

Sensores de Luminosidade

Paulo Henrique Santos Fuchshuber
Willian Souza Vieira

Introdução

Um dos grandes desafios da computação é interpretar ambientes, que pode ser útil para tomada de decisões ou até mesmo automatização, mas, para interpretar o ambiente é necessário um objetivo mais específico, pois somente um dispositivo de entrada de informações não é capaz de interpretar muitos tipos de informação sobre o ambiente, e sim uma informação sobre um determinado efeito físico ou químico, como por exemplo a luminosidade.

Antes da informação virar um dado, ela é adquirida em forma de sinal, e o tratamento deste sinal para, por exemplo, filtrar os ruídos ou amplificar o sinal, é feito pelo circuito eletrônico, que é projetado especificamente para os componentes de aquisição de sinais utilizados.

Existem diversas situações as quais são usuais para realizar medições de luminosidade, como quando deseja-se medir a luminosidade de um ambiente, e para isso deve-se utilizar um sensor LDR (*Light Dependent Resistor*). Como exemplo de aplicação deste sensor podemos citar um medidor de luminosidade de uma estufa aplicação essa que não exige uma captura tão rápida do sinal, assim como um sistema de iluminação de postes de luz, que também seria uma aplicação viável para este tipo de sensor.

O sensor LDR funciona pelo princípio da resistência. Se houver muita luminosidade, haverá menos resistência para passar a eletricidade, e se houver

pouca luminosidade, haverá mais resistência para conduzir a eletricidade.

Outra maneira de medir a intensidade luminosa é com fotodiodo, ou fototransistor, que são componentes geralmente com dois terminais e uma camada semicondutora intrínseca (que não passou pelo processo de dopagem) entre duas camadas do tipo P e tipo N. Dependendo do material de que é feito, ele pode detectar diferentes espectros de raios luminosos. A Imagem 1 mostra o espectro eletromagnético e o espectro visível. Esse tipo de sensor pode detectar ultravioleta, infravermelho, luz visível, raios-x e raios gama.

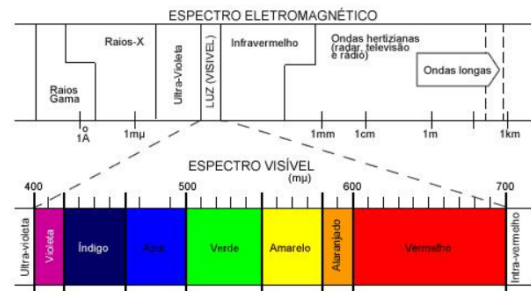


Imagem 1 - Espectro Eletromagnético e Espectro Visível

Como este sensor também pode servir para medir raios-x, ele também é capaz de captar radiação além de fótons. A unidade de medida usada neste caso é em mW/cm^2 , que também pode ser utilizada para medir fótons.

As aplicações mais comuns do fototransistor/fotodiodo são alarmes, sensores de fumaça, CD players, controle remoto de TV, sensor de imagem de câmeras digitais (CCD - *Charge Coupled Device*), astronomia, células fotovoltaicas, dentre outras.

Objetivo

O trabalho tem como objetivos estudar os sensores de luminosidade e

projetos de sistemas de aquisição de sinais para o mesmo, compreender o funcionamento destes sensores e suas principais características, relacionar com exemplos de aplicação, apresentar circuitos de interface, apresentar modelos de sensores comerciais e comparar suas especificações.

Metodologia

O método para elaboração deste trabalho consiste na releitura e análise de artigos acadêmicos sobre fotosensores (fotoresistores, fotodiodos e fototransistores) para desenvolver uma breve comparação entre suas características e aplicabilidades.

Os artigos obtidos para insumo de informações são obtidos através de uma busca exploratória nas plataformas de pesquisa da IEEE e Scholar Google.

Resumo

Este relatório explicaremos o que são fotodiodos, fototransistores e fotoresistores, vamos mostrar algumas de suas aplicações. Compará-los entre si. por fim mostraremos mais detalhadamente a criação de um contador de visitantes em uma sala usando fototransistor.

Desenvolvimento

Fotoresistor (LDR)

Os dispositivos LDR geralmente são compostos por dois terminais e uma superfície de Sulfeto de Cádmio, que tem sua resistência elétrica dependente da quantidade de luz incidente. Um dos motivos pelos quais o fotoresistor é muito utilizado é pelo fato de suportar corrente

relativamente altas, o que torna mais fácil a elaboração de seus circuitos.

