

F 530 – Instrumentação
2º Semestre 2007

Relatório Final

Caracterização da Resposta de um
Semicondutor Devido a Incidência de
Luz



Aluno: Célio Massaki Nakamoto Ra: 027396
Orientador: Prof. Dr. Newton C. Frateschi
Coordenador: Prof. Dr. José J. Lunazzi

1 – Objetivos

Caracterizar a resposta à incidência de luz de um semicondutor, para isto, será estudado o diodo LED e também outros dispositivos eletrônicos.

Para isto será acoplado um LED a um gerador de sinais, a luz emitida por esse LED será captada por um outro LED gerando uma corrente devido a intensidade da luz recebida, o qual será amplificada por um amplificador operacional e analisada por um multímetro e um osciloscópio.

2 – Introdução Teórica

2.1 O Gerador de Sinais

Aparelhos eletrônicos processam sinais elétricos, seja amplificando, codificando, comparando, etc. Assim, torna-se de maior utilidade um instrumento que gere sinais elétricos - o GERADOR DE SINAIS - o qual substitui a fonte original de sinais e passa emití-los, sob controle, para fins de teste e calibração. É claro que o sinal substituto deve ter as mesmas especificações do original - forma de onda, nível de voltagem e corrente, frequência - o que é conseguido pela programação adequada do Gerador de Sinais.

O principal campo de aplicação do Gerador de Sinais em Oficina Eletrônica tem sido teste e calibração de rádio. Em televisores ele é raramente empregado, já que o sinal necessário é muito complexo, com padrões de formato que só são reproduzidos pelo Gerador de Barras ou Microcomputador. Entretanto, alguns estágios e defeitos do receptor de TV podem ser testados pelo Gerador de Sinais. A área digital - Microcomputadores, vídeo-games, telefones - vem se mostrando muito propícia ao emprego deste instrumento, embora a aplicação também seja parcial e exija o uso simultâneo de outros equipamentos.

O sinal elétrico é caracterizado pela intensidade, sentido e formato da corrente elétrica. Esta é o movimento de elétrons no circuito (corrente real), mas por motivos históricos é representada pelo movimento em sentido oposto (corrente convencional). Como os elétrons movimentam-se do ponto de menor tensão para o ponto de maior tensão (da menor voltagem para a maior) teremos a corrente (convencional) circulando da maior voltagem para a menor. Corrente positiva entre os pontos A e B significa que ela circula de A para B; corrente negativa entre A e B significa que ela circula de B para A.

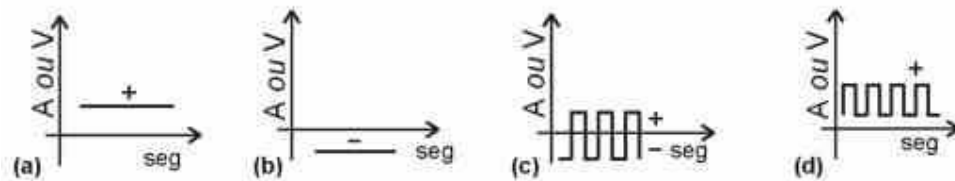


Figura 1 – (a) sinal dc positivo; (b) sinal dc negativo; (c) sinal ac; (d) sinal pulsante

Quando a corrente circula num só sentido - de A para B (positiva, figura 1-a) ou de B para A (negativa, figura 1-b) - dizemos que ela é dc (de "direct current", corrente direta) ou cc (corrente contínua). Se ela é ora positiva (de A para B) e ora negativa (de B para A), alternando o sentido de sua circulação (figura 1-c), dizemos que é ac (de "alternate current", corrente alternada). Um caso especial é a corrente dc pulsante (figura 1-d) que tem um só sentido (positivo ou negativo) mas cuja intensidade varia formando pulsos.

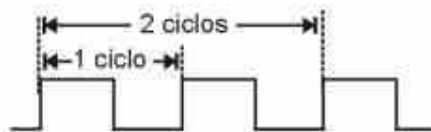


Figura 2 – Ciclo do Sinal

Sinais ac ou dc pulsantes podem ser irregulares ou repetitivos. Neste último caso a parte do sinal que se repete é chamada ciclo (figura 2), o tempo de repetição PERÍODO e a taxa de repetição é a FREQUÊNCIA, registrada em Hz e seus múltiplos KHz e MHz. Antigamente se usava a unidade CICLO-C equivalendo ao HERTZ, com os múltiplos KILOCICLO e MEGACICLO.

O ouvido humano percebe sinais entre 20 Hz e 20 KHz, faixa esta conhecida como AF- áudio freqüência. Acima de 20 kHz temos sinais RF- rádio freqüência, que não são percebidos pelo ouvido humano. A classificação AF/RF, embora esteja relacionada a ondas sonoras e audição humana, também se aplica a sinais elétricos, classificando-os conforme as respectivas freqüências.

Uma freqüência qualquer é chamada fundamental e seus múltiplos harmônicas. Por exemplo, a fundamental 50 Hz tem as harmônicas: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, etc. Quando um equipamento emite um sinal suas harmônicas automaticamente também são emitidas, mas com potência menor. Este detalhe é de alta relevância para o Gerador de Sinais, já que as harmônicas podem interferir ou propositalmente serem usadas.

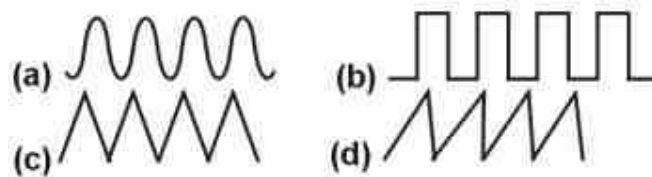


Figura 3 – formas de onda (a) senóide; (b) quadrada;
(c) triangular; (d) dente de serra;

A forma de onda do sinal é outra de suas características e tem que ser reproduzida pelo Gerador de Sinais para substituir o sinal original. As formas de onda mais usadas (figura 3) são senóide, onda quadrada, onda triangular e dente-de-serra.

Equipamentos digitais usam CIs (circuitos integrados) da família TTL ou CMOS, os quais têm padrões especificados para voltagens e correntes elétricas que indicam os níveis lógicos 1 (H- alto) e 0 (L- baixo). Os Geradores de Sinais mais modernos dispõem de uma saída extra de onde o sinal gerado pode ser extraído já no padrão TTL ou CMOS, facilitando o acoplamento entre o instrumento e o equipamento digital.

Para dar maior precisão ao sinal os circuitos osciladores incluem cristais. Estes quando submetidos à tensão elétrica emitem sinais elétricos, com maior amplitude de saída quando a tensão está na frequência de ressonância característica do cristal. Sincronizando com o cristal o oscilador e deste tirando uma amostra para tensão do cristal (figura 4), consegue-se reforçar a frequência de ressonância do cristal como frequência de trabalho do oscilador, conferindo-lhe grande precisão. Um Gerador de Sinais pode ter vários cristais, selecionáveis por chaveamento, servindo como referência.

