

Dispositivos Ópticos

A aplicação básica dos sensores, de um modo geral, é em processos industriais automatizados, onde ele possa trazer as informações sobre determinadas grandezas físicas de uma planta ou um processo que se deseja monitorar, fornecendo ao controlador os parâmetros para que este entregue aos atuadores um sinal de excitação adequado e assim, obter ao final a resposta desejada do processo. Com os sensores ópticos a idéia é a mesma

Por vezes, precisamos de informações precisas sobre o posicionamento exato de uma peça em produção, de uma ferramenta ou parte móvel qualquer de uma máquina ou sistema. Nesses casos, precisamos de elementos sensores de posicionamento.

Outras vezes ainda, precisamos apenas saber se esses elementos estão presentes ou não em uma determinada posição ou local. Nesses casos, precisamos de elementos sensores de presença ou de proximidade.

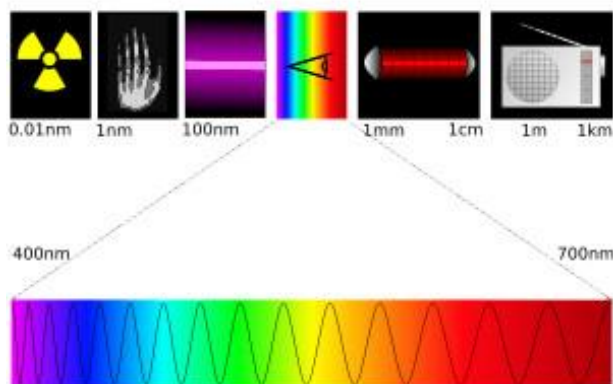
Para ambos os casos, encontramos um arsenal inumerável de componentes e dispositivos à disposição, cada qual com suas características físicas, elétricas e mecânicas, custos, performance, entre outras, que os tornam adequados para aplicações específicas.

Esses sensores também diferem-se uns dos outros por seus princípios de sensoramento, que podem ser mecânicos, capacitivos, indutivos, e ópticos.

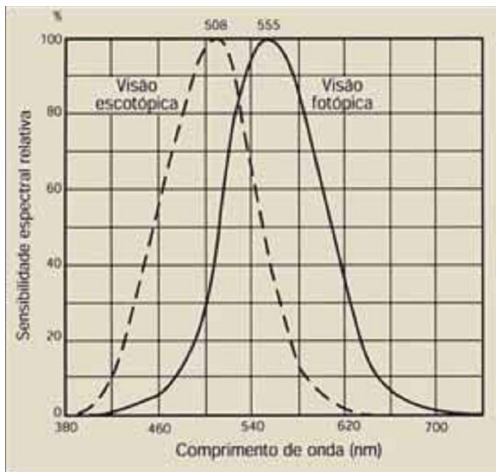
No entanto, antes de apresentarmos os sensores ópticos, para um melhor entendimento torna-se interessante um breve apanhado das teorias sobre a luz.

A luz é uma radiação eletromagnética oscilatória que se dispersa no meio em que se encontra. O espectro de frequências das ondas eletromagnéticas, teoricamente estende-se de 0 ao ∞ .

No quadro ao lado temos o espectro das ondas eletromagnéticas, com as frequências e correspondentes comprimentos de onda, sendo o comprimento de onda o que melhor caracteriza uma radiação luminosa.



f [Hz]	Onda eletromagnética	λ [m]
3×10^{24}	Raios cósmicos	10^{-16}
3×10^{20}	Raios gama	10^{-12}
3×10^{18}	Raios X	10^{-10}
3×10^{16}	Ultravioletas	10^{-8}
3×10^{14}	Visível	10^{-6}
3×10^{12}	Infravermelhos	10^{-4}
3×10^6	Ondas Hertzianas	10^2
3×10^0	ondas elétricas	10^8



curvas de sensibilidade espectral relativa do olho humano.

Dentro desse universo, o espectro visível de radiações luminosas para o ser humano é uma estreita faixa de 380nm até 780nm, que corresponde às frequências entre as ondas violeta e vermelho-escuro, apresentando sensibilidade máxima para o amarelo-esverdeado (555nm).

A sensibilidade do observador e o fluxo luminoso que atinge sua retina são os elementos que definem os limites para a gama espectral da radiação visível, tornando-os assim imprecisos

Sensores Ópticos

Abordaremos então os sensores ópticos, que são os dispositivos que de alguma forma são ativados pela radiação luminosa que pode ser visível ou não. Por ser ativado por luz, não há necessidade de contato físico entre o elemento sensor e o elemento monitorado. Desse modo, os sensores ópticos são indicados em situações onde não é possível o contato físico com o processo, ou ainda quando as características físico-químicas do material não permitam que seja detectado por outro tipo de sensor.

Além do acima exposto, os sensores ópticos possuem outras características que os tornam atraentes para diversas aplicações: dimensões reduzidas, robustez mecânica, imunidade a diversos tipos de ruídos eletromagnéticos, baixo custo, boa resolução, capacidade de detecção com distâncias elevadas e para diversos tipos de materiais, desde que não sejam transparentes. Somado a tudo isso, os sensores ópticos um princípio de funcionamento muito simples baseado na emissão de um feixe de luz, normalmente na faixa de frequência do infravermelho, podendo ser polarizada ou não.

Os aspectos negativos são poucos: podem ser prejudicados por iluminação inadequada e são altamente sensíveis a ambiente com elevado índice de poluição óptica, quer por luz, como no caso da solda elétrica, como por materiais em suspensão como poeira e vapores.

Quando a interferência se dá por luz, é possível obter-se uma maior eficiência com a luz modulada ou pulsada a uma frequência máxima de 1,5kHz. Essa frequência será interpretada pelo receptor óptico nela sincronizado. Esse procedimento imuniza o sistema de interferências da recepção luminosa ambiente.

Para falarmos dos sensores ópticos, temos que pensar num conjunto formado por um elemento que emite a radiação luminosa (emissor) e outro por detectar essa emissão (receptor), que é o sensor propriamente dito. O emissor pode ser uma fonte qualquer de luz, visível ou não, como a luz solar ou ainda componentes eletro-eletrônicos como o LED por exemplo. O receptor de luz é um componente eletrônico, que por vezes é parte de um circuito que detecta a variação de luz.