A desvantagem desse tipo de dispositivo é o tempo de resposta, que comparado aos fototransistores e fotodiodos é relativamente lento. Velocidade máxima essa de dezenas de kHz.

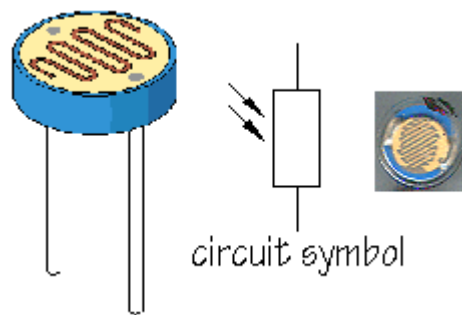


Imagem 2 - Fotoresistor e seu respectivo símbolo. (fonte: <http://www.drchrisbarnes.co.uk>)

Como o fotoresistor atua como um resistor, podemos elaborar um circuito de interface de forma simples, através de um divisor resistivo, como na Imagem 3.

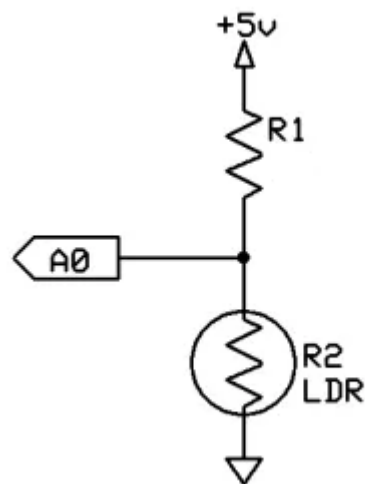


Imagem 3 - Uma simples interface de um circuito utilizando LDR (fonte: portal.vidadesilicio.com.br).

Na Imagem 3, R1 é um resistor de resistência fixa, e R2 representa o sensor LDR, porém, nada nos impede de trocar

R1 por R2, a diferença é que, ao invés de termos um aumento de tensão com a queda de luminosidade, teremos uma queda de tensão com a queda de luminosidade, como podemos ver na Tabela 1, onde as linhas representam o valor do sensor, em Ohms, que varia, e as colunas representam os valores dos resistores fixos, em Ohms, que deve ser escolhido de acordo com a quantidade máxima de luminosidade do ambiente a ser medido para uma maior precisão.

$r_s/(r_s+r_f)$	1000	5000	10000
50	0,238095	0,049505	0,024876
500	1,666667	0,454545	0,238095
5000	4,166667	2,5	1,666667
10000	4,545455	3,333333	2,5
1000000	4,995005	4,975124	4,950495

$r_f/(r_s+r_f)$	1000	5000	10000
50	4,761905	4,950495	4,975124
500	3,333333	4,545455	4,761905
5000	0,833333	2,5	3,333333
10000	0,454545	1,666667	2,5
1000000	0,004995	0,024876	0,049505

r_f = resistência fixa (Ohms) $V_{in}=5V$
 r_s = resistência do sensor (Ohms)

Tabela 1 - Tabela de tensão de saída para o divisor resistivo.

Nos experimentos feitos dentro de um ambiente fechado com uma boa iluminação de lâmpadas fluorescentes o valor máximo atingido da resistência do sensor foi de 10 kilo Ohms, porém, segundo o site *researchgate.net*, esse valor pode chegar até 1 mega Ohm, e o valor mínimo obtido tapando totalmente o sensor foi de 50 Ohms.

Uma aplicação atual e de longa escala desse sensor é o projeto Sol, da Clemson University's School of Computing and College of Business and Behavioral

Science em parceria com a IBM, que consiste em medir a irradiação solar em vários pontos ao longo do país conectados à uma base de dados, visando fornecer informações sobre os locais mais propícios para utilização de sistemas para obtenção de energia solar.

