

MANUAL DO ALUNO

DISCIPLINA TECNOLOGIAS APLICADAS

Módulo 6

República Democrática de Timor-Leste
Ministério da Educação



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

MANUAL DO ALUNO - DISCIPLINA DE ÁUDIO, VÍDEO E TV
Módulo 6

AUTOR

JORGE FLÁVIO

COLABORAÇÃO DAS EQUIPAS TÉCNICAS TIMORENSES DA DISCIPLINA
XXXXXXX

COLABORAÇÃO TÉCNICA NA REVISÃO
XXXXXXXXXX

DESIGN E PAGINAÇÃO
UNDESIGN - JOAO PAULO VILHENA
EVOLUA.PT

IMPRESSÃO E ACABAMENTO
XXXXXX

ISBN
XXX - XXX - X - XXXXX - X

TIRAGEM
XXXXXXX EXEMPLARES

COORDENAÇÃO GERAL DO PROJETO
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO DE TIMOR-LESTE
2014



Índice

Optoelectrónica. Eletrónica de Potência	7
Apresentação.....	8
Introdução	8
Objetivos de aprendizagem	8
Âmbito de conteúdos	9
Optoelectrónica.....	10
Introdução	10
Natureza da luz.....	10
Espectro eletromagnético	11
Perceção das cores e sensibilidade ótica	13
Oscilações eletromagnéticas	16
Lei da radiação para radiadores de calor	16
Foto elementos.....	18
Fotocélulas ou células fotoelétricas – Aplicações.....	21
Características dos foto elementos de selênio e silício.....	23
Foto resistores	24
Análise da corrente no foto resistor	26
Resistência do LDR	27
LDRs de sulfeto de cádmio – aplicações	27
Foto díodos.....	30
Diferenças entre lúmen e lux.....	32
Díodos emissores de luz (leds)	33
Relação entre tensão, corrente e a saída de luz	37
Díodos emissores de infravermelho	39
Fibra óptica	41
Introdução	41

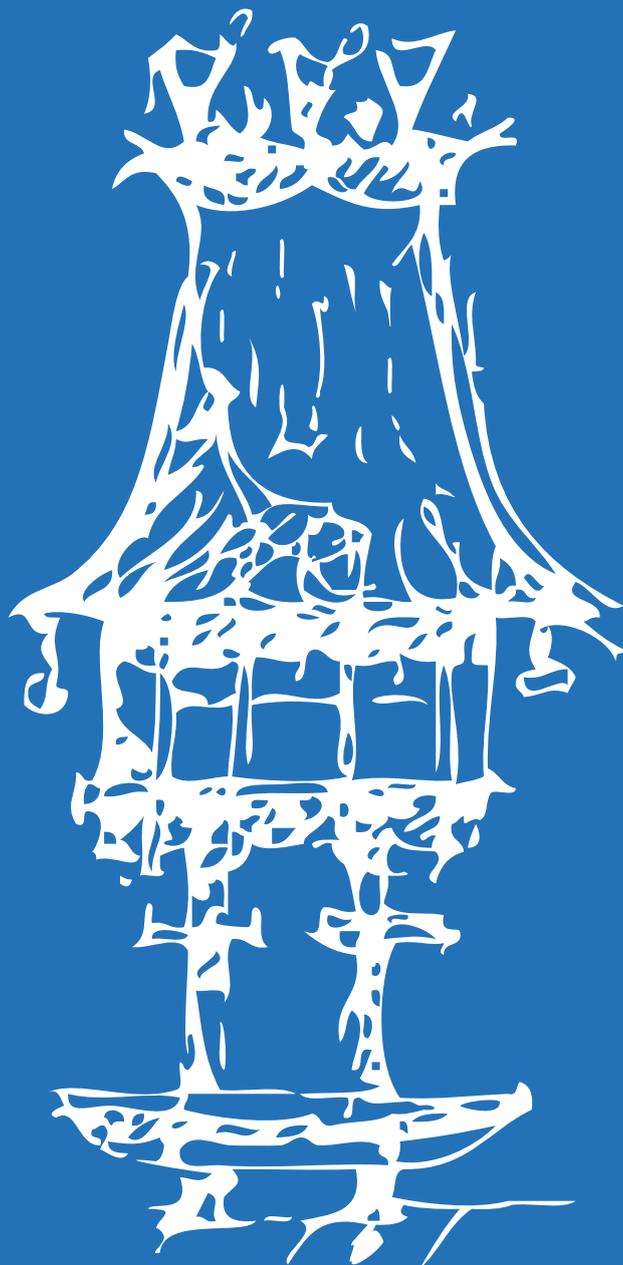


Tipos de Fibra Óptica	42
Multimodo (Multimode – MM)	42
Monomodo (Singlemode – SM).....	43
Tipos de Conectores	43
Máquina de Emenda Óptica (Fusão)	43
Equipamentos Emissores de Luz.....	44
Trajetos de Fibras Ópticas.....	45
Infraestrutura para Fibras Ópticas	45
Rede Aérea	46
Rede Subterrânea	47
Infra para Redes ópticas de Longa Distância	48
Lançamentos de Cabos	49
Transistor de Unijunção (UJT)	52
Introdução.....	52
Parte prática	57
FET (Field Effect Transistor)	59
Introdução	59
PARTE PRÁTICA	67
Tíristores SCRs – TRIACs.....	72
Introdução	72
Circuito prático	82
TRIACs	94
Introdução	94
DIAC.....	107
Introdução	107
SCS – Silicon Controlled Switch	109
Introdução	109
PUT – Programmable Unijunction Transistor.....	113



Introdução	113
Exercícios propostos	122
Parte prática	123







Optoeletrônica. Eletrônica de Potência

Módulo 6

Apresentação

Este módulo tem carácter teórico-prático pelo que as aulas deverão decorrer numa sala / oficina de modo a permitir aos alunos verificar as características e funcionamento e aplicações dos componentes optoelectrónicos e de eletrónica de potência.

Esta disciplina tem como intenção tornar o aluno apto a compreender a linguagem e as técnicas utilizadas, possibilitando assim um melhor aproveitamento na sequência dos estudos desta e das outras disciplinas técnicas e também na comunicação adequada com os profissionais da área.

Introdução

A abordagem deste módulo de Optoelectrónica e Eletrónica de Potência leva-nos a um melhor entendimento dos vários tipos de componentes existentes no mercado assim como a melhor escolha deste tipo de componentes para que se ajuste às crescentes evoluções das tecnologias.

Este módulo requer um conhecimento básico de componentes eletrónicos e interpretar esquemas elétricos.

Objetivos de aprendizagem

- Conhecer as características dos componentes optoelectrónicos.
- Compreender o princípio de funcionamento dos componentes optoelectrónicos.
- Relacionar os componentes de um sistema de transmissão por fibra óptica.
- Conhecer as características dos componentes de eletrónica de potência.
- Compreender o funcionamento de componentes de eletrónica de potência.
- Relacionar os componentes de um sistema de disparo.



Âmbito de conteúdos

- Componentes optoelectrónicos.
- Sistemas de transmissão por fibra óptica.
- Componentes de Eletrónica de potência.
- Sistemas de disparo.



Optoelectrónica

Introdução

Componentes optoelectrónicos são dispositivos cujas propriedades elétricas modificam-se perante a incidência de luz.

Podemos dizer que a fotoeletricidade é o fenómeno no qual partículas de carga são liberadas de um material quando ele absorve energia radiante, muitas vezes ultrapassando os limites das radiações visíveis.

Definido comumente como a ejeção de eletrões da superfície de uma chapa metálica quando a luz incide sobre ela. Esse fenómeno foi observado em 1887 pelo físico alemão Heinrich Rudolf Hertz. Quando eletrões de tais elementos são excitados, algumas grandezas são modificadas, como por exemplo, a resistência.

Para isso deve-se fornecer aos eletrões energia em forma de radiações de determinada frequência, para que estes se movam no material ou mesmo se afastem dele. Essa energia é absorvida em forma de fotões.

Natureza da luz

A luz é uma forma de oscilação eletromagnética que se dispersa no meio em que se encontra a uma velocidade aproximada de 3×10^8 m/s (300.000km/s). Em outras palavras, luz é a radiação eletromagnética, de comprimento de onda compreendido entre 4.000 e 7.800 angströms, capaz de estimular o olho e produzir a sensação visual.

As ondas eletromagnéticas não deslocam partículas de matéria, como no caso das ondas de som, ocorre sim, modificações periódicas de campos elétricos e magnéticos no ambiente em se encontram.

A figura a seguir mostra o espectro de uma radiação luminosa, onde observa-se o campo elétrico E e o campo magnético H que ao se cruzarem formam uma onda luminosa cujo comprimento corresponde a uma oscilação completa do fotão.



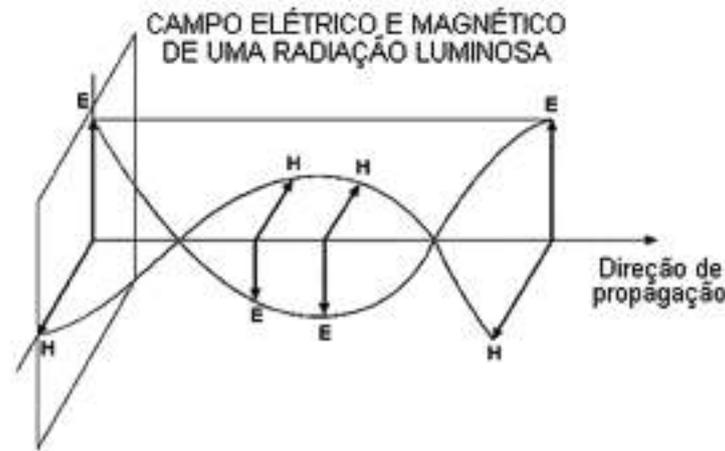


Fig. Espectro de uma radiação luminosa

Espectro eletromagnético

A luz visível ou espectro solar, capaz de impressionar a retina e de gerar imagens no cérebro, constitui apenas uma parte do total das radiações eletromagnéticas.

À medida que o instrumental científico ganhou mais precisão, o homem teve acesso a um universo novo, em que descobriu fenômenos até então ignorados, como os raios X, a radiação ultravioleta, as ondas de rádio e de televisão ou os raios cósmicos.

Entende-se por espectro eletromagnético o conjunto das várias radiações de natureza elétrica e magnética, com diferentes comprimentos de onda, desde 10^7 metros até 10^{-14} metros.

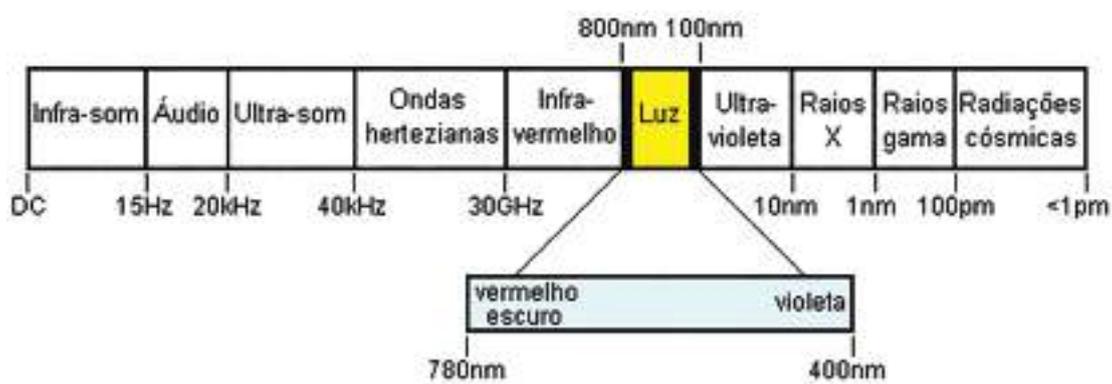


Fig. Espectro eletromagnético

Os fenômenos ondulatórios ocorrem quando uma determinada partícula vibra ou oscila a partir de uma posição de equilíbrio e seu movimento se transmite pelo espaço em um meio adequado.



A característica principal desse movimento denomina-se comprimento de onda, que é o espaço compreendido entre dois máximos ou mínimos de uma onda. O comprimento de onda mede uma oscilação completa, enquanto a frequência (número de oscilações por unidade de tempo), expressa o “ritmo”, em que se produz a vibração.

Essas duas grandezas são inversamente proporcionais entre si.

De ambos os lados do espectro da luz visível, formado por radiações de diferentes comprimentos de onda que originam as cores (vermelho escuro, vermelho claro, laranja, amarelo, verde, ciano, azul e violeta) regista-se uma série de fenômenos eletromagnéticos não captados pelos sentidos.

Como as frequências das ondas eletromagnéticas contidas no espectro da luz visível são muito elevadas, costuma-se representá-las através do seu comprimento de onda (λ).

As unidades mais utilizadas são:

- Angström ($\text{Å} = 10^{-10}\text{m}$)
- Micrómetro ($\mu = 10^{-6}\text{m}$)
- Nanómetro ($\text{nm} = 10^{-9}\text{m}$).

Assim por exemplo, um comprimento de onda de 4000Å equivale a 400nm .

Abaixo do vermelho, com comprimentos de onda progressivamente crescentes, estão: os raios infravermelhos (que produzem a sensação de calor), as ondas de radar e as micro-ondas; as ondas de televisão e as de rádio.

Acima do violeta, com comprimentos de onda cada vez menores e frequências crescentes estão: a radiação ultravioleta, os raios X, os raios gama e a radiação cósmica.

A maior parte dessas radiações tem múltiplas aplicações nos mais diversos campos e são o fundamento de grande número de aparelhos e invenções tecnológicas, desde a televisão e o rádio até o radar e os sistemas baseados no infravermelho, além de constituírem ferramenta imprescindível na análise química (espectrógrafos), na investigação astronômica (espectrometria, radioastronomia etc.) ou na pesquisa médica (radiologia) e análise de materiais.

Essas duas últimas aplicações utilizam a propriedade que têm os raios X de penetrar corpos opacos e impressionar chapas fotográficas.



Algumas dessas radiações, como a ultravioleta, afetam especialmente os seres vivos. Devido a sua alta frequência, interagem com a matéria biológica e nela podem acarretar alterações graves.

Grande parte dos raios ultravioleta são filtrados pela camada de ozônio que circunda a Terra, minimizando seus efeitos prejudiciais.

Percepção das cores e sensibilidade ótica

A faixa de radiações normalmente registradas pela vista humana situa-se entre 400 a 800nm (4.000 a 8000Å), sendo esses comprimentos de onda vistos sob a forma de cores diferentes.

Os extremos que representam a faixa de luz visível indicam a temperatura da cor:

- Cor quente: Designação genérica dos tons em que predominam o vermelho ou o amarelo no espectro visível.
- Cor fria: Designação genérica dos tons em que predominam o azul ou o verde no espectro visível.

A figura a seguir mostra a distribuição das cores dentro do espectro da luz visível:



Fig. Distribuição das cores dentro do espectro da luz visível



A radiação luminosa excita a vista humana, transmitindo ao sistema nervoso do cérebro a sensação de intensidade e coloração luminosa.

Para uma dada potência de luz emitida a grandeza de excitação depende do comprimento de onda. O gráfico abaixo mostra a sensibilidade da vista humana em função do comprimento de onda, onde observa-se que o olho humano é mais sensível durante o dia à cor amarela e a noite, à cor verde.

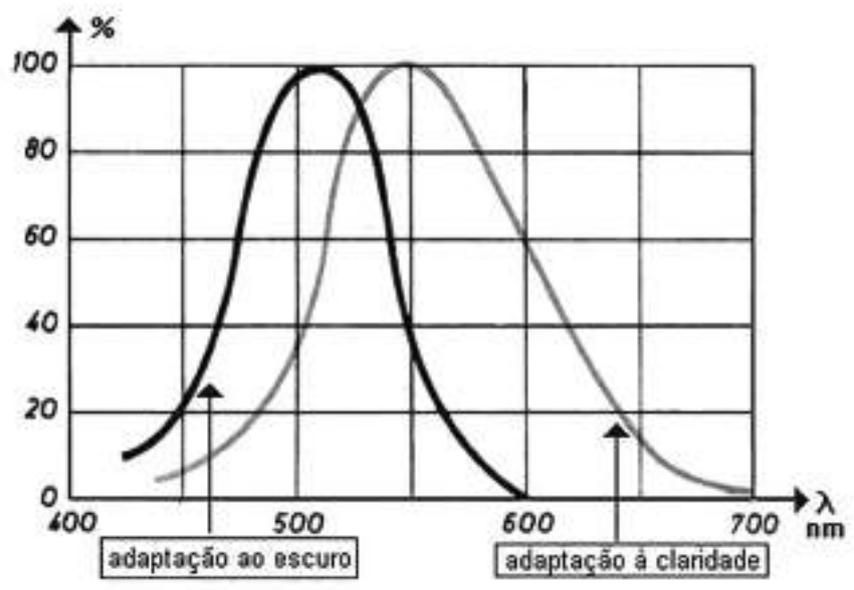


Fig. Sensibilidade da vista humana



Corpo negro

Conceito teórico que corresponde a um radiador ideal hipotético, capaz de absorver toda a radiação luminosa que sobre ele incide.

A figura abaixo mostra a densidade de radiação de um corpo negro.

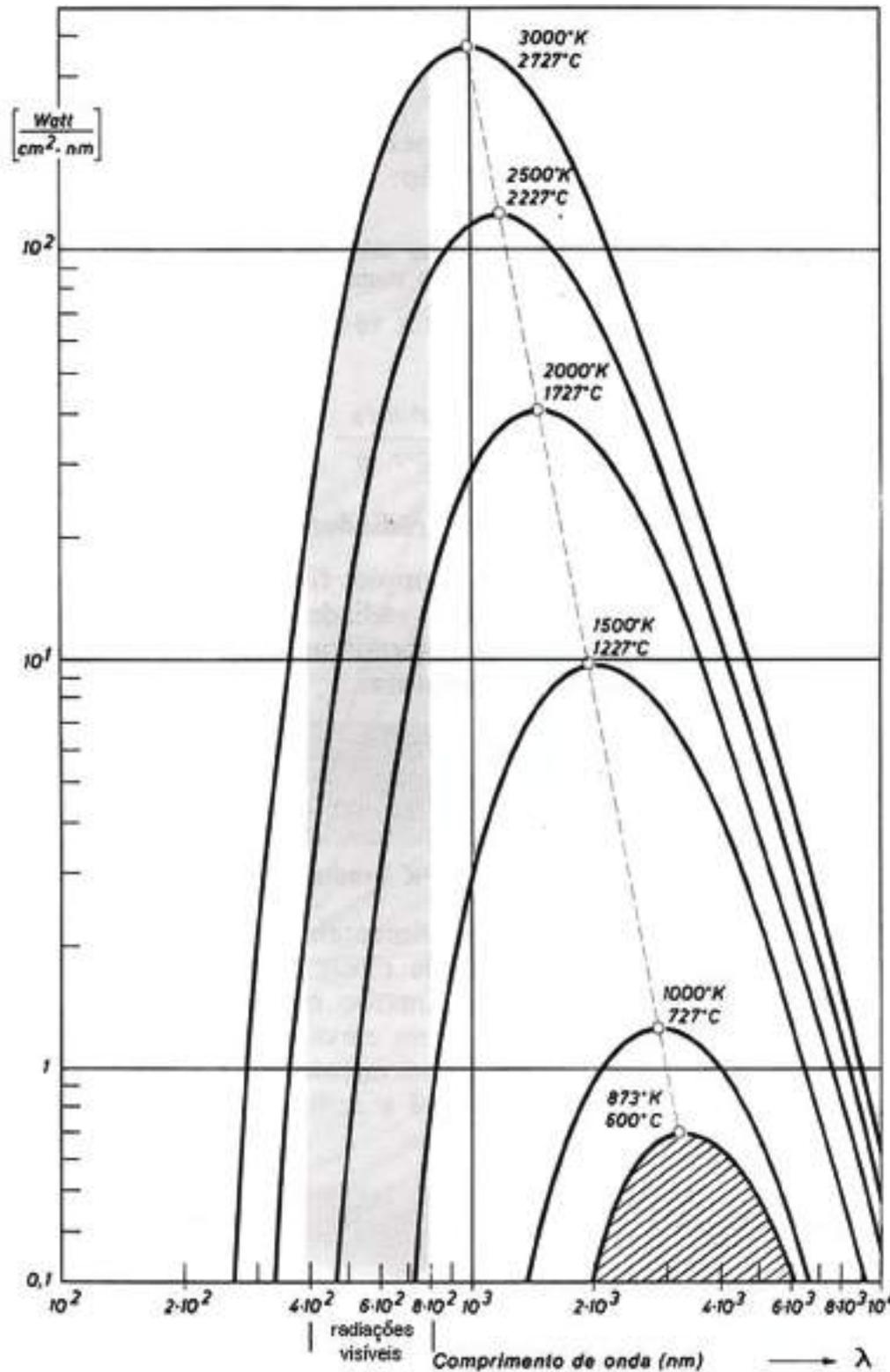


Fig. Densidade de radiação de um corpo negro



Oscilações eletromagnéticas

As oscilações eletromagnéticas são irradiadas com a velocidade da luz. Tanto no ar como no vácuo a velocidade de radiação da luz é de 3×10^8 m/s, estabelecendo-se a seguinte relação:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

c = velocidade da luz (3×10^8 m/s)

f = frequência em hertz

Exemplo: Qual é a frequência atingida por oscilações eletromagnéticas num ambiente livre, sem reflexão, quando o comprimento de onda atinge 800nm?

Solução:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{8 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 3,75 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

Lei da radiação para radiadores de calor

Corpos sólidos aquecidos, como por exemplo filamentos de lâmpadas e elétrodos, bem como corpos radiadores de calor formam um espectro contínuo. Experimentalmente se determinou que a potência total irradiada (radiação de energia) depende da temperatura.

Daí então, surgiram as leis básicas:

- Lei de Stefan-Boltzmann

Princípio físico segundo o qual o calor emitido por uma superfície corresponde a uma quarta parte de sua temperatura absoluta. Formulada pelo físico austríaco Josef Stefan e aprofundada pelo também austríaco Ludwig Boltzmann.

Por exemplo, um corpo com $T = 1.000^\circ\text{K}$ irradia 16 vezes mais do que $T = 500^\circ\text{K}$, pois:

$$\frac{1.000}{500} = 2 \rightarrow 2^4 = 16$$

- 2. Lei de Wien

Para cada temperatura irradiada existe um comprimento de onda que atende a condição de energia máxima.



Quanto mais curto for o comprimento da onda, tanto maior será a energia da radiação. Com a elevação da temperatura essa condição é atendida pelas ondas de menor comprimento.

A lei de Wien (Wilhelm Wien) especifica que o comprimento de onda da radiação máxima é inversamente proporcional a temperatura absoluta T.

$$\lambda_{\max} = \frac{a}{T(^{\circ}\text{K})} \text{ onde:}$$

a = constante que vale $2,9 \times 10^6 \text{ nm}^{\circ}\text{K}$

Exemplo:

$$\text{Para } T = 500^{\circ}\text{K} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^6 \text{ nm}^{\circ}\text{K}}{500^{\circ}\text{K}} = 5,8 \times 10^3 \text{ nm}$$

$$\text{Para } T = 4.000^{\circ}\text{K} \rightarrow \lambda_{\max} = \frac{2,9 \cdot 10^6 \text{ nm}^{\circ}\text{K}}{4.000^{\circ}\text{K}} = 0,725 \times 10^3 \text{ nm}$$

- Essa lei também explica porque a cor de um corpo superaquecido (em brasa), com a elevação da temperatura passa do vermelho escuro ao amarelo e ao branco. No caso das lâmpadas halógenas (família dos halogênios), ao branco azulado.
- Lei de Planck
Mostra a distribuição das potências de radiação no espectro de um radiador ideal (corpo negro), em função do comprimento de onda (λ) e diversas temperaturas T($^{\circ}\text{K}$).

OBS: Enquanto as leis de Stefan-Boltzmann permitem o cálculo de toda a energia irradiada e as leis de Wien determinam os máximos valores das curvas, Planck obteve as leis que definem a variação dessas curvas.



Consideremos inicialmente a área compreendida pela curva cuja temperatura é de 873°K. Comparando com a área da curva de temperatura mais elevada, por exemplo, 2.000°K observa-se que a esta é bem maior. Unindo os dois valores máximos dessas curvas (linha tracejada) observa-se que os valores máximos tendem a inclinar-se para a esquerda em função de $\lambda = \frac{a}{T}$, fundamentando a lei de Wien.

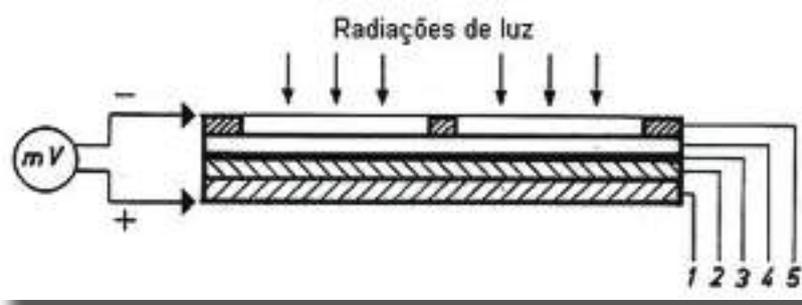
Conclui-se portanto, que com a elevação da temperatura, parte da energia irradiada alcança comprimentos de onda que estão dentro do espectro da luz visível.

Uma lâmpada incandescente, por exemplo, é antieconómica para emitir luz, pois a maior parte das radiações presentes localizam-se na faixa das ondas invisíveis. Observe no gráfico que o olho humano é sensível apenas aos comprimentos de onda contidos na área mais escura.

Foto elementos

Transformam energia luminosa em energia eléctrica.

A figura abaixo representa o esquema de um foto elemento (célula fotovoltaica) de selênio.



1 - Placa base

2 - Camada semicondutora P

3 - Camada semicondutora N

4 - Camada de bloqueio (óxido de cádmio)

5 - Anel metálico

As técnicas para a construção de foto elementos são muito similares às empregadas na construção de semicondutores (transístores, díodos, etc.)



A princípio, sobre uma placa base é aplicada uma fina camada de material semiconductor como o selênio ou o silício que pode ter condutividade. A primeira camada é p onde existem abundância de lacunas.

Acima da primeira camada, aplica-se uma outra camada, também fina de material n onde existe abundância de elétrões.

Acima da camada n é fixado um elétrodo de oposição ou bloqueio constituído por uma camada metálica fina transparente à luz, geralmente óxido de cádmio.

Para acabamento é colocado um anel metálico. O efeito fotoelétrico aparece quando radiações luminosas passam pela camada metálica transparente à luz, fazendo com que os elétrões da camada semicondutora n sejam liberados e coletados pelo anel, tornando-o negativo.

A placa base torna-se então positiva e entre o anel e placa base desenvolve-se uma diferença de potencial denominada U_o ou V_o .

A figura abaixo mostra o gráfico da dependência da tensão V_o e da resistência interna R_i de um foto elemento.

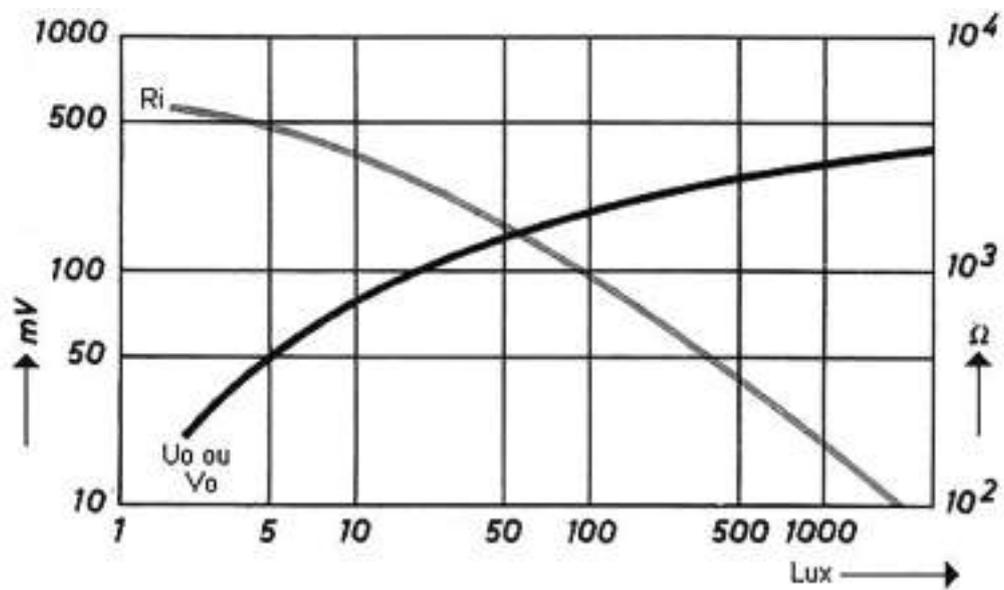
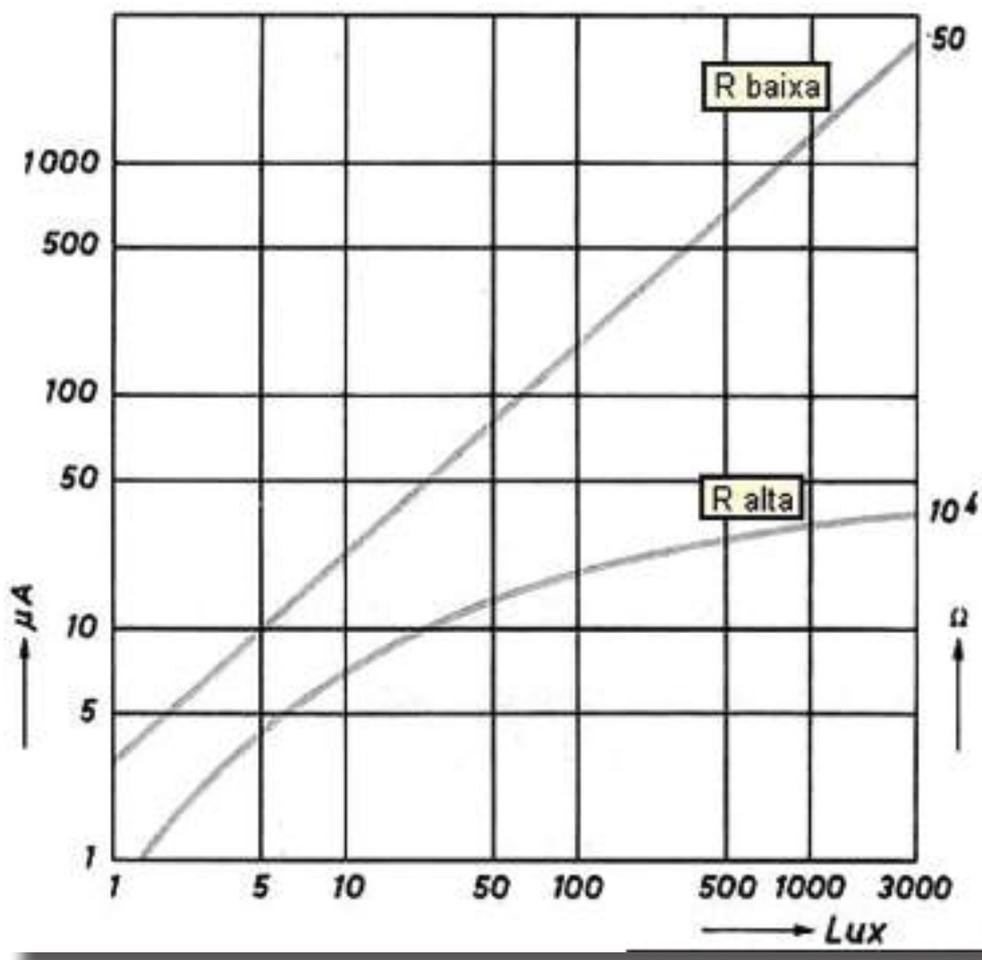


Fig. Gráfico da dependência da tensão V_o e da resistência interna R_i de um foto elemento

Observa-se que à medida que as radiações luminosas aumentam, cai a resistência interna (R_i) e aumenta a tensão V_o .