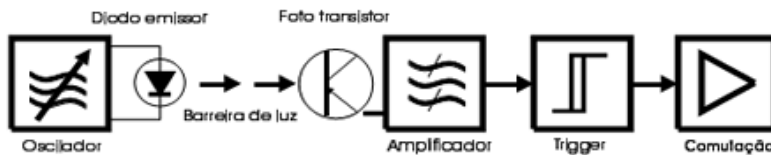
O modo como essa luz caminhará do emissor ao receptor, podendo ser de forma direta, com ou sem elemento para obstrução de sua passagem, ou refletida pelo material monitorado, definirá o método de sensoramento e o tipo de dispositivo a ser utilizado, como veremos a seguir.

Classificação

Os sistemas cujo funcionamento baseiam-se na emissão de um feixe de luz, o qual é recebido por um elemento foto-sensível, basicamente são divididos em quatro tipos: Barreira, Difusão, Reflexão e Difração.

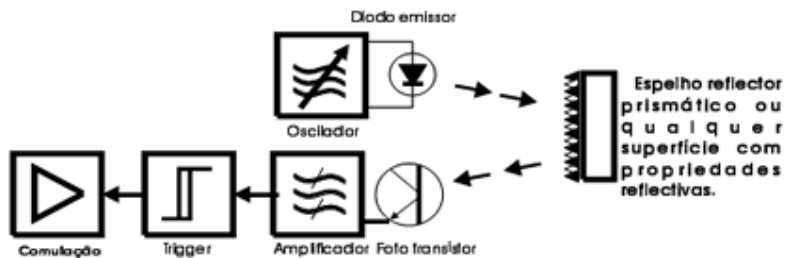
Sistema por barreira

É um sistema formado pelo dispositivo emissor e receptor de luz de modo alinhado, ou seja, montados no mesmo conjunto ou separados. .



Sistema Reflexivo

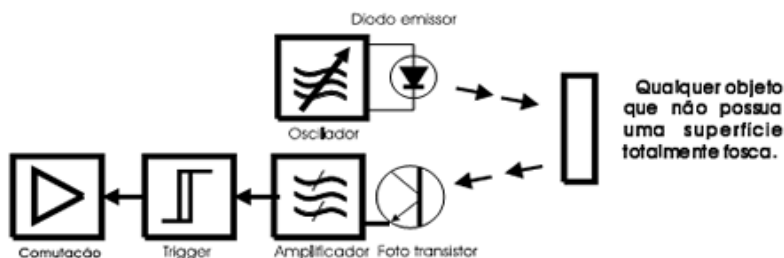
Os dispositivos emissor e receptor de luz estão montados no mesmo conjunto. O feixe de luz emitido é refletido em uma superfície refletora (espelho) e retorna ao dispositivo receptor que está ao lado emissor.



Sistema por difusão

No sistema por difusão, os elementos de emissão e recepção infra-vermelho estão montados do mesmo modo que o refletor.

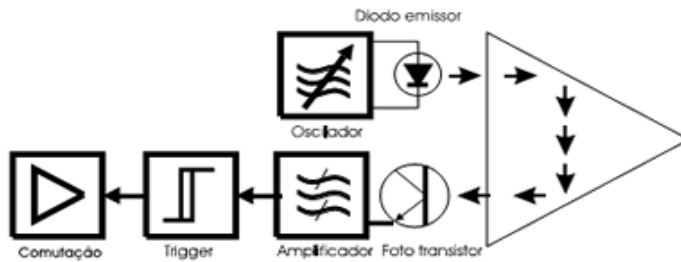
Os raios infra-vermelhos emitidos pelo transmissor, refletem sobre a superfície de um objeto a ser detectado e retornam em direção do receptor, a uma distância determinada (distância de comutação), provocando o chaveamento eletrônico, desde que o objeto possua uma superfície não totalmente fosca.



Sistema por difração

Neste sistema, a montagem dos elementos de emissão e recepção infra-vermelho estão montados do mesmo modo que os anteriores, a diferença é que a luz está direcionada para um prisma e retorna em direção do receptor.

Quando este prisma é mergulhado em qualquer liquido translúcido, os raios infra -vermelhos se dispersam, desviando assim a sua trajetória ocasionando um a comutação eletrônica.



Aplicações

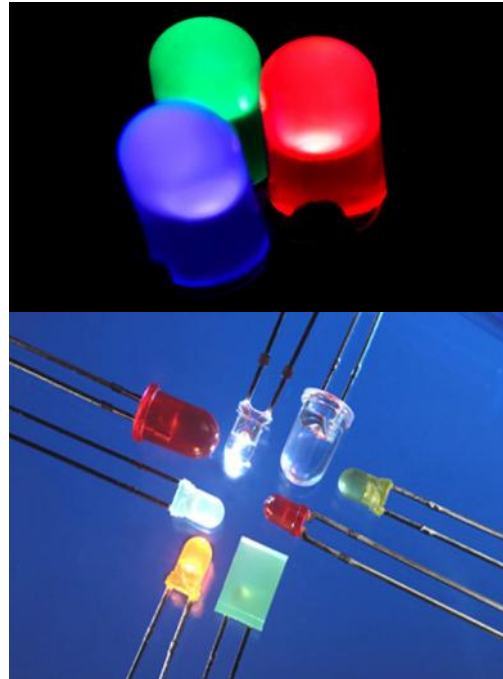
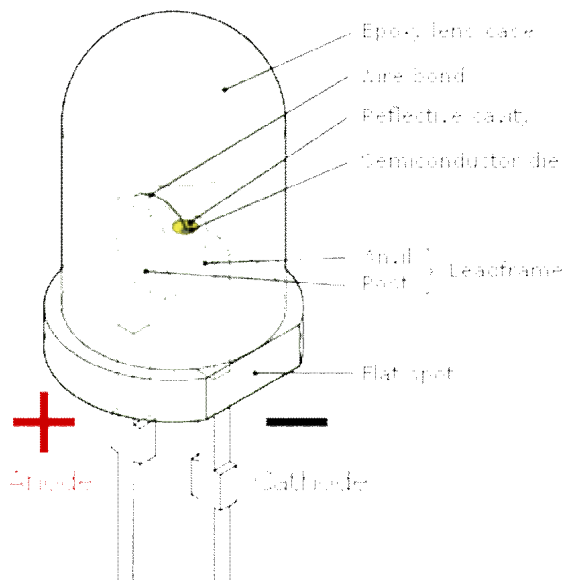
Além das aplicações habituais, como contagem de peças, proteção do operador, etc, o sistema pode trabalhar com emissão de luz visível, para sistemas de alarme tanto em ambientes internos quanto externos, formando uma barreira que ao ser interrompida, pode causar diversos acionamentos no sistema.