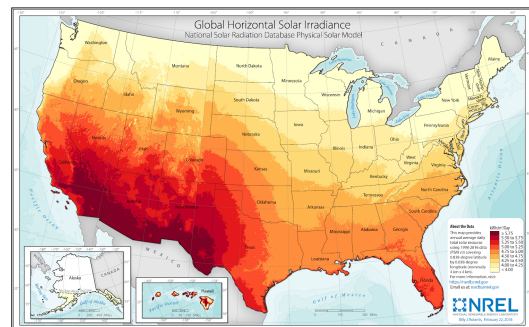


Imagem 4 - Média da irradiação solar nos Estados Unidos de 1998 até 2016. (fonte: www.nrel.gov/gis/solar.html)

Fotodiodo

Os foto-diodos podem ser usados tanto no modo fotocondutivo como fotovoltaico, quando a luz incide numa junção semicondutora, portadores de carga são liberados. Nessas condições temos a manifestação de dois fenômenos que podem ser utilizados na prática.

Um deles é que a resistência no sentido inverso da junção iluminada diminui e o outro é que aparece uma tensão no dispositivo. Se o sensor aproveitar a variação da resistência inversa com a luz no modo de operação, dizemos que ele opera no modo fotocondutivo. Se ele aproveitar a tensão gerada com a luz, dizemos que ele opera no modo fotovoltaico.

Na imagem abaixo vemos que os fotodiodos servem para os dois modos, bem como com emissores de luz.

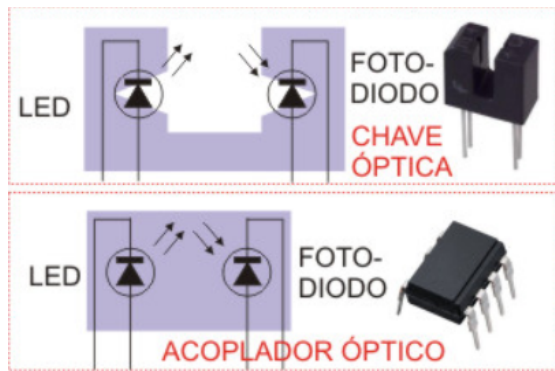


Imagem 5 - Aplicações do fotodiodo (fonte: <http://www.electrowifi.es>)

Uma utilização do fotodiodo que está muito presente no nosso dia-a-dia é na captura de Imagens, através dos circuitos CMOS (complementary metal-oxide-semiconductor), similar ao CCD, e com o mesmo propósito.

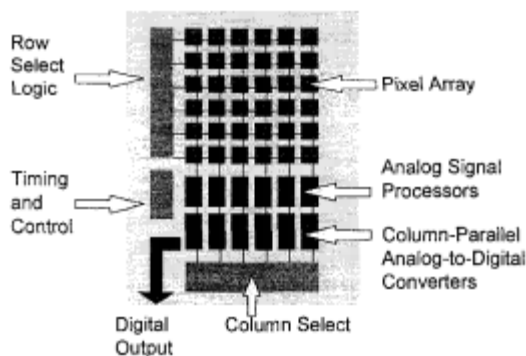


Imagem 6- Arquitetura de um CI do tipo CMOS (fonte: www.computer.org).

A arquitetura de um CI do tipo CMOS é representada pela Imagem 6. O sensor de imagem consiste em uma matriz de pixels que são normalmente selecionados uma linha de cada vez, e os chips CMOS mais modernos possuem até conversores analógico para digital paralelos à coluna, ou seja, cada coluna possui um conversor ADC. Também são integrados nesse chip um sistema de temporização e controle lógico. Este bloco digital é definido em alto nível utilizando ferramentas como VHDL inserido no chip.

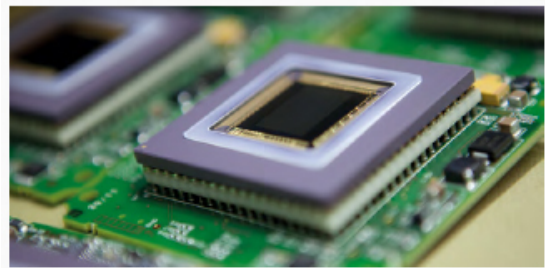


Imagem 7- Foto de um dispositivo comercial do tipo CMOS (fonte: www.mra.pt).

Fototransistores

Os fototransistores são transistores com a junção coletor-base exposta à luz. Fototransistores são bem mais sensíveis que fotodiodos, gerando correntes da ordem de mA quando iluminados a 1 mW/cm^2 .

Os fototransistores apesar de serem mais lentos ainda são mais rápidos que os fotoresistores, e têm a mesma curva de resposta dos fotodiodos, e muitas vezes podem ser usados nas mesmas situações.