A tensão típica de saída (V_o) para um elemento de selênio é da ordem de 0,3V enquanto para foto elementos de silício é da ordem de 0,7V, para máxima radiação luminosa. A figura a seguir mostra a relação entre a corrente de emissão e a intensidade luminosa perante cargas com resistências altas e baixas.



Analisando a curva acima, a variação é tanto menos linear quanto maior for a carga, ou seja a variação é mais linear para cargas baixas ($R_L + R_i$).

Os valores típicos de resistência interna são:

- Para células de selênio = 100Ω por cm^2
- Para células de silício = 2 a 10Ω por cm^2

Temos então: $R_i = \frac{V_o}{I_K}$, onde I_K = corrente de curto

$I_o = \frac{V_o}{R_a + R_i}$, onde R_a é a resistência externa; R_i a resistência interna e I_o é a corrente fotoelétrica



Fotocélulas ou células fotoelétricas – Aplicações

Os foto elementos na realidade podem ser definidos como fotocélulas ou células fotoelétricas.

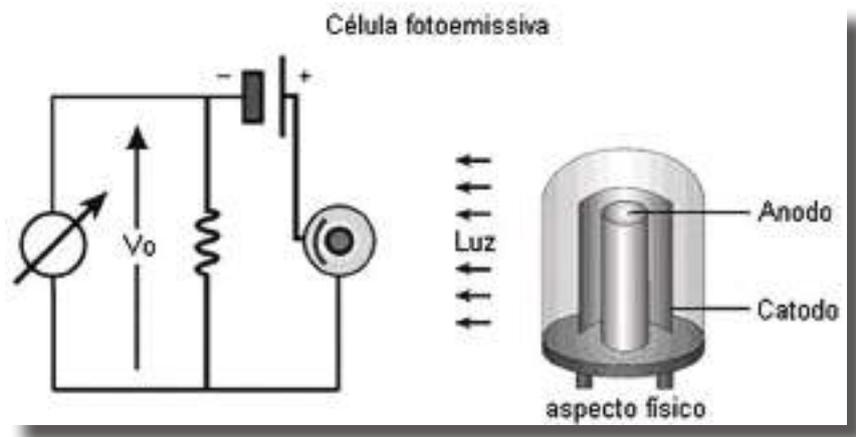
A fotocélula ou célula fotoelétrica pode ser comparada a um olho elétrico que, em muitas de suas aplicações, pode substituir o humano. A vantagem principal desse dispositivo é a sensibilidade a radiações que a retina do homem não consegue perceber.

Fotocélula é um transdutor fotoelétrico, dispositivo que favorece a transformação de um fenômeno luminoso em outro de natureza elétrica de magnitude proporcional.

Assim, quando a luz incide sobre ela, a fotocélula produz ou deixa passar corrente elétrica. Ao cessar a luz, cessa também a corrente.

A fotocélula pode ser de três tipos:

- Foto emissiva
- Fotocondutora
- Fotovoltaica

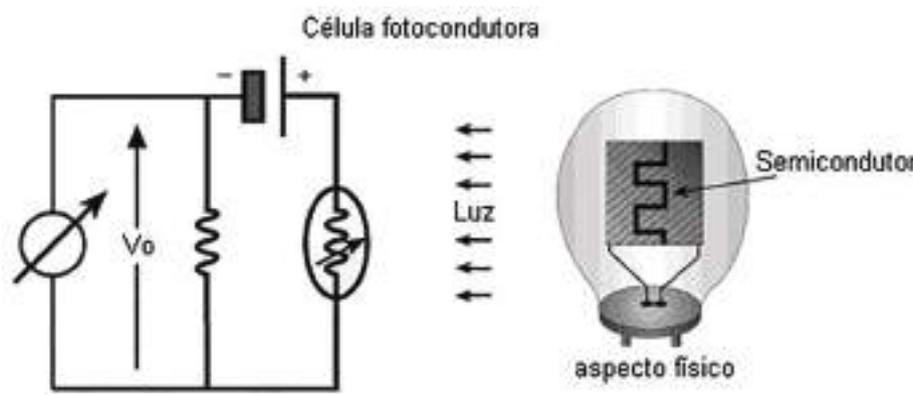


Nas células foto emissivas ou foto tubos, o fluxo luminoso determina a emissão de um feixe de elétrons por parte de um cátodo ou eletrodo negativo, normalmente construído de prata, ouro ou cobre.

Os elétrons aceleram-se mediante uma diferença de potencial e se recolhem num eletrodo positivo ou ânodo.

Esse conjunto fica no interior de uma ampola submetida ao vácuo. Os foto tubos de vácuo são empregados em medidas fotométricas de precisão e os de gás, na leitura da faixa sonora de filmes cinematográficos.

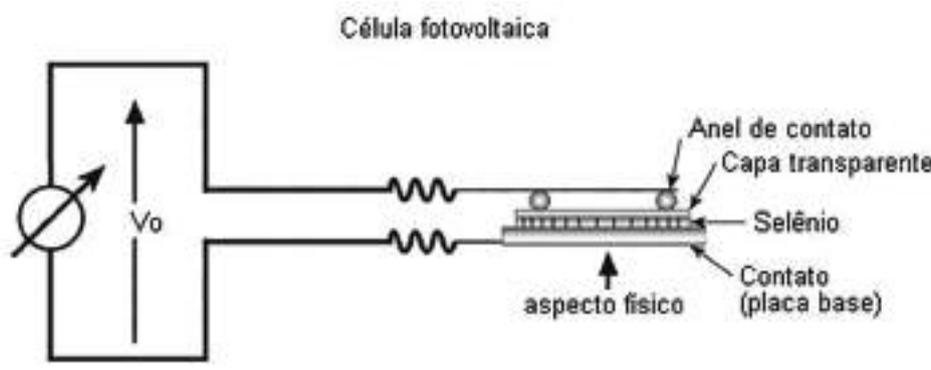




As células fotocondutoras utilizam as características dos elementos semicondutores, como o silício e o selênio, que modificam sua resistência em função da natureza do foco luminoso que incide sobre eles.

São sólidos cristalinos de condutividade situada entre a dos metais e a dos isolantes.

Quando se intercala uma célula fotocondutora num circuito formado por uma bateria e uma resistência, a corrente elétrica se modifica com o fluxo luminoso.



Por último, as células fotovoltaicas, sob a influência da luz, atuam como geradores elétricos e provocam uma corrente cuja intensidade é proporcional à do feixe luminoso incidente. Entre suas aplicações está a comutação para leitura de fitas magnéticas.

A utilização de determinado tipo de célula fotoelétrica depende da finalidade própria de cada caso. Quando se busca fidelidade e linearidade em alto grau, as células foto emissivas de vácuo são mais funcionais.

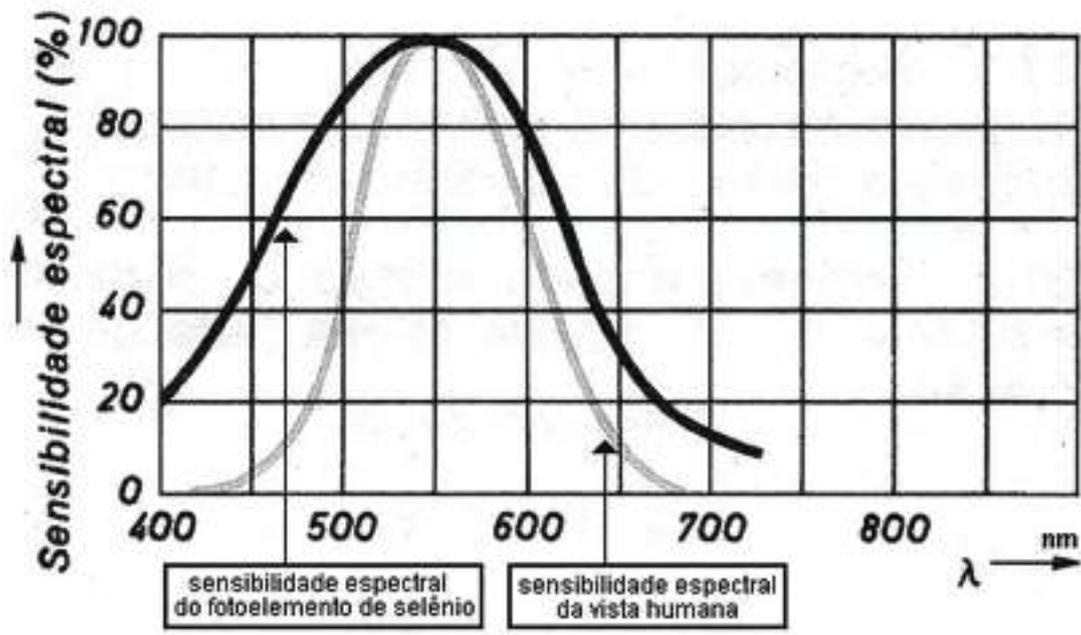
As células fotocondutoras e foto emissivas de gás apresentam menor fidelidade, porém são mais sensíveis. As fotovoltaicas são adequadas nos casos em que não se requer alta-fidelidade nem sensibilidade e podem ser usadas como fonte de energia elétrica.



Características dos foto elementos de selênio e silício

- Células de selênio

A figura abaixo mostra o gráfico comparativo entre a sensibilidade do olho humano e de uma célula ou foto elemento de selênio.



Observa-se que a largura da curva de sensibilidade espectral é maior para o foto elemento de selênio em comparação a vista humana, mas, de forma geral é bem próxima à sensibilidade média da vista humana.

Algumas aplicações:

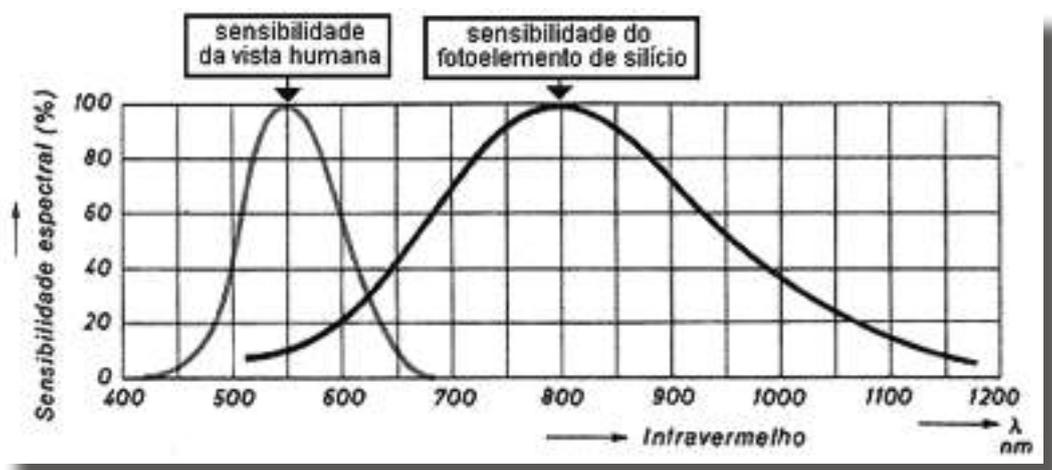
- Medição de tempo de exposição em máquinas fotográficas (fotômetros)
- Como acionadores de chaves de iluminação pública (interruptor crepuscular)

Os foto elementos de selênio possuem uma certa inércia, isto é, acompanha variações de luminosidade até o limite de 1kHz. Desta forma, aplicações que exijam repostas às variações de luminosidade acima dessa frequência, não devem utilizar células de selênio. Uma grande desvantagem das células de selênio é sua dependência em relação a temperatura, pois um aumento da mesma provoca uma queda de V_o . Uma célula de selênio poderá danificar-se se for usada por longo período em temperaturas em torno de 60°C.



- Células de silício

A figura abaixo mostra a comparação entre a sensibilidade da vista humana em relação ao foto elemento de silício.



Observa-se que a célula de silício tem uma sensibilidade espectral máxima em 800nm (vermelho escuro). Desta forma é muito utilizada em aplicações que envolvam radiações infravermelhas.

Uma vantagem das células de silício em relação às de selênio é que sua frequência limite é da ordem de 50kHz, permitindo aplicações que envolvam rápidas variações de luminosidade, além do que, sua temperatura de operação é bem superior, da ordem de 150°C.

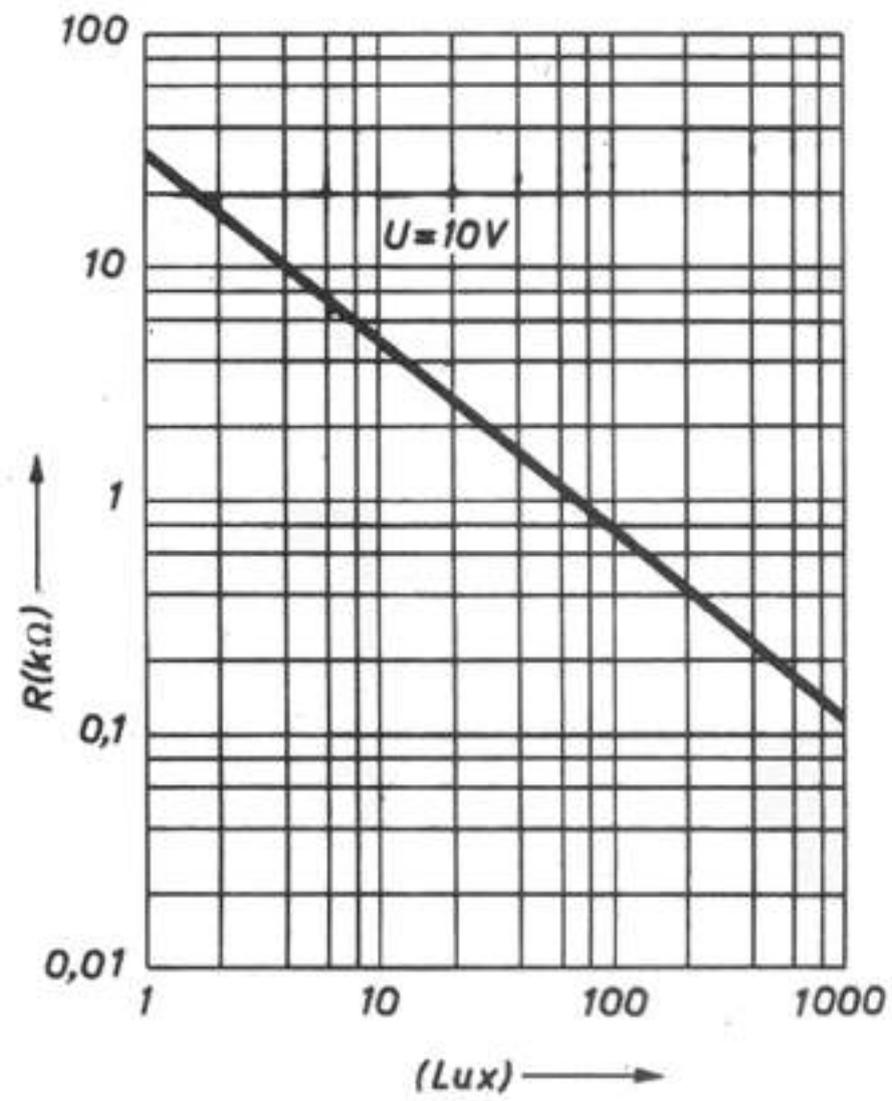
Em condições idênticas, foto elementos de silício fornecem corrente cerca de 10 vezes maior do que os foto elementos de selênio.

Por esse motivo as células de silícios são muito utilizadas em sistemas de medição e comando bem como, em carga de baterias de satélites.

Foto resistores

O foto resistor é um componente que tem sua resistência variada pela ação da luz, ou seja, à medida que aumenta a incidência luminosa sobre o mesmo, sua resistência baixa de valor, conforme ilustra o gráfico abaixo.





O foto resistor é conhecido como LDR (do inglês Light Dependent Resistor) e ao contrário dos foto elementos, não fornece energia; sua resistência varia pela ação da incidência luminosa. Na realidade, pode-se afirmar que o LDR é um resistor variável.

Como o LDR não tem condutividade assimétrica (circula corrente nos dois sentidos), é próprio para aplicações em CC e CA.

Fabricação:

Geralmente são utilizados dois tipos de materiais, dependendo do tipo de aplicação a que se destina:

- 1 - Sulfeto de cádmio (CdS): quando usado na faixa das radiações visíveis
- 2 - Sulfeto de chumbo (PbS): quando usado na faixa das radiações infravermelhas



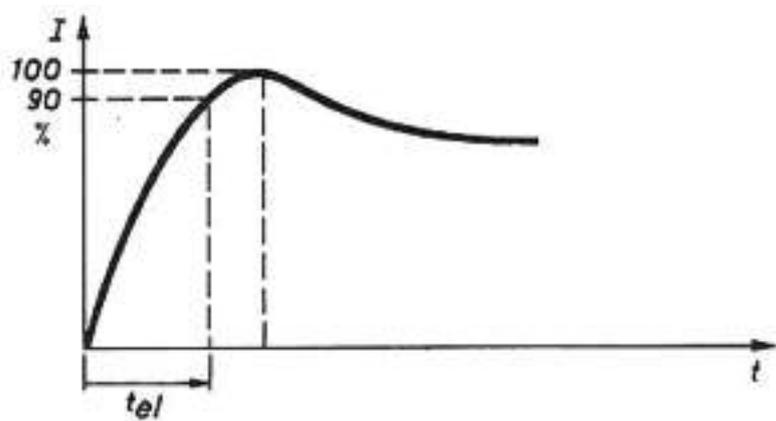
Análise da corrente no foto resistor

1 - Corrente no claro (I): é a corrente que circula pelo foto resistor na incidência de luz. Seu valor depende da intensidade luminosa, da tensão aplicada, da temperatura da cor e das propriedades de uso fornecidas pelo fabricante.

2 - Corrente no escuro (I_0): é a corrente que circula pelo foto resistor na ausência total de luz. O valor de I_0 depende da tensão aplicada, da temperatura e das propriedades de uso fornecidas pelo fabricante.

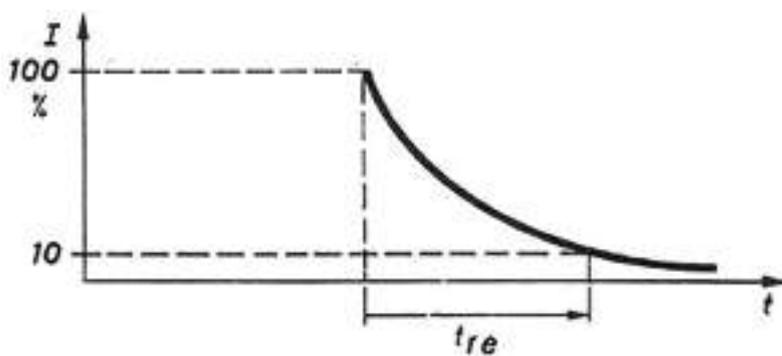
Um dos fatores que devem ser considerados nos foto resistores é sua inércia em relação ao tempo de crescimento e redução da corrente.

A figura abaixo mostra a curva representativa do tempo de elevação (t_{el}) ou crescimento.



O tempo de elevação (t_{el}) é o tempo necessário para que a corrente varie de zero até a 90% de seu valor.

O tempo de redução (t_{re}) é outro parâmetro que deve ser conhecido. É o tempo para que a corrente no foto resistor seja reduzido a 10% do seu valor a partir do momento em que cessar a luz incidente. Veja o gráfico a seguir.



Analisando os dois gráficos, verifica-se que existe uma inércia relativamente alta em relação a variação da resistência com a variação de luminosidade. Para os foto resistores fabricados a partir de CdS, esse valor está entre 10ms e 1s. Por esse motivo os foto resistores de CdS são inadequados quando se exige uma rápida variação de resistência.

Resistência do LDR

A resistência do LDR de CdS é dada pela fórmula: $R = A.L^{-\alpha}$

Onde:

A = Constante que depende do material (área a ser iluminada)

R = Resistência em ohms

L = Fluxo em lux ou lúmen

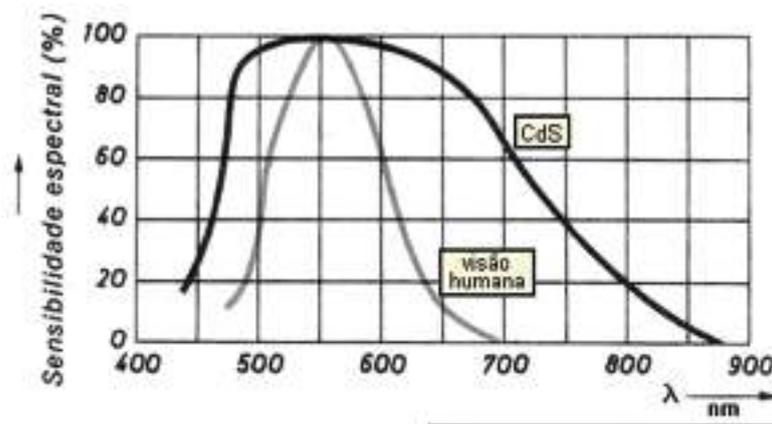
α = Constante que varia em função do CdS (0,7 a 0,9)

Taxa de recuperação: é o tempo que o LDR leva para atingir a resistência máxima após ser levado bruscamente de um ambiente claro para um ambiente escuro. O crescimento da resistência (típico) é da ordem de 200k por segundo.

Tempo de ataque: é o tempo que a resistência do LDR leva para diminuir quando se leva o mesmo de um ambiente escuro para um ambiente iluminado, se o ambiente iluminado tiver um nível de 300 lux. Este tempo (típico) é da ordem de 30ms.

LDRs de sulfeto de cádmio – aplicações

A figura abaixo representa a sensibilidade espectral de um foto resistor construído a partir de CdS, fornecida pelo fabricante.



Verifica-se que a curva espectral do LDR de CdS abrange todo o espectro da luz visível, sendo portanto adequado para ser utilizado em fotômetros.

Notações importantes nos manuais:

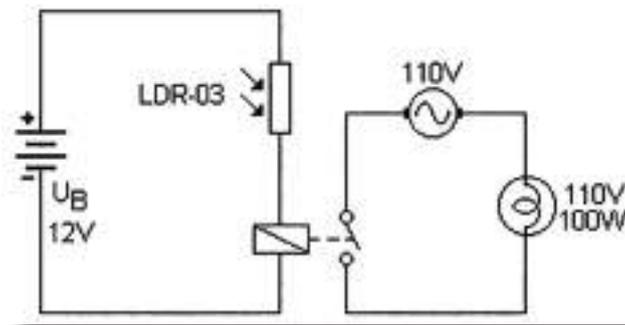
Tensão contínua ou tensão de pico alternada (U_B)	75V
Potência de perda: temperatura ambiente até 25°C (P)	150mW
Potência de perda: temperatura máxima de 75°C (P)	40mW
Corrente que passa pelo foto resistor com $U = 10V / 50 \text{ lux}$ (I)	8mA
Corrente no escuro, com $U_B = 75V$ (I_o)	$\leq 10\mu A$
Tempo de elevação (t_{el})	50ms
Tempo de redução (t_{re})	500ms
Valor da resistência com luminosidade zero (R_o)	$\leq 10M\Omega$
Valor da resistência com 1.000 lux (R)	$\geq 80 \dots 120\Omega$
Sensibilidade espectral	Ver curva

Exercício resolvido:

Um LDR deve fazer funcionar um relê, para que este acenda remotamente uma lâmpada, conforme mostra o circuito abaixo.

Determinar:

1. Tensão que deve ser aplicada na bobina do relê.
2. Corrente do enrolamento do relê.



3. Resistência do enrolamento do relê.

Dados:

$$U_B = 12V$$

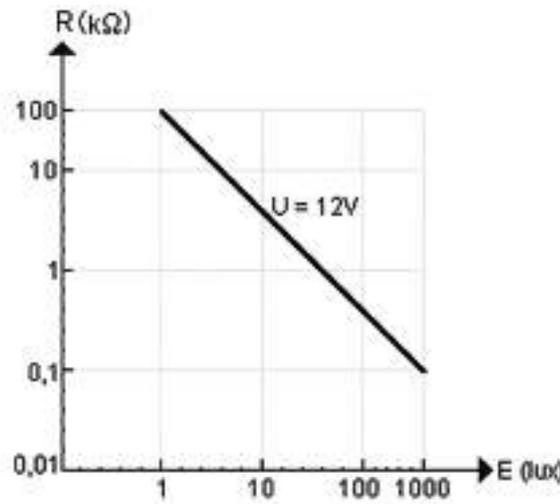
$$T_{amb} = 25^\circ C$$



$E = 1.000\text{lux}$ (intensidade luminosa)

$P = 120\text{mW}$

A curva do LDR-03 é mostrada abaixo:



Solução:

- Pela curva do LDR-03, em 1.000 lux a resistência é de 100Ω
- A potência de perda para esse LDR a 25°C deve ser no máximo de 120mW
- Com $U_B = 12\text{V}$ podemos calcular a corrente:

$$I^2 = \frac{P}{R} = \frac{0,12\text{W}}{100\Omega} = \sqrt{0,0012} = 34,64\text{mA}$$

- Nestas condições, a queda de tensão no LDR será:

$$V_{\text{LDR}} = 34,64\text{mA} \times 100\Omega = 3,464\text{V}$$

- Pelo relê teremos então uma corrente de $34,64\text{mA}$ e uma queda de tensão:

$$12\text{V} - 3,464\text{V} = 8,536\text{V}$$

- A resistência da bobina do relê deverá ser: $R_{\text{RELÊ}} = \frac{8,536\text{V}}{34,64\text{mA}} = 246,42\Omega$

Resposta:

Tensão a ser aplicada na bobina do relê: $8,536\text{V}$ (adotar 9V)

Corrente no enrolamento do relê: $34,64\text{mA}$ (adotar 35mA)

Resistência da bobina (enrolamento do relê): $246,42\Omega$ (adotar 250Ω)



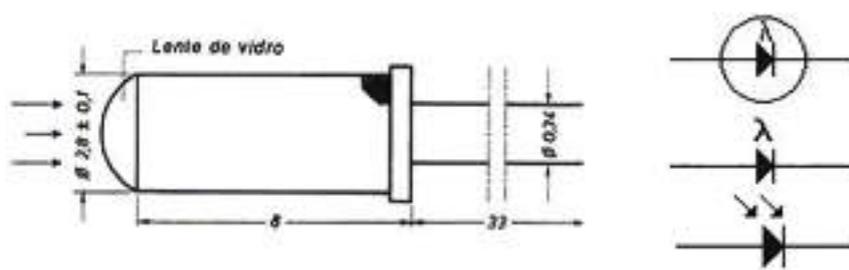
Foto díodos

Os foto díodos são fabricados a partir do germânio e do silício (atualmente o silício prevalece na fabricação desses dispositivos).

Sua sensibilidade luminosa baseia-se no efeito fotoelétrico que neles ocorre, no qual a camada semicondutora modifica o valor de sua resistência no sentido do bloqueio, dependendo da incidência luminosa.

A corrente em um foto díodo eleva-se diretamente à intensidade da incidência luminosa. Para que o efeito fotoelétrico seja influenciado o menos possível por fontes externas de luz, o mesmo é envolto de tal forma que a luz atinge a parte fotossensível apenas através de uma pequena abertura. Geralmente são dotados de lentes para concentrar ainda mais o feixe luminoso.

A figura abaixo mostra o aspeto físico de um foto díodo e símbolos mais utilizados.



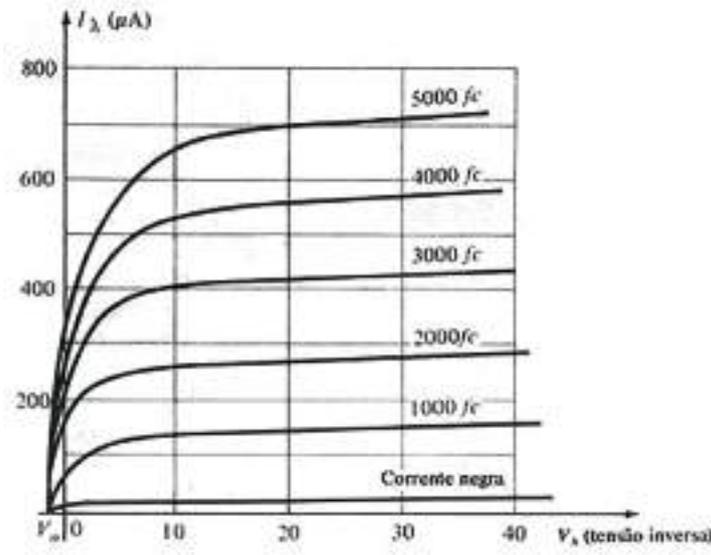
O foto díodo é um dispositivo de junção pn cuja região de operação é limitada pela região de polarização reversa.