Os tipos refletivos ou por difusão são comumente utilizados onde um espelho ou a própria peça a ser detectada reflete os raios infra-vermelhos. Evidentemente que as peças não poderão ter suas superfícies opacas. Os sensores ópticos pelo sistema a de barreira, possuem um alcance maior que os refletivos, chegando a distancias de até 200 metros, enquanto os reflexivos e por difusão a apenas 10 metros.

LED – Light-Emitting Diode

O LED (diodo emissor de luz) é um componente eletrônico, constituído por materiais semicondutores que formam uma junção PN capaz de emitir luz. Essa luz pode estar na frequência visível ou na faixa da luz infravermelha. A coloração luz visível emitida dependerá da constituição química dos materiais utilizados na dopagem dos semicondutores empregados na fabricação do LED.

As cores podem variar entre vermelha, verde, amarela, azul e branca além dos LED's com mais de uma cor.



LDR – Light Dependent Resistor

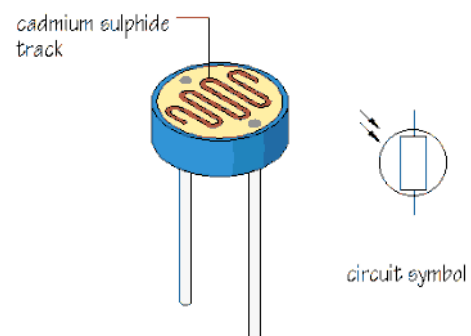
O foto resistor ou LDR é um dispositivo usado como sensor numa infinidade de aplicações, é um tipo de resistor cuja resistência varia em função da intensidade de luz que incide sobre ele, sendo que a resistência elétrica diminui, de forma não linear, quando aumenta a incidência de radiação luminosa. Desse modo, o LDR traduz a intensidade de luminosa em valores de resistência elétrica.

Escuridão → Resistência elevada ($>1\text{M}\Omega$)

Claridade → Resistência baixa ($\sim 100\ \Omega$)

O LDR reage a radiações eletromagnéticas de Infravermelho (IR), luz visível, até o Ultravioleta (UV).

É composto por sulfeto de cádmio, (CdS), seleneto de cádmio (CdSe) ou sulfeto de chumbo (PbS).



Quando a luz incide sobre esse material, ocorre a liberação de portadores de carga que ajudam a condução de corrente elétrica.

É um componente eletrônico que pode ser soldado de maneira simples, não requerendo cuidados especiais, devendo-se apenas evitar o aquecimento excessivo como qualquer outro componente eletrônico.

Aplicações:

O LDR, em relação aos outros componentes fotossensíveis, tem como grande vantagem o fato de não necessitar de polarização, sendo então aplicáveis em corrente alternada.

são usados em detecção de fumaça, alarmes de segurança e roubo, controle de luminosidade, contagem de peças, fotocélulas que controlam o acendimento de iluminação pública ou residencial, medidores de luz, brinquedos e qualquer dispositivo que não necessite de altas velocidades de atuação.

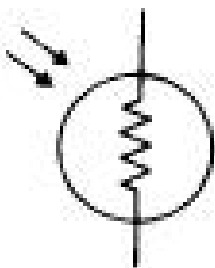
A desvantagem do LDR é que são dispositivos lentos, com taxa de $200\text{k}\Omega/\text{s}$ na transição de iluminado para escuro e taxa um pouco mais alta na transição de escuro para claro (10ms).



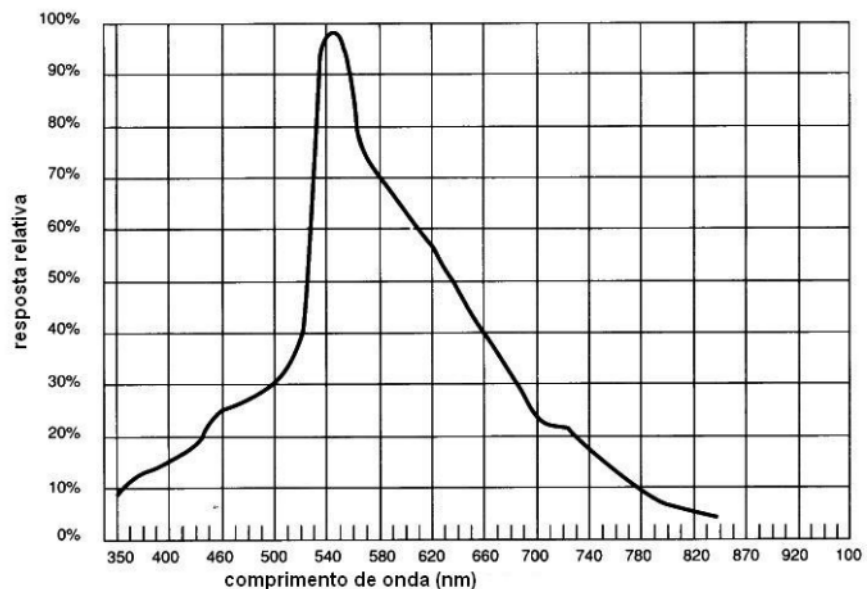
Esse tempo de resposta muito grande, limita intensidade média de luz sobre o LDR, o que limita sua faixa de funcionamento a algumas centenas de Hertz.

A velocidade de resposta depende do nível de iluminação, da resistência da carga, da temperatura ambiente e das “condições pré-históricas”.

Existem em diversos tamanhos e potência. As potências típicas são de 0,1W para LDR com 1cm de diâmetro, com uma tensão máxima de 150 V entre seus terminais. LDR de tamanhos maiores (2,5cm) podem comandar diretamente pequenas cargas.