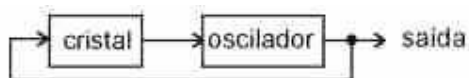


Figura 4 – Oscilador Controlado por Cristal

2.2 – Light Emitting Diode (LED)

O LED é um diodo semicondutor (junção P-N) que quando energizado emite luz visível. A luz é monocromática e é produzida pelas interações energéticas do elétron. O processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado eletroluminescência. Em qualquer junção P-N polarizada diretamente, dentro da estrutura, próximo à junção, ocorrem recombinações de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia possuída por esse elétron, que até então era livre, seja liberada, o que ocorre na forma de calor ou fótons de luz.

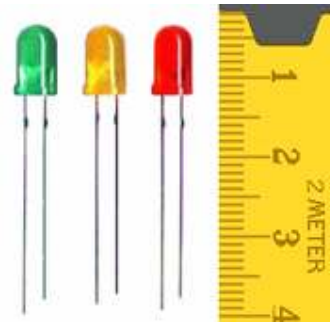


Figura 5 – LED's de diferentes cores

No silício e no germânio, que são os elementos básicos dos diodos e transistores, entre outros componentes eletrônicos, a maior parte da energia é liberada na forma de calor, sendo insignificante a luz emitida (devido à opacidade do material), e os componentes que trabalham com maior capacidade de corrente chegam a precisar de irradiadores de calor (dissipadores) para ajudar na manutenção dessa temperatura em um patamar tolerável.

Já em outros materiais, como o arseneto de gálio (GaAs) ou o fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons de luz emitido é suficiente para constituir fontes de luz bastante eficientes.

A forma simplificada de uma junção P-N de um LED demonstra seu processo de eletroluminescência. O material dopante de uma área do semicondutor contém átomos com um elétron a menos na banda de valência em relação ao material semicondutor. Na ligação, os íons desse material dopante (íons "aceitadores") removem elétrons de valência do semicondutor, deixando "lacunas" (ou buracos), portanto, o semicondutor torna-se do tipo P. Na outra área do semicondutor, o material dopante contém átomos com um elétron a mais do que o semicondutor puro em sua faixa de valência. Portanto, na ligação esse elétron fica disponível sob a forma de elétron livre, formando o semicondutor do tipo N.

Os semicondutores também podem ser do tipo compensados, isto é, possuem ambos os dopantes (P e N). Neste caso, o dopante em maior concentração determinará a que tipo pertence o semiconductor. Por exemplo, se existem mais dopantes que levariam ao P do que do tipo N, o semiconductor será do tipo P. Isso implicará, contudo, na redução da Mobilidade dos Portadores.

A Mobilidade dos Portadores é a facilidade com que cargas n e p (elétrons e buracos) atravessam a estrutura cristalina do material sem colidir com a vibração da estrutura. Quanto maior a mobilidade dos portadores, menor será a perda de energia, portanto mais baixa será a resistividade.

Na região de contato das áreas, elétrons e lacunas se recombinaem, criando uma fina camada praticamente isenta de portadores de carga, a chamada barreira de potencial, onde temos apenas os íons “doadores” da região N e os íons “aceitadores” da região P, que por não apresentarem portadores de carga “isolam” as demais lacunas do material P dos outros elétrons livres do material N.

Um elétron livre ou uma lacuna só pode atravessar a barreira de potencial mediante a aplicação de energia externa (polarização direta da junção). Aqui é preciso ressaltar um fato físico do semiconductor: nesses materiais, os elétrons só podem assumir determinados níveis de energia (níveis discretizados), sendo as bandas de valência e de condução as de maiores níveis energéticos para os elétrons ocuparem.

A região compreendida entre o topo da de valência e a parte inferior da região de condução é a chamada “banda proibida”. Se o material semiconductor for puro, não terá elétrons nessa banda (daí ser chamada “proibida”). A recombinação entre elétrons e lacunas que ocorre depois de vencida a barreira de potencial, pode acontecer na banda de valência ou na proibida. A possibilidade dessa recombinação ocorrer na banda proibida se

deve à criação de estados eletrônicos de energia nessa área pela introdução de outras impurezas no material.

Como a recombinação ocorre mais facilmente no nível de energia mais próximo da banda de condução, pode-se escolher adequadamente as impurezas para a confecção dos LED's, de modo a exibirem bandas adequadas para a emissão da cor de luz desejada (comprimento de onda específico).

A luz emitida é monocromática, sendo a cor, portanto, dependente do cristal e da impureza de dopagem com que o componente é fabricado. O LED que utiliza o arseneto de gálio emite radiações infra-vermelha. Dopando-se com fósforo, a emissão pode ser vermelha ou amarela, de acordo com a concentração. Utilizando-se fosfeto de gálio com dopagem de nitrogênio, a luz emitida pode ser verde ou amarela. Hoje em dia, com o uso de outros materiais, consegue-se fabricar LED's que emitem luz azul, violeta e até ultra-violeta. Existem também os LED's brancos, mas esses são geralmente LED's emissores de cor azul, revestidos com uma camada de fósforo do mesmo tipo usado nas lâmpadas fluorescentes, que absorve a luz azul e emite a luz branca. Com o barateamento do preço, seu alto rendimento e sua grande durabilidade, esses LED's tornam-se ótimos substitutos para as lâmpadas comuns, e devem substituí-las a médio ou longo prazo. Existem também os LED's brancos chamados RGB (mais caros), e que são formados por três "chips", um vermelho (R), um verde (G) e um azul (B). Uma variação dos LED's RGB são LED's com um micro-controlador integrado, o que permite que se obtenha um verdadeiro show de luzes utilizando apenas um LED's.

Em geral, os leds operam com nível de tensão de 1,6 a 3,3V, sendo compatíveis com os circuitos de estado sólido. É interessante notar que a tensão é dependente do comprimento da onda emitida. Assim, os LED's infravermelhos geralmente funcionam com menos de 1,5V, os vermelhos

com 1,7V, os amarelos com 1,7V ou 2.0V, os verdes entre 2.0V e 3.0V, enquanto os LED's azuis, violeta e ultra-violeta geralmente precisam de mais de 3V. A potência necessária está na faixa típica de 10 a 150 mW, com um tempo de vida útil de 100.000 ou mais horas.

Como o LED's é um dispositivo de junção P-N, sua característica de polarização direta é semelhante à de um diodo semicondutor.

Sendo polarizado, a maioria dos fabricantes adota um "código" de identificação para a determinação externa dos terminais A (anodo) e K (catodo) dos LED's.

No LED, se o invólucro for semi-transparente, pode-se identificar o catodo (K) como sendo o terminal que contém o eletrodo interno mais largo do que o eletrodo do outro terminal (anodo). Além de mais largo, às vezes o catodo é mais baixo do que o anodo.

Os diodos emissores de luz são empregados também na construção dos displays alfa-numéricos.

Há também LED's bicolores, que são constituídos por duas junções de materiais diferentes em um mesmo invólucro, de modo que uma inversão na polarização muda a cor da luz emitida de verde para vermelho, e vice-versa. Existem ainda LED's bicolores com três terminais, sendo um para acionar a junção dopada com material para produzir luz verde, outro para acionar a junção dopada com material para gerar a luz vermelha, e o terceiro comum às duas junções. O terminal comum pode corresponder à interligação dos anodos das junções (LED's bicolores em anodo comum) ou dos seus catodos (LED's bicolores em catodo comum).