Na Imagem 8 podemos ver a simbologia que representa fototransistores e alguns modelos comerciais.

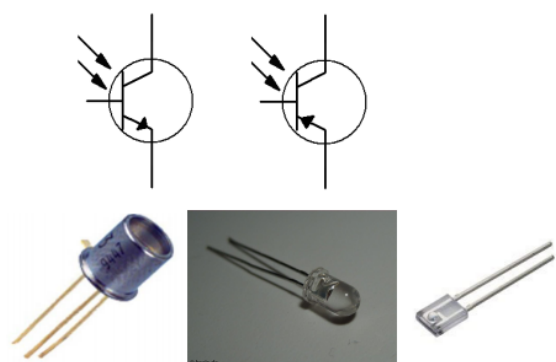


Imagem 8 - Simbologia do fototransistor e modelos comerciais. (fonte: <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/saimon/materiais/Sensores.pdf>).

Uma aplicação interessante que demonstra a velocidade de um

fototransistor é um gatilho de obturador de câmera ativado por raios, que usa um fototransistor do tipo *PhotoDarlington Transistor*, como o da Imagem 9.

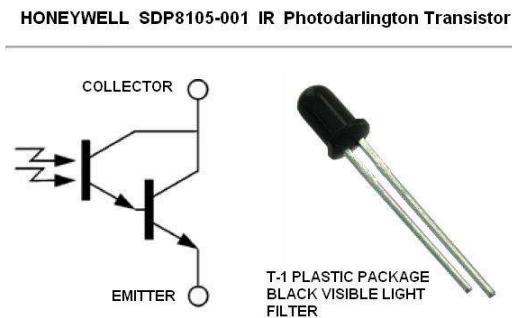


Imagem 9 - PhotoDarlington Transistor, diagrama do circuito e uma foto do componente. (fonte: electronics-notes.com).

O proprietário do projeto do disparador ativado por raios disponibilizou o circuito representado pela Imagem 10, e observando o circuito podemos ver que ele utilizou resistores, capacitores, indutor, amplificadores operacionais, divisores de tensão, fototransistor, relay, transistor, inclusive do tipo mosfet e um circuito integrado do tipo CMOS.

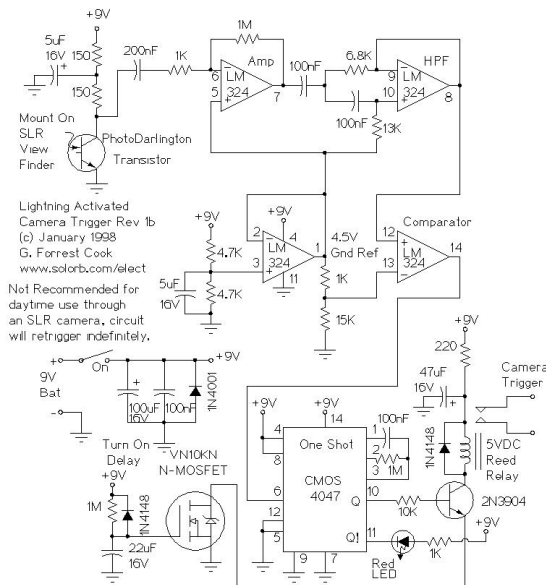


Imagem 10 - Gatilho de Obturador de Câmera Ativado por Raios (fonte: <http://www.solorb.com/elect/lightning/index.html>).

Como resultado do projeto, as Imagens 11 e 12, fotos estas que foram tiradas utilizando o disparador.



Imagem 11 - Primeira foto disparada por um raio utilizando fototransistor. (fonte: <http://www.solorb.com/elect/lightning/index.html>).



Imagem 12 - Segunda foto disparada por um raio utilizando fototransistor. (fonte: <http://www.solorb.com/elect/lightning/index.html>).

Outra aplicação interessante utilizando fototransistores é um sistema assistivo para mulheres grávidas para auxiliar com os cuidados com a saúde.

O sensor auxilia a captar a frequência cardíaca através da técnica de fotopletismografia, que consiste em uma técnica óptica de baixo custo, que pode ser usada para detectar o volume do sangue e alterações nos micro-tecidos do leito vascular.