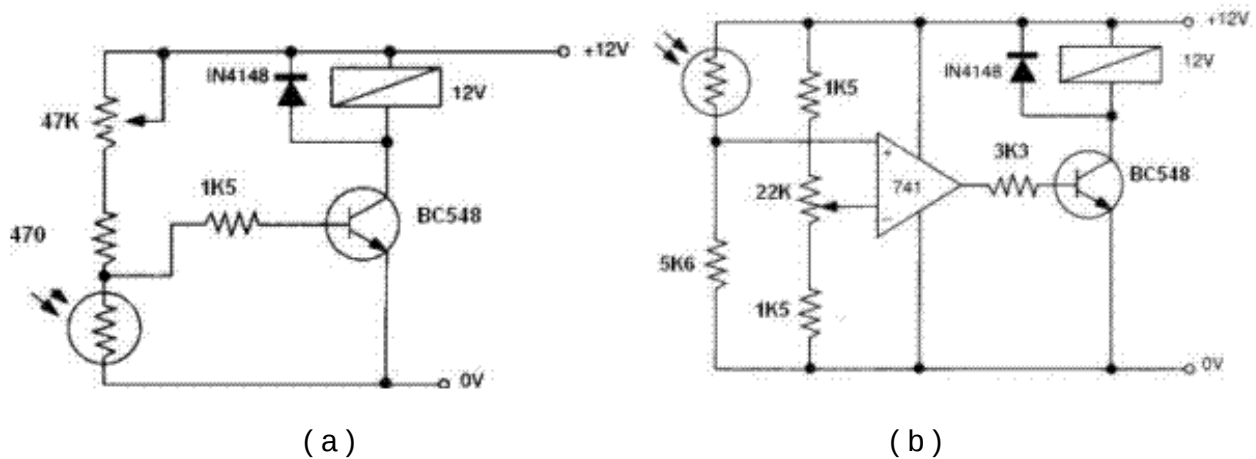


(a) símbolo



(b) resposta espectral

As figuras a seguir, mostram duas aplicações típicas de detecção de luz, a primeira usando transistor e a segunda usando amplificador operacional.



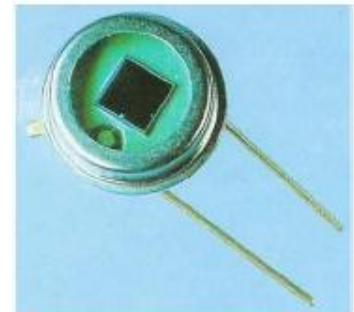
Na figura (a), na presença de luz o circuito é ajustado (potenciômetro de 47K) para que o transistor corte. Na ausência de luz (escuro) a resistência do LDR aumenta aumentando a tensão nele o que faz o transistor saturar ligando o relé.

Na figura (b), no escuro a tensão na entrada não inversora deve ser levemente inferior à tensão na entrada inversora, desta forma a saída do amplificador operacional é aproximadamente zero e portanto o relé estará desligado. Quando o LDR for iluminado a tensão na entrada não inversora aumentará fazendo a saída do AO subir para aproximadamente 12V o que faz o transistor saturar ligando o relé.

FOTO-DÍODO

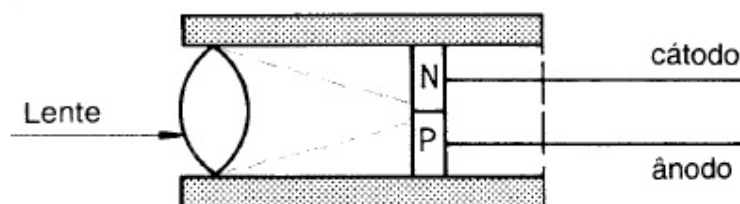


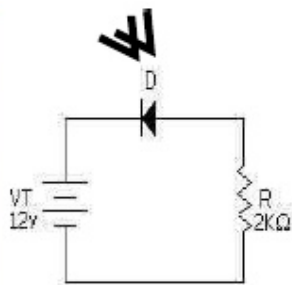
Todo componente eletrônico formado a partir de materiais semicondutores, formando junções PN, tem seu comportamento elétrico alterado quando a luz incide sobre essas junções.



Os fotodiodos são diodos com um encapsulamento que permite a incidência de luz sobre suas junções PN. Porém, funcionam de modo contrário ao LED, isto é, ao receberem uma radiação luminosa na junção, produzem uma corrente reversa que é proporcional à intensidade luminosa incidente.

A energia luminosa, trazida pelos fótons, é entregue ao material e os elétrons ao absorverem essa energia deslocam-se para a banda de condução, reduzindo a barreira de potencial. A resposta desses componentes é muito alta, permitindo aplicá-los onde antes não era possível aplicar os LDRs





Sendo o fotodiodo um díodo semiconductor no qual a **corrente inversa** varia com a iluminação que incide sobre a sua junção PN, isso significa que ele deve ser **polarizado inversamente** aproveitando a variação da corrente inversa que se verifica quando a luz incide nele.

Com o dispositivo no escuro a corrente através da junção (I_S) corresponde à corrente devido aos portadores minoritários os quais são gerados termicamente. Essa corrente é chamada de corrente no escuro, I_S .

Com a incidência de radiação luminosa na junção a corrente aumentará, pois novos portadores de carga (elétrons livres e lacunas) serão gerados. A corrente total através da junção será dada por:

$$I_T = I_S + I_{IL}$$

Onde:

I_S é a corrente de reversa de saturação devido aos portadores gerados termicamente, portanto essa componente depende da temperatura, também é chamada de corrente no escuro.

I_{IL} é a corrente devido a incidência da radiação luminosa

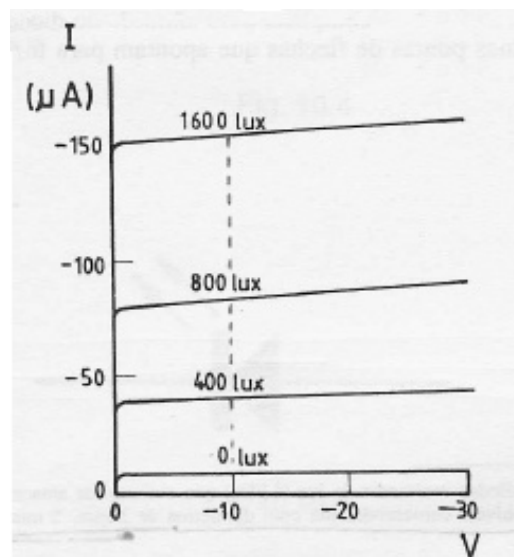
O fotodiodo tem um pico de resposta para um determinado comprimento de onda (cor), para o qual será gerado o máximo de pares elétron-lacuna, sendo máxima ao redor do comprimento de onda de $0,85\mu\text{m}$.