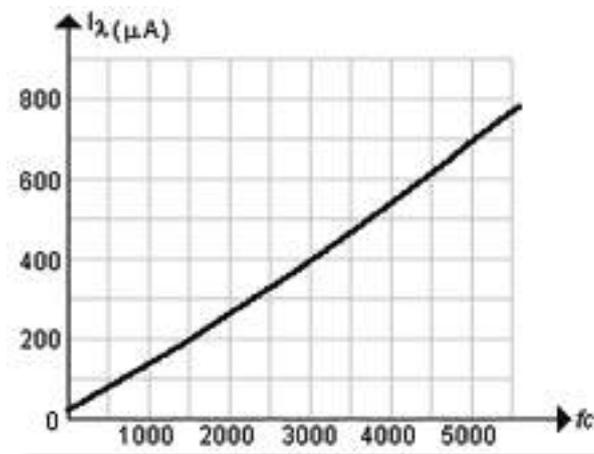
Para uma determinada tensão reversa (V_λ) aplicada, a corrente (I_λ) aumenta à medida que aumenta a intensidade luminosa.



A figura a seguir mostra as curvas características de um foto díodo.



Para uma dada tensão reversa, observa-se que um incremento da intensidade luminosa aumenta em um incremento quase linear da corrente reversa. A figura abaixo ilustra o gráfico intensidade luminosa x intensidade luminosa para uma tensão reversa de 30V.



Nos gráficos acima a intensidade luminosa é dada em foot-candles (fc).

A intensidade do fluxo luminoso é normalmente medida em lm/ft^2 (foot-candles) ou ainda em W/m^2 . Desta forma:

$$\text{lm}/\text{ft}^2 = \text{fc} = 1,609 \times 10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2 \rightarrow 1 \text{ lúmen equivale a } 1,496 \times 10^{-10} \text{ W}$$

A corrente negra é a corrente que existirá sem nenhuma iluminação aplicada. A corrente somente será zero, se for aplicada uma polarização positiva igual a V_o .



Diferenças entre lúmen e lux.

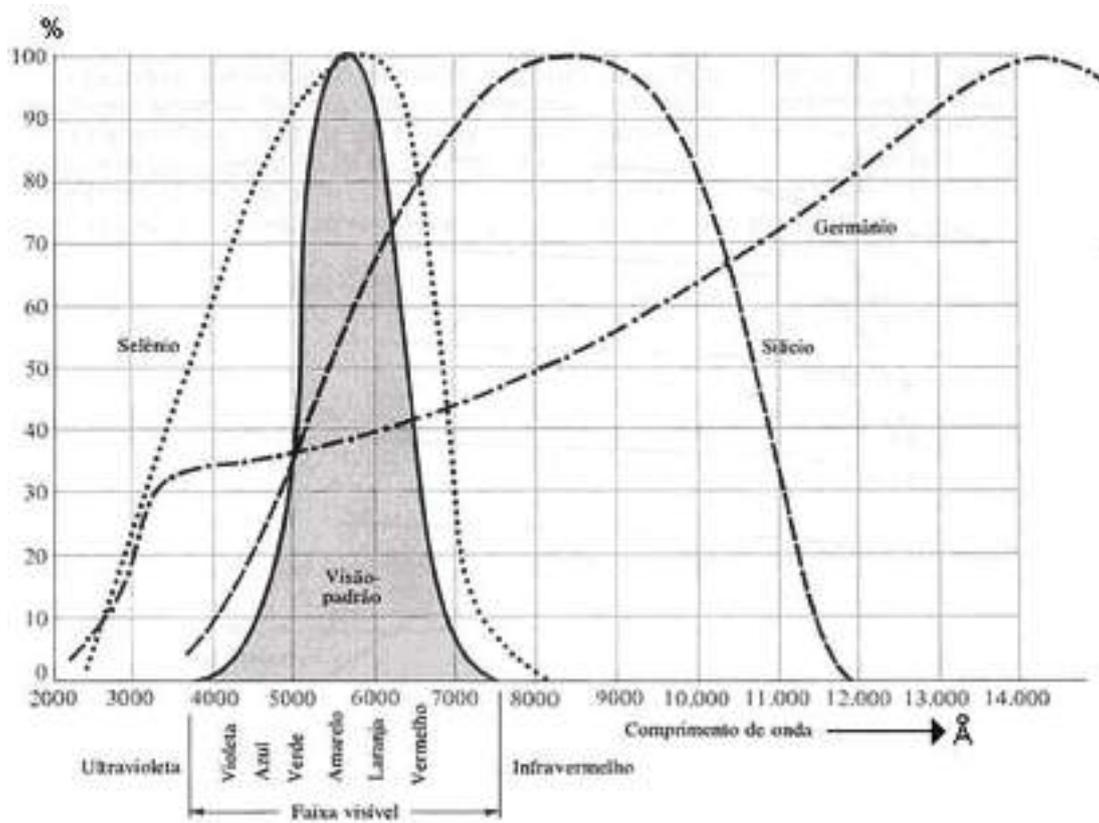
Lux:

Unidade de medida de iluminamento no sistema internacional de medidas. Corresponde ao iluminamento de uma área igual a 1m² que recebe na direção normal um fluxo luminoso de um lúmen distribuído de modo uniforme (abrevia-se lx).

Lúmen:

Unidade de fluxo luminoso definida como uma emissão de uma fonte de intensidade igual a 1 candela no interior de um ângulo sólido de um esferorradiano (abrevia-se: lm). Em outras palavras, enquanto a unidade de medida “lux” define o iluminamento de uma determinada área, “lúmen” define um fluxo luminoso incidente em uma superfície qualquer.

A figura abaixo ilustra a sensibilidade espectral dos elementos Ge (germânio), Si (silício) e Se (selênio) em comparação à visão humana.



A grande vantagem dos foto díodos de germânio e silício é que são adequados para locais com temperaturas ambientes elevadas (50°C para o Ge e 120°C para o Si), além de ter dimensões bem reduzidas.

A seguir, as principais características dos foto díodos.

Tipo de foto díodo	Temp. de operação (t)	Tensão de alimentação (U_B)	Frequência limite (f)	Corrente no escuro (I)	Potência de perda (P)	Máxima sensibilidade espectral
Ge	50°C	30V	50kHz	15 μ A	30mW	1,5 x 10 ³ nm
Si	120°C	30V	35kHz	2 μ A	100mW	1,1 x 10 ³ nm

Díodos emissores de luz (leds)

O díodo emissor de luz - LED (light emitting diode) emite luz quando devidamente energizado ou corretamente polarizado.

Funcionamento básico: Quando um díodo é diretamente polarizado, ocorre nas proximidades da junção uma recombinação de elétrons e lacunas, sendo que, esta recombinação exige que a energia possuída por um elétron livre seja transferida para um outro estado.

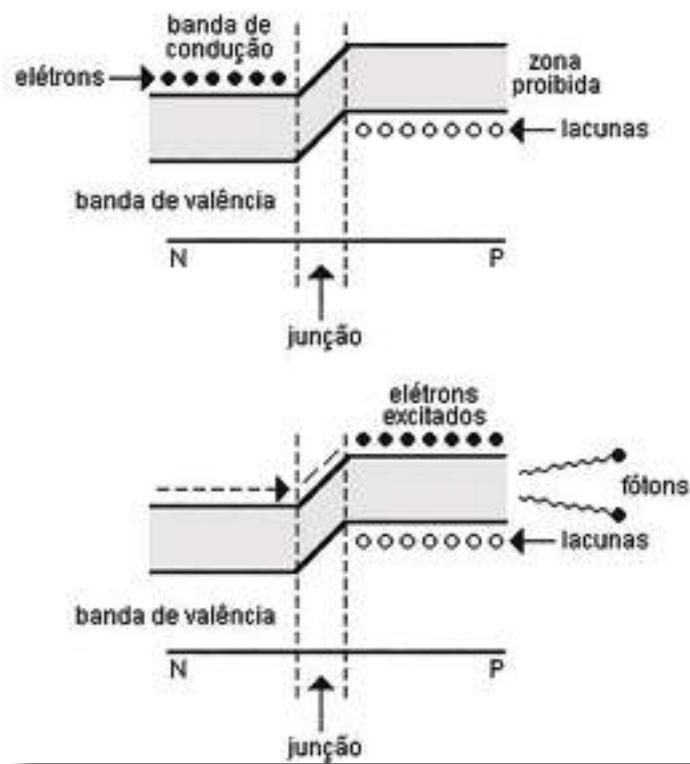
Em todas as junções pn semicondutoras, uma parte da energia é emitida na forma de calor e outra na forma de fotões. Nas junções formadas por germânio e silício a maior parte da energia é emitida na forma de calor e uma parte insignificante na forma de luz. Em outros materiais como o fosfato de arsenieto de gálio (GaAsP), o fosfato de gálio (GaP) ou simplesmente o arsenieto de gálio (GaAs) a luz emitida é suficiente de tal forma a tornar-se bastante visível.

O processo de emissão de luz por aplicação de uma fonte elétrica de energia em uma junção pn é chamado eletroluminescência.

Estrutura Básica: Basicamente a estrutura é idêntica à dos díodos de junção convencionais.

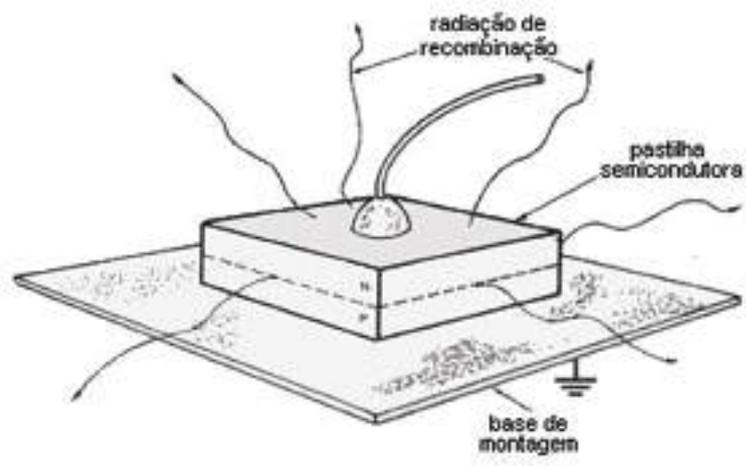


A figura abaixo mostra o que ocorre numa estrutura formada por uma junção pn de GaAsP.

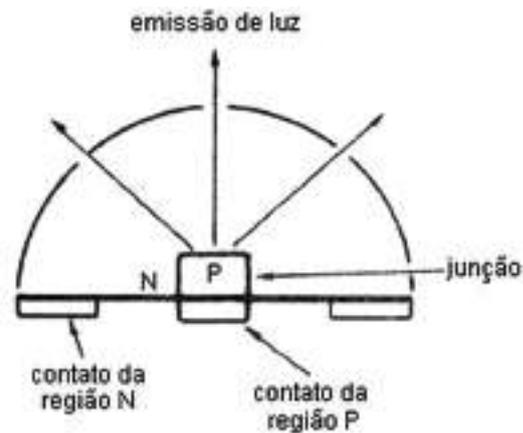


- 1 - Quando o LED é ligado a uma fonte de corrente os elétrons são introduzidos na região N.
- 2 - Para cruzar a barreira de potencial formada pela junção, eles são transferidos para a banda de condução.
- 3 - Após a passagem pela junção os elétrons caem de volta para as lacunas na banda de valência e liberam sua energia excedente na forma de fótons (radiação de recombinação).

A figura abaixo ilustra a estrutura básica de um díodo LED fabricado com tecnologia planar.

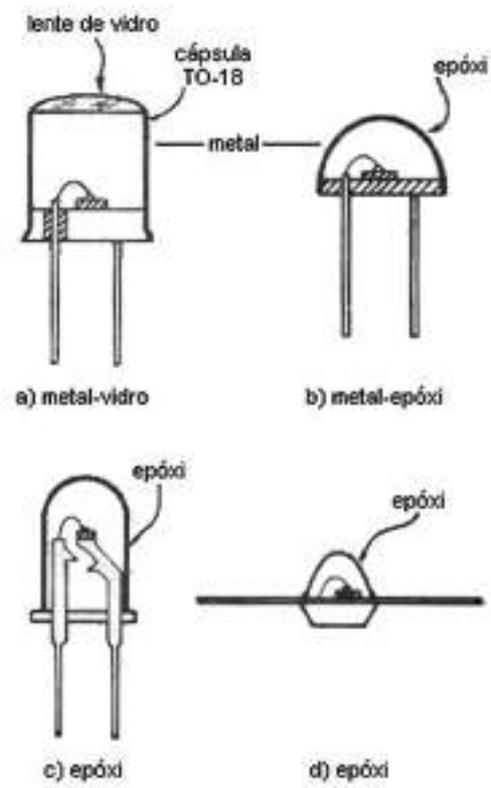


- Tipicamente consistem numa pastilha semicondutora P, com uma camada difundido tipo N.
- A camada P geralmente é colocada na base metálica pois esta tende a ser menos transparente à radiação.
- A princípio pode-se imaginar que a emissão de luz se dá mais via camada N, no entanto, a radiação gerada na junção pode ser emitida por todas as partes do díodo não bloqueadas.
- Geralmente a base metálica é reflexiva para melhor aproveitamento da luz gerada pelo dispositivo.

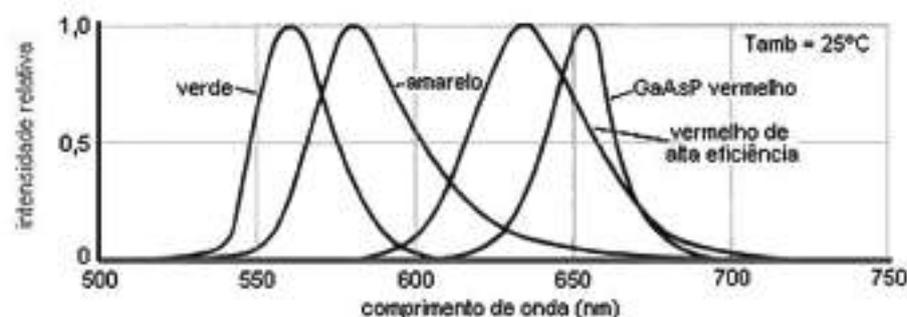


A figura seguinte ilustra a emissão de luz num LED de forma hemisférica.

O aspeto físico dos LEDs varia bastante, sendo que a configuração ideal da pastilha semicondutora é a hemisférica, por não conter superfícies que causem perdas por reflexão. No entanto, são muito mais caros em relação às pastilhas fabricadas com tecnologia planar. Para minimizar o problema as pastilhas “planar” são encapsuladas com material claro com índice de refração intermediário entre o do semicondutor e o ar. O material mais utilizado é o epóxi transparente, pois permite aumentar em quase três vezes a saída de luz se comparado a um díodo LED não encapsulado. A figura abaixo ilustra algumas configurações físicas de LEDs.



A figura abaixo mostra as curvas de resposta espectral para LEDs de várias cores.



Observa-se no gráfico acima que a banda espectral a partir da intensidade relativa igual a 0,5 é bastante estreita. A largura de banda é uma característica muito importante nos LEDs, pois permite fabricar lâmpadas indicadoras que emitem luz nas cores amarela, âmbar, verde ou vermelha sem o uso de filtros.

Isto representa uma grande vantagem nas comunicações ópticas pelas razões:

1 - Os LEDs podem ser programados para fornecer uma saída de pico correspondente à sensibilidade dos detetores disponíveis, tornando a detecção mais eficiente em relação aos dispositivos que usam banda larga.

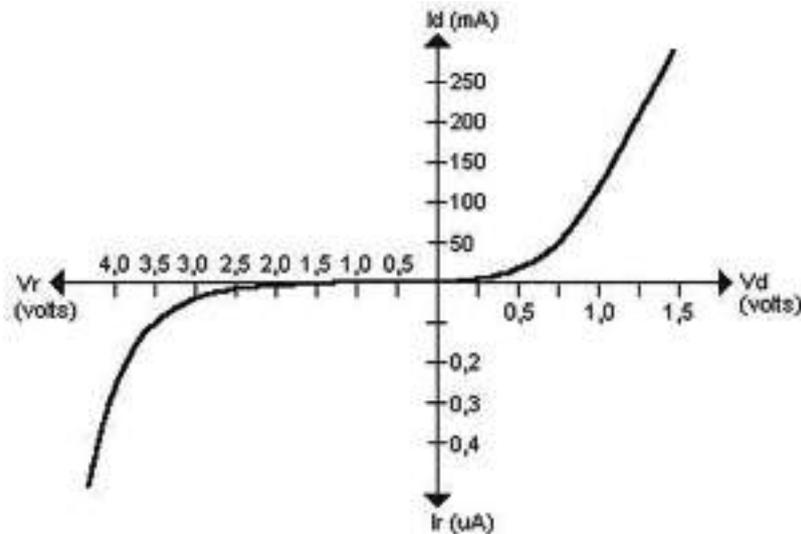
2 - A banda estreita equivale a um filtro que transmite apenas os comprimentos de onda que interessam, ajudando a eliminar interferências externas de fontes de luz.

3 - Os LEDs de GaAsP e GaAs são ideais para comunicações em frequências altas, podendo ser modulados ao redor de 100MHz. Os LEDs fabricados com GaAs compensados com silício podem ser modulados ao redor de 1MHz.



Relação entre tensão, corrente e a saída de luz

A figura abaixo mostra a curva de tensão x corrente em um LED de GaAs.



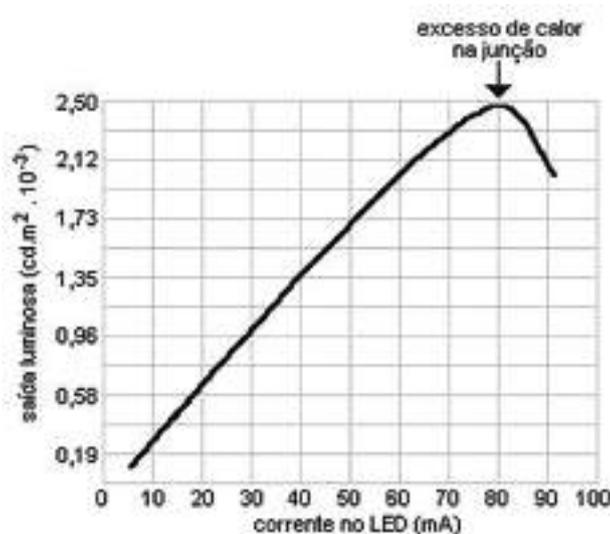
Existe um limite para a tensão reversa e a corrente direta no LED sem que este seja danificado. O valor típico da corrente direta varia de 50 a 100mA, podendo operar com tensões reversas da ordem de 1,7 a 3,5V.

A saída de luz dos LEDs varia geralmente de forma linear, de acordo com a corrente que por ele circula.

A figura a seguir é típica de um LED emissor de luz vermelha de GaAsP, onde nota-se uma perfeita linearidade da emissão de luz até uma corrente de 80mA.

Acima dessa corrente a emissão começa a declinar em relação ao valor de pico, em virtude do sobreaquecimento da pastilha do mesmo.

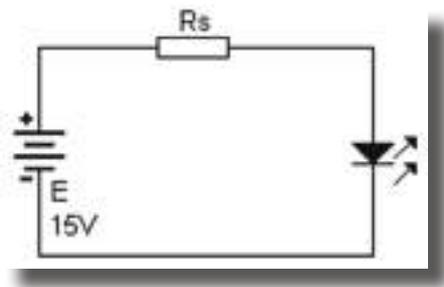
Para contornar esse problema o dispositivo deveria ser instalado num dissipador de calor, que em alguns casos é desaconselhável por fatores econômicos.



O relacionamento entre a corrente no LED e a saída de luz é interessante para algumas aplicações, como por exemplo comunicação por modulação de amplitude da voz humana e potenciômetros ópticos.

Exemplo:

No circuito abaixo deseja-se calcular o valor do resistor R_s e sua potência para que o LED opere em 1,8V sob uma corrente de 60mA.



Solução:

$$R_s = \frac{E - V_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15V - 1,8V}{60mA} = 220\Omega$$

A potência na resistência R_s será: $P_{R_s} = R \times I^2 = 220 \times (0,06)^2 = 0,792W$.

Vida útil do LED

Uma grande vantagem dos LEDs é sua longa vida útil, por reunirem todas as vantagens inerentes aos semicondutores:

- São robustos.
- Sua fabricação é fácil e barata.
- Não exigem altas tensões de operação.
- Trabalham numa ampla faixa de temperaturas.

Enquanto as lâmpadas piloto incandescentes tem uma vida útil que raramente chegam às 10.000 horas, os LEDs podem durar em operação contínua 100.000 horas ou mais.

Alguns estudos de aceleração de vida útil indicaram que os LEDs podem operar até por 100 anos antes que sua luminosidade caia pela metade em relação ao valor inicial.

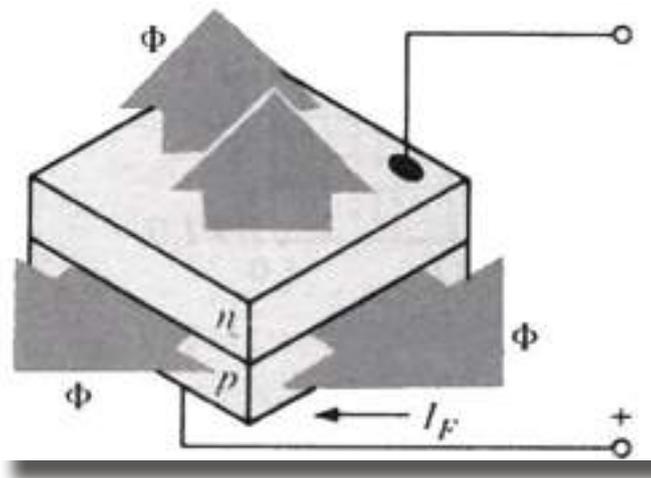


Díodos emissores de infravermelho

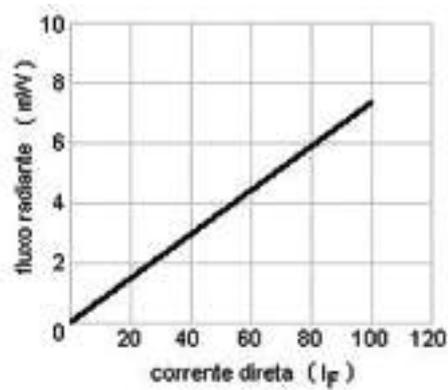
Os díodos emissores de infravermelho (IV) são construídos a partir do arsenieto de gálio (GaAs), que quando diretamente polarizados emitem um feixe de fluxo radiante.

A construção básica é mostrada na figura a seguir e funciona da seguinte forma:

- Quando a junção pn é diretamente polarizada, os elétrons da região n se recombinam com as lacunas excedentes da região p.
- Essa recombinação ocorre em uma região especialmente projetada para tal finalidade, que situa-se entre as regiões p e n.
- Ocorre então a radiação de energia em forma de fótons.
- Os fótons gerados são reabsorvidos pela estrutura ou abandonarão a superfície do dispositivo na forma de energia radiante, representada pela letra grega Φ .



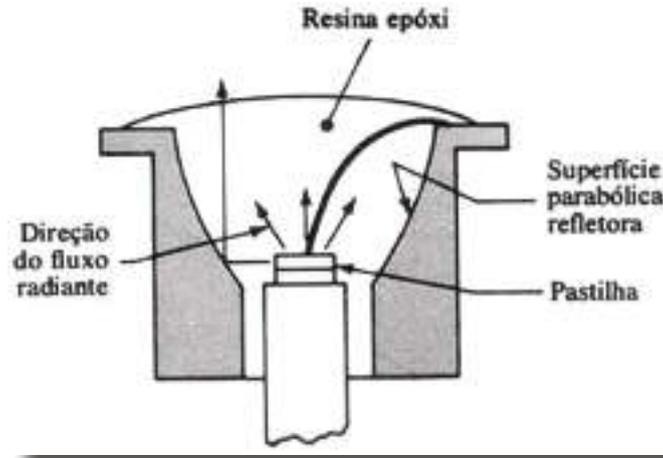
A relação entre a corrente direta e o fluxo radiante é praticamente linear, conforme mostra o gráfico abaixo.



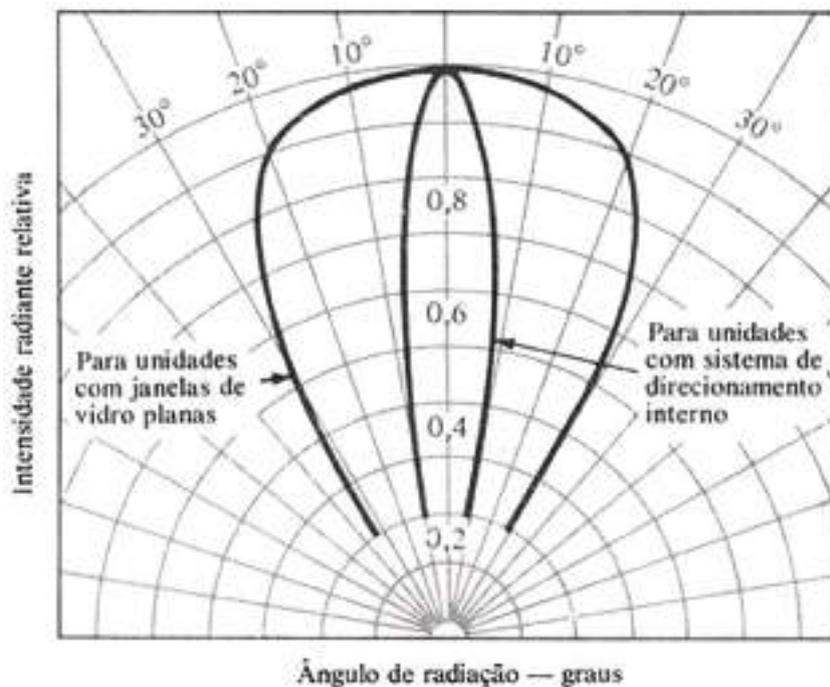
O fluxo radiante é dado em mW e a corrente direta é representada por I_F .



A construção interna de um dispositivo emissor de IV é mais sofisticada, pois deve ser levado em consideração o ângulo de radiação.



Quando o dispositivo é construído com direcionamento interno o ângulo de radiação é bastante estreito em comparação aos dispositivos construídos sem direcionamento interno, conforme ilustra o gráfico abaixo.



Algumas aplicações:

- Leitores de cartões e fitas perfuradas.
- Codificador para perfuradores de cartões e fitas de papel.
- Sistemas de transmissão de dados.
- Alarmes.



Fibra óptica

Introdução

É um filamento de vidro ou de materiais poliméricos com capacidade de transmitir luz. Tal filamento pode apresentar diâmetros variáveis, dependendo da aplicação, indo desde diâmetros ínfimos, da ordem de micrômetros (mais finos que um fio de cabelo) até vários milímetros. O vidro é o material mais utilizado na fabricação das fibras pois ele absorve menos as ondas eletromagnéticas.

Foi inventada pelo físico indiano Narinder Singh Kapany em 1952. Em seus estudos Kapany verificou que a luz poderia descrever um trajetória curva dentro de um material (no experimento de Tyndall em 1870, esse material era a água).

O princípio fundamental que rege o seu funcionamento é o fenômeno físico denominado reflexão total da luz. A transmissão da luz pela fibra segue um princípio único, independentemente do material usado ou da aplicação. É lançado um feixe de luz numa extremidade da fibra e, pelas características ópticas do meio (fibra), esse feixe percorre a fibra por meio de reflexões sucessivas.

Imunidade às Interferências Eletromagnéticas e Características Dielétricas: Por serem feitas de materiais dielétricos como vidro e plástico, uma fibra óptica é totalmente imune as Interferências Eletromagnéticas, além de serem isolantes à passagem da corrente elétrica.

Segurança no tráfego de informações: As fibras ópticas trabalham com sinais de luz, o que dificulta muito o uso de “grampos”. Para que possamos executar um grampo em uma fibra óptica, necessitamos de aparelhos complexos e caros, capazes de decifrar os sinais de luz.

Maior Banda de Transmissão: A capacidade de transmissão de um sistema de telemática está limitada à frequência (MHz) da portadora, como a fibra óptica trabalha com sinais de luz, nos sistemas de transmissão mais modernos, chegamos à Banda de Transmissão da ordem de THz.



Tipos de Fibra Óptica

- Multimode ou Multimodo (MM)

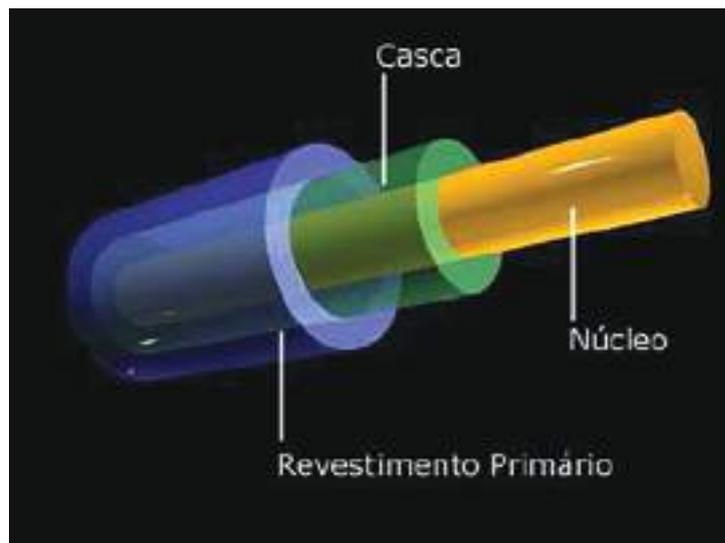
Núcleo 50 ou 62,5 μm (micrômetros);

Casca 125 μm .