O medidor de pulso oxímetro é composto por dois diodos emissores de luz, vermelho e infravermelho, e um fotodiodo, mantido no lado oposto na ponta do dedo indicador. A hemoglobina oxigenada no sangue absorve o infravermelho enquanto a desoxigenada absorve o vermelho, e cada luz gera uma forma de onda distinta no fototransistor. Esse sistema é útil pois pode detectar a falta de oxigênio no sangue ou até mesmo a saturação de oxigênio no sangue.

A Imagem 13 mostra um exemplo desse tipo de dispositivo.



Imagem 13 - Medidor de nível de oxigênio no sangue (fonte:

<https://www.medicalnewstoday.com/articles/321044.php>)

Comparação

analisando o LDR photocell (N5AC-501085), fototransistor (BPW16N) e o fotodiodo (EPD-525-5-0.9) o LDR utilizado em celulares apresenta uma resistência que varia de 50kΩ até 100kΩ e trabalha com temperatura de -30° até 60° e uma voltagem máxima de 100v.

Photo-electric Characteristics (at 25°C)

PARAMETER	SYMBOL	M.N.	MAX.	UNITS
Light Resistance at 10 Lux	R_L	50	100	kΩ
Gamma Value at 10~100 Lux	γ	0.85(Typ.)		—
Dark Resistance (10 sec. after shut off 10 Lux)	R_D	5	—	MΩ
Peak Spectral Response	λ_p	550	650	nm

Imagem 13 - Sensor LDR(N5AC-501085)

O fotodiodo (EPD-525-5-0.9) é usado como barreira de luz e em análises ópticas.

trabalha com temperaturas entre -20° e 85° gera uma corrente de 0 á 30 pA o gráfico abaixo mostra a relação temperatura x corrente.

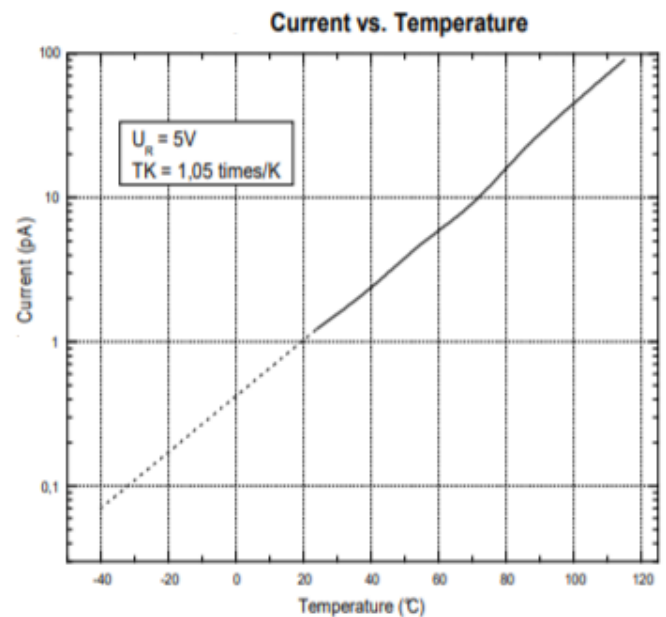


imagem 14 - fotodiodo relação corrente temperatura

fototransistor NPN (BPW16N) é usado como detector em controles eletrônicos e circuitos de acionamento. Trabalha com temperaturas entre -55° até mais de 100° e a corrente que passa pelo coletor pode chegar a 50mA abaixo o gráfico da relação corrente e temperatura

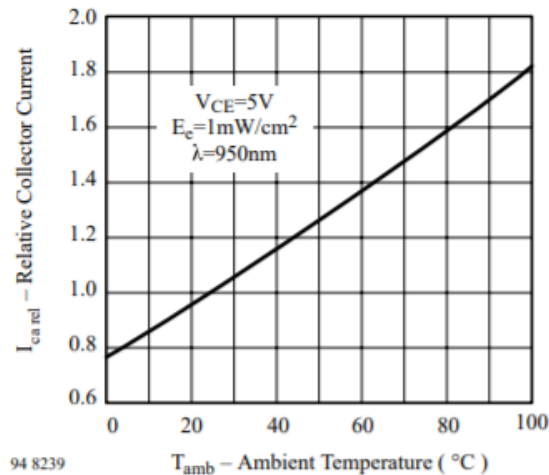
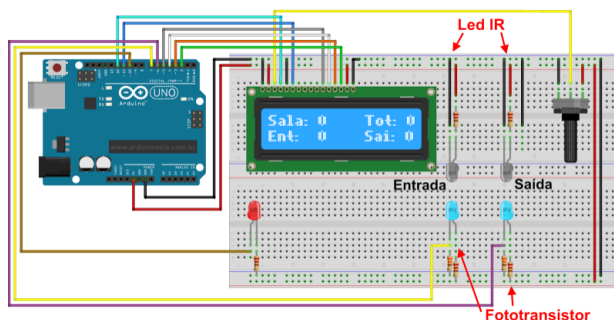