Num díodo reversamente polarizado, as correntes são da ordem de microampéres. A corrente que existirá sem nenhuma iluminação aplicada é geralmente da ordem dos $10\mu\text{A}$ nos fotodiodos de germânio e de $1\mu\text{A}$ nos fotodiodos de silício.

A energia luminosa incidente sobre a lente do fotodiodo concentra-se na junção PN e cria pares lacuna – elétron, dando origem a uma corrente, na presença de uma tensão.

Curva característica típica de um fotodiodo.

Para uma mesma tensão inversa de polarização, a corrente inversa aumenta de valor ao aumentar o fluxo luminoso incidente. Quando incide luz no fotodiodo, a corrente inversa varia quase linearmente com o fluxo luminoso.



Características de um fotodiodo:

- Comprimento de onda (λ) da luz que acionará o dispositivo.
- Área sensível do componente que deverá receber o feixe de luz.

Aplicações dos fotodiodos:

Como mencionado, a vantagem do fotodiodo é o tempo de resposta muito curto, o que possibilita seu uso em aplicações com frequências da ordem de 50 kHz. A desvantagem é o nível de corrente gerada pela luz incidente sobre o fotodiodo, produzindo uma pequena corrente de saída, não seja suficiente para usá-lo num controle direto, necessitando então de uma etapa de amplificação.

São usados basicamente para detectar a intensidade luminosa, posição, cor e presença.

- Sistemas de segurança anti-roubo.
- Abertura automática de portas.
- Regulação automática de contraste e brilho na TV.

Fototransistor

Os dispositivos comumente encontrados em sistemas de automação e controle, dispõem de um LED como elemento transmissor e um fototransistor como receptor.

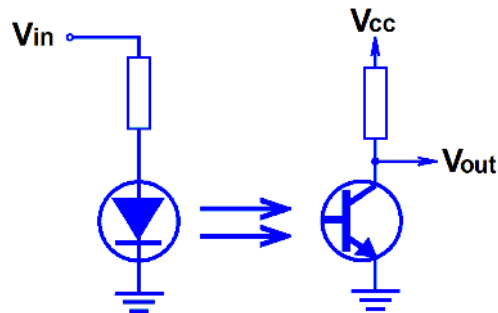
Da mesma forma que no fotodiodo, o fototransistor também é um componente com encapsulamento que permite a incidência de luz sobre sua junção PN (base-coletor). Porém, é mais sensível que o fotodiodo, pois essa corrente gerada pela luz, é amplificada pelo transistor do mesmo modo que uma corrente de base convencional, gerando uma corrente β vezes maior. O fototransistor porém tem uma resposta em frequência proporcionalmente menor. A resposta espectral está mostrada na figura a seguir:



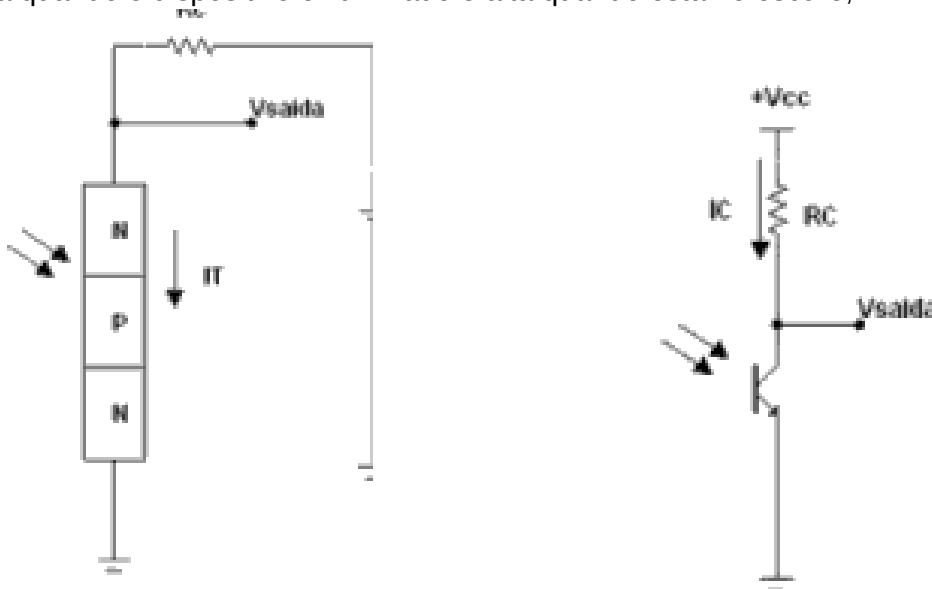
Fonte: Detecting Infrared Radiation with a Phototransistor and an IR Filter; *Edward V. Lee*, American Physical Society, College Park, MD

Fototransistor - Exemplo de resposta spectral

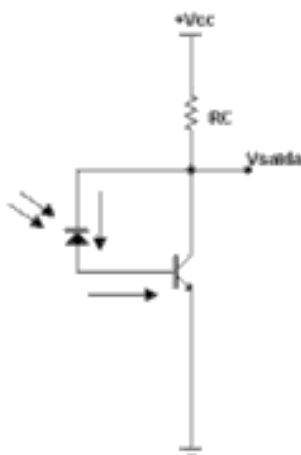
No circuito abaixo podemos encontrar uma aplicação típica onde o LED adequadamente polarizado, emite luz que pode iluminar a base do fototransistor, levando-o à saturação. A ausência de luz na base do transistor, por um elemento que obstrua a luz, irá leva-lo ao corte. Desse modo, podemos obter 0V ou V_{cc} na saída do dispositivo conforme se tenha ou não a presença de um objeto.