Embora normalmente seja tratado por LED bicolor (vermelho+verde), esse tipo de LED é na realidade um "tricolor", já que além das duas cores independentes, cada qual gerada em uma junção, essas duas junções podem ser simultaneamente polarizadas, resultando na emissão de luz alaranjada.

Neste trabalho, trataremos da resposta de um LED funcionando inversamente à característica explicada neste texto, ou seja, aplicando uma luz e obtendo uma corrente e caracterizando a sua resposta em frequência assim como a sua corrente gerada.

2.3 Amplificador Operacional

Um amplificador operacional ou amp op é um amplificador com um ganho muito alto que possui duas entradas, uma inversora (-) e uma não inversora (+). A tensão de saída é a diferença entre as entradas + e - , multiplicado pelo ganho em malha aberta:

$$V_{out} = (V_{+} - V_{-}) \times G_{malha_aberta} \quad (1)$$

A saída do amplificador pode ser única ou diferencial, o que é menos comum. Os circuitos que utilizam amp ops frequentemente utilizam a realimentação negativa (negative feedback). Porque devido ao seu ganho elevado, o comportamento destes amplificadores é quase totalmente determinado pelos elementos de realimentação (feedback).

A simbologia do amplificador operacional é dada a seguir:

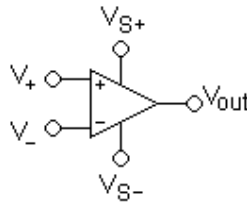


Figura 6 – Símbolo elétrico para o Amplificador Operacional

Os seus terminais são:

V+: entrada não-inversora

V-: entrada inversora

Vout: saída

Vs+: alimentação positiva

Vs-: alimentação negativa

Os pinos de alimentação (V_{S+} e V_{S-}) podem ser nomeados de diferentes formas. Para amp ops baseados em tecnologia FET, o positivo, ou alimentação de dreno comum é chamada do VDD e o negativo, ou alimentação de fonte comum é chamado de VSS. Para amp ops baseados em TBJ (BJT), o pino V_{S+} torna-se VCC e o pino V_{S-} torna-se VEE. Eles são muitas vezes chamados V_{CC+} e V_{CC-} , ou mesmo $V+$ e $V-$, no caso de as entradas serem nomeadas diferentemente, a função permanecerá a mesma. Muitas vezes estes pinos são retirados dos esquemas elétricos para uma maior clareza, e a configuração de alimentação é dada ou previsível através do circuito.

O amp ops será utilizado neste experimento para aumentar o valor da tensão gerada pelo LED, com a finalidade de facilitar a medição do sinal.

3 – Parte Experimental

O circuito que será utilizado para a caracterização da resposta do diodo semiconductor está ilustrado na figura seguinte, onde se foi feita uma simulação utilizando o programa PSpice versão de estudante obtida na referência 3 abaixo.

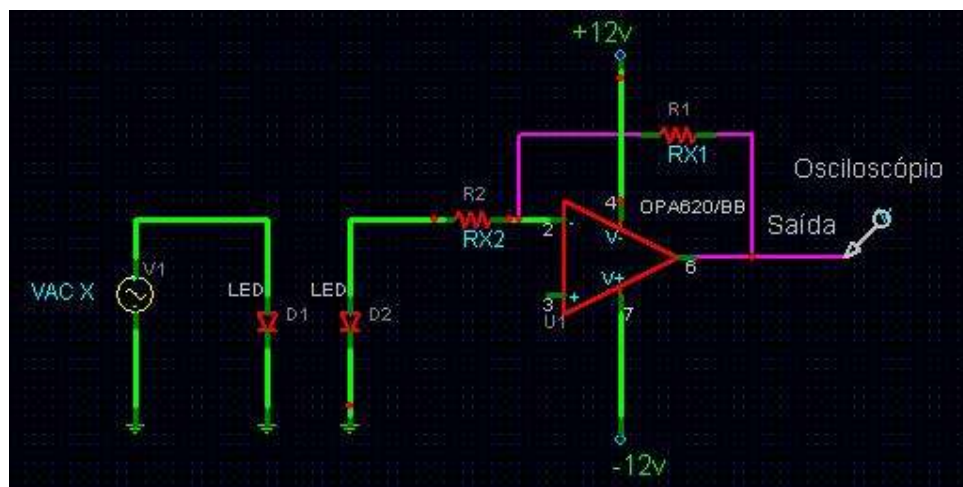


Figura 7 – Simulação Obtida no Programa PSpice

Foi construído o circuito conforme a figura 7 em uma placa de circuito impresso de tal maneira que o amp ops dê um ganho cerca de 100 vezes. O circuito montado está ilustrado na figura seguinte:

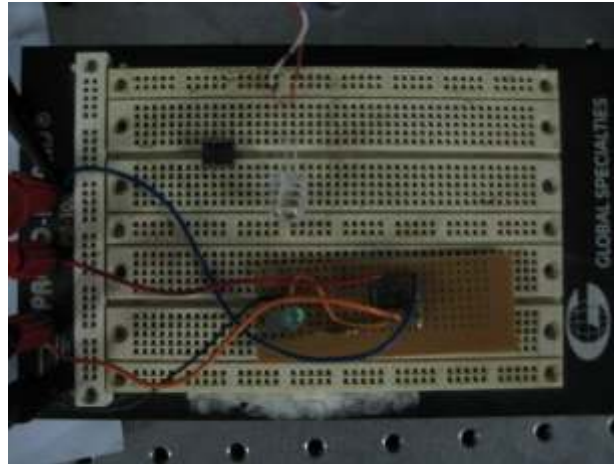


Figura 8 - Circuito utilizado no experimento

O gerador de sinais utilizado está ilustrado na figura abaixo e o sinal utilizado é a onda quadrada, representada pela figura 3-b.



Figura 9 – Gerador de sinais utilizado no experimento

Para a geração de sinais, será utilizado um LED acoplado à saída de um gerador de sinais comum. O sinal luminoso emitido por este LED será

captado por outro LED simplesmente alinhando-os frente a frente. O LED utilizado para a emissão do sinal é um LED de alto brilho na cor branca, por ter uma intensidade maior e para a recepção do sinal foi utilizado um LED verde, pois apresentou melhor sensibilidade a luz do LED de alto brilho.

Para o diodo LED responsável para captação de luz será feito um circuito amplificador com um amp op utilizando o CI741 por ser mais facilmente encontrado no mercado e com custo bem acessível. O terminal anodo do LED será acoplado à entrada inversora do amp op que por sua vez, emitirá um sinal na saída amplificada o suficiente para que o sinal emitido pelo diodo receptor possa medido perfeitamente por um osciloscópio.

O alinhamento dos LED's foi feito com o auxílio de um Pront-Board, a montagem experimental foi feita conforme a figura seguinte.