- Singlemode ou Monomodo (SM)

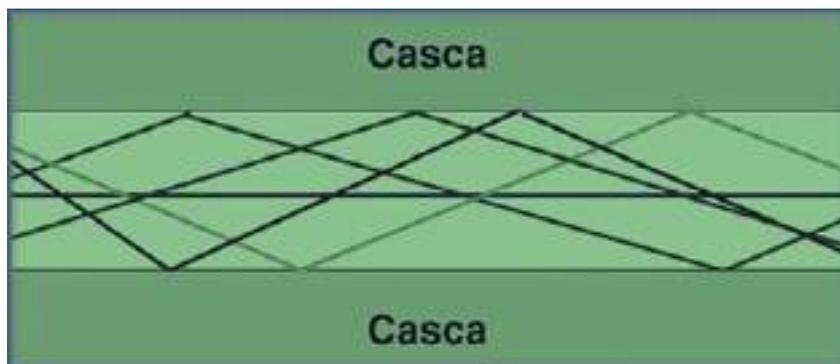
Núcleo 9 μm ;

Casca 125 μm .



Multimodo (Multimode – MM)

- Vários caminhos, desordenado;
- Vários pontos de reflexão;
- Até 2 km à 100 Mbps;
- Até 550 m à 1 Gigabit (Núcleo 50);
- Até 250 m à 1 Gigabit (Núcleo 62,5);
- Utiliza LED como fonte de luz.



Monomodo (Singlemode – SM)

- Único caminho, reto;
- Quase não há pontos de reflexão;
- Aplicações a 5, 15, 40, 70 km dependendo do emissor de luz;
- Utiliza Laser como fonte de luz.



Tipos de Conectores



Máquina de Emenda Óptica (Fusão)

É o equipamento que realiza a emenda do cabo externo ao interno e/ou emendas em caso de rompimento.



Ela “derrete” o cabo e o funde novamente mantendo seu núcleo (onde passa luz) intacto.



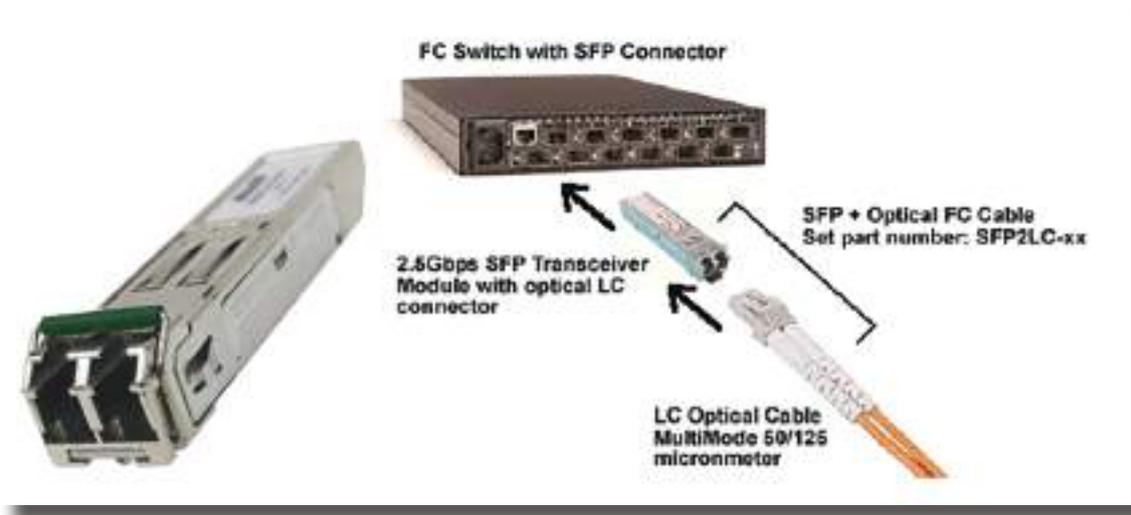
Equipamentos Emissores de Luz

Conversores de Média: convertem o sinal óptico (luz) para impulsos elétricos (Cabo UTP) para enviar ao Switch.

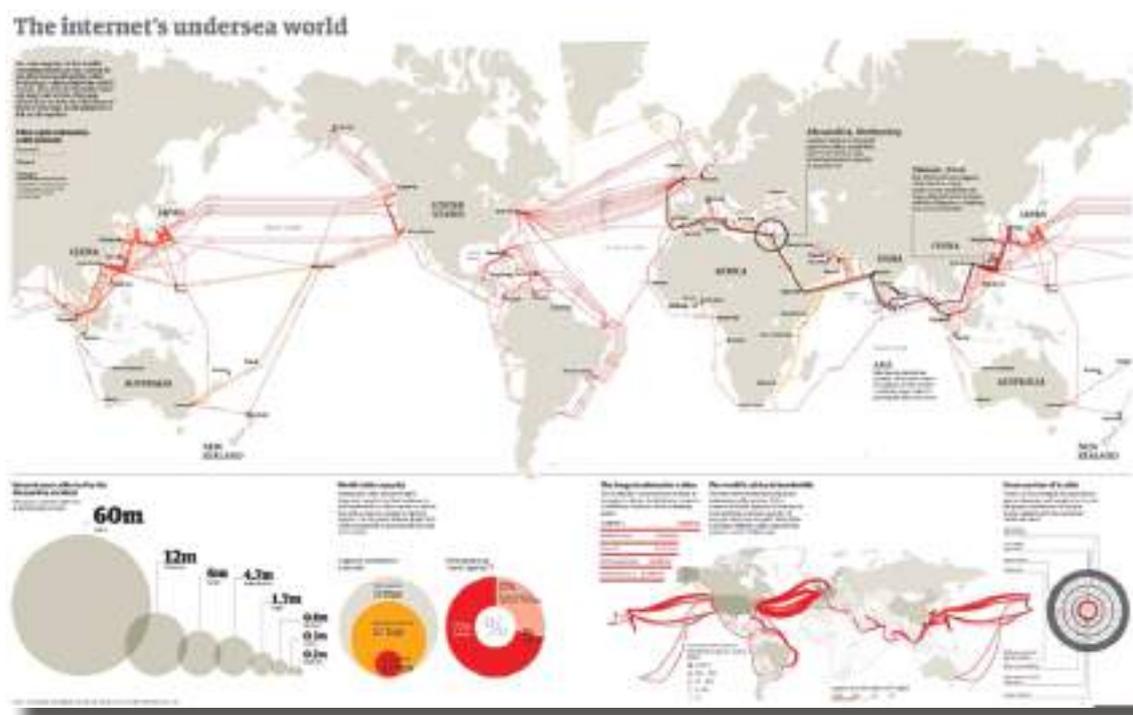


Módulos Ópticos: Convertem o sinal óptico (Luz) diretamente para o Switch, pois está instalado diretamente nele.





Trajetos de Fibras Ópticas



Infraestrutura para Fibras Ópticas

As Redes ópticas se espalharam pelo mundo interligando países e diminuindo as distâncias devido a grande capacidade de transporte de dados da fibra óptica. A implantação de redes ópticas envolve no entanto a construção de uma infraestrutura para suporte destes cabos.



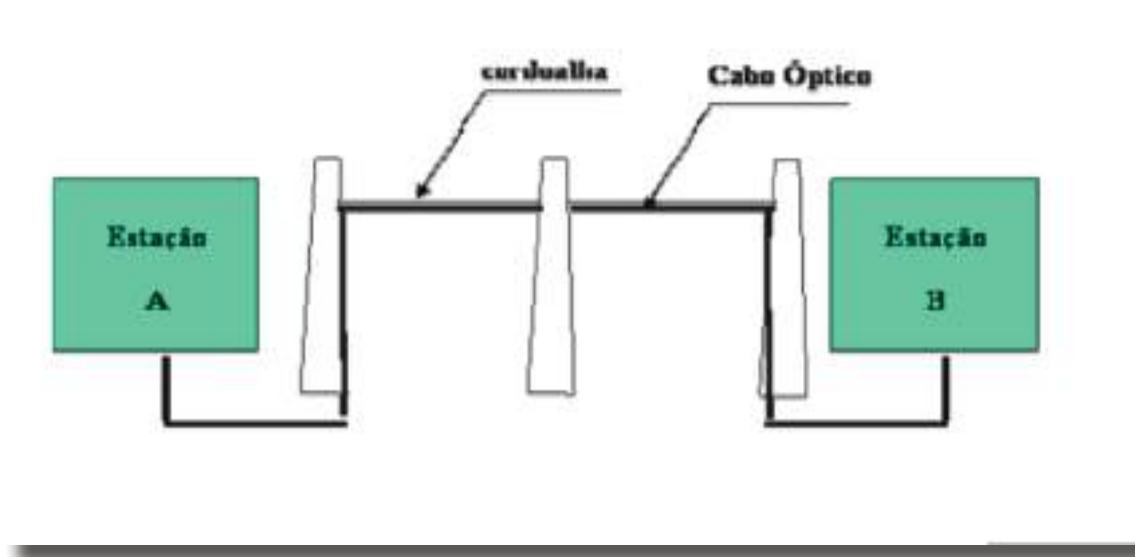
Damos o nome de infraestrutura ao conjunto da construção que recebe, acomoda e distribui o cabo óptico ao longo de seu trajeto (também conhecido como Rota ou Enlace). As Redes Ópticas podem ser aéreas, subterrâneas, submarinas ou uma combinação delas.

Rede Aérea

Nas redes aéreas são aproveitadas as estruturas das concessionárias de energia elétrica presentes no local ou, quando não há possibilidade, é implantada uma infraestrutura nova para instalação da Rede Óptica.

Esta infraestrutura é composta de:

- Postes - Devem atender as exigências de altura para cruzamentos e esforço cortante para casos de término de rede (encabeçamento) e mudança de direção com ângulo.
- Cordoalha - Cabo de aço que interliga os postes. É na cordoalha que o cabo óptico será preso ou espinado (enrolado) com o auxílio de um arame de aço.
- Caixa de Emenda - Na rede aérea, em geral as caixas de emenda óptica são acomodadas junto aos postes, onde também ficam as sobras de cabo, conhecidas como “Figura Oito”.



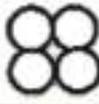
Rede Subterrânea

A implantação de uma rede subterrânea requer um maior investimento, pois necessita de mais tempo e maior número de recursos.

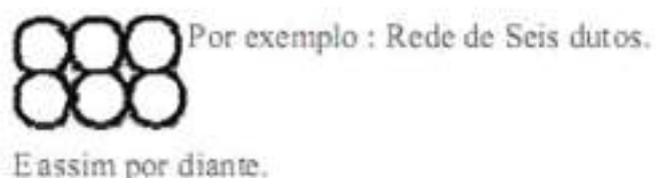
Para um melhor entendimento, apresentamos sua composição:

- Duto - Tubulação em PVC, corrugado ou liso com diâmetro geralmente de 100 mm.
- Sub-duto - Dado ao fato de o cabo óptico não necessitar da área total do duto, criou-se então um outro duto de menor diâmetro (40 mm externo) em Polietileno, recebendo este o nome de sub-duto pois inicialmente era instalado, nas redes urbanas, dentro do duto, aumentando assim a capacidade da rede de dutos existentes. Posteriormente começou-se a utilizá-lo nas redes de longa distância (que será abordada a seguir).

Podemos encontrar vários tipos de sub-dutos. Destacaremos aqui os mais comuns:

Tipo	Descrição	Formato
Duplo	Dois sub-dutos na formação 1 x 2	
Quádruplo	Quatro sub-dutos na formação 2 x 2	
Sétuplo	Sete sub-dutos em formação circular	

Destacamos que, para redes com número maior de dutos, a formação pode acompanhar aquela descrita acima para o sub-duto quádruplo.



Outros componentes da rede óptica subterrânea são:

- Caixas de passagem - São recetáculos implantados abaixo do nível do solo, com a função de armazenar as sobras técnicas dos cabos.
- Sobra Técnica ou Reserva - Como o próprio nome diz, é uma folga ou reserva de cabo, que será utilizada caso haja um acidente no cabo (rutura) ou para atender um acesso futuro, exigindo assim cabo para emenda ou para deslocamento do trajeto original.
- Caixa de Emenda Subterrânea - Chamamos a atenção para este componente específico das redes subterrâneas, pois é comum uma confusão entre caixa de emenda subterrânea e caixa de emenda óptica. O tópico aqui descrito trata-se de um recetáculo igual à caixa de passagem, mudando apenas a função básica, que neste caso é acomodar a caixa de emenda óptica.

Portanto, quando falamos em redes subterrâneas, devemos procurar não fazer simplificações, dizendo apenas “caixa de emenda”, pois desta forma estaremos evitando erros de interpretação.

Infra para Redes ópticas de Longa Distância

Como o próprio nome diz, são redes que ligam pontos equidistantes geograficamente. A sua função básica é possibilitar o tráfego de dados, voz e imagem em altas velocidades através dos cabos de fibra óptica, interligando vários pontos.

Quando falamos em Redes de Longa Distância, devemos imaginar uma vasta composição de elementos, pois dependendo da característica (necessidade) do projeto, poderemos ter uma rede aérea, uma rede subterrânea ou até mesmo uma rede submarina.

As redes aéreas podem estar presentes tanto para conexão de cidades como em um projeto que utilize as linhas de alta tensão como meio de instalação ou elo de ligação entre os pontos de interesse. Neste caso o cabo utilizado será o OPGW.

Como falado anteriormente, o objetivo desta rede é a ligação de pontos equidistantes e esta ligação, subterrânea, dependendo do interesse financeiro (custo benefício) pode ser feita de várias formas:

- Implantação ao Longo de estradas: A rede é construída ao lado de estradas



(dentro da faixa de domínio da concessionária) ou no separador central (quando a estrada tiver este local para separação das vias). A definição do local exato será dada pelo órgão com jurisdição sobre a via.

- Implantação ao Longo de Ferrovias.
- Implantação ao Longo de Oleodutos ou Gasodutos.

A avaliação do método ou traçado utilizado levará em conta o custo da construção, mas principalmente o valor cobrado pela concessionária pelo direito de passagem em sua faixa de domínio, bem como a área de interesse do empreendedor.

O custo e o prazo da construção serão função direta do grau de complexidade da instalação, ou seja, dependerão dos seguintes fatores:

- Profundidade de vala;
- Tipo de Solo;
- Distância entre caixas;
- Interferências;
- Acessos.

Lançamentos de Cabos

Após a construção da rede, é chegada a hora do lançamento dos cabos ópticos. Assim começaremos as definições do sistema de lançamento.

Definições das características do sistema de instalação pneumática:

- Distância - Instalação de cabos em uma distância entre 500 a 2000 m ou mais, dependendo das condições dos dutos, do cabo, do solo e da temperatura.
- Velocidade - velocidade máxima de instalação de 60 m/min, sendo a velocidade usual de 40 m/ min.
- Mão-de-obra - são necessárias 2 pessoas treinadas e mais um operário para acessórios complementares.
- Equipamento - é um conjunto de instalação de pequenas dimensões o seu peso não supera 120 kg (com o resfriador). O alimentador integrado é composto de um conjunto de esteiras de borracha, acionada por dois motores hidráulicos. O sistema é fornecido com todos os adaptadores para os cabos e



tubos. Possui um dispositivo de medição que indica a distância percorrida pelo cabo e a velocidade de instalação. Em caso de parada da operação por alguma obstrução, a distância visualizada permite determinar a localização da ponta do cabo.

O alimentador mecânico empurra o cabo de fibra óptica através do duto em que se estabelece uma forte corrente de ar com um compressor. O ar, que circula a grande velocidade, exerce pressão sobre toda a superfície do cabo e facilita seu movimento. Podemos dizer que não se puxa o cabo, mas este é empurrado e transportado.

O cabo desta maneira percorre o duto, seguindo as ondulações ou mudanças de direção em seu percurso, inclusive os abruptos e frequentes.

Como não existe esforço de tração na cabeça, o cabo está livre das tensões inerentes aos métodos convencionais de colocação com anel ou cabo de aço de tração.

O cabo uma vez instalado repousa no fundo do duto sem nenhuma tração residual.

Portanto sua vida útil se prolonga. A ausência de esforços e a eficaz proteção que o duto fornece são fontes de economia, porque se pode utilizar cabos de estrutura de pouco peso e sem nenhuma armadura de tração.

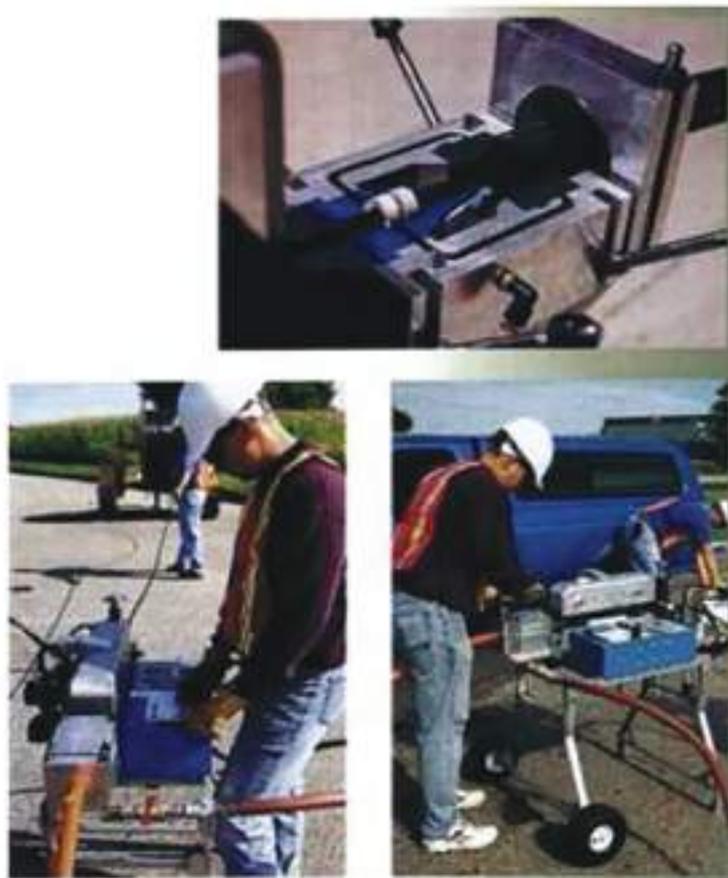
O processo de injeção pneumática de instalação permite estender cabos ópticos de grandes comprimentos, com um diâmetro de 12 a 32 mm.

Como se trata de lançamento de cabo com 4 (quatro) quilômetros de comprimento, utilizando-se o processo de injeção pneumática, será necessário conduzir o trabalho de lançamento observando as limitações do equipamento para a instalação e as diversas situações geográficas impostas no trajeto.

Trincheiras deverão ser abertas ao longo do trajeto, onde encontraremos o duto PEAD enterrado e nele, abriremos janelas para se reduzir o comprimento de cabo a ser lançado. Nestes casos, o cabo é lançado pelo método de assopramento da 1ª janela (ponto inicial) em sentido às demais janelas; onde caso necessário o cabo é acomodado em forma de 8, isso ocorrerá quando não tenha um segundo equipamento de assopramento de cabo, caso haja, é necessário a “figura oito”.



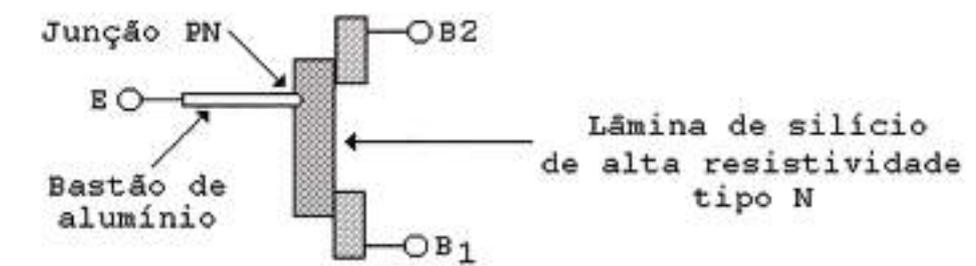
O procedimento de lançamento, continuará a partir da 2ª janela para as demais janelas, caso sejam necessárias abri-las, ou para a próxima CS. Após a conclusão desses serviços, a sobra de cabo da 1ª janela será acomodada no chão em forma de 8 e lançado até a próxima CS.



Transistor de Unijunção (UJT)

Introdução

O transistor de unijunção (UJT do inglês Uni-junction-Transistor) é um dispositivo de três terminais, cuja construção básica é mostrada na figura abaixo:



A placa (lâmina) de silício é levemente dopada com impureza do tipo N, aumentando assim sua característica resistiva, com dois contatos de base ligados nos extremos e um bastão de alumínio ligado à superfície oposta.

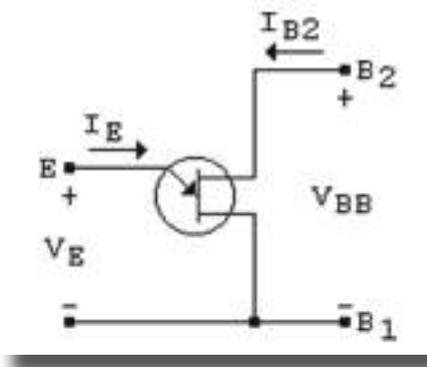
A junção PN do dispositivo é formada na fronteira entre o bastão de alumínio e a placa de silício N. Note que o bastão de alumínio é juntado na placa de silício em um ponto mais próximo do contato 2 (B2) do que do contato 1.

As aplicações destes dispositivos são inúmeras, dentre as quais: osciladores, circuitos de disparo, geradores de dente de serra, etc.

O símbolo do transistor de unijunção é mostrado abaixo:

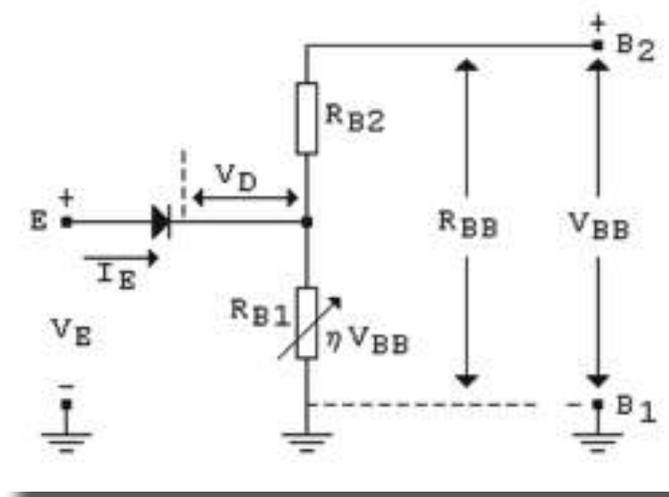


A figura a seguir nos mostra um arranjo de polarização típico para um transistor de unijunção:



Entre B2 e B1 cria-se uma região de alta resistividade, denominada resistência interbases, representada por R_{BB} .

O circuito equivalente é mostrado abaixo:



Considerações:

- A resistência R_{B1} é mostrada como uma resistência variável uma vez que variará de acordo com a intensidade da corrente I_E ; em um transistor de unijunção típico R_{B1} pode variar de $5k\Omega$ para 50Ω .
- R_{BB} é a resistência entre os terminais B2 e B1 quando $I_E = 0$; R_{BB} típico para os transistores de unijunção varia de $4k\Omega$ até $10k\Omega$.

$$R_{BB} = R_{B1} + R_{B2}$$

- R_{B1} é obtida em função de uma equação em que se considera a taxa de separação intrínseca. Os valores de R_{B1} e R_{B2} são determinados pela posição do terminal E (emissor) na lâmina de silício, caracterizando assim a taxa de separação intrínseca a qual é denominada “ η ”.

Assim:

$$V_{R_{B1}} = \frac{R_{B1} \cdot V_{BB}}{R_{B1} + R_{B2}} = \eta V_{BB}$$

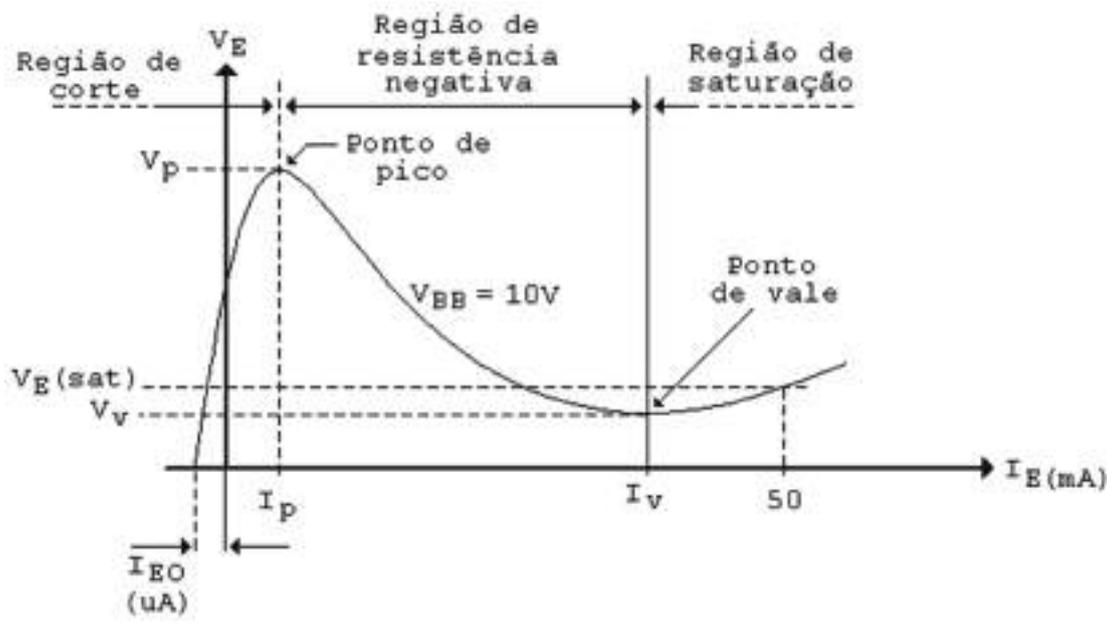
Para $I_E = 0$



Podemos então afirmar:

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

A curva característica de um transistor de uniunção é mostrada a seguir:



V_p = valor de pico (ponto de pico da tensão)

I_p = corrente de pico

V_v = tensão de vale

I_v = corrente de vale

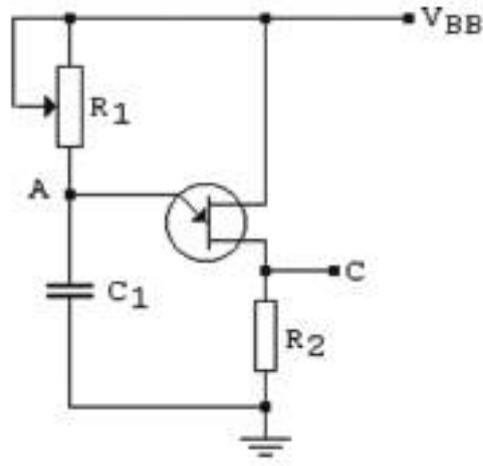
Operação:

- Quando $V_E = V_p$ o potencial V_E cairá com o aumento de I_E ; nestas condições R_{B1} diminui;
- A partir do ponto de vale o aumento de I_E levará o transistor a saturação;
- Desta forma, o ponto ideal de operação do transistor é a região de resistência negativa; nessa região um aumento de I_E provoca uma diminuição de V_E .



Oscilador de relaxação básico.

O oscilador de relaxação básico é mostrado a seguir:

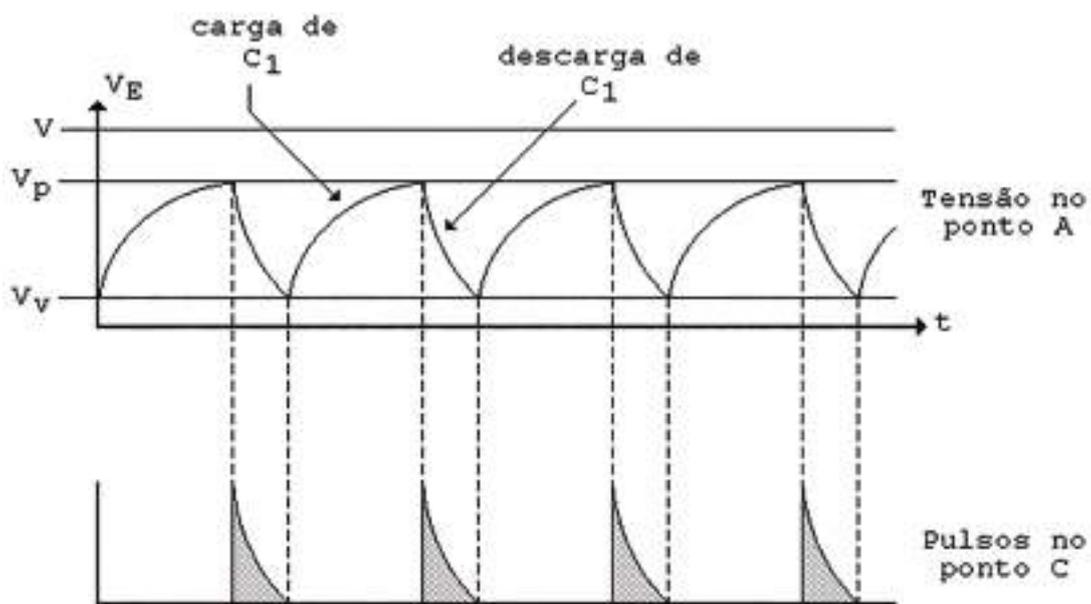


- C1 carrega-se através de R1 (resistência variável);
- Ao atingir V_p ocorre o disparo; aumenta I_E e diminui R_{B1} ;
- C1 descarrega-se então através de R_{B1} , fazendo então surgir pulsos entre o ponto C e terra.
- O resistor R2 tem por finalidade limitar os pulsos.

$$\tau = R_1 C_1 \text{ (constante de tempo de carga de } C_1\text{)}$$

$$\tau = (R_{B1} + R_2) C_1 \text{ (constante de tempo de descarga de } C_1\text{)}$$

Veja a seguir a forma de onda das tensões:



Para garantir o disparo:

$$\frac{V - V_p}{I_p} > R_1$$

Para garantir a interrupção:

$$\frac{V - V_v}{I_v} < R_1$$

No ponto de vale: $I_E = I_v$ e $V_E = V_v$

Exemplo: supondo os valores típicos:

$$V = 30V$$

$$\eta = 0,5$$

$$V_v = 1V$$

$$I_v = 10mA$$

$$I_p = 10\mu A$$

$$R_{BB} = 5k\Omega$$

$$V_D = 0,5V$$

Calcule os valores máximos e mínimo para R_1 .