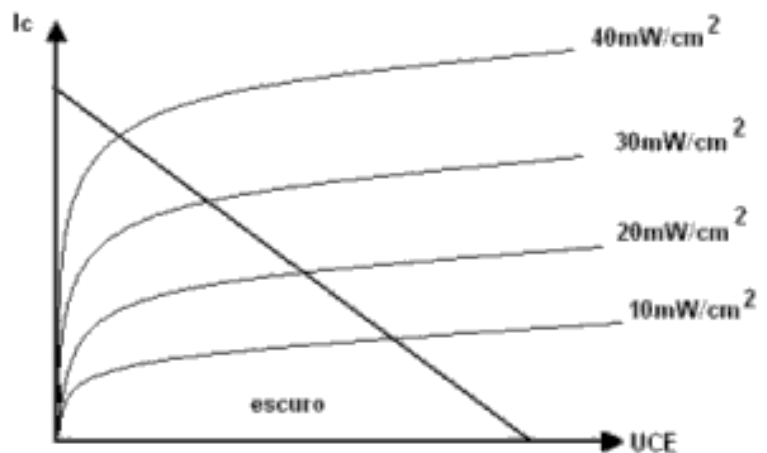
A figura a seguir mostra a polarização do fototransistor na configuração emissor comum, a curva característica, e o circuito equivalente. Para a configuração emissor comum, a saída é baixa quando o dispositivo é iluminado e alta quando está no escuro,



Fototransistor configuração emissor comum



circuito equivalente



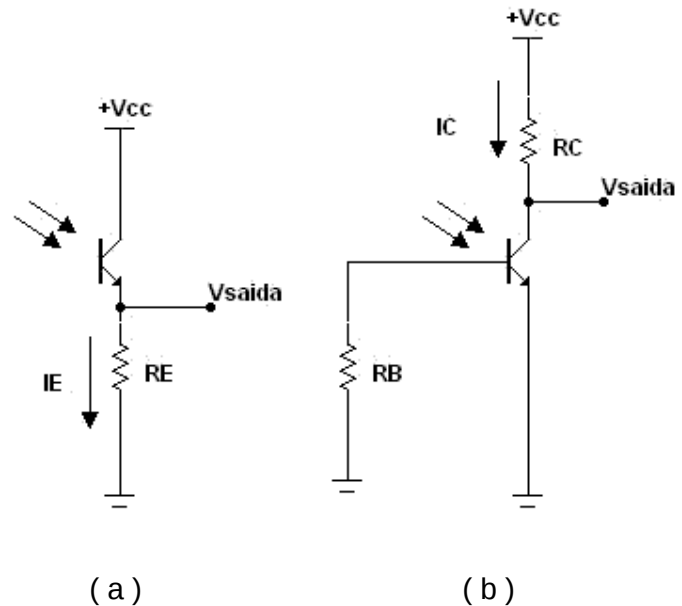
curva característica de coletor

Outra alternativa é a configuração coletor comum, figura ao lado, na qual a saída será alta com o dispositivo iluminado. A terceira alternativa é usada quando, o terminal da base estiver disponível e for desejado uma diminuição na sensibilidade do fototransistor.

Fototransistor polarizado

(a) na configuração coletor comum

(b) com terminal de base acessível



O fototransistor pode operar no modo ativo e no modo chave. No modo ativo a saída será proporcional à intensidade luminosa, essa aplicação é usada nos casos em que se deseja comparar níveis de intensidade de radiação ou mesmo medir a intensidade da radiação. No modo chave a saída será ou Vcc ou aproximadamente zero.

A corrente de coletor no escuro é dada por: $I_C = \beta \cdot I_S = I_E$

Na presença de radiação, portadores adicionais serão gerados, fazendo aparecer uma corrente I_{IL} que será adicionada à corrente no escuro.

A corrente total será dada por: $I_C = \beta \cdot (I_{IL} + I_S)$

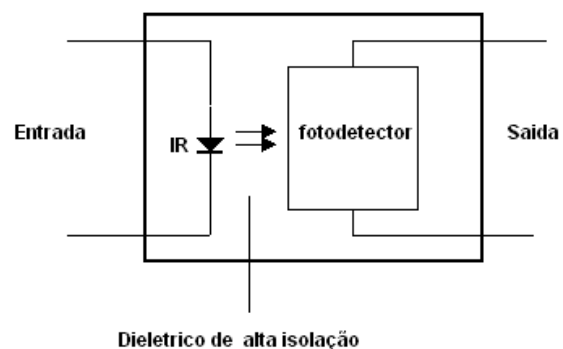
desta forma a corrente produzida pela radiação luminosa será multiplicada por β . Pelo modelo podemos verificar a equivalência entre um fototransistor e um fotodiodo ligado a um transistor comum.

Acoplador Ótico

Um acoplador ótico ou isolador ótico é similar a um transformador, no qual a saída é isolada eletricamente da entrada. No transformador o acoplamento é feito magneticamente e no acoplador ótico é feito através de radiação luminosa.

Internamente ele tem um diodo emissor infravermelho (IR) e um fotodetector em um mesmo bloco. A energia radiante emitida pelo diodo é emitida através de um elemento transparente e de alta isolamento elétrica, não existindo nenhuma conexão elétrica entre a entrada e a saída. A figura a seguir mostra o princípio de funcionamento de um acoplador ótico:

Acoplador ótico (aspectos construtivos)



A capacidade de transmitir o sinal da entrada para a saída é dada através da relação de transferência (CTR), a qual depende da eficiência do LED, do detector, da distância entre o emissor e o receptor, da superfície e sensibilidade do detector.

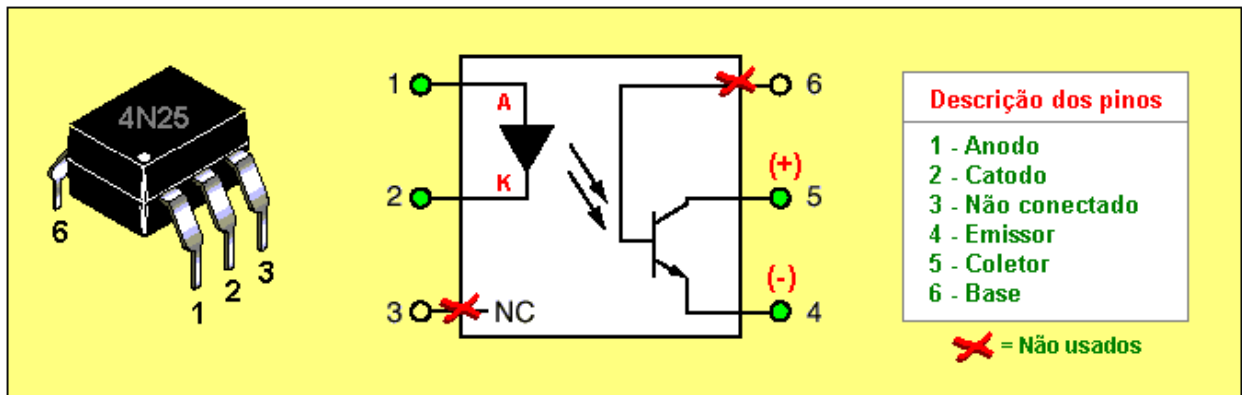
Os três principais parâmetros de um acoplador ótico são:

- A resistência de isolamento, é a resistência CC medida entre a saída e a entrada sendo maior do que 10^{11} Ohms.
- A capacitância de isolamento, é a capacitância parasita do dielétrico da entrada para a saída, e o seu valor varia de 1 a 3 pF. Devido à essa capacitância o dispositivo pode sofrer danos se tensões muito rápidas forem aplicadas, por ex mplos tensões acima de $500\text{V}/\mu\text{s}$.
- Tensão de isolamento é a máxima tensão que o dielétrico pode suportar. A tensão de isolamento pode atingir valores da ordem de 7500V.