Imagem 15 - sensor fototransistor NPN (BPW16N) relação corrente temperatura

Parte Laboratorial

Na parte de testes analisamos um TCC que usa fototransistor para contar número de visitantes em uma sala.

abaixo vemos uma foto do projeto



nesse projeto foram utilizados os seguintes componentes:

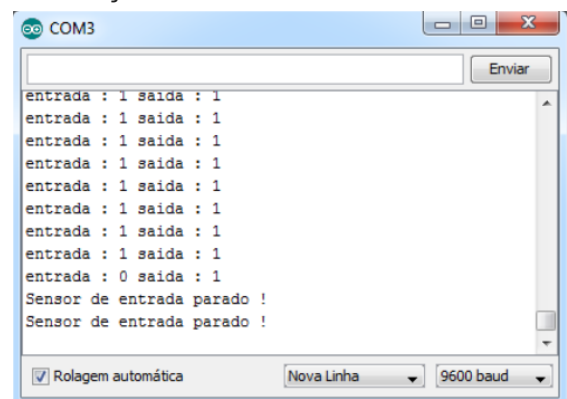
- 1 led comum (para simular a luz da sala)
- 2 leds IR 5mm
- 2 fototransistores 5mm
- 1 resistor de 220R para o led comum
- 2 resistores de 220R para os leds IR

- 2 resistores de 220R para o coletor do fototransistor
- 2 resistores de 330R para o emissor do fototransistor
- 1 display LCD 16x2 HD44780
- 1 potenciômetro de 10kΩ

No circuito acima, cada fototransistor (em azul) tem a perna mais curta (o coletor) ligada ao positivo junto com um resistor de 220R, e a perna mais comprida (o emissor) ligada à porta do Arduino, com um resistor de 330R fazendo a função de pull-down. O potenciômetro ajusta o contraste do display.

O programa verifica o estado das portas 7 (sensor de entrada da sala) e 6 (sensor de saída da sala), que se encontram em nível alto enquanto estiverem recebendo iluminação dos leds IR (que estão sempre ligados). Quando a iluminação IR é interrompida por algum objeto, o estado da porta vai à nível baixo (0 / LOW), e o contador é então atualizado.

para fins de acompanhamento, os valores dos sensores são mostrados no serial monitor. Caso alguma pessoa ou objeto pare em frente ao sensor, essa informação também é mostrada :



Vishay Siliconix. Fonte:
alldatasheet.com:
<https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/26246/VISHAY/BPW16N.html>

Referências

- https://www.sofisica.com.br/conteudos/Otica/Refracaodaluz/cor_e_frequencia.php
- <http://www.newtoncbraga.com.br/index.php/como-funciona/6912-como-funcionam-os-sensores-de-imagem-ccd-art1038>
- <http://www.joinville.udesc.br/portal/professores/saimon/materiais/Sensores.pdf>
- <http://www.solorb.com/elect/lightning/index.html>
- http://www.standardsuniversity.org/wp-content/uploads/assistive_technology_for_pregnant_women_health_care.pdf
- EPIGAP [EPIGAP optoelectronic GmbH]. (01 de 2005). *EPD-525-5-0.9 Datasheet (PDF) - EPIGAP optoelectronic GmbH*. Fonte: alldatasheet.com: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/332640/EPIGAP/EPD-525-5-0.9.html>
- *N5AC-501085 Datasheet (PDF) - List of Unclassified Manufacturers*. (03 de 2007). Fonte: alldatasheet.com: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/236591/ETC2/N5AC-501085.html>
- VISHAY [Vishay Siliconix]. (03 de 2009). *BPW16N Datasheet (PDF) -*