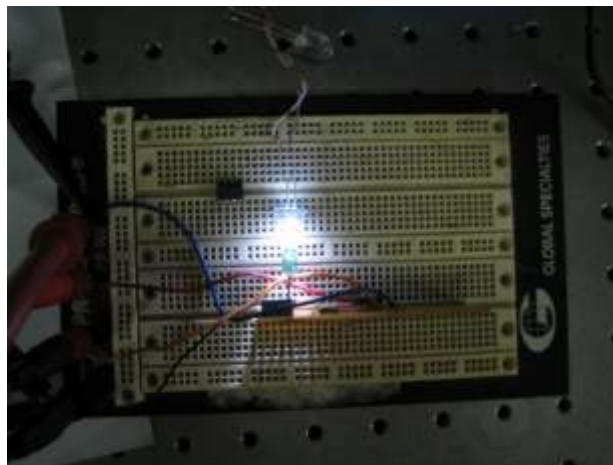


Figura 10 – Alinhamento dos LED's

Na figura 10 é possível visualizar o LED de alto brilho (luz branca) e o LED receptor (cor verde) imediatamente à sua frente, o sinal da saída do amp op foi medido com um multímetro digital.

4 – Análise dos Dados

Primeiramente foi feita uma análise da intensidade da corrente gerada pelo LED à medida que aumentamos a frequência da luz recebida, foi criado um gráfico da frequência recebida pela tensão na saída do amp op, pois essa tensão é proporcional a corrente gerada pelo LED receptor.

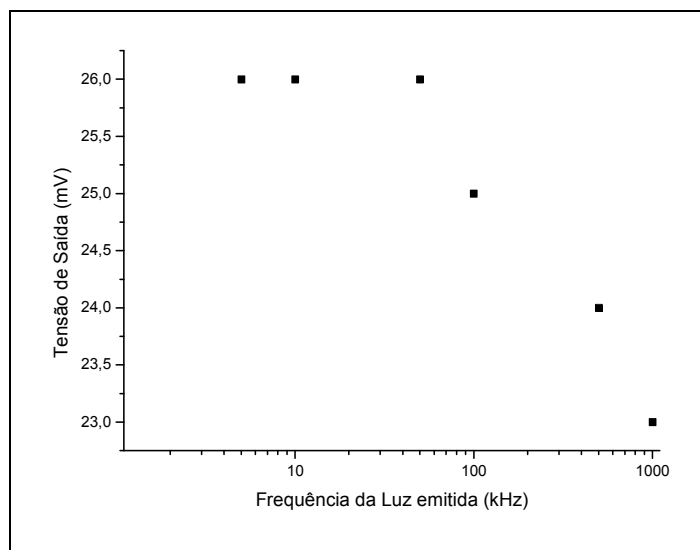


Figura 11 – Intensidade da corrente gerada pelo LED em função da frequência

Notamos que há um decréscimo da intensidade da corrente emitida pelo LED em função da frequência recebida, para frequências superiores os dados não são tão confiáveis, pois fica limitada à resposta em frequência do amp op utilizado.

Foi analisada também a curva do sinal emitido e o sinal recebido pelo LED para diferentes frequências, as figuras seguintes mostram a tela do osciloscópio onde o sinal emitido está representado pela curva (onda quadrada) inferior e o sinal gerado pelo LED pela curva superior.