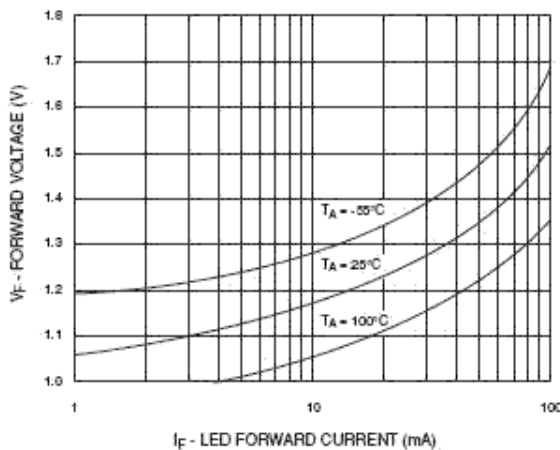
Acoplador Ótico Comercial

O acoplador ótico 4N25 (4N26,4N27,4N28,4N35,4N36) são acopladores óticos de propósito geral com 6 pinos Dual In Line (vide apêndice A).

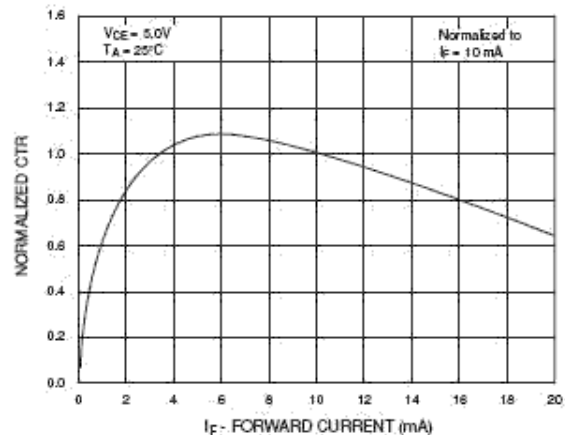
A figura a seguir mostra o encapsulamento e o esquemático interno.



A figura a seguir mostra algumas das curvas características do acoplador ótico 4N25.



curva característica de entrada



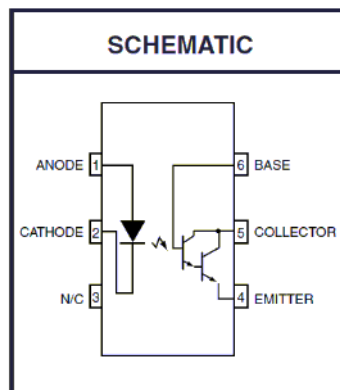
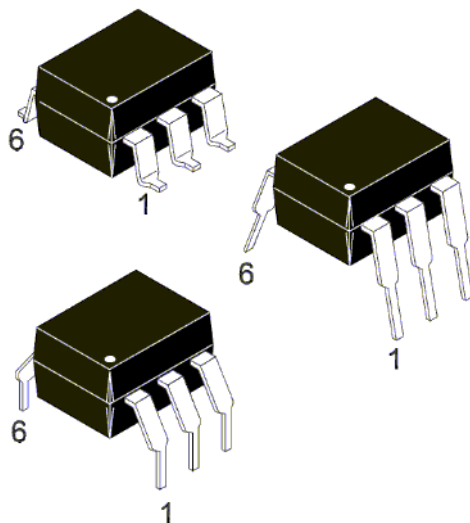
relação de transferência normalizada em função da corrente de entrada (corrente no LED)

O acoplador ótico mais conhecido é o que tem como fotodetector um fototransistor mas existem inúmeros outros tipos de elementos de saída: fotodiodo, fotodarlington, fotoscr, fototriac, etc.

Fotodarlington

4N29

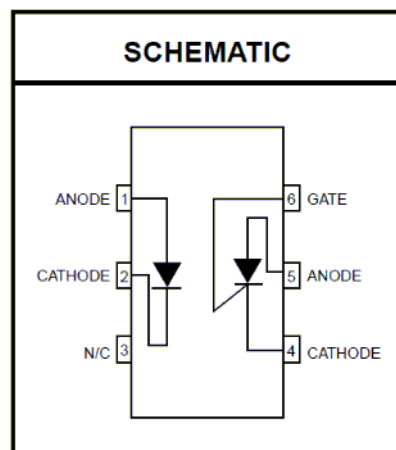
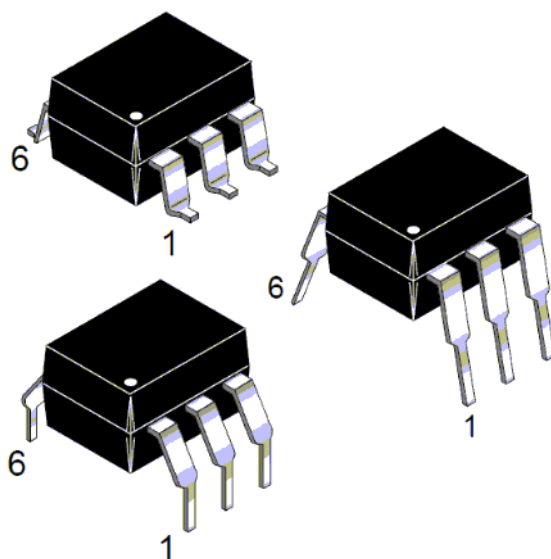
(apêndice B)