Solução:

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D \rightarrow V_p = 15,5V$$

$$V - V_p / I_p \rightarrow (30 - 15,5) / 10 \cdot 10^{-6} = 1,45M\Omega > R_1$$

$$V - V_v / I_v \rightarrow (30 - 1) / 10 \cdot 10^{-3} = 2,9k\Omega < R_1$$

Desta forma R_1 deverá ter um valor situado entre $2,9k\Omega$ e $1,45M\Omega$

A frequência livre do oscilador é dada pela fórmula:

$$f \cong \frac{1}{R_1 C_1 \log_e [1 / (1 - \eta)]}$$

$\log_e = \ln$ (logaritmo neperiano)

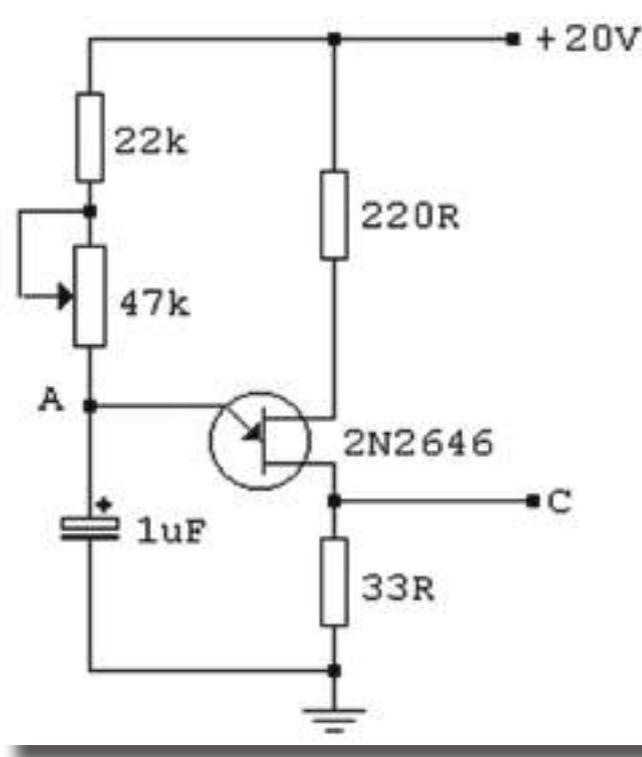


Parte prática

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

- 1 - Fonte de alimentação 0-20V
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Osciloscópio

Monte o circuito abaixo:



2 - Ligue os canais do osciloscópio nos pontos A e C (com relação ao terra) e observe as formas de onda.

OBS: O trimpot deverá estar totalmente aberto

3 - Meça os valores de V_p e V_v .

4 - Desenhe em papel milimétrico A4 as formas de onda das tensões observadas nos pontos A e C.



5 - Feche totalmente o trimpot e observe o que ocorre com a frequência das oscilações. Explique o porquê.

6 - Calcule a frequência das oscilações com o trimpot totalmente aberto e totalmente fechado.

$$f(\text{trimpot aberto}) = \underline{\hspace{10em}}$$

$$f(\text{trimpot fechado}) = \underline{\hspace{10em}}$$

QUESTÕES:

- 1 - O que é ponto de pico?
- 2 - O que é ponto de vale?
- 3 - Quando ocorre a saturação em um transistor de unijunção?
- 4 - O que é região de resistência negativa?



FET (Field Effect Transistor)

Introdução

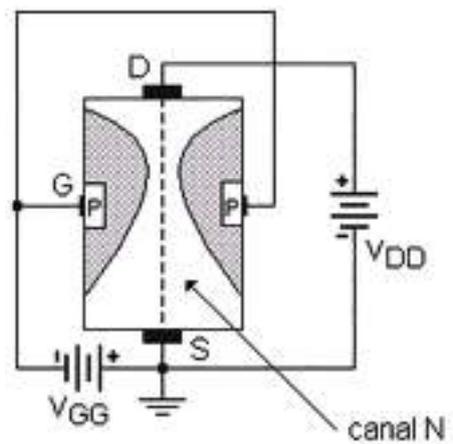
O FET (Field Effect Transistor) que traduzindo para o português significa Transístor de Efeito de Campo (TEC), é um transístor unipolar.

Nos transístores bipolares, para que haja controlo de corrente, torna-se necessário envolver correntes de eletrões e lacunas. Nos transístores unipolares para que haja controlo de corrente estão envolvidas correntes de eletrões quando o mesmo é do tipo canal n ou estão envolvidas correntes de lacunas quando o mesmo é do tipo canal p .

Os FETs possuem algumas vantagens com relação aos transístores bipolares como: impedância de entrada elevadíssima; relativamente imune à radiação; produz menos ruído e possui melhor estabilidade térmica. No entanto, apresentam algumas desvantagens como: banda de ganho relativamente pequena e maior risco de dano quando manuseado.

A exemplo do transístor bipolar, o FET é um dispositivo de três terminais, contendo uma junção $p-n$ básica, podendo ser do tipo de junção (JFET) ou do tipo *metal-óxido-semicondutor* (MOSFET).

A figura abaixo mostra a estrutura física de em FET canal n com seus respectivos terminais:



D - (drain) ou dreno: de onde os portadores majoritários saem;

S - (source) ou fonte: é o terminal no qual os portadores majoritários entram;

G - (gate) ou porta: são regiões fortemente dopadas em ambos os lados do canal. Quando o canal é n o gate é p .



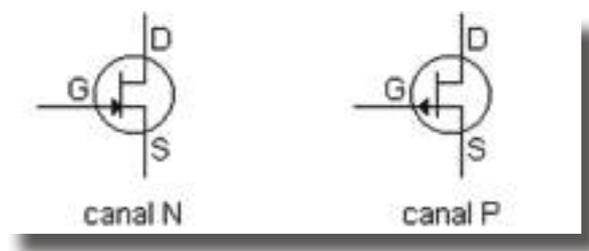
- V_{DD} é a tensão aplicada entre o dreno e a fonte;
- V_{GG} é a tensão aplicada entre o gate (porta) e a fonte;
- V_{DS} é a tensão medida entre o dreno e a fonte;
- V_{GS} é a tensão medida entre o gate (porta) e a fonte.

Comparativamente a um transistor bipolar podem então estabelecer as equivalências entre os terminais:

- D - (drain) = coletor
- S - (source) = emissor
- G - (gate) = base

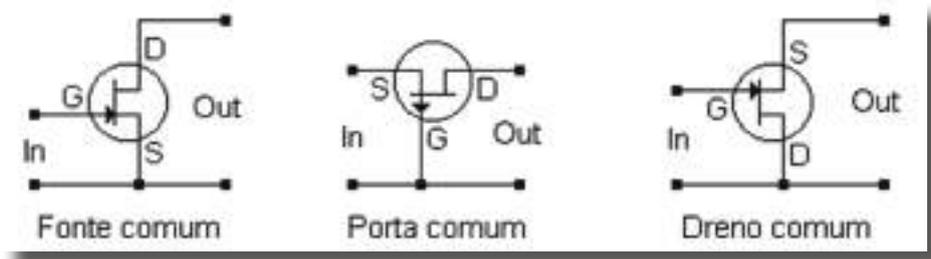
Através do canal portante, circulam os portadores majoritários, da fonte (S) para o dreno (D).

A figura a seguir mostra a simbologia para os FETs de canal *n* e canal *p*:



CONFIGURAÇÕES:

A exemplo dos transistores bipolares, são três as configurações básicas para os transistores unipolares, como mostra a figura abaixo:



As equivalências são as seguintes:

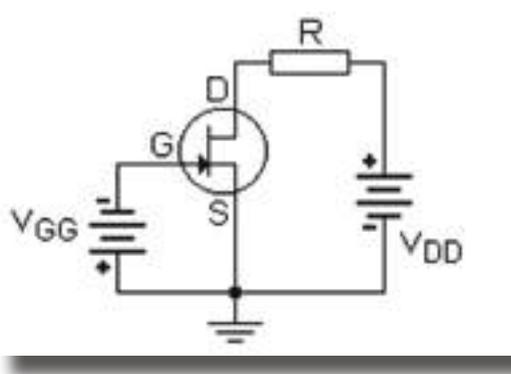
- Fonte comum = emissor comum
- Porta comum = base comum
- Dreno comum = coletor comum



A configuração dreno comum também é denominada *seguidor de fonte*.

POLARIZAÇÃO CONVENCIONAL:

A figura abaixo mostra um FET de canal n polarizado de forma convencional. É importante verificar a polaridade das baterias V_{GG} e V_{DD} . Quando o FET é de canal n a tensão de dreno é positiva.

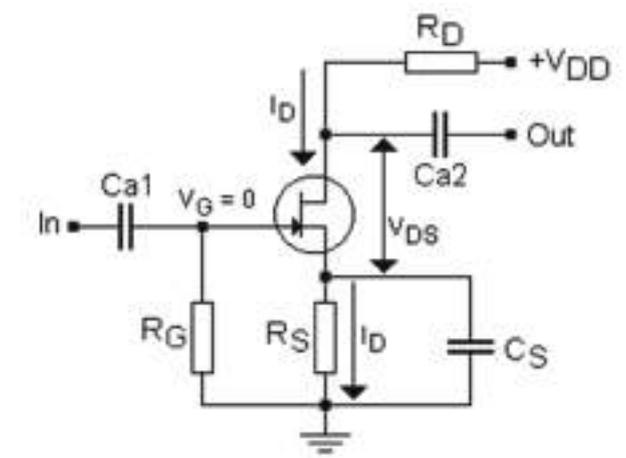


O FET também pode ser usado como amplificador de sinal, desde que adequadamente polarizado.

A grande vantagem na utilização do mesmo está na sua impedância muito elevada de entrada e sua quase total imunidade a ruídos.

O FET possui uma impedância de entrada extremamente alta, da ordem de $100\text{M}\Omega$ ou mais. Por ser praticamente imune a ruídos é muito utilizado para estágios de entrada de amplificadores de baixo nível, mais especificamente em estágios de entrada de recetores FM de alta-fidelidade.

A figura abaixo mostra um amplificador convencional:



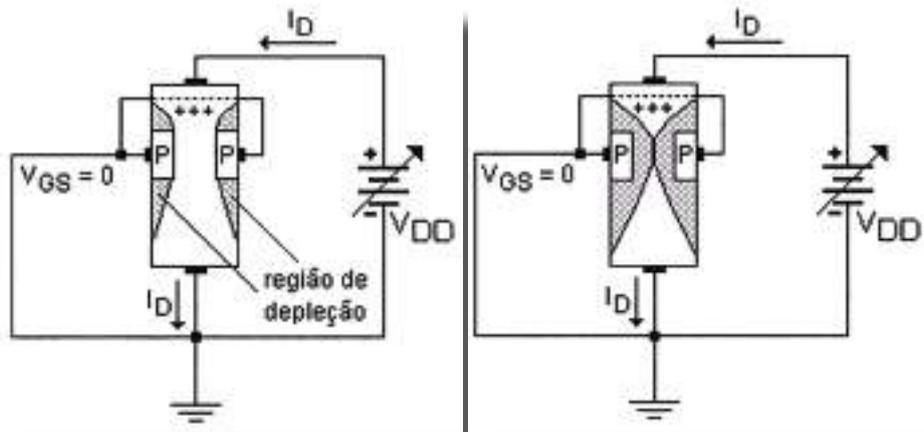
Trata-se de um amplificador com autopolarização, pois possui uma única fonte de alimentação e um resistor R_s para se obter a tensão de polarização *gate-source*.

A presença do resistor R_s resulta em uma tensão devido a queda de tensão $I_D R_s$, provocando uma queda de tensão em R_s . Como a tensão no *gate* é zero, pois não há corrente DC no *gate* ou no resistor R_g , a tensão entre *gate* e *source* é uma tensão negativa, que constitui a tensão de polarização V_{GS} . Assim teremos:

$$V_{GS} = 0 - I_D R_s = - I_D R_s$$

FUNCIONAMENTO:

Consideremos o FET canal *n* conforme mostra a figura abaixo, para $V_{GS} = 0$.



a) V_{DD} normal

b) Aumento de V_{DD}

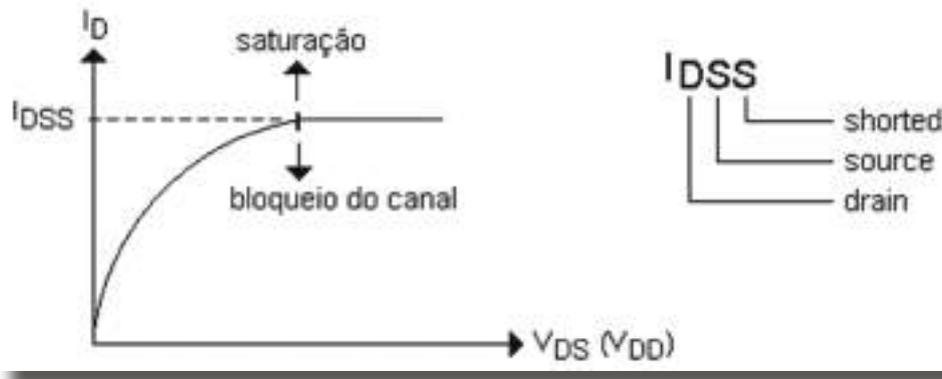
A medida que a tensão V_{DD} aumenta, aumenta a polarização inversa e a corrente de dreno circula através do canal, produzindo uma queda de tensão ao longo do canal, que é mais positiva no terminal *drain* (dreno), produzindo a região de depleção.

Conforme a tensão V_{DD} aumenta, a corrente I_D também aumenta, resultando em uma região de depleção maior. O aumento da região de depleção provoca um aumento da resistência entre *drain* e *source*. O aumento da região de depleção pode ser feito até que todo o canal seja abrangido (veja fig. b).

A partir daí, qualquer aumento de V_{DD} resultará apenas em aumento da tensão nos terminais da região de depleção e a corrente I_D permanece constante.



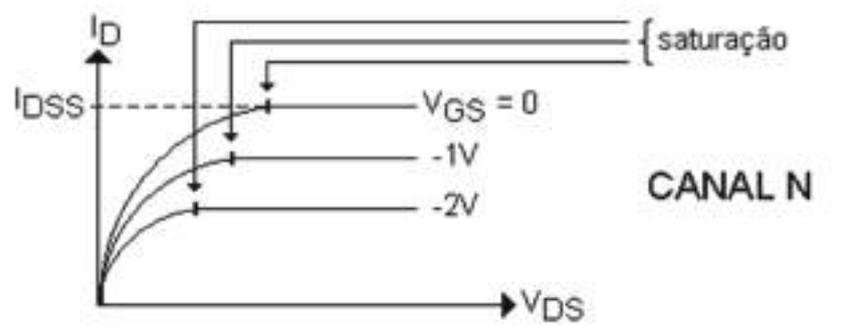
A curva a seguir mostra que o aumento de I_D ocorre até que toda a região de depleção esteja totalmente formada, após o que, a corrente de dreno satura e permanece constante para qualquer aumento de V_{DD} .



I_{DSS} é um parâmetro importante usado para especificar a operação de um FET, que significa corrente de *drain* para *source* com *gate-source* em curto ($V_{GS} = 0$).

CARACTERÍSTICA DRAIN-SOURCE (DRENO-FONTE):

A curva abaixo mostra que aumentando V_{GS} (mais negativa para um FET de canal n), a corrente de saturação será menor, e desta forma, o *gate* atua como controle.

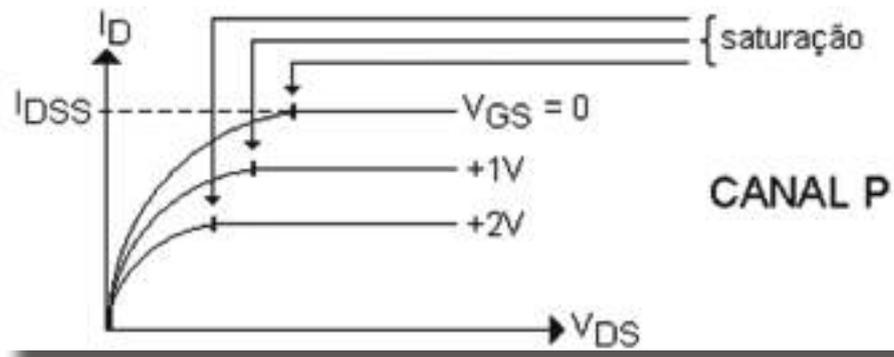


Nestas condições, I_D diminui à medida que V_{GS} fica mais negativa (observe o ponto de saturação com $-2V$). Tornando V_{GS} mais negativa, haverá um momento em que não haverá mais I_D , independentemente do valor de V_{DS} .

Essa tensão denomina-se tensão de estrangulamento *gate-source* representada por V_{GS} ou $V_{p(OFF)}$.

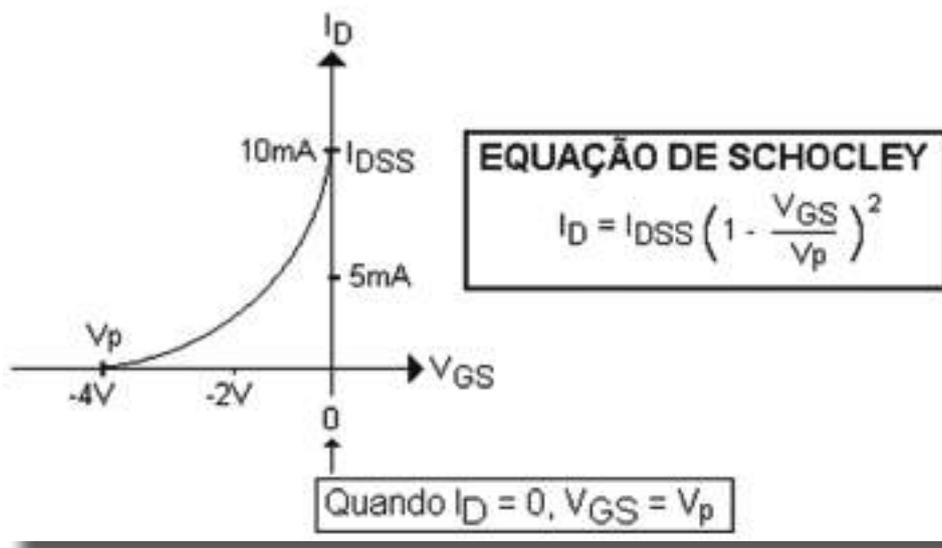
A figura abaixo mostra a curva para um FET de canal p . A única diferença é a polaridade de V_{GS} que neste caso é positiva.





CARACTERÍSTICA DE TRANSFERÊNCIA:

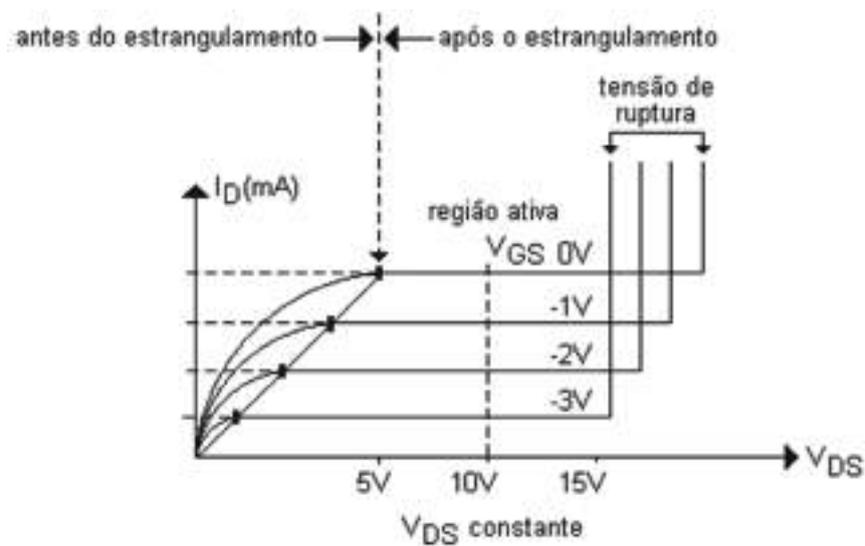
A figura a seguir mostra o gráfico de transferência da corrente de dreno I_D em função da tensão *gate-source* (V_{GS}), para um valor constante de V_{DS} .



No gráfico acima, observa-se a característica de transferência quando $V_{GS} = 0$, $I_D = 0$, $V_{GS} = V_p$.

A figura abaixo nos mostra que quando ocorre o estrangulamento, este estrangulamento se verifica com valores menores de V_{DS} e quando mais negativa for a tensão V_{GS} . Esta curva recebe o nome de curva de dreno.





Normalmente o FET é polarizado para operar após o estrangulamento na região de saturação da corrente, onde nesta região o dispositivo tem sua operação definida mais facilmente pela equação de *Schockley*.

Exemplo:

Determinar a corrente de dreno de um FET canal *n* com tensão de estrangulamento = -3V e corrente de saturação *drain-source* (I_{DSS}) de 10mA para as seguintes tensões V_{GS} :

- 0V.
- 1,4V.
- 1,8V.

Solução:

Pela equação de *Schockley*, $I_D = I_{DSS} (1 - V_{GS} / V_p)^2$, temos:

- $I_D = 10\text{mA} [1 - (0/-3)]^2 = 10\text{mA}$.
- $I_D = 10\text{mA} [1 - (-1,4/-3)]^2 = 2,84\text{mA}$.
- $I_D = 10\text{mA} [1 - (-1,8/-3)]^2 = 1,6\text{mA}$.

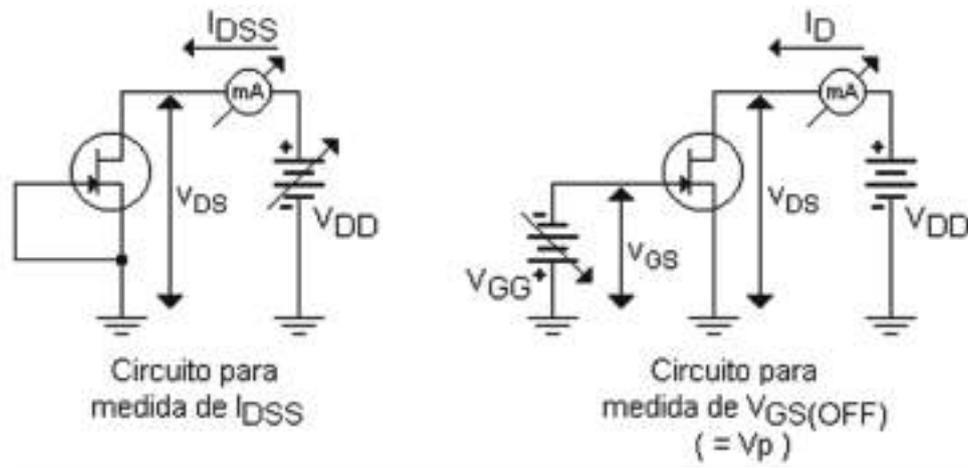
PARÂMETROS IMPORTANTES:

I_{DSS} : corrente de saturação dreno-fonte (*drain-source*). É a corrente na qual o canal é estrangulado quando os terminais *gate* e *source* estão em curto ($V_{GS} = 0$). É um parâmetro importantíssimo do dispositivo.



$V_{GS(OFF)} = V_p$: tensão de corte (estrangulamento) *gate-source*. Tensão entre *gate* e *source* para a qual o canal *drain-source* é estrangulado, resultando em praticamente nenhuma corrente de dreno.

Os circuitos a seguir são usados para medir I_{DSS} e $V_{GS(OFF)}$:



BV_{GSS} : tensão de rutura *source-gate*. A tensão de rutura de uma junção *source-gate* é medida em uma corrente especificada com os terminais *drain-source* em curto.

O valor da tensão de rutura indica um valor limite de tensão nos terminais *gate-source*, acima do qual a corrente do dispositivo deve ser limitada pelo circuito externo para evitar danos ao FET.

A tensão de rutura é um valor limite de tensão e deve ser usado na escolha da fonte de tensão de dreno.

$g_{fs} = g_m$: transcondutância de transferência direta em fonte-comum. Ela é medida com os terminais *drain-source* em curto, sendo uma indicação da amplificação do FET em termos de sinal alternado.

A unidade de medida de g_m é em *Siemens* com valores típicos da ordem de 1mS a 10mS.

$$g_{fs} = \Delta I_p / \Delta V_{GS}, \text{ com } V_{DS} = 0$$

$$g_{mo} = \frac{2I_{DSS}}{|V_{GS(OFF)}|} = \frac{2I_{DSS}}{|V_p|}$$

g_{mo} é parâmetro ganho de “ac” máximo do FET e ocorre para a polarização $V_{GS} = 0$.



Exemplo:

Calcular a transcondutância (g_m) de um FET com as especificações: $I_{DSS} = 15\text{mA}$ e $V_{GS(OFF)} = -3\text{V}$, nos seguintes pontos de polarização:

a) $V_{GS} = 0$

b) $V_{GS} = -1,2\text{V}$

c) $V_{GS} = -1,7\text{V}$

Solução:

Pela equação $g_{mo} = 2I_{DSS} / |V_{GS(OFF)}|$, temos:

$$g_{mo} = 2(15\text{mA}) / |-3\text{V}| = 30 \times 10^{-3} / 3 = 10\text{mS} \text{ ou } 10.000\mu\text{S}$$

a. $g_m = g_{mo}(1 - V_{GS} / V_p) = 10\text{mS}[1 - (0 / -3)] = 10\text{mS} \text{ ou } 10.000\mu\text{S}$.

b. $g_m = g_{mo}(1 - V_{GS} / V_p) = 10\text{mS}[1 - (-1,2 / -3)] = 6\text{mS} \text{ ou } 6.000\mu\text{S}$.

c. $g_m = g_{mo}(1 - V_{GS} / V_p) = 10\text{mS}[1 - (-1,7 / -3)] = 4,33\text{mS} \text{ ou } 4.330\mu\text{S}$.

$r_{ds(on)}$: resistência *drain-source* para o dispositivo ligado. A resistência dreno-fonte para o dispositivo ligado é importante quando se utiliza o mesmo como chave eletrônica.

Quando o FET está polarizado em sua região de saturação, ou ôhmica, de operação, apresenta uma resistência entre dreno e fonte de dezenas e algumas vezes centenas de ohms.

PARTE PRÁTICA

MATERIAIS NECESSÁRIOS

- 1 - Gerador de áudio
- 1 - Fonte de alimentação 0-20V
- 1 - Osciloscópio
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1

CIRCUITO AMPLIFICADOR FONTE COMUM:

Como sabemos, a curva de transcondutância do FET é parabólica, e por isso a operação do amplificador fonte comum produz uma distorção quadrática.

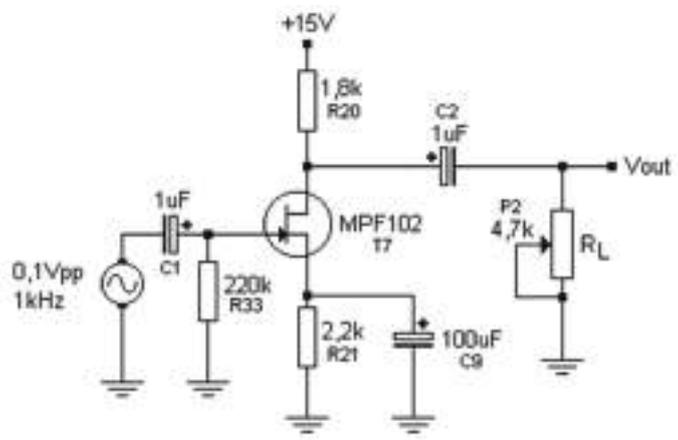


Em virtude disso, é um amplificador muito utilizado para operar somente com sinais de pequena amplitude.

Devido ao fato de g_m ser relativamente baixo, o amplificador fonte comum tem como consequência um ganho de tensão relativamente baixo.

Desta forma, os amplificadores com FET não podem competir com amplificadores com transistores bipolares, quando o ganho de tensão é fator preponderante.

1 - Monte o circuito da figura a seguir:



2 - Suponha que o FET usado no circuito tenha um ganho típico da ordem de $2.000\mu S$. Calcule o ganho de tensão sem carga (A), a tensão de saída (V_{out}) e a impedância de saída (r_{out}). Anote esses valores na tabela 1.

3 - Para o amplificador com carga infinita (sem o resistor de carga R_L), ajuste o gerador de áudio na entrada para 0,1Vpp a uma frequência de 1kHz.

4 - Observe o sinal na saída, o qual deve ser uma senoide amplificada. Meça e anote a tensão de saída de pico a pico. Depois calcule o ganho de tensão. Anote suas respostas na tabela 1.

5 - Ligue o potenciômetro de $4,7k\Omega$ como carga variável e ajuste a carga até que a tensão na saída seja a metade da tensão sem carga.

(procedendo desta forma, você estará encontrando a impedância Thévenin pelo método de casamento de impedâncias).



6 - Desligue o potenciômetro e meça sua resistência, anotando esse valor na tabela 1.

7 - Repita os passos 2 a 6 usando outro FET.

TABELA 1

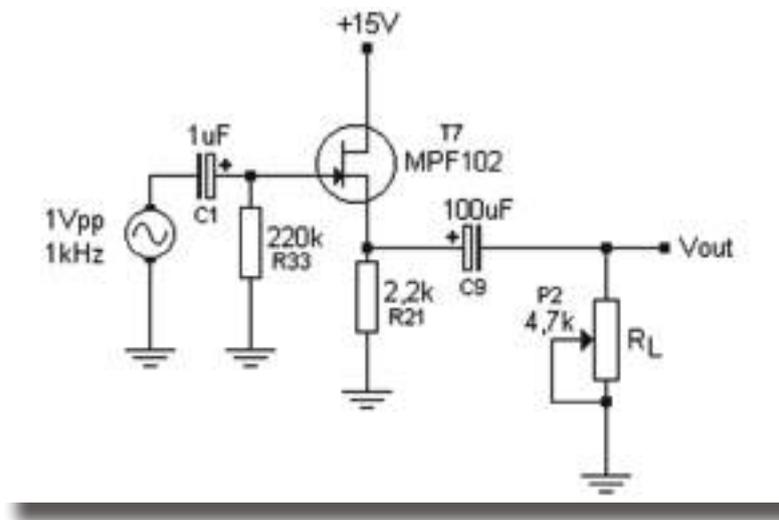
FET	VALOR CALCULADO			VALOR MEDIDO		
	V_{OUT}	A	r_{out}	V_{OUT}	A	r_{out}
1(T7)						
2(T8)						

SEGUIDOR DE FONTE (DRENO COMUM):

O amplificador dreno comum ou seguidor de fonte é análogo ao amplificador seguidor de emissor ou coletor comum. O ganho de tensão aproxima-se da unidade enquanto a impedância de entrada aproxima-se do infinito, limitada apenas pelos resistores externos conectados ao terminal *gate*.