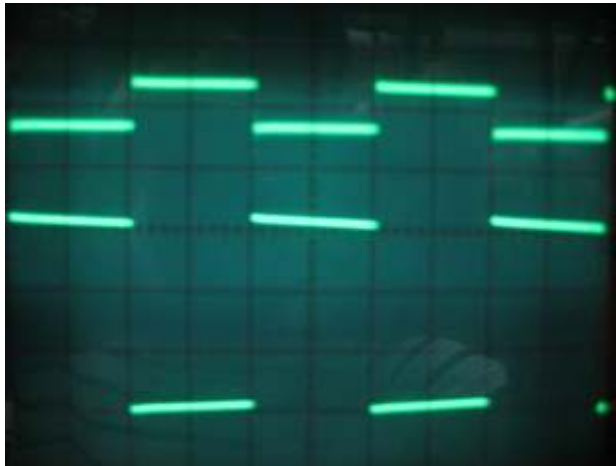


Figura 12 – Sinal Obtido para 500Hz

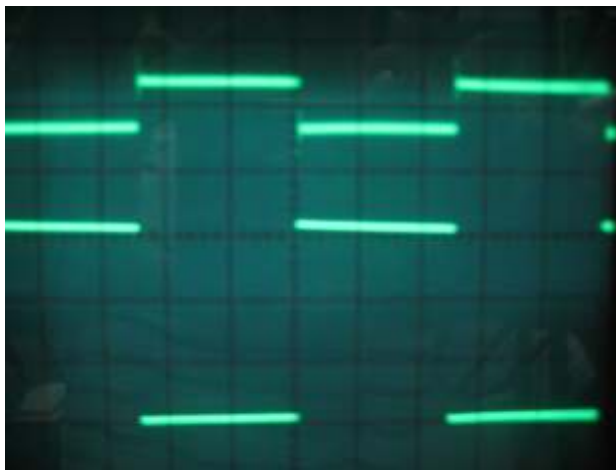


Figura 13 – Sinal Obtido para 1kHz

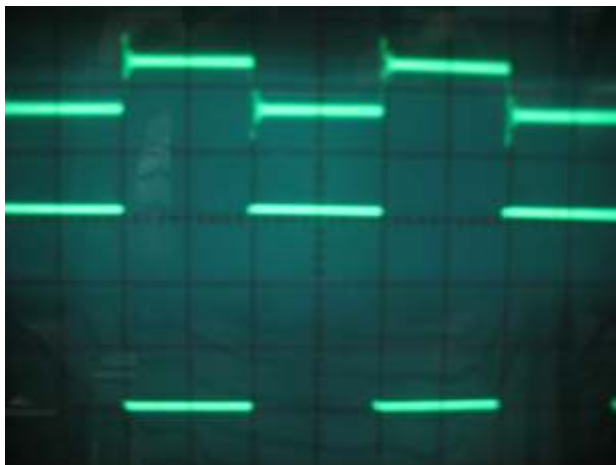


Figura 14 – Sinal Obtido para 5kHz



Figura 15 – Sinal Obtido para 50kHz

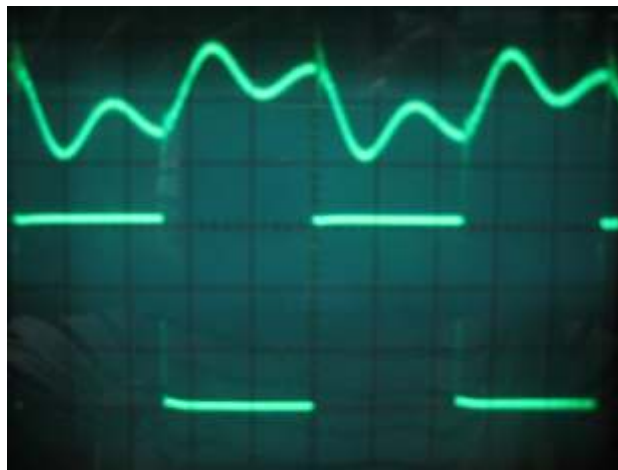


Figura 16 – Sinal Obtido para 100kHz

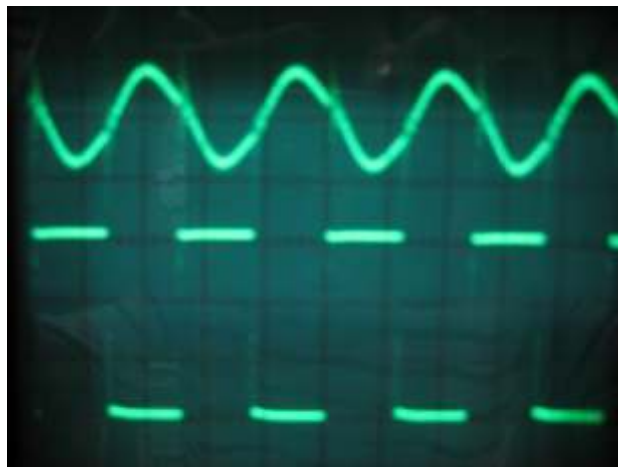


Figura 17 – Sinal Obtido para 200kHz

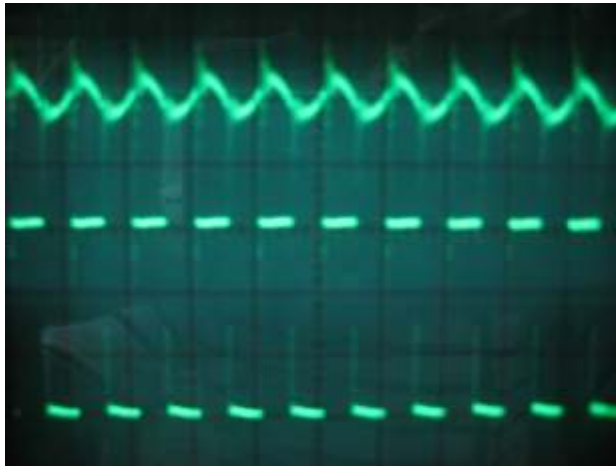


Figura 18 – Sinal Obtido para 500kHz

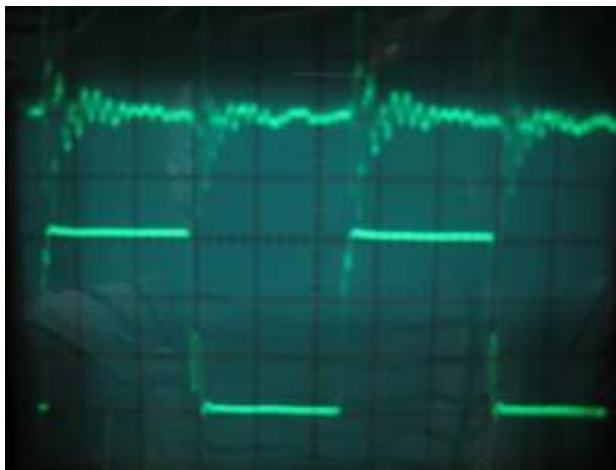


Figura 19 – Sinal Obtido para 1MHz

Através dessas figuras podemos perceber uma leve distorção do sinal em 5kHz próxima à região onde a função é descontínua. A partir de 50kHz o sinal já não se assemelha à onda quadrada original se tornando semelhante a uma senóide quando a frequência atinge 200kHz.

Essas distorções pode ser devido ao amp op, para verificarmos isto, o sinal gerado foi introduzido diretamente na entrada inversora do amp op, ou seja, sem a influência de nenhum LED foi feita a análise da resposta em frequência do amp op.

O resultado está mostrado nas figuras seguintes:

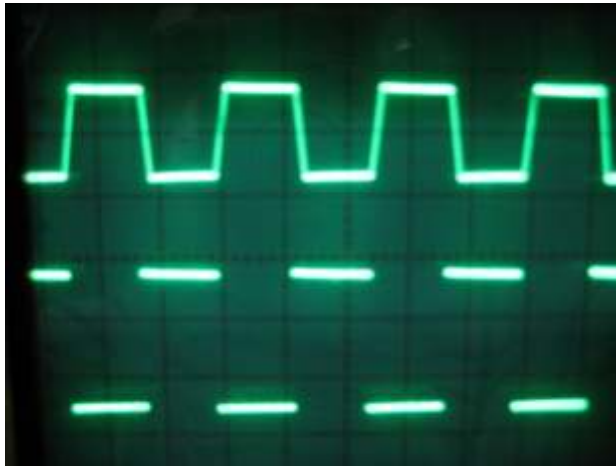


Figura 20 – Sinal Obtido sem LED para 2kHz

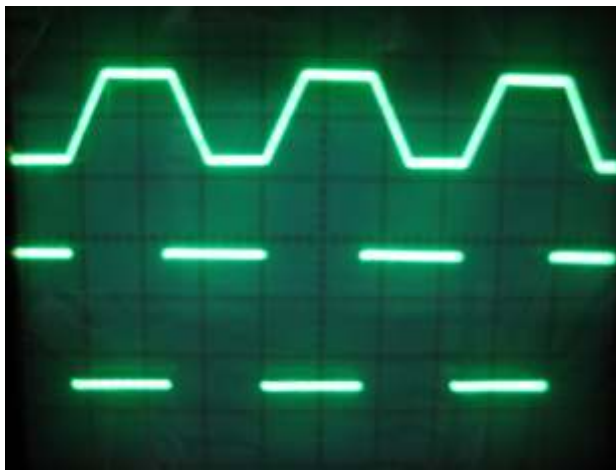


Figura 20 – Sinal Obtido sem LED para 6kHz

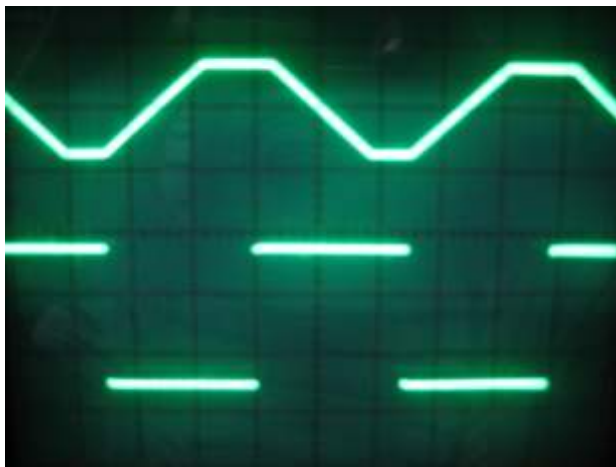


Figura 21 – Sinal Obtido sem LED para 10kHz

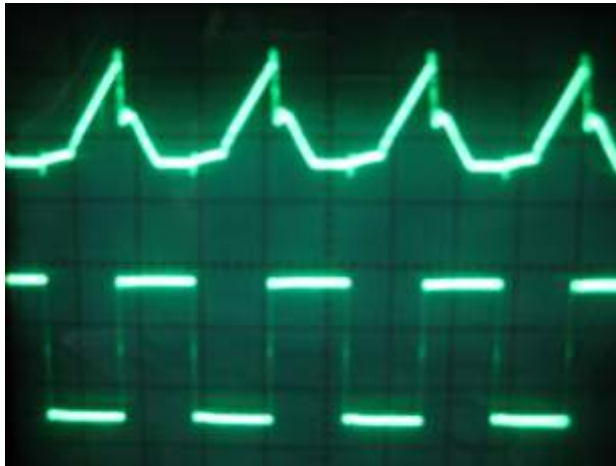


Figura 20 – Sinal Obtido sem LED para 200kHz



Figura 20 – Sinal Obtido sem LED para 700kHz

Através dessas figuras podemos perceber também a distorção devido ao amp op, infelizmente ele também possui distorção à medida que aumentamos a frequência.