Fotoscr

4N39

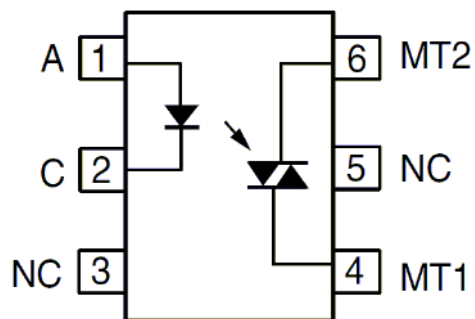
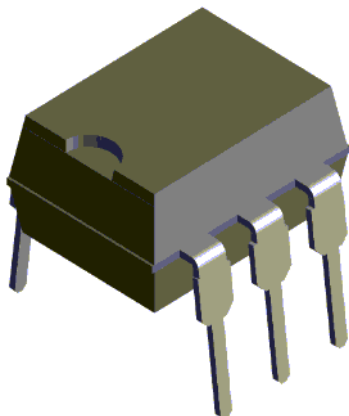
(apêndice C)



Fototriac

BTR11

(apêndice D)



É importante lembrar sempre da frequência de operação (banda passante), ela é tanto menor quanto maior o ganho do fotosensor. Por exemplo, para o acoplador ótico com o fotodiodo a banda passante pode ser da ordem de MHz, para o fototransistor centenas de KHz, para o fotodarlington algumas dezenas de KHz.

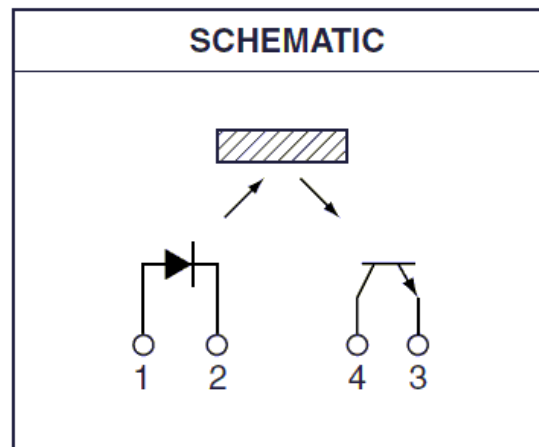
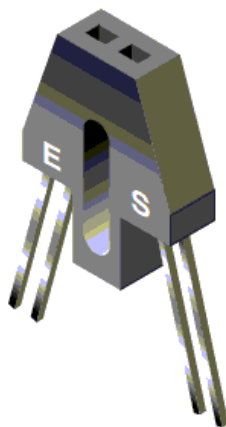
Comutadores e Refletores Óticos

São basicamente um emissor e um receptor em um mesmo módulo, mas com abertura que permita a colocação de um anteparo para cortar o feixe, no caso do interruptor, ou de um anteparo para refletir o feixe, no caso do módulo refletor.

Refletor ótico

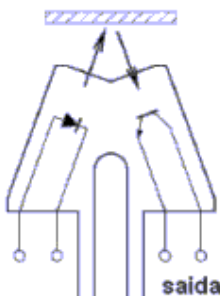
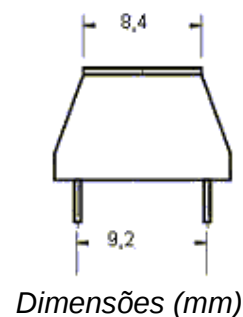
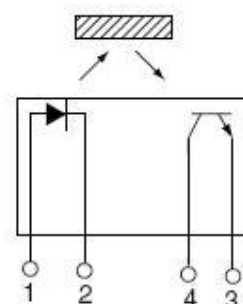
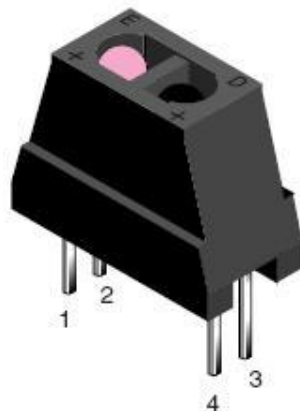
QRB1113

(apêndice E)



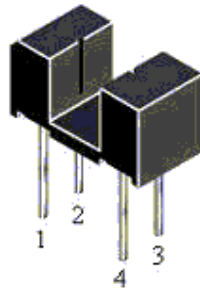
QRE00034

(apêndice F)

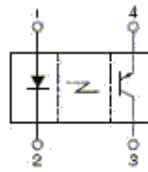


Exemplos de refletores óticos são o QRB1113 e o QRE00034 da Fairchild (apêndices E e F respectivamente), que consistem de um diodo emissor infravermelho e um foto transistor montados lado a lado em um eixo convergente. O foto transistor responde à radiação somente quando um objeto refletor no seu campo de visão.

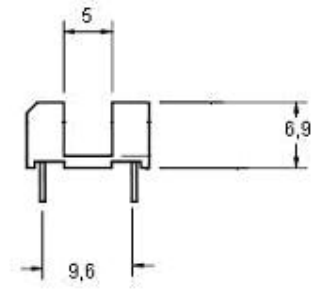
Interruptor ótico



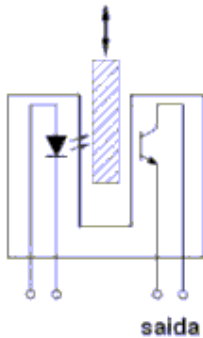
Aspecto físico



Esquemático

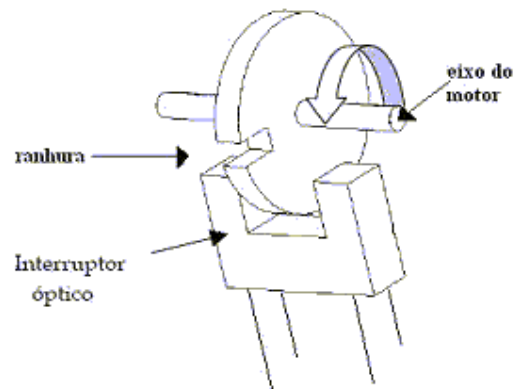


Dimensões (mm)



Um exemplo de interruptor ótico é o MOC70P1 da Fairchild (apêndice G). Esses dispositivos são usados principalmente em controle e posicionamento de motores.

Por exemplo, a figura ao lado mostra um disco no qual existe uma ranhura (poderia ser um orifício), à medida que o eixo gira quando a ranhura estiver alinhada com o feixe o transistor de saída satura e quando o feixe for cortado o transistor corta gerando uma onda quadrada na saída. A frequência da onda quadrada será proporcional à rotação do eixo e ao número de ranhuras.



Interruptor ótico como sensor de movimento