É um circuito muito utilizado na entrada dos instrumentos de medida.

1 - Monte o circuito da figura abaixo:



2 - Suponha que o FET usado no circuito tenha um ganho típico da ordem de $2.000\mu S$. Calcule o ganho de tensão sem carga (A), a tensão de saída (V_{out}) e a impedância de saída (r_{out}). Anote esses valores na tabela 2.



3 - Para o amplificador com carga infinita (sem o resistor de carga R_L), ajuste o gerador de áudio na entrada para 1Vpp a uma frequência de 1kHz.

4 - Meça e anote a tensão de saída de pico a pico. Depois calcule o ganho de tensão. Anote suas respostas na tabela 2.

5 - Meça a impedância de saída pelo método de casamento de impedâncias, usado anteriormente.

6 - Desligue o potenciômetro e meça sua resistência, anotando esse valor na tabela 2.

7 - Repita os passos 2 a 6 usando outros FETs.

TABELA 2

FET	VALOR CALCULADO			VALOR MEDIDO		
	V_{OUT}	A	r_{out}	V_{OUT}	A	r_{out}
1(T7)						
2(T8)						

FORMULÁRIO:

Ganho de tensão (amplificador fonte comum):

$$A = -g_m R_D$$

Onde:

A = ganho de tensão sem carga

g_m = transcondutância

R_D = resistência de dreno

Resistência de saída (amplificador fonte comum):

$$r_s = 1/g_m$$

Resistência de saída (amplificador dreno comum):

$$r_s = R_S // 1/g_m$$



QUESTÕES:

1 - A principal vantagem de um amplificador com FET é:

- a. O Seu alto ganho de tensão;
- b. A sua baixa corrente de dreno;
- c. A sua alta impedância de entrada;
- d. O seu alto valor de transcondutância.

2 - Em relação a um amplificador convencional com transístor bipolar podem afirma que um amplificador com FET apresenta maior ganho de tensão:

- a. Certo
- b. Errado

3 - Em um FET de canal n em que condições ocorrem a saturação?

4 - O que é tensão de estrangulamento?

5 - Determine a corrente de dreno de um FET canal n com tensão de estrangulamento (V_p) = -3,75V; $I_{DSS} = 9\text{mA}$, para as seguintes tensões *gate-source* (V_{GS}): 0V; -1,15V; -1,5V; -1,75V e -2,3V (apresentar cálculos).



Tirístores SCRs – TRIACs

Introdução

O SCR (tiristor) é um componente eletrônico semicondutor que trabalha de forma semelhante a um diodo, ou seja, permite a passagem da corrente em um único sentido, mas no início de sua condução é regulado por um elétron especial, que recebe o nome de gate (porta).

O gate, através de um impulso elétrico, permite então a condução do SCR.

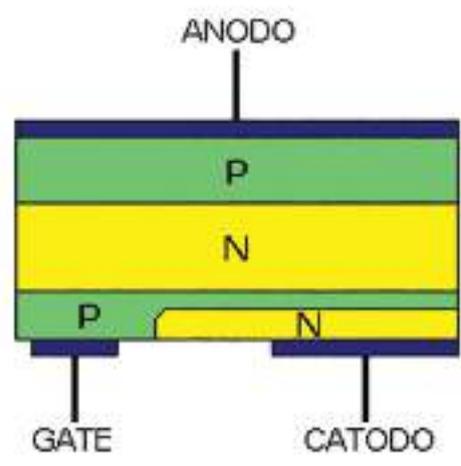
O SCR é formado por uma estrutura de 4 regiões semicondutoras PNPN. Se dividirmos essa estrutura em duas partes, veremos que cada uma delas forma um transistor.

O SCR (Silicon Controlled Rectifier) é conhecido como tiristor.

O nome tiristor é proveniente do inglês THYRISTOR (thyatron + transistor, onde o thyatron é um retificador a gás usado antigamente).

A aplicação principal do SCR está no chaveamento eletrônico, onde as tensões de bloqueio e controle de corrente de um transistor não são suficientes.

Veja a seguir a estrutura das quatro regiões semicondutoras de um tiristor ou SCR.



Observa-se na figura acima duas junções PN; a primeira forma o ânodo e a última o cátodo.

A região que fica junto ao cátodo é o gate (porta) que tem a função de levar o dispositivo à condução.

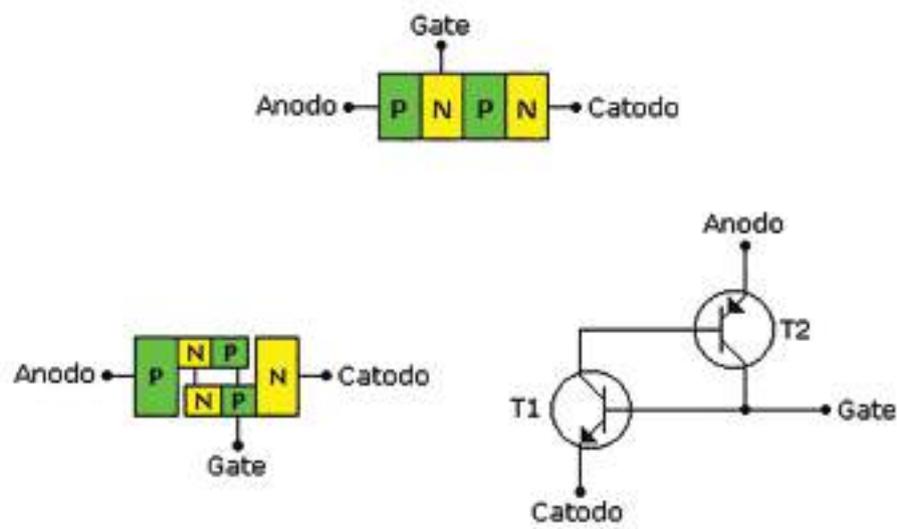


Como essas regiões são divididas em duas partes formando cada uma delas um transistor, observamos que temos um transistor PNP que é constituído pelo ânodo e suas regiões contíguas e um outro transistor NPN, que é constituído pelo cátodo e as duas regiões acima dele.

Esses transistores são unidos eletricamente nas seguintes regiões:

- A base do PNP com o coletor do NPN.
- O coletor do PNP com a base do NPN.

Veja na figura a seguir a estrutura dessa ligação.



O circuito assim obtido forma uma estrutura fortemente realimentada, e dessa forma, qualquer sinal de corrente aplicado ao gate é amplificado e sai pelo coletor do transistor NPN.

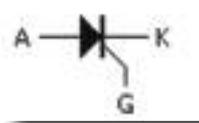
- O sinal é então aplicado à base do PNP e é amplificado novamente em seu coletor.
- Este coletor coincide com o terminal gate, fechando o ciclo de realimentação positiva.
- O crescimento muito rápido da corrente faz com que o dispositivo entre em saturação.
- Nestas condições temos entre o emissor do transistor PNP que coincide com o ânodo e o emissor do transistor NPN que forma o cátodo uma impedância muito pequena.



- e. Dessa forma a entrada em condução do SCR depende do sinal aplicado no gate.
- f. Uma vez em condução, o sinal aplicado na gate perde o controlo sobre a corrente que se forma entre o nodo e o cátodo, uma vez que, a própria realimentação interna mantém a condução.
- g. Pode-se portanto, suprimir o sinal de gate sem influir de modo algum sobre a condução do SCR.

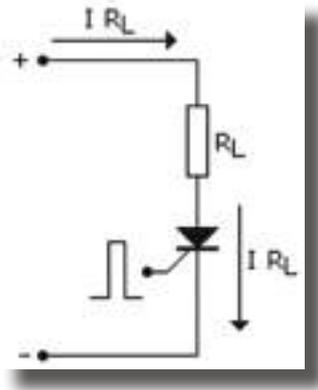
Para que o SCR entre em condução é necessário que o ânodo se torne mais positivo que o cátodo.

Simbologia:



Formas mais comuns de disparo de tirístores (scrs):

- Impulso de tensão positiva na gate. É o método mais usado.

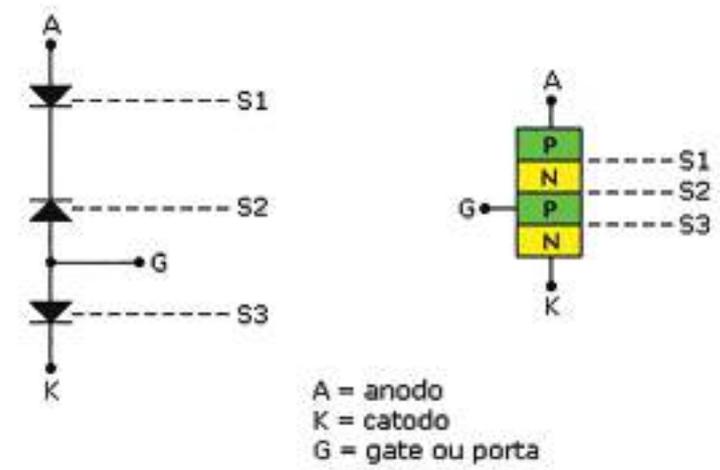


- Variação brusca da tensão A-K (dv/dt). Neste caso o SCR é disparado pelo efeito capacitivo das junções.
- Corrente de fuga. Nestas condições a corrente de fuga origina-se pelo excesso de temperatura.
- Luz. Caso específico de disparo para os foto tirístores.

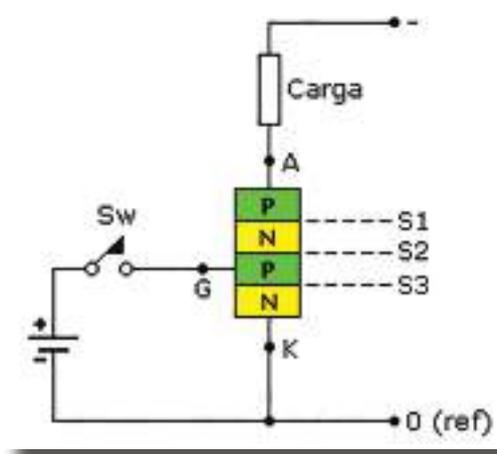
Modo simplificado de operação:

As junções formam 3 camadas que denominaremos de S1, S2 e S3, sendo representadas por díodos comuns, conforme ilustra a figura a seguir.





Analisaremos a seguir as condições de bloqueio e condução das camadas S1 a S3, através da aplicação de tensão positiva no gate através da chave Sw.



Não circulará corrente pelo circuito, mesmo com Sw acionada, pois S1 e S3 operam no bloqueio.

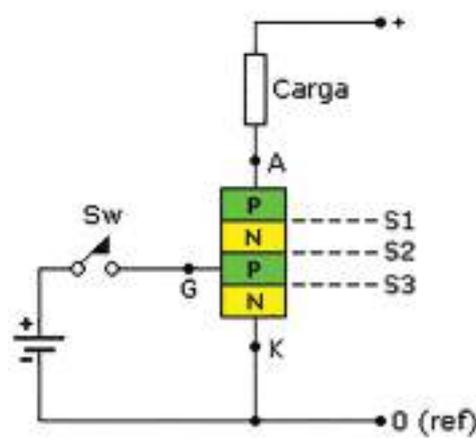
Acionando-se Sw, S3 será curto-circuitada

e na camada de bloqueio S1 ocorrerá total queda de tensão e a ação de bloqueio ainda continuará.

Com Sw aberta o tiristor estará bloqueado pois a secção de passagem S2 opera em bloqueio.

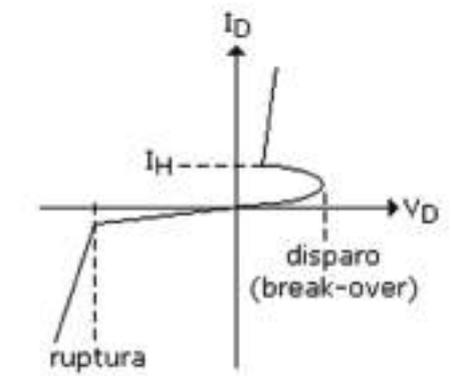
Acionando-se Sw o bloqueio de S2 será eliminado e o tiristor conduzirá, circulando corrente pela carga.





Nestas condições o tiristor comutou no sentido de condução (teoricamente A-K), passando a corrente pela carga.

Como vimos anteriormente, após a condução a tensão de gate pode ser removida, no entanto, para que as condições de condução sejam mantidas torna-se necessário uma pequena corrente de manutenção, que denominamos I_H (holding current).



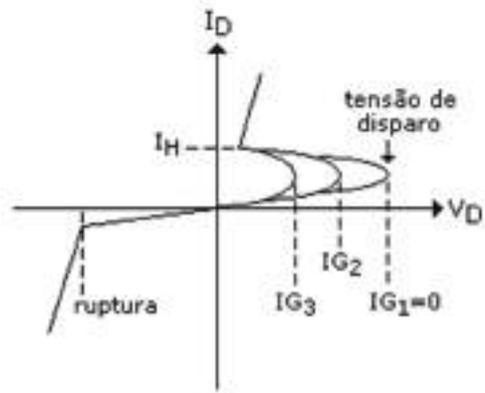
Uma corrente abaixo de I_H leva o SCR ou tiristor ao corte (condição de bloqueio).

FORMAS MAIS COMUNS PARA RETORNAR À CONDIÇÃO DE BLOQUEIO:

- Interrupção da corrente A-K.
- Redução de I_H .
- Aplicação de pulso negativo no gate.
- Curto momentâneo entre A-K.



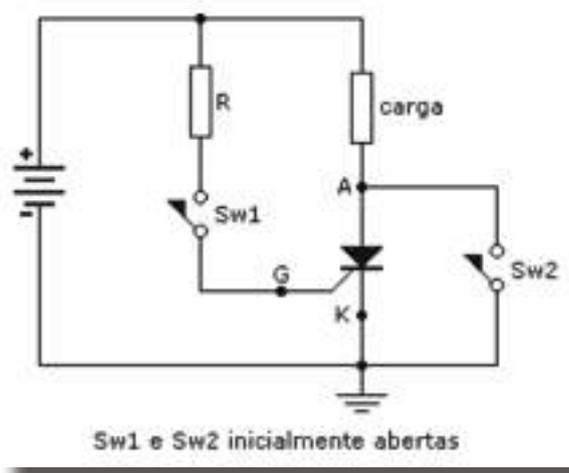
DISPARO POR CORRENTE DE GATE (I_G):



Nestas condições $IG3 > IG2 > IG1$

- Quando $IG=0$, a tensão aplicada deve atingir a tensão de disparo (break-over);
- Ao ser injetada uma corrente no gate, a tensão de disparo vai diminuindo;
- Isto significa que se pode disparar o SCR (tiristor) com tensões menores do que a tensão de disparo, controlando o disparo pela corrente aplicada no gate;
- Para que o SCR continue conduzindo a corrente ID não poderá ser reduzida abaixo de I_H .

CIRCUITO EXPERIMENTAL – SCR COMO CHAVE EM CIRCUITOS CC

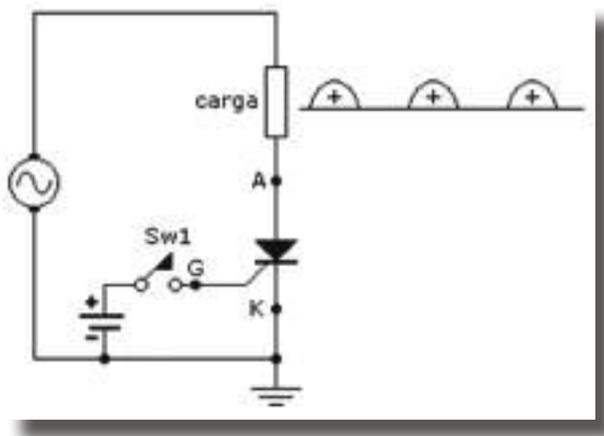


- Inicialmente não haverá corrente no SCR e na carga, pois teremos a condição de bloqueio;
- Fechando e abrindo Sw1, o SCR conduzirá e teremos corrente na carga e no SCR;
- Fechando-se Sw2, cessará a corrente no SCR e somente haverá corrente na carga;



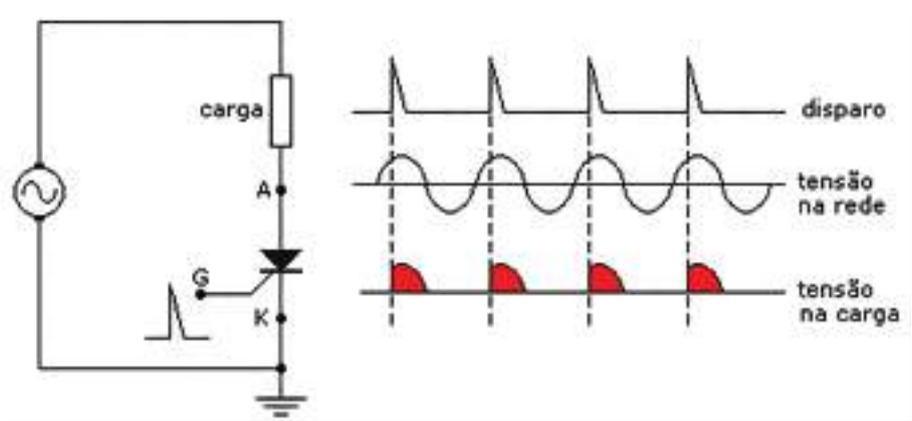
- Abrindo-se Sw2, não haverá corrente na carga e no SCR, pois voltará à condição inicial (bloqueio).

CIRCUITO EXPERIMENTAL: SCR CONTROLANDO AC



Se mantivermos o SCR disparado (basta para isso comutar Sw1), somente os semiciclos positivos são conduzidos e aparecerão na carga.

No entanto, podemos aplicar um pulso de tensão no gate de tal forma a fazê-lo conduzir apenas por alguns instantes.

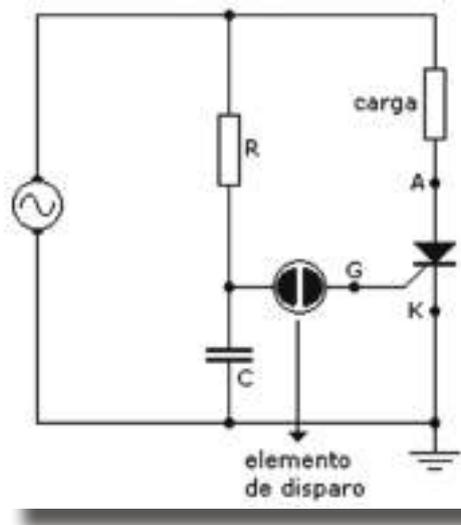


Observa-se que em virtude dos pulsos de disparo, o SCR começou a conduzir depois de iniciado o semiciclo positivo da tensão da rede. Durante o semiciclo negativo o SCR não conduz.

Com isto a tensão na carga ficou reduzida a pouco mais da metade do semiciclo positivo. Pode-se com isto reduzir a potência desenvolvida na carga.



O SCR pode ser usado também operar com um dispositivo de controlo, que permite controlar a potência desenvolvida na carga.



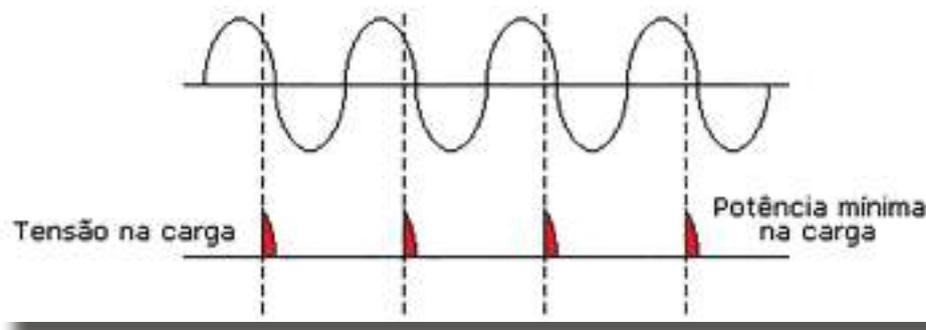
A tensão de disparo do SCR é alcançada em função do tempo de carga do condensador C através do resistor R.

Supondo que essa tensão seja alcançada logo no início do semiciclo, o SCR dispara e conduz praticamente todo o semiciclo para a carga, que então recebe a potência máxima.

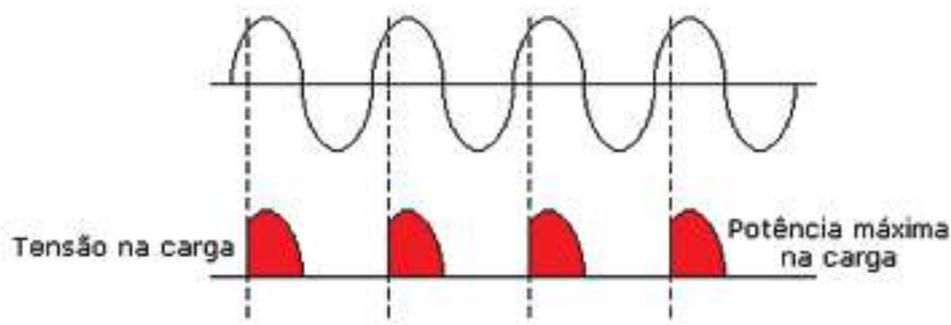
Se o valor de R for grande, a constante de tempo aumentará e a tensão de disparo só é alcançada no final do semiciclo, que corresponde a uma potência menor ou mínima.

Por outro lado, se mantivermos o SCR com seu gate continuamente polarizado por meio de uma fonte externa, o SCR disparará tão logo tenhamos por volta de 2V entre o ânodo e cátodo, fazendo com que na carga apareça apenas os semiciclos positivos.

A figura a seguir mostra a condição de disparo no final do semiciclo, onde a potência desenvolvida na carga é mínima.



A figura a seguir mostra a condição de disparo no início do semiciclo, onde a potência desenvolvida na carga é máxima.



CONCLUSÃO:

Modificando-se o ângulo de disparo do semiciclo (início, meio ou fim), controla-se a potência desenvolvida na carga.

Como o ângulo de disparo pode ser controlado pela constante RC, se substituirmos R por um potenciômetro, podemos variar a potência na carga, como por exemplo, o controle de luminosidade de lâmpadas incandescentes.

O SCR atua como uma espécie de relê eletrônico, ligando e desligando uma carga a partir de pequenas correntes; é o caso específico do circuito controlador AC visto anteriormente, onde, mantendo a polarização de gate fixa e aplicando-se AC à entrada, na carga estarão presentes somente os semiciclos positivos.

Lembrar que, com polarização de gate externa, o SCR começará a conduzir quando entre ânodo e cátodo tivermos uma tensão de aproximadamente 2 volts.

INTERFERÊNCIAS:

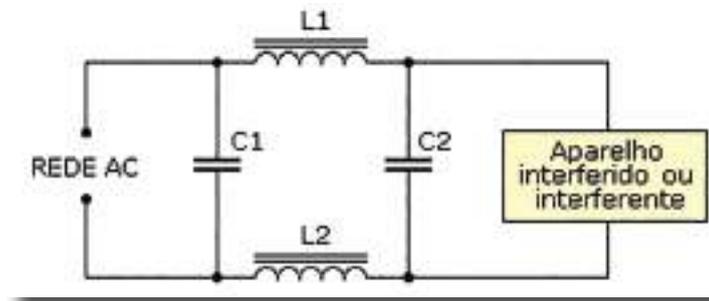
Como o SCR é um dispositivo de comutação rápida, durante o processo de comutação são gerados sinais indesejáveis propagando-se pelo espaço ou pela própria rede de alimentação interferindo em receptores de rádio e televisores.

Circuitos que utilizam SCRs causam interferências e estas devem ser eliminadas. A forma mais comum de se eliminar interferências, tanto do aparelho interferido ou interferente é a utilização de um filtro, que serve para evitar essas interferências através da rede.

No caso das interferências que se propagam pelo espaço na forma de ondas eletromagnéticas, o aparelho interferente deve ser blindado, ligando-se sua carcaça ou chassi à terra.



A figura a seguir mostra um filtro muito utilizado para evitar interferências que se propagam pela rede de alimentação.



$C1 = 100\text{nF}/400\text{V}$

$C2 = 100\text{nF}/400\text{V}$

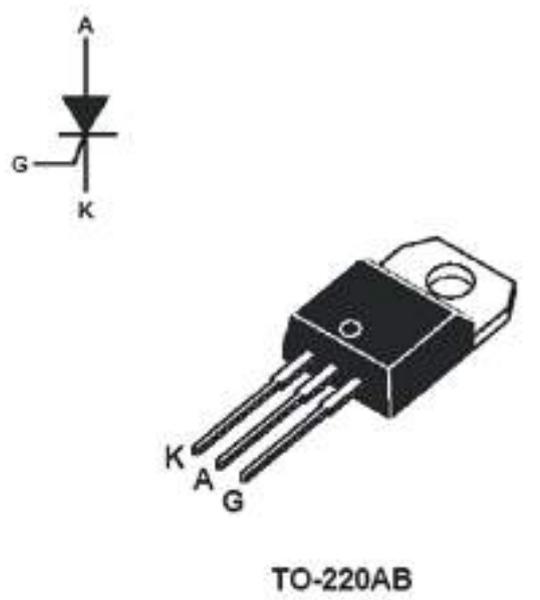
$L1 = L2 = 50$ a 60 espiras de fio de cobre esmaltado bitola 18, enrolados num bastão de ferrite $10\text{mm}\varnothing$, com 5 a 10cm de comprimento.

Ligado em série com o aparelho interferido, o filtro evita que os sinais interferentes que venham pela rede cheguem até ele.

Ligado em série com o aparelho interferente (que usa o SCR), o filtro evita que as interferências geradas saiam do aparelho e se propaguem pela rede.

A figura a seguir mostra um SCR com encapsulamento TO-220AB (plástico), fabricado pela STMicroelectronics.

Sua corrente de operação é de 10A e sua tensão de trabalho pode variar de 200V até 1.000V (TYN210= 200V ; TYN410= 400V ; TYN610= 600V ; TYN810= 800V e TYN1010= 1.000V).



Um outro SCR muito usado é o TIC 106, cuja corrente de operação é de 5A, para uma tensão de trabalho que varia de acordo com a letra que lhe é atribuída:

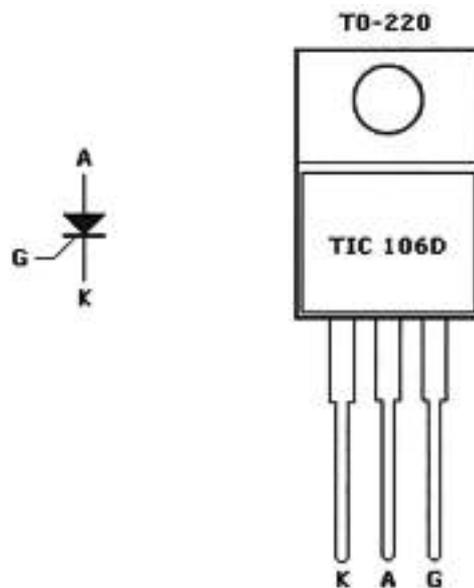
TIC 106D = 400V

TIC 106M = 600V

TIC 106S = 700V

TIC 106N = 800V

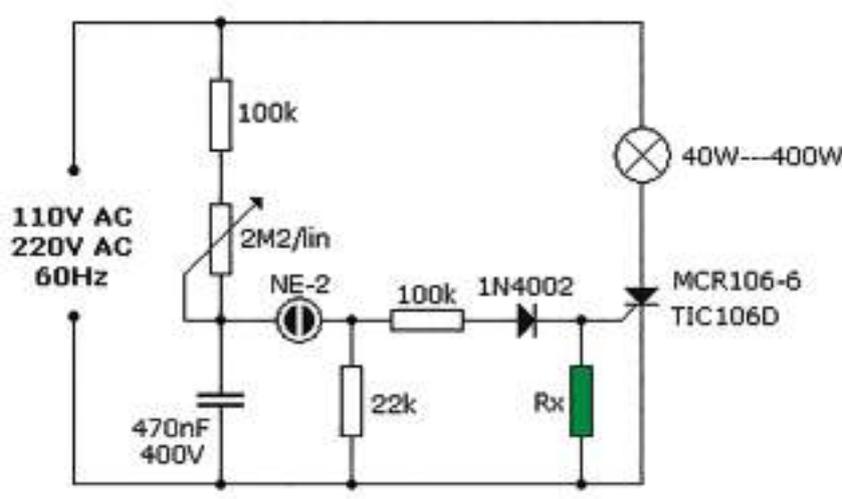
A figura a seguir mostra o aspeto físico do TIC 106, visto por cima; tanto o TIC 106 como o SCR mostrado anteriormente (TYN) tem o seu ânodo (A) interligado internamente à parte metálica que serve para acoplá-lo mecanicamente a um dissipador de calor.



Circuito prático

SINALIZADOR

Com a montagem do circuito abaixo poderemos conseguir piscadas lentas, uma cada 10 segundos, ou mais rápidas, até apenas algumas por segundo. O projeto pode ser usado como lâmpada sinalizadora de portões, garagens, topo de torres, etc.



Os resistores são de 1/4W de dissipação.



Caso seja utilizado o SCR TIC106D (Texas) o resistor Rx deve ser acrescentado ao circuito (seu valor típico é da ordem de $1k\Omega$ a $22k\Omega$).