5 – Conclusão

Através das figuras obtidas na tela do osciloscópio podemos perceber a distorção do sinal obtido em relação ao sinal gerado.

Infelizmente não podemos afirmar que essas distorções estão relacionadas somente com o LED, pois verificamos que o próprio amp op utilizado também distorce o sinal à medida que aumentamos a frequência.

O fato curioso é o sinal de onda quadrada emitida pelo LED a uma frequência de 200kHz se tornar semelhante a uma senóide, isto decorre devido à distorção do amp op nessa frequência conforme mostra a figura 20 e também uma possível distorção devido à resposta do LED nessa frequência.

6 – Referências

1 – <http://www.letronet.com.br/psist/ppesq/ppesqlivcap/ppesqin/ppesqind5/ppesqin5d1.htm>

2 – <http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>

3 – <http://www.dmo.fee.unicamp.br/~aldario/EE640/Apresentacao/80dlabe.exe>

Avaliação do Orientador

O trabalho está muito bom. Fiquei realmente impressionado com a qualidade, eficiência e independência com que este projeto foi desenvolvido. O tema foi bem explorado e o relatório bem escrito. Minha avaliação deste trabalho é 10.0.

Prof. Newton C. Frateschi, PhD

Director

Center for Semiconductor Components (CCS)

State University of Campinas (UNICAMP)

r. Pandia Calogeras, 90

(PO Box 6061) 13083-870 Campinas SP – Brazil

tel +55-19-3521.4873 / fax +55-19-3521.5177

Material das referências

<http://www.letronet.com.br/psist/ppesq/ppesqlivcap/ppesqin/ppesqind5/ppesqin5d1.htm>

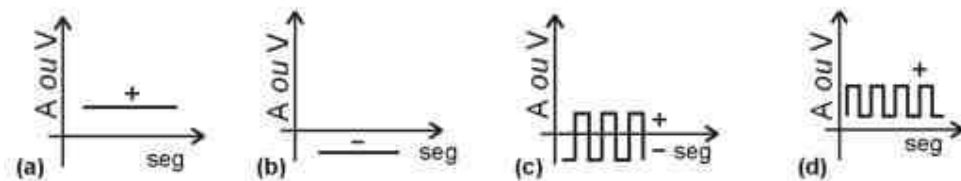
Aparelhos eletrônicos processam sinais elétricos, seja amplificando, codificando, comparando, etc. Assim, torna-se de maior utilidade um instrumento que gere sinais elétricos - o ***GERADOR DE SINAIS*** - o qual substitui a fonte original de sinais e passa emití-los, sob controle, para fins de teste e calibração. É claro que o sinal substituto deve ter as mesmas especificações do original - forma de onda, nível de voltagem e corrente, frequência - o que é conseguido pela programação adequada do Gerador de Sinais.

Os Geradores de Sinais antigos tinham o formato de uma caixa com aproximadamente 30 cm de altura e 30 cm de largura, muito pesados (devido à blindagem para evitar interferências), com ponteiro indicando a frequência do sinal emitido e chaves seletoras de funções. Os modelos modernos são menores, do tamanho de um livro grosso, existindo mesmo alguns de bolso e alimentados a pilha; os ponteiros são substituídos por display digital, com maiores recursos de programação.

O principal campo de aplicação do Gerador de Sinais em Oficina Eletrônica tem sido teste e calibração de rádio. Em televisores ele é raramente empregado, já que o sinal necessário é muito complexo, com padrões de formato que só são reproduzidos pelo Gerador de Barras ou Microcomputador. Entretanto, alguns estágios e defeitos do receptor de TV podem ser testados pelo Gerador de Sinais. A área digital - Microcomputadores, vídeo-games, telefones - vem se mostrando muito propícia ao emprego deste instrumento, embora a aplicação também seja parcial e exija o uso simultâneo de outros equipamentos.

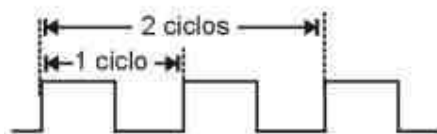
O preço de um Gerador de Sinais é aproximadamente o mesmo de um Multímetro - custo relativamente baixo para instrumento tão útil. Considerando ainda que ele é de fácil manejo e requer apenas conhecimentos elementares para ser aplicado torna-se óbvio recomendá-lo como desejável e indispensável na bancada da Oficina Eletrônica.

O sinal elétrico é caracterizado pela intensidade, sentido e formato da corrente elétrica. Esta é o movimento de elétrons no circuito (corrente real), mas por motivos históricos é representada pelo movimento em sentido oposto (corrente convencional). Como os elétrons movimentam-se do ponto de menor tensão para o ponto de maior tensão (da menor voltagem para a maior) teremos a corrente (convencional) circulando da maior voltagem para a menor. Corrente positiva entre os pontos A e B significa que ela circula de A para B; corrente negativa entre A e B significa que ela circula de B para A.



5-1 sinal (a) dc positivo (b) de negativo (c) ac (d) pulsante

Quando a corrente circula num só sentido - de A para B (positiva, figura 5-1a) ou de B para A (negativa, figura 5-1b) - dizemos que ela é **dc** (de "direct current", corrente direta) ou **cc** (corrente contínua). Se ela é ora positiva (de A para B) e ora negativa (de B para A), alternando o sentido de sua circulação (figura 5-1c), dizemos que é **ac** (de "alternate current", corrente alternada). Um caso especial é a corrente **dc pulsante** (figura 5-1d) que tem um só sentido (positivo ou negativo) mas cuja intensidade varia formando pulsos.

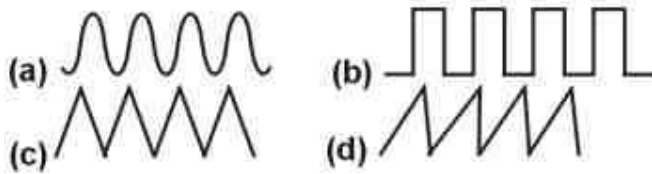


5-2 ciclo do sinal

Sinais ac ou dc pulsantes podem ser irregulares ou repetitivos. Neste último caso a parte do sinal que se repete é chamada **ciclo** (figura 5-2), o tempo de repetição **PERÍODO** e a taxa de repetição é a **FREQUÊNCIA**, registrada em **HERTZ-Hz** e seus múltiplos **KILOHERTZ-KHz** e **MEGAHERTZ-MHz**. Antigamente se usava a unidade **CICLO-C** equivalendo ao HERTZ, com os múltiplos **KILOCICLO** e **MEGACICLO**.

O ouvido humano percebe sinais entre 20 Hz e 20 KHz, faixa esta conhecida como **AF- áudio frequência**. Acima de 20 KHz temos sinais **RF- rádio frequência**, que não são percebidos pelo ouvido humano. A classificação AF/RF, embora esteja relacionada a ondas sonoras e audição humana, também se aplica a sinais elétricos, classificando-os conforme as respectivas frequências.

