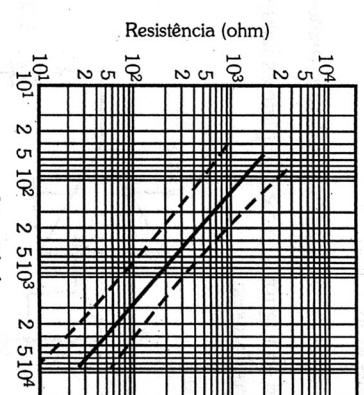


Figura 11.13 - Curva característica do LDR.

Determine R_1 e R_2 , respectivamente, para as intensidades luminosas $I_1 = 50$ lux (escuro) e $I_2 = 5000$ lux (claro), usando o gráfico de valores típicos (linha cheia).

11.2) Considere o circuito da Figura 11.14 e complete as lacunas com uma das opções apresentadas entre parênteses.

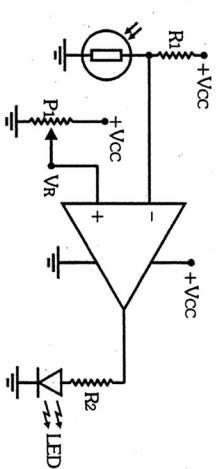


Figura 11.14 - Circuito de aplicação.

Trata-se de um sensor de luminosidade formado por um LDR/PTC/NTC e um comparador de tensão. Com o aumento da luminosidade, a tensão em V _____ (aumenta/diminui) até que esse nível de tensão fique _____ (acima/abaixo) de V_R , fazendo com que o LED _____ (apague/acenda).

11.3) O teste de um NTC realizado em laboratório produziu os resultados seguintes:

- $T_0 = 25^\circ\text{C} \Rightarrow R_0 = 10\text{k}\Omega$
- $T_1 = 150^\circ\text{C} \Rightarrow R_1 = 50\Omega$

Determine a constante K do NTC.

11.4) Qual é a resistência do NTC do exercício anterior quando $T = 80^\circ\text{C}$?

11.5) Considere o circuito da Figura 11.15 e complete as lacunas com uma das opções apresentadas entre parênteses.

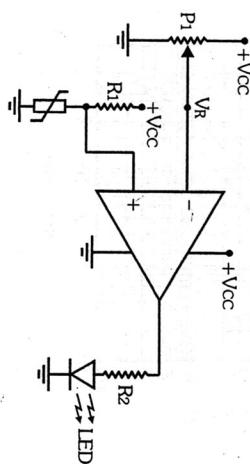


Figura 11.15 - Circuito de Aplicação.

Trata-se de um sensor de temperatura baixa formado por um _____ (LDR/PTC/NTC) e um comparador de tensão. Com a diminuição da temperatura, a tensão em V^+ _____ (aumenta/diminui) até que esse nível de tensão fique _____ (acima/abaixo) de V_R , fazendo com que o LED _____ (apague/acenda).

Os valores comerciais dos resistores, potenciômetros e capacitores dependem de algumas características dos dispositivos e das normas adotadas pelos fabricantes.

As tabelas seguintes apresentam as décadas de valores nominais mais comuns encontradas comercialmente, bem como outras especificações relevantes.

Resistores de 5%

Décadas	10	12	15	18	22	27	33	39	47	56	68	82	91
---------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Potenciômetros

Décadas	10	22	47
---------	----	----	----

Capacitores Cerâmicos e de Poliéster - até $1\mu\text{F}$

Décadas	10	15	22	33	47	82
---------	----	----	----	----	----	----

Tensões (V) 25 a 6,3kV

Capacitores Eletrolíticos - até $10000\mu\text{F}$

Décadas	10	22	33	47
---------	----	----	----	----

Tensões (V)	6,3	10	16	25	50	63	100
-------------	-----	----	----	----	----	----	-----

Apêndice A