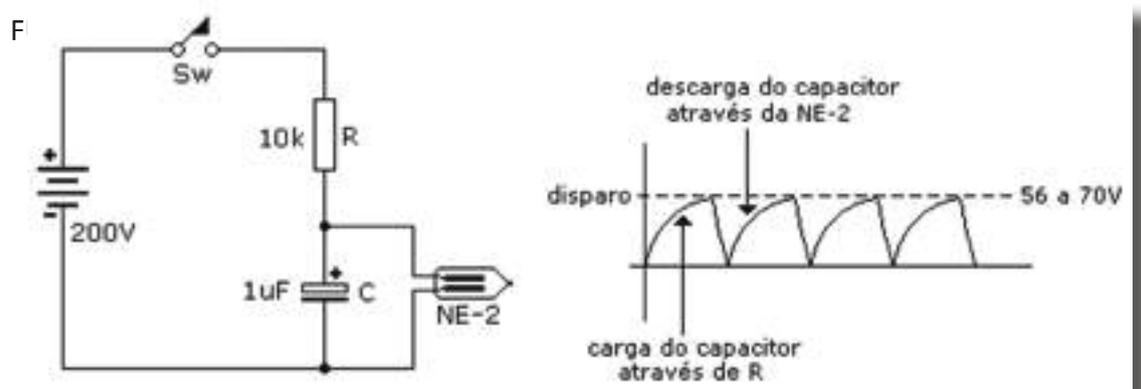
Esse resistor tem por finalidade evitar o disparo acidental do SCR, pela corrente de fuga que pode originar-se devido a uma tensão muito alta entre ânodo e cátodo. Para o SCR MCR106-6 (Motorola) não há necessidade desse resistor.

O condensador carrega-se através do potenciômetro e do resistor de $100k$, até atingir uma determinada tensão, suficiente para disparar a lâmpada néon NE-2.

A NE-2 tem uma tensão de disparo da ordem de $70V$.



A figura a seguir mostra um circuito oscilador (relaxação) com lâmpada Néon NE-2 (disparo entre 56 a $70V$).



- Quando Sw é acionada o condensador começa a carregar-se através de R, até atingir a tensão de disparo da NE-2;
- Quando ocorre o disparo, a resistência entre os eletrodos da NE-2 torna-se praticamente nula, fazendo com que o condensador descarregue-se através dela;
- Como resultado, temos a forma de onda mostrada ao lado, onde se observa que o tempo de carga é maior do que o tempo de descarga, levando-se em conta as constantes de tempo RC.

A constante de tempo de carga é:

$$\tau = RC = (10 \cdot 10^3) \times (1 \cdot 10^{-6}) = 10\text{ms.}$$



Quando a lâmpada néon dispara a resistência entre seus eletrodos é da ordem de alguns ohms, por isso, o tempo de descarga é infinitamente menor.

Dessa forma origina-se uma onda com o aspecto de uma “dente de serra”.

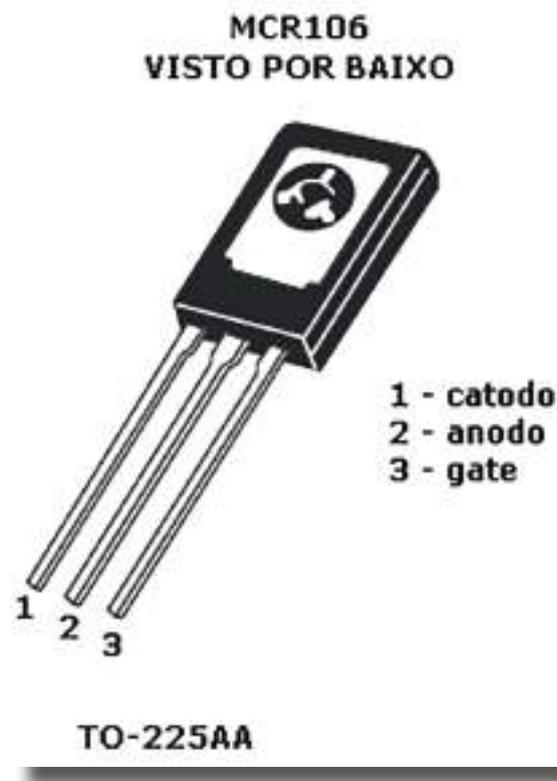
O díodo 1N4002, evita que picos de tensão negativos cheguem ao gate, evitando que o tiristor seja momentaneamente bloqueado, em outras palavras, evita a inversão da corrente de gate.

Se for usada uma lâmpada até 40W não é necessário utilizar um dissipador de calor para o SCR; acima disso um dissipador de calor com bom acoplamento térmico torna-se necessário.

O potenciômetro de 2M2 ajusta a velocidade das piscadas da lâmpada, ou seja, a frequência. O condensador a ser utilizado é do tipo cerâmico ou poliéster, com isolamento mínima de 400V.

Em virtude do circuito não ser isolado da rede, o mesmo deve ser manuseado com cuidado para evitar choques elétricos.

A figura a seguir mostra o aspecto físico do SCR MCR106-6.

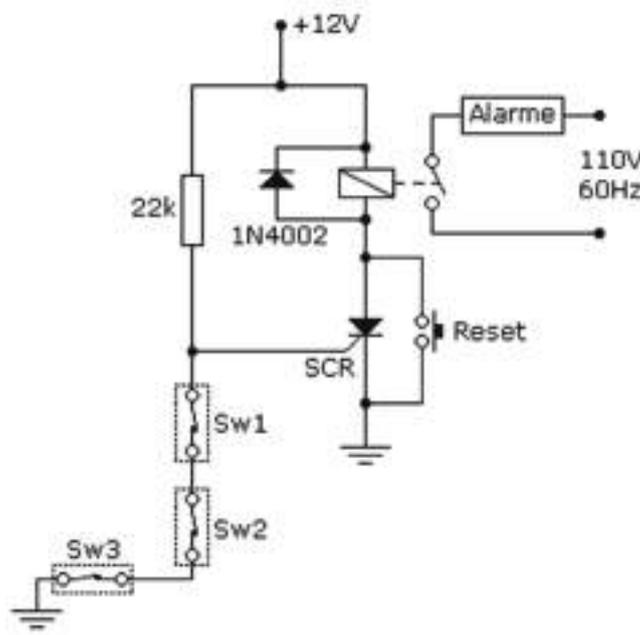


O MCR106 é fabricado pela Motorola e apresenta duas tensões de operação:

MCR106-6 – 400V.

MCR106-8 – 600V.

APLICAÇÃO: ALARME 1



O circuito mostra um dispositivo de alarme simples. Quando qualquer uma das chaves Sw1 a Sw3 (reed-switch) for acionada o SCR dispara, fazendo com que o rele atraque, acionando um alarme.

As chaves Sw1 a Sw3 estão normalmente fechadas, levando o gate a zero, e portando o SCR estará bloqueado.

Quando qualquer uma delas for acionada, ou seja aberta, o gate receberá o impulso proveniente da alimentação através do resistor de 22k, disparando o SCR.

O díodo 1N4002 em paralelo com o relê tem por finalidade proteger sua bobina contra os surtos de tensão durante a retração do campo magnético.

Para levar o SCR à condição de bloqueio, e conseqüentemente desativar o alarme, basta pressionar a chave “reset”.



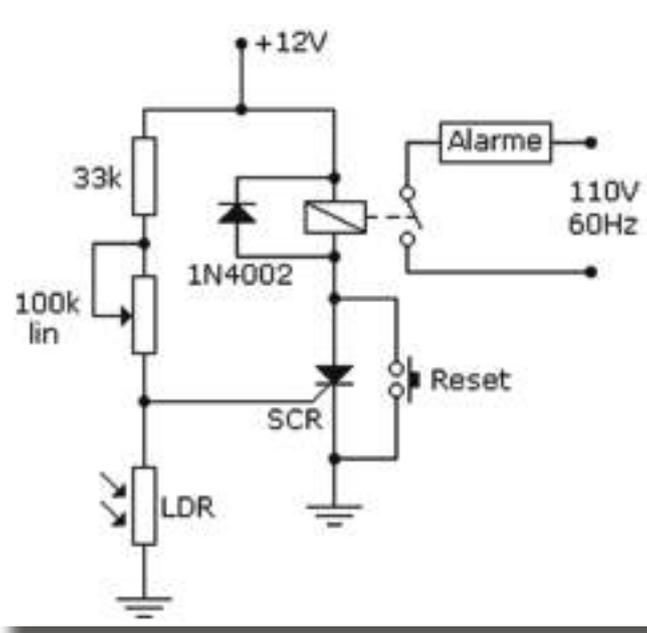
APLICAÇÃO: ALARME 2

O circuito a seguir tem o funcionamento idêntico ao primeiro, exceto que, o disparo ocorre quando não existe iluminação sobre o LDR.

Quando o LDR está iluminado sua resistência é baixa, fazendo com que o SCR opere no bloqueio.

Quando a iluminação é interrompida (por exemplo, corte de um feixe luminoso) a resistência do LDR aumenta, aumentando a tensão e corrente de gate, levando o SCR à condução. Nestas condições o relê atraca e o alarme é acionado.

Para interromper o alarme basta pressionar o botão “reset” como no caso anterior.



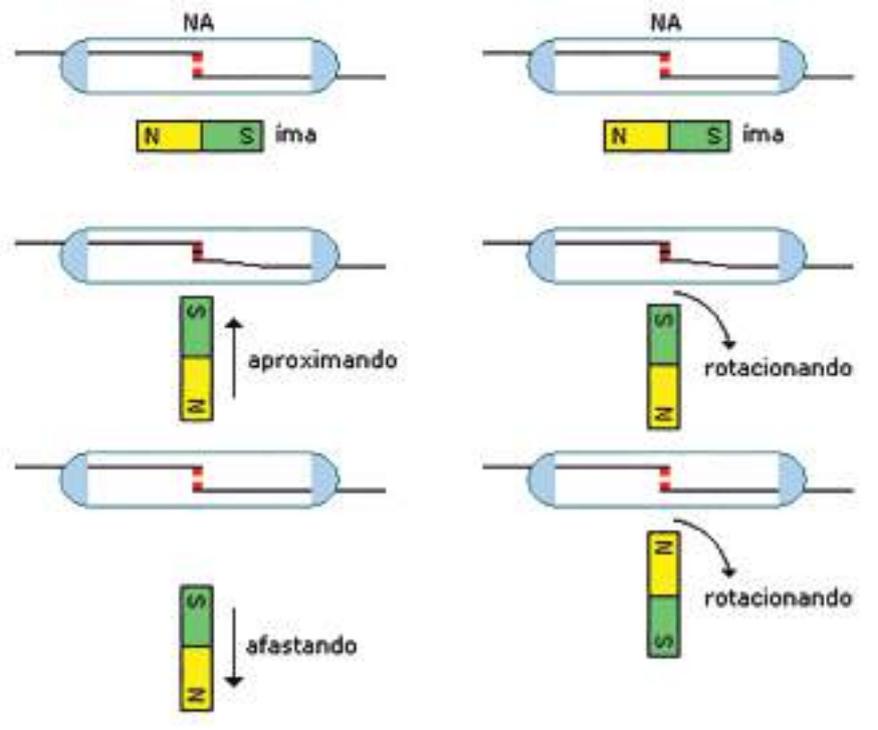
COMO FUNCIONA O REED-SWITCH

Um interruptor magnético de lâminas (reed-switch) é um dispositivo que contém duas lâminas flexíveis de material ferromagnético (NiFe), seladas hermeticamente dentro de uma cápsula de vidro que é preenchida com um gás inerte.

Essa atmosfera de gás inerte protege as regiões de contato elétrico das lâminas impedindo as oxidações. As lâminas estão sobrepostas, porém separadas por um pequeno espaço. As regiões que entrarão em contato são folheadas com um metal nobre tal como ródio ou rutênio, de modo a proporcionar características elétricas estáveis e de notável longevidade.

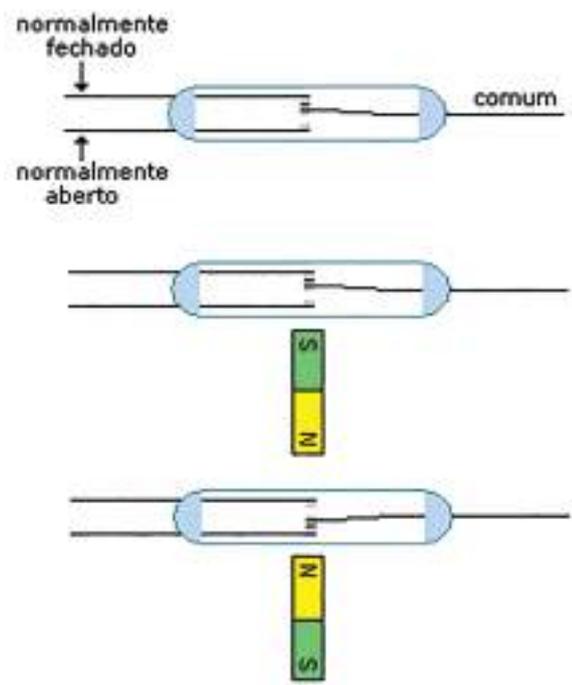


A figura a seguir mostra o aspecto de um “reed-switch” e suas características de funcionamento.



NA = normalmente aberto.

A figura a seguir mostra um reed-switch com dois contatos, onde em relação ao eletrodo comum, um é NA e outro NF (normalmente aberto e normalmente fechado respectivamente).



A lâmina que representa o eletrodo comum movimenta-se de acordo com a polaridade magnética que lhe é imposta externamente.

APLICAÇÃO: CARREGADOR DE BATERIA

O circuito a seguir mostra o SCR atuando como regulador de carregador de bateria, ou seja, indicador de bateria carregada.

FUNCIONAMENTO:

1 – D1 e D2, formam um retificador de onda completa.

2 – Quando a tensão da bateria for baixa, o diodo zener não conduz, pois a tensão V_r (referência) é baixa para permitir a condução do mesmo.

3 – Nestas condições o diodo zener é efetivamente um circuito aberto, mantendo assim o SCR2 desligado.

4 – Quando a bateria começa a carregar-se sua tensão vai aumentando e aumenta também a tensão de referência V_r , fazendo com que o diodo zener conduza, disparando SCR2.

5 – Assim, SCR2 corresponderá a um curto-circuito, resultando no divisor de tensão formado por R1 e R2, que manterá a tensão V_2 em um nível muito baixo, não permitindo mais a condução de SCR1.

Lembrar que, o diodo D3 somente conduzirá se o seu ânodo for mais positivo do que o cátodo.

Quando o SCR2 dispara, praticamente temos a metade da tensão em V_2 , devido aos resistores que formam o divisor de tensão (R1 e R2) serem iguais. Em relação à tensão na saída do retificador (que alimenta o ânodo de SCR1) e a tensão V_2 , a tensão no ânodo de D3 é menos positiva do que a tensão no seu cátodo.

6 – Quando isto ocorre, indica que a bateria está completamente carregada e como o SCR1 está bloqueado, resultará na interrupção da corrente de carga.

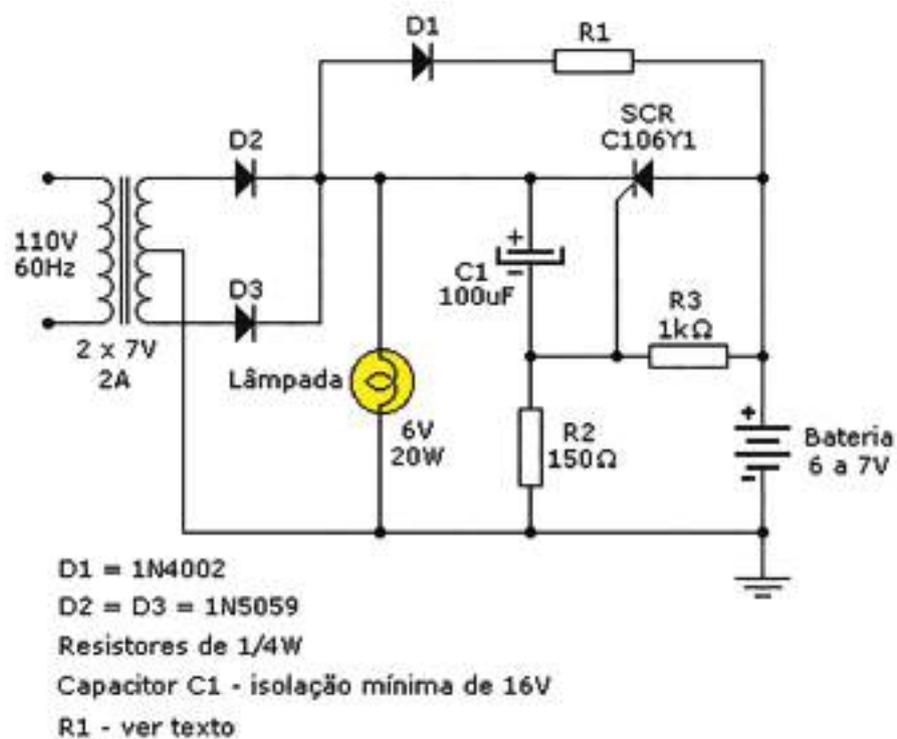


7 – O condensador C1 evita oscilações bruscas de tensão, evitando o disparo acidental de SCR2.

8 – CONCLUSÃO: o regulador (controle) recarrega a bateria sempre que a tensão cai e evita a sobrecarga quando ela está completamente carregada.

APLICAÇÃO: ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA

O circuito mostrado a seguir é um sistema de iluminação de emergência, que tem por objetivo manter a carga de uma bateria de 6V (pode ser utilizada também uma bateria de *moto* ou de *no-break*).



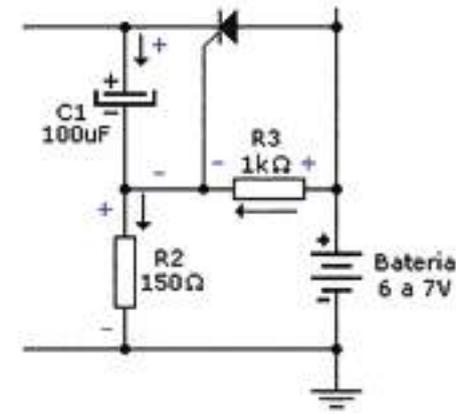
Na falta de energia elétrica o sistema entra em ação e a lâmpada de 6V continua funcionando através da bateria.

FUNCIONAMENTO:

- Enquanto houver energia, a lâmpada estará acesa devido ao retificador de onda completa formado pelos díodos D2 e D3.



- O condensador C1 carregará até uma tensão aproximadamente igual a tensão de pico do retificador de onda completa e a tensão nos terminais de R2 que é produzida pela bateria de 6V.



- Em qualquer situação o potencial no cátodo do SCR é mais alto do que no ânodo e a tensão gate-cátodo é negativa, garantindo o bloqueio do SCR.
- Nestas condições a bateria está sendo carregada através de D1 e R1. O valor de R1 neste caso deve ser escolhido em função da carga desejada para a bateria e da potência, uma vez que é ele que determina a taxa de carga da bateria. Lembrar que, a bateria estará sendo carregada apenas quando o ânodo de D1 for mais positivo do que seu cátodo.
- Havendo falta de energia, o condensador C1 se descarregará através de D1, R1, R3 e R2 e também pela resistência da lâmpada, até que o cátodo do SCR seja menos positivo do que o seu ânodo e ao mesmo tempo, o nó formado pelos resistores R2 e R3 se tornará positivo, estabelecendo uma tensão suficiente no gate-cátodo do SCR para dispará-lo.
- Uma vez disparado, a bateria se descarregará através do SCR mantendo a lâmpada acesa.
- Ao voltar a energia, o condensador C1 voltará a carregar-se, retornando à situação inicial, restabelecendo o bloqueio do SCR.



A figura a seguir mostra o aspecto físico de tiristores de alta corrente e portanto, alta potência, produzindo alta dissipação de calor. Os mesmos possuem corpo metálico dotados de rosca para fixação em dissipador de calor.

 <p>SKT 10 SEMIKRON Corrente de operação (I_{TAV}) – 10A Corrente máxima (I_{TRMS}) 30A Tensão (V_{RRM}, V_{DRM}) SKT 10/06D = 600V SKT 10/08D = 800V SKT 10/12E = 1.200V</p>	 <p>SKT 40 SEMIKRON Corrente de operação (I_{TAV}) – 40A Corrente máxima (I_{TRMS}) 63A Tensão (V_{RRM}, V_{DRM}) SKT 40/04D = 400V SKT 40/06D = 600V SKT 40/08D = 800V SKT 40/12E = 1.200V SKT 40/14E = 1.400V SKT 40/16E = 1.600V SKT 40/18E = 1.800V</p>	 <p>SKT 300 SEMIKRON Corrente de operação (I_{TAV}) – 300A Corrente máxima (I_{TRMS}) 550A Tensão (V_{RRM}, V_{DRM}) SKT 300/04D = 400V SKT 300/08D = 800V SKT 300/12E = 1.200V SKT 300/14E = 1.400V SKT 300/16E = 1.600V</p>
--	--	--

Significado de alguns parâmetros importantes:

I_{TRMS} = máxima corrente alternada eficaz condutível

I_{TAV} = máxima corrente contínua em condução

V_{TM} = tensão direta máxima em condução (180°)

V_{RRM} , V_{DRM} = tensão reversa máxima repetitiva aplicável sem produzir condução. Em outras palavras, é a tensão máxima que pode aparecer nos terminais de um SCR quando ele se encontra desligado. Essa tensão é denominada também de *tensão de trabalho*.

V_{RSM} = tensão reversa máxima de surto (pode ocorrer a destruição do tiristor).

I_{GT} = corrente mínima de gate para produzir condução

I_{GD} = corrente máxima de gate aplicável sem produzir condução



V_{GT} = tensão de gate necessária para produzir condução

V_{Gtmax} = tensão de gate máxima para condução

V_{Gtmin} = tensão de gate mínima para garantir corrente de condução

Quando as correntes e potências envolvidas são mais elevadas, são utilizados tirístores (SCRs) com formato tipo “cápsula” (Capsule Thyristor), conforme ilustra a figura a seguir:

		
<p>SKT 240 – SEMIKRON</p> <p>Corrente de operação (I_{TAV}) – 240A</p> <p>Corrente máxima (I_{TRMS}) 600A</p> <p>Tensão (V_{RRM}, V_{DRM})</p> <p>SKT 240/04E = 400V</p> <p>SKT 240/08E = 800V</p> <p>SKT 240/12E = 1.200V</p> <p>SKT 240/14E = 1.400V</p> <p>SKT 240/16E = 1.600V</p> <p>SKT 240/18E = 1.800V</p>	<p>SKT 551 SEMIKRON</p> <p>Corrente de operação (I_{TAV}) – 550A</p> <p>Corrente máxima (I_{TRMS}) 1.200A</p> <p>Tensão (V_{RRM}, V_{DRM})</p> <p>SKT 551/08E = 800V</p> <p>SKT 551/12E = 1.200V</p> <p>SKT 551/14E = 1.400V</p> <p>SKT 551/16E = 1.600V</p> <p>SKT 551/18E = 1.800V</p>	<p>SKT 2400 SEMIKRON</p> <p>Corrente de operação (I_{TAV}) – 2.400A</p> <p>Corrente máxima (I_{TRMS}) 5.700A</p> <p>Tensão (V_{RRM}, V_{DRM})</p> <p>SKT 2400/12E = 1.200V</p> <p>SKT 2400/14E = 1.400V</p> <p>SKT 2400/16E = 1.600V</p> <p>SKT 2400/18E = 1.800V</p>

PERGUNTAS E RESPOSTAS SOBRE TIRISTORES (SCRs)

- Além da condução através do gate, existe outro meio de colocar em estado de condução um tiristor?

O tiristor entra também em condução mediante a aplicação de uma tensão superior a um certo nível, entre o ânodo e o cátodo.

- Como se pode bloquear o tiristor quando este se acha no estado de condução?



Mediante a aplicação de uma corrente inversa entre ânodo a cátodo. O tempo dessa aplicação deve ser superior ao “tempo de bloqueio”.

- Qual é a principal aplicação dos tirístores?

A retificação controlada das tensões alternadas, com a possibilidade de variar o ângulo de condução, ou seja, variando-se o ângulo de condução obtém-se um sistema chamado de “controlo de fase”.

- De que modo se pode decompor o tiristor para analisar o seu funcionamento?

Em dois transístores, um PNP e outro NPN. Ligam-se respetivamente, a base e o coletor do primeiro ao coletor e à base do segundo.

- A que região da estrutura é ligado o eletrodo de controlo do gate do tiristor?

É ligado na região que se acha em contato com o cátodo.

- A corrente que atravessa o tiristor pode ser controlada pelo sinal de gate?

Não. O sinal do gate provoca somente o disparo do componente, ou mais precisamente, sua entrada em condução. A partir daí perde qualquer possibilidade de controlo sobre o tiristor.



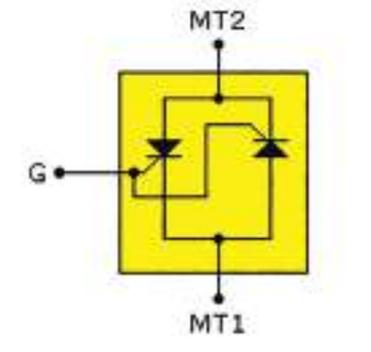
TRIACs

Introdução

O TRIAC é um componente semicondutor que nasceu da necessidade de se dispor de um interruptor controlado, que apresentasse as características funcionais de um SCR, mas que permitisse o controlo do ciclo completo da corrente alternada.

A palavra TRIAC é uma abreviação da denominação inglesa *Triode AC* que significa tríodo para corrente alternada. Como o próprio nome indica, o componente dispõe de três eletrodos.

O circuito equivalente é mostrado na figura a seguir.



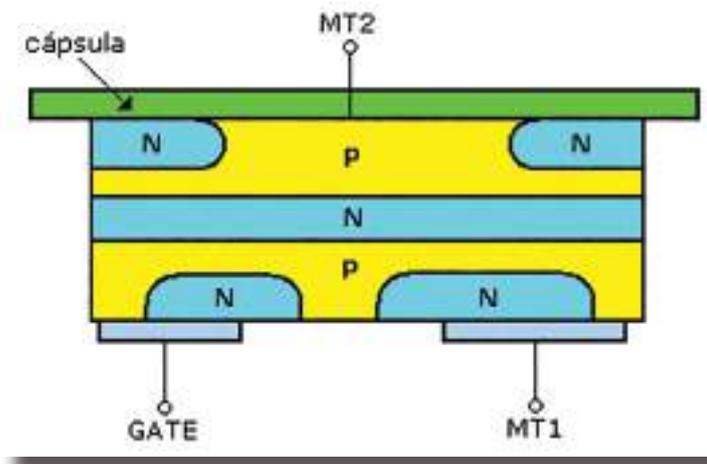
Para se conseguir a operação em AC, utiliza-se dois SCRs em ligação antiparalela.

MT2 = terminal principal 2 (Main Terminal 2)

MT1 = terminal principal 1 (Main Terminal 1)

G = gate ou porta

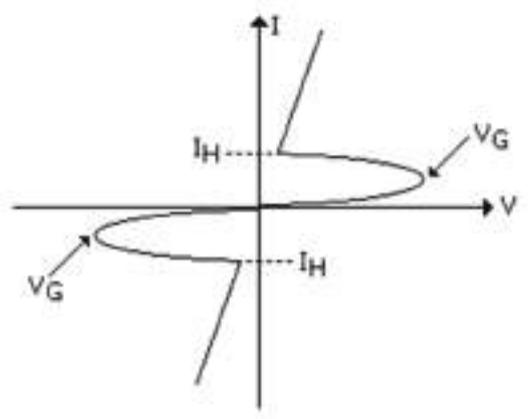
Veja na figura a seguir a estrutura interna de um TRIAC.



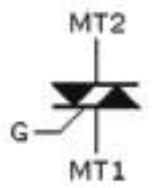
A sua estrutura compõe-se de dois sistemas interruptores, sendo um PNP e outro NPN, ligados em paralelo. Seu circuito equivalente é composto de dois SCRs complementares, ou seja, ligados em paralelo com polaridade invertida.

Observa-se no desenho os dois eletrodos principais MT2 e MT1, que neste caso não são denominados ânodo e cátodo, pois trabalham com dupla polaridade na tensão alternada.

As curvas características assemelham-se as dos SCRs exceto que o TRIAC conduz nos quadrantes I e III.



A simbologia normalmente utilizada para o TRIAC é mostrada a seguir.



A figura a seguir mostra o aspecto físico de um TRIAC largamente utilizado, o TIC 226.



ESPECIFICAÇÕES PARA O TIC 226

Corrente de operação RMS = 8A

TIC 226D = tensão de trabalho: 400V

TIC 226M = tensão de trabalho: 600V

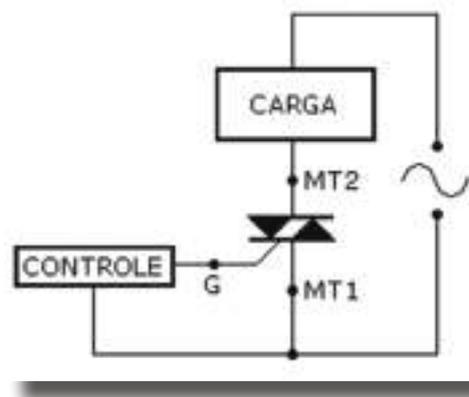
TIC 226S = tensão de trabalho: 700V

TIC 226N = tensão de trabalho: 800V

OBS: o terminal MT2 para esse tipo de TRIAC é interligado à base metálica do mesmo, a qual deve ser acoplada a um dissipador de calor, caso o mesmo opere com correntes e potências elevadas.

A figura a seguir mostra uma forma de ligar um TRIAC.

Usa-se apenas em corrente alternada (AC), e sua forma clássica de disparo é aplicando-se uma tensão positiva ou negativa no gate, o que permite fazer com que o mesmo dispare em qualquer dos semiciclos.



Tensão típica de disparo: 2V

Corrente de disparo: entre 10 e 200mA

FORMAS DE DISPARO:

Existem 4 modos diferentes para disparo de um TRIAC, levando-se em conta que o referencial é sempre o MT1.

- Neste caso o terminal MT2 estará positivo em relação a MT1: tensão de gate positiva, provocando a entrada de corrente através deste terminal cujo sentido é considerado positivo;



- Neste caso o terminal MT2 estará positivo em relação a MT1: a corrente de gate sai do componente e neste caso temos uma tensão de gate negativa;
- Neste caso o terminal MT2 estará negativo em relação a MT1: e a tensão de gate positiva, ou seja, com a corrente entrando no componente;
- Neste caso o terminal MT2 estará negativo em relação a MT1: e a tensão de disparo será através de um pulso negativo.