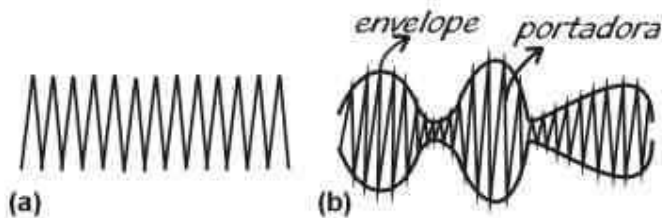
Uma frequência qualquer é chamada **fundamental** e seus múltiplos **harmônicas**. Por exemplo, a fundamental 50 Hz tem as harmônicas: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz, ... Quando um equipamento emite um sinal suas harmônicas automaticamente também são emitidas, mas com potência menor. Este detalhe é de alta relevância para o Gerador de Sinais, já que as harmônicas podem interferir ou propositadamente serem usadas.



5-3 formas de onda (a) senóide (b) quadrada
(c) triangular (d) dente de serra

A forma de onda do sinal é outra de suas características e tem que ser reproduzida pelo Gerador de Sinais para substituir o sinal original. As formas de onda mais usadas (figura 5-3) são **senóide**, **onda quadrada**, **onda triangular** e **dente-de-serra**.

Equipamentos digitais usam CIs (circuitos integrados) da família TTL ou CMOS, os quais têm padrões especificados para voltagens e correntes elétricas que indicam os níveis lógicos **1** (**H**- alto) e **0** (**L**- baixo). Os Geradores de Sinais mais modernos dispõem de uma saída extra de onde o sinal gerado pode ser extraído já no padrão TTL ou CMOS, facilitando o acoplamento entre o instrumento e o equipamento digital.

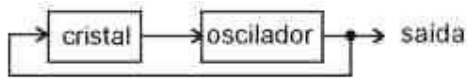


5-4 modulação AM (a) portadora (b) sinal modulado

Em Rádio e TV a informação é transformada em sinal elétrico que altera ("modula") as características elétricas de outro sinal de maior frequência, chamado "portadora". No FM a frequência portadora é desviada pelo sinal modulador, enquanto no AM é sua amplitude (figura 5-4). Para gerar um sinal FM no Gerador de Sinais basta desviar a frequência em torno de um valor central. Mas para gerar um sinal AM é preciso que o instrumento forneça um sinal de baixa frequência (o envelope modulador) que é acoplado a portadora. Nos Geradores de Sinais geralmente o modulador é um sinal de áudio (entre 20Hz e 20 KHz), enquanto a portadora é escolhida pelo operador, o sinal já modulado AM ficando disponível na saída.

Os Geradores de Sinais mais antigos usavam circuitos osciladores transistorizados ou valvulados para gerar os sinais. A frequência do sinal dependia da tensão alimentando o circuito ("VCO- voltage controlled oscillator"- oscilador controlado por voltagem), de maneira que basta ajustar esta tensão para se obter a frequência desejada. Já os Geradores de Sinais mais recentes empregam circuitos digitais, com CIs especializados em gerar ondas quadradas de acordo com uma programação. A forma de onda desejada - senoide,

quadrada, triangular, dente-de-serra, é obtida fazendo o sinal passar por indutores ou capacitores.



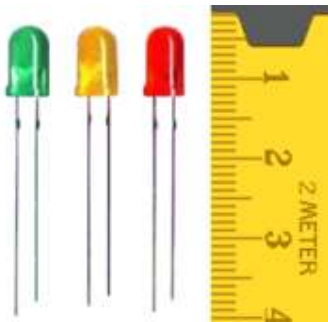
5-5 oscilador controlado por cristal

Para dar maior precisão ao sinal os circuitos osciladores incluem **crístais**. Estes quando submetidos a tensão elétrica emitem sinais elétricos, com maior amplitude de saída quando a tensão está na frequência de ressonância característica do cristal. Sincronizando com o cristal o oscilador e deste tirando uma amostra para tensão do cristal (figura 5-5), consegue-se reforçar a frequência de ressonância do cristal como frequência de trabalho do oscilador, conferindo-lhe grande precisão. Um Gerador de Sinais pode ter vários cristais, selecionáveis por chaveamento, servindo como referência.

<http://pt.wikipedia.org/wiki/LED>

LED

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.



LED é a sigla em [inglês](#) para **Light Emitting Diode**, ou **Diodo Emissor de Luz**.

O LED é um [diodo semicondutor](#) (junção P-N) que quando energizado emite luz visível. A luz é [monocromática](#) e é produzida pelas interações energéticas do [elétron](#). O processo de emissão de luz pela aplicação de uma fonte elétrica de energia é chamado *eletroluminescência*. Em qualquer junção P-N polarizada diretamente, dentro da estrutura, próximo à junção,

ocorrem recombinações de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia possuída por esse elétron, que até então era livre, seja liberada, o que ocorre na forma de [calor](#) ou [fótons](#) de luz.

No [silício](#) e no [germânio](#), que são os elementos básicos dos diodos e [transistores](#), entre outros componentes eletrônicos, a maior parte da energia é liberada na forma de calor, sendo insignificante a luz emitida (devido a opacidade do material), e os componentes que trabalham com maior capacidade de corrente chegam a precisar de irradiadores de calor (dissipadores) para ajudar na manutenção dessa temperatura em um patamar tolerável.

Já em outros materiais, como o arsenieto de [gálio](#) (GaAs) ou o fosfeto de gálio (GaP), o número de fótons de luz emitido é suficiente para constituir fontes de luz bastante eficientes.

A forma simplificada de uma junção P-N de um led e demonstra seu em processo de eletroluminescência. O material dopante de uma área do [semicondutor](#) contém [átomos](#) com um elétron a menos na [banda de valência](#) em relação ao material semicondutor. Na ligação, os [íons](#) desse material dopante (íons "aceitadores") removem elétrons de valência do semicondutor, deixando "lacunas" (ou buracos), portanto, o semicondutor torna-se do tipo P. Na outra área do semicondutor, o material dopante contém átomos com um elétron a mais do que o semicondutor puro em sua faixa de valência. Portanto, na ligação esse elétron fica disponível sob a forma de elétron livre, formando o semicondutor do tipo N.

Os semicondutores também podem ser do tipo compensados, isto é, possuem ambos os dopantes (P e N). Neste caso, o dopante em maior concentração determinará a que tipo pertence o semicondutor. Por exemplo, se existem mais dopantes que levariam ao P do que do tipo N, o semicondutor será do tipo P. Isso implicará, contudo, na redução da Mobilidade dos Portadores.

A Mobilidade dos Portadores é a facilidade com que cargas n e p (elétrons e buracos) atravessam a estrutura cristalina do material sem colidir com a vibração da estrutura. Quanto maior a mobilidade dos portadores, menor será a perda de energia, portanto mais baixa será a [resistividade](#).

Na região de contato das áreas, elétrons e lacunas se recombinam, criando uma fina camada praticamente isenta de portadores de carga, a chamada barreira de potencial, onde temos apenas os íons "doadores" da região N e os íons "aceitadores" da região P, que por não apresentarem portadores de carga "isolam" as demais lacunas do material P dos outros elétrons livres do material N.

Um elétron livre ou uma lacuna só pode atravessar a barreira de potencial mediante a aplicação de energia externa (polarização direta da junção). Aqui é preciso ressaltar um fato físico do semicondutor: nesses materiais, os elétrons só podem assumir determinados níveis de energia (níveis discretizados), sendo as bandas de valência e de condução as de maiores níveis energéticos para os elétrons ocuparem.

A região compreendida entre o topo da de valência e a parte inferior da de condução é a chamada "banda proibida". Se o material semicondutor for puro, não terá elétrons nessa banda (daí ser chamada "proibida"). A recombinação entre elétrons e lacunas, que ocorre depois de vencida a barreira de potencial, pode acontecer na banda de valência ou na proibida. A possibilidade dessa recombinação ocorrer na banda proibida se deve à criação de estados eletrônicos de energia nessa área pela introdução de outras impurezas no material.

Como a recombinação ocorre mais facilmente no nível de [energia](#) mais próximo da [banda de condução](#), pode-se escolher adequadamente as impurezas para a confecção dos leds, de modo a exibirem bandas adequadas para a emissão da cor de luz desejada (comprimento de onda específico).

A luz emitida é monocromática, sendo a cor, portanto, dependente do cristal e da impureza de dopagem com que o componente é fabricado. O led que utiliza o [arsenieto de gálio](#) emite radiações [infra-vermelhas](#). Dopando-se com fósforo, a emissão pode ser vermelha ou amarela, de acordo com a concentração. Utilizando-se fosfeto de gálio com dopagem de nitrogênio, a luz emitida pode ser verde ou amarela. Hoje em dia, com o uso de outros materiais, consegue-se fabricar leds que emitem luz azul, violeta e até ultra-violeta. Existem também os leds brancos, mas esses são geralmente leds emissores de cor azul, revestidos com uma camada de fósforo do mesmo tipo usado nas lâmpadas fluorescentes, que absorve a luz azul e emite a luz branca. Com o barateamento do preço, seu alto rendimento e sua grande durabilidade, esses leds tornam-se ótimos substitutos para as lâmpadas comuns, e devem substituí-las a médio ou longo prazo. Existem também os leds brancos chamados RGB (mais caros), e que são formados por tres "chips", um vermelho (R de red), um verde (G de green) e um azul (B de blue). Uma variação dos leds RGB são leds com um microcontrolador integrado, o que permite que se obtenha um verdadeiro show de luzes utilizando apenas um led.

Encontra-se o aspecto físico de alguns leds e o seu símbolo elétrico.

Em geral, os leds operam com nível de tensão de 1,6 a 3,3V, sendo compatíveis com os circuitos de estado sólido. É interessante notar que a tensão é dependente do comprimento da onda emitida. Assim, os leds infravermelhos geralmente funcionam com menos de 1,5V, os vermelhos com 1,7V, os amarelos com 1,7V ou 2.0V, os verdes entre 2.0V e 3.0V, enquanto os leds azuis, violeta e ultra-violeta geralmente precisam de mais de 3V. A potência necessária está na faixa típica de 10 a 150 mW, com um tempo de vida útil de 100.000 ou mais horas.

Como o led é um dispositivo de junção P-N, sua característica de polarização direta é semelhante à de um diodo semicondutor.

Sendo polarizado, a maioria dos fabricantes adota um "código" de identificação para a determinação externa dos terminais A (anodo) e K (catodo) dos leds.

Nos leds redondos, duas codificações são comuns: identifica-se o terminal K como sendo aquele junto a um pequeno chanfro na lateral da base circular do seu invólucro ("corpo"), ou por ser o terminal mais curto dos dois. Existem fabricantes que adotam simultaneamente as duas formas de identificação.

Nos leds retangulares, alguns fabricantes marcam o terminal K com um pequeno "alargamento" do terminal junto à base do componente, ou então deixam esse terminal mais curto.

Mas, pode acontecer do componente não trazer qualquer referência externa de identificação dos terminais. Nesse caso, se o invólucro for semi-transparente, pode-se identificar o catodo (K) como sendo o terminal que contém o eletrodo interno mais largo do que o eletrodo do outro terminal (anodo). Além de mais largo, às vezes o catodo é mais baixo do que o anodo.

Os diodos emissores de luz são empregados também na construção dos [displays](#) alfa-numéricos.

Há também leds bicolores, que são constituídos por duas junções de materiais diferentes em um mesmo invólucro, de modo que uma inversão na polarização muda a cor da luz emitida de verde para vermelho, e vice-versa. Existem ainda leds bicolores com três terminais, sendo um para acionar a junção dopada com material para produzir luz verde, outro para acionar a junção dopada com material para gerar a luz vermelha, e o terceiro comum às duas junções. O terminal comum pode corresponder à interligação dos anodos das junções (leds bicolores em *anodo comum*) ou dos seus catodos (leds bicolores em *catodo comum*).

Embora normalmente seja tratado por led bicolor (vermelho+verde), esse tipo de led é na realidade um "tricolor", já que além das duas cores independentes, cada qual gerada em uma junção, essas duas junções podem ser simultaneamente polarizadas, resultando na emissão de luz alaranjada.

Geralmente, os leds são utilizados em substituição às lâmpadas de sinalização ou lâmpadas pilotos nos painéis dos instrumentos e aparelhos diversos. Para fixação nesses painéis, é comum o uso de suportes plásticos com rosca.

Limitações de um LED

Como o diodo, o LED não pode receber tensão diretamente entre seus terminais, uma vez que a corrente deve ser limitada para que a junção não seja danificada. Assim, o uso de um resistor limitador em série com o Led é comum nos circuitos que o utilizam.

Tipicamente, os LEDs grandes (de aproximadamente 5 mm de diâmetro, quando redondos) trabalham com correntes da ordem de 12 a 30 mA e os pequenos (com aproximadamente 3 mm de diâmetro) operam com a metade desse valor.

Assim:

$$R1 = \frac{12 - 2}{I1} \quad R2 = \frac{12 - 2}{I2}$$

Adotamos $I1=15 \text{ mA}$ e $I2=8\text{mA}$:

$$R1 = \frac{12 - 2}{0,015} = \frac{10}{0,015} = 680*$$

$$R2 = \frac{12 - 2}{0,008} = \frac{10}{0,008} = 1K2*$$

Aproximamos os resultados para os valores comerciais mais próximos.

Os LEDs não suportam **tensão reversa** (V_r) de valor significativo, podendo se danificar com apenas 5V de tensão nesse sentido. Por isso, quando alimentado por [tensão C.A.](#), o LED costuma ser acompanhado de um diodo [retificador](#) em antiparalelo (polaridade invertida em relação ao LED), com a finalidade de conduzir os semi-ciclos nos quais ele - o LED - fica no corte, limitando essa tensão reversa em torno de 0,7V (tensão direta máxima do diodo), ou seja, em um valor suficientemente baixo para que sua junção não se danifique. Pode-se adotar também uma [ligação em série](#) entre o diodo de proteção e o LED.