Nas modalidades 1 e 4 obtém maior sensibilidade de disparo para o TRIAC em relação às outras possibilidades.

Na modalidade 3 a sensibilidade é decididamente menor e na modalidade 2 é ainda mais reduzida. Na modalidade 2 somente deverá ser utilizada em TRIACs concebidos especialmente para esse fim.

ESPECIFICAÇÕES MAIS COMUNS PARA OS TRIACs:

Da mesma forma que nos SCRs precisamos conhecer alguns parâmetros dos TRIACs para o desenvolvimento de projetos:

Tensão máxima de trabalho (V_{DRM}):

É máxima tensão que pode aparecer nos terminais de um TRIAC, quando ele se encontra no estado de não condução (desligado). Para a maioria dos casos esse valor refere-se à tensão de pico de uma tensão senoidal, já que a aplicação principal do dispositivo é em tensões alternadas.

Corrente máxima (I_{TRMS}):

Trata-se do valor eficaz da corrente alternada

Corrente de disparo (I_{GT}):

É a corrente necessária para disparar o TRIAC. É muito importante saber o máximo valor dessa corrente, geralmente especificada pelo fabricante, para evitar danos ao mesmo.

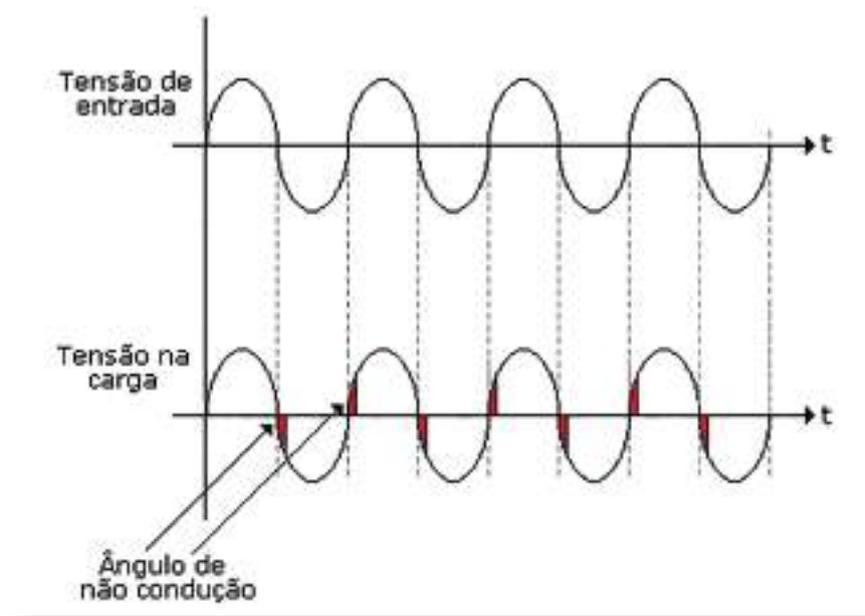


DIFERENÇA IMPORTANTE ENTRE SCRs E TRIACs:

A diferença mais importante entre o funcionamento de um TRIAC e de um SCR é que o SCR somente conduzirá pelo período de meio ciclo, quando for corretamente disparado, bloqueando-se quando a corrente muda de polaridade; no TRIAC essa condução se dá nos dois semiciclos e somente ocorrerá o bloqueio quando a corrente passa pelo valor zero (ou muito próximo a ele).

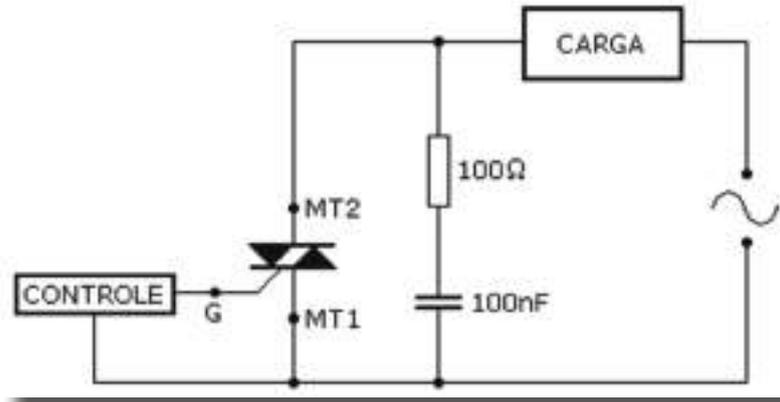
Isto implica numa pequena perda do ângulo de condução, mas não acarreta problemas se a carga for resistiva, onde temos a corrente em fase com a tensão.

No caso de cargas reativas enrolamento de um motor, por exemplo), é preciso levar em conta no esquema do circuito que, no momento em que a corrente passa pelo zero, não coincide com a mesma situação da tensão aplicada. Isto acontece porque nesses momentos ocorre impulsos de tensão entre os dois terminais do TRIAC.

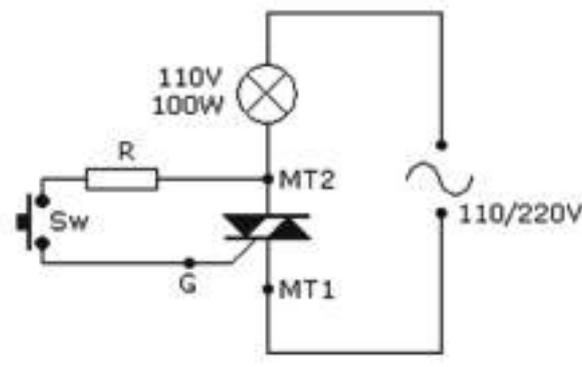


A figura a seguir ilustra uma maneira de contornar esse problema, bastando para isso, acrescentar em paralelo com o TRIAC uma resistência e um condensador ligados em série, com valores típicos da ordem de 100Ω e 100 nF respectivamente.



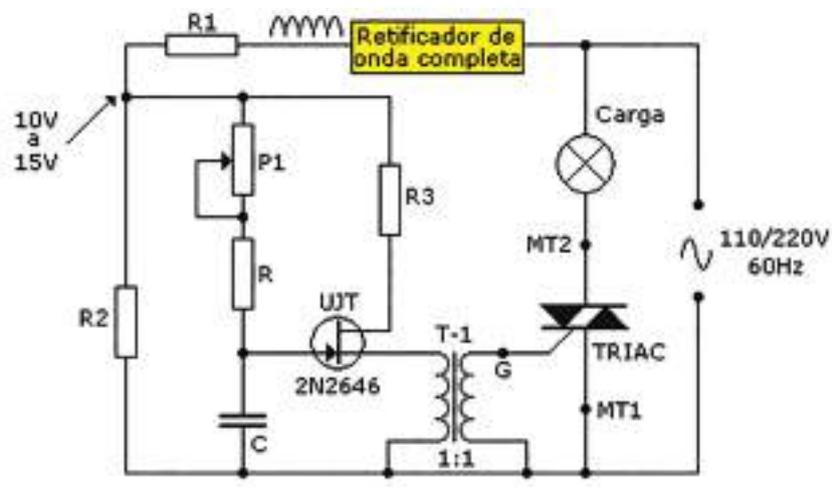


Um circuito bastante comum é um interruptor eletrônico com TRIAC conforme ilustra a figura a seguir.



Quando Sw é acionada, teremos uma corrente de disparo que liga o TRIAC nos dois semiciclos da corrente alternada, alimentando assim a lâmpada.

O circuito acima não permite uma variação da potência na carga, no entanto, é possível variar a potência na carga, variando-se o ângulo de condução de cada um dos semiciclos, mediante pulsos de disparo obtidos através de circuitos especiais. Veja o circuito a seguir.

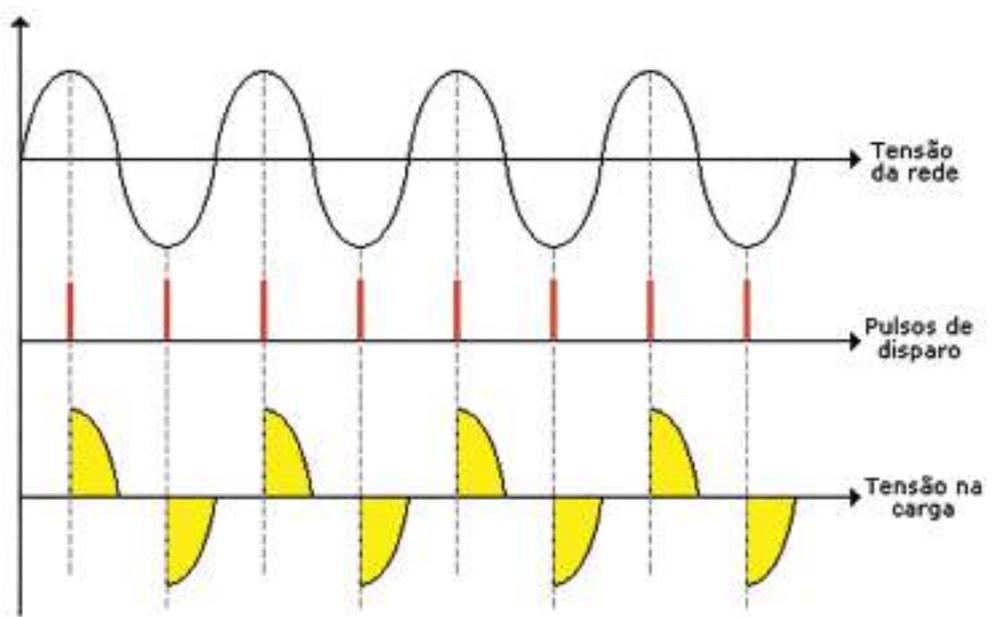


O circuito em questão é um *dimmer* que controla a luminosidade de uma lâmpada comum (incandescente).

FUNIONAMENTO:

- O retificador de onda completa tem por finalidade fornecer ao circuito de disparo um semiciclo positivo;
- O circuito de disparo é constituído por um transistor de uniunção (UJT) acoplado ao gate através de um transformador de pulsos (T-1);
- A relação de espiras desse transformador de pulsos é 1:1, ou seja, tem a função de apenas isolar o circuito de disparo do TRIAC;
- Quando tem início um semiciclo da tensão de alimentação alternada, que aparece após o retificador de onda completa, o condensador C carrega-se através do resistor R, até ser atingido o ponto de disparo do UJT;
- Quando o UJT dispara, o condensador C descarrega-se através do enrolamento primário do transformador de pulsos (T-1);
- Isto faz aparecer no secundário do mesmo um pulso de curta duração, suficiente para disparar o TRIAC;
- Através do potenciômetro P1, podemos alterar a constante de tempo de carga RC, e assim, alterar o ângulo de disparo do dispositivo.

A figura a seguir mostra essa condição.

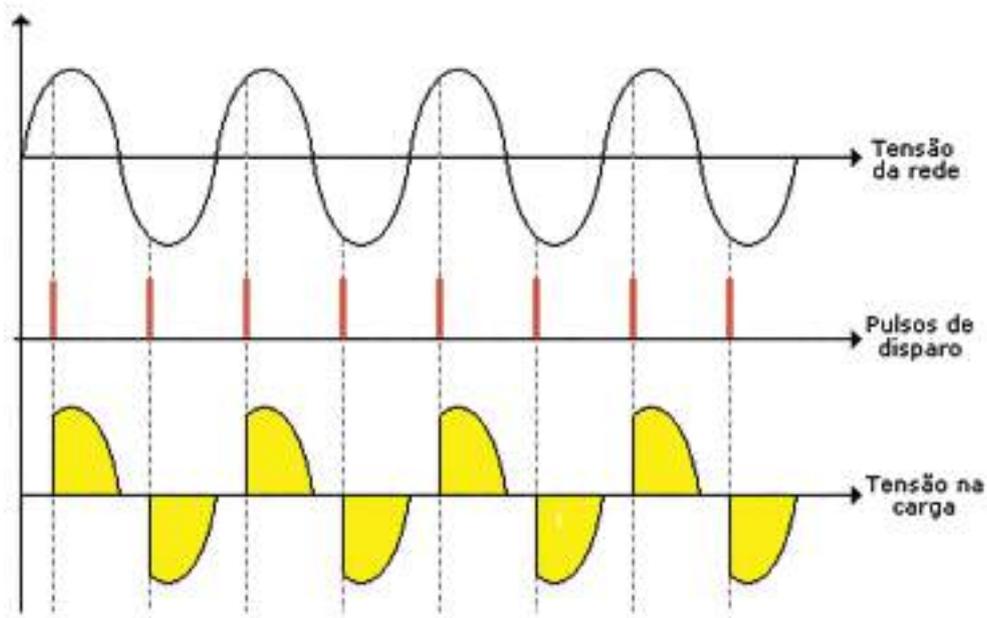


Observa-se claramente que a potência na carga foi reduzida pela metade.

O disparo ocorreu em 90° e 270° respectivamente, ou seja, na carga efetivamente circula corrente proveniente da metade de cada semiciclo.

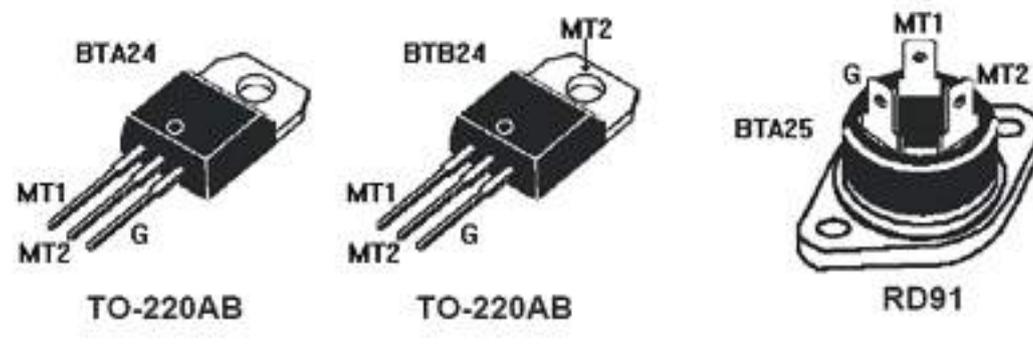
No caso de adiantarmos o ângulo de disparo (antes de 90°), por exemplo 45° , obtém-se mais potência na carga, conforme ilustra a figura a seguir.

Se uma lâmpada incandescente estiver sendo utilizada como carga, seu brilho aumentará.



A figura a seguir ilustra três TRIACs para 25 amperes, fabricados pela SGS Thomson.

A tensão de trabalho (V_{DRM} / V_{RRM}) é de 600V e 800V, de acordo com sua codificação.



Por exemplo, o BTA24-600 significa que o TRIAC opera com 600 volts e o terminal MT2 é isolado da base de fixação; BTB24-600 é o mesmo TRIAC, porém com o terminal MT2 não isolado da base de fixação, ambos com encapsulamento do tipo TO-220AB.



Observa-se que esse fabricante especifica a isolamento ou não desse terminal com a base de fixação, usando as letras A ou B.

O TRIAC BTA25-800 por exemplo, opera com 800 volts, seu terminal MT2 é isolado da base de fixação e seu encapsulamento é do tipo RD91. Este tipo de encapsulamento permite que o TRIAC seja montado em radiadores para encapsulamento TO-3.

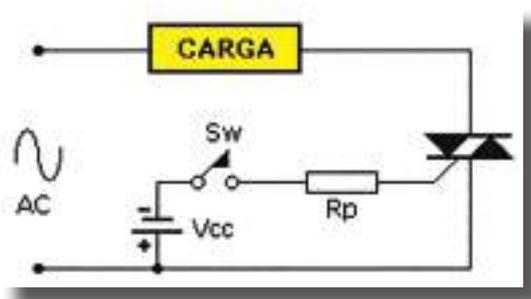
CIRCUITOS PRÁTICOS PARA DISPARO DE TRIACS:

Como vimos anteriormente existem muitas possibilidades de se realizar na prática o disparo de um TRIAC. Pode-se então escolher o modo mais adequado para isso, dependendo do tipo de aplicação.

De qualquer forma, a realização do disparo resume-se em duas variantes fundamentais:

- Disparo com corrente contínua.
- Disparo com corrente alternada.

Circuito prático 1:

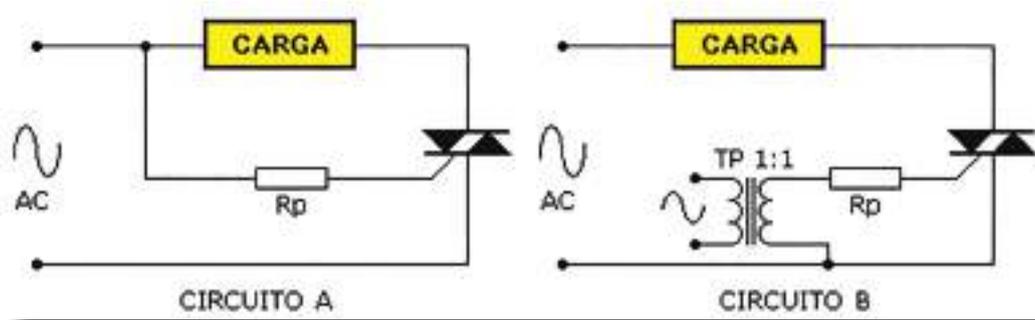


A tensão de disparo provém de uma fonte de tensão contínua aplicada ao gate do TRIAC através de um resistor limitador R_p . Esse resistor deve ter um valor suficiente para impedir que a corrente de gate exceda os limites especificados pelo fabricante.

É absolutamente necessário dispor de um elemento em série com a corrente de disparo, para funcionar como controle. Pode ser desde um simples interruptor mecânico (no caso deste circuito a chave Sw) ou um transístor que tenha uma função de comutador.



Circuito prático 2:

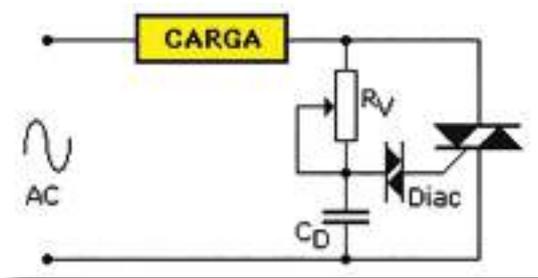


O circuito “B” mostra o disparo por meio de corrente alternada feita por um transformador de pulso. Pode ser um transformador de pulsos com relação de espiras 1:1 (TP 1:1) ou qualquer outro tipo de transformador que forneça uma tensão de disparo suficiente para gerar uma corrente de gate adequada ao projeto.

O circuito “A” mostra uma outra possibilidade de disparar o TRIAC através da tensão da rede, por meio de um resistor R_p adequado para limitar a corrente de gate, evitando assim danos ao TRIAC.

Circuito prático 3:

Uma forma muito usada para disparar o TRIAC é através de um componente chamado “diac” (abreviação inglesa de *DIODE AC*), conforme ilustra a figura a seguir.



O “diac” é um dispositivo que tem uma estrutura interna semelhante à do TRIAC porém sem o terminal de gate. Assim o dispositivo conduz a partir de uma determinada tensão aplicada entre os seus terminais. Depois de disparado, a tensão entre os seus terminais cai a um valor mais baixo, ou de manutenção.



Os circuitos que utilizam disparo por “diac” são muito utilizados em:

- Controle de iluminação;
- Regulador de temperatura em aquecedores elétricos;
- Controle de rotação de motores.

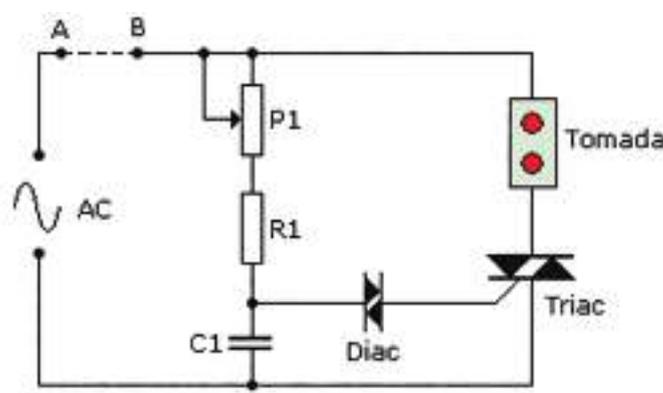
FUNCIONAMENTO BÁSICO DO CIRCUITO:

O resistor variável R_v carrega do condensador C_D até atingir o ponto de disparo do “diac”. Após o disparo do “diac” ocorre a descarga do condensador, cuja corrente chega ao gate, colocando o TRIAC em condução. Esse mecanismo é produzido uma vez no semiciclo positivo e outra no semiciclo negativo.

O momento do disparo pode ser regulado através do resistor variável R_v que por consequência varia o tempo de condução do TRIAC, bem como o valor da tensão média aplicada à carga.

Produz-se então dessa maneira, um controle de potência relativamente simples, mas bastante eficiente.

CIRCUITO PRÁTICO: DIMMER



O circuito em questão pode ser utilizado para o controle de velocidade de uma ferramenta ou eletrodoméstico motorizado ou ainda, o controle de luminosidade de uma lâmpada. O que o circuito faz é controlar o ângulo de condução desse componente eletrônico. Disparando-o em diversos pontos do sinal senoidal da rede elétrica domiciliar, é possível aplicar potências diferentes a uma carga (motor, lâmpada incandescente, estufa, secador de cabelos etc.).

Assim, se o disparo for feito no início do semiciclo, todo ele poderá ser conduzido para a carga e ela receberá potência máxima.



Entretanto, se o disparo ocorrer no final do semiciclo, pequena parcela da energia será conduzida até a carga que operará com potência reduzida.

MATERIAIS:

Triac – TIC 216D ou 226D para rede de 110V e 220V respectivamente

Diac – 1N5411 ou 40583

R1 – 10k Ω - 1W

P1 – Potenciômetro linear de 100k Ω

C1 – Condensador de poliéster de 220nF / 400V

Características dos TRIACs

Parâmetros	TIC216D	TIC 226D
V_{DRM}	200V	400V
$I_{T_{RMS}}$	8A	8A
I_{GTM} (max)	50mA	50mA

Características dos DIACs

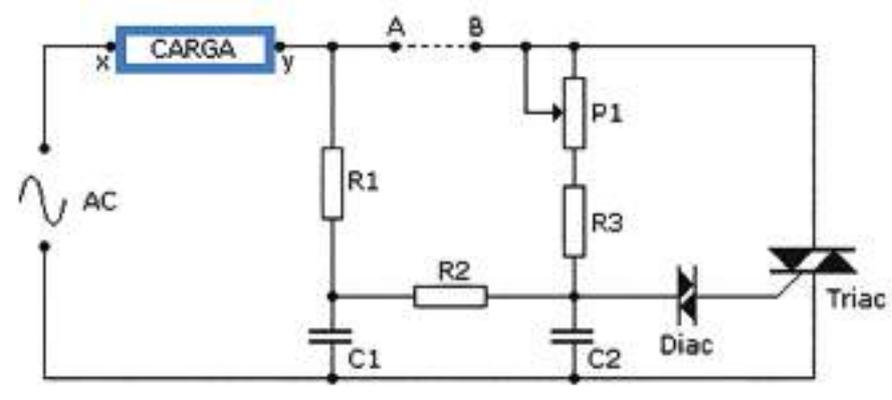
Parâmetros	1N5411	40583
$V_{(BO)}$	29 a 35V	27 a 37V
I_P ou I_{TRM}	200mA	200mA
$I_{(BO)}$	50 μ A	50 μ A

Para minimizar as interferências de comutação através da rede, pode ser adicionado um filtro para tal fim entre os pontos A e B.

Esses tipos de filtros já foram discutidos anteriormente no capítulo referente aos tiristores (SCRs).

No entanto, pode-se construir um filtro mais simples, enrolando 40 a 60 espiras de fio de cobre esmaltado em um bastão de ferrite, com 10mm \varnothing e com 5 a 10cm de comprimento. O circuito mostrado a seguir opera da mesma forma, no entanto, possui dois filtros RC, fazendo com que o controle seja mais refinado, além do que, possibilita a inserção de uma carga indutiva entre os pontos A e B.





A carga resistiva é inserida entre os pontos x e y; para isso, os pontos A e B devem estar curto-circuitados.

Para inserir uma carga indutiva entre os pontos A e B, deve-se remover a carga resistiva e curto-circuitar os pontos x e y.

MATERIAIS:

Triac – TIC226D ou similar

Diac – ST2, 1N5411, 40583 ou similar

R1 – resistor de 68kΩ - ¼W

R2 – resistor de 47kΩ - ¼W

R3 – resistor de 10kΩ - ¼W

P1 – potenciômetro de 220kΩ linear

C1 – Condensador de poliéster 100Nf / 400V

C2 – Condensador de poliéster 100Nf / 400V

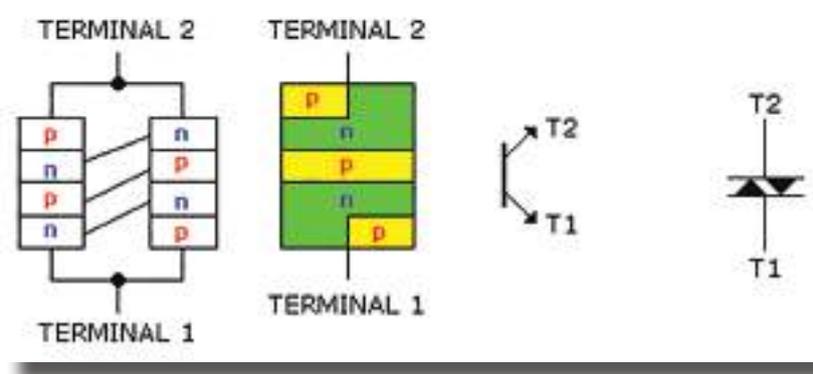


DIAC

Introdução

O DIAC tem uma estrutura semelhante à do TRIAC, exceto que, não possui o terminal do gate (da abreviação inglesa DIODE AC).

Basicamente possui cinco camadas P e N. A figura a seguir ilustra sua estrutura interna e respectivos símbolos.

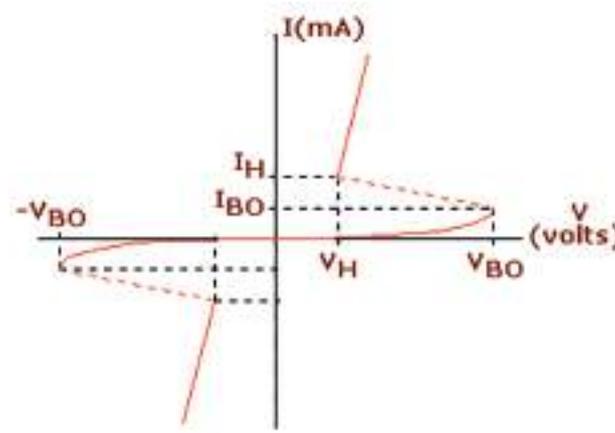


O termo ânodo e cátodo não se aplicam ao DIAC, pois seus terminais são identificados como terminal 2 e terminal 1.

Cada terminal opera como ânodo ou cátodo, de acordo com a polaridade da tensão aplicada.

Se T1 for mais positivo do que T2, a região N é ignorada e T1 operará como ânodo; evidentemente T2 terá a região P ignorada e operará como cátodo. Invertendo-se as polaridades, T1 passará a ser o cátodo e T2 o ânodo.

A figura a seguir mostra a curva característica de um DIAC.



V_{BO} é a tensão de disparo do DIAC (break-over) e I_{BO} é a corrente de disparo. Observa-se na curva característica uma simetria entre os valores positivos e negativos de tensão (1º e 3º quadrantes).

I_H e V_H representam a corrente de manutenção e tensão de manutenção respetivamente. Abaixo desses valores o DIAC entra no estado de não condução.

Acima de I_H temos a operação permitida para o DIAC, onde o fabricante especifica como I_P ou I_{FRM} que é a corrente de pico máxima que ele pode suportar durante a condução (normalmente especificada para pulsos de duração da ordem de μs).

A figura a seguir mostra um DIAC BR100/03 fabricado pela Philips, com encapsulamento SOD27.



Especificações:

$$I_{FRM} = 2A$$

$$V_{BO} = 28 \text{ a } 36V$$

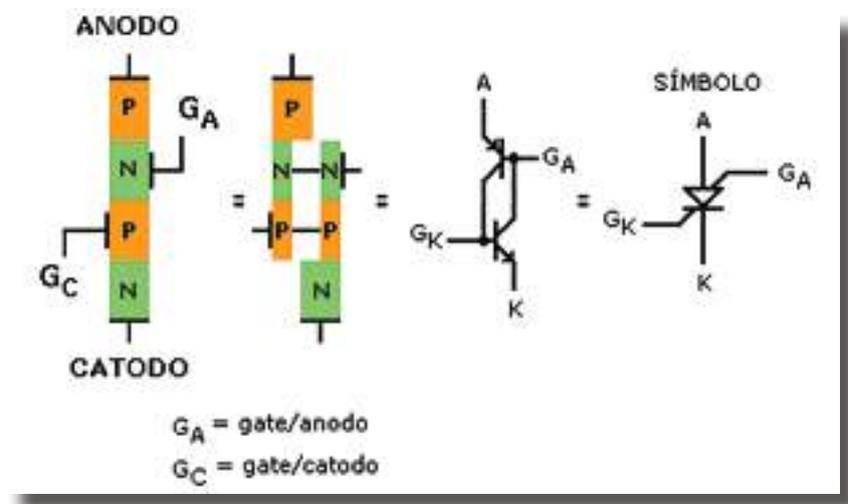
$$I_{BO} = 50\mu A$$



SCS – Silicon Controlled Switch

Introdução

A chave controlada de silício, da mesma forma que o SCR, possui quatro camadas PNPN, cujas características são idênticas, exceto por possuir dois gates, fazendo com que todas as regiões sejam acessíveis através de um circuito externo.



O SCS tem duas vantagens sobre o SCR.

Primeira, em virtude das duas regiões de gate serem acessíveis, elas podem ser polarizadas de forma independente.

Segunda, uma vez que pode haver um controle das duas junções (uma N e outra P), pode-se efetivamente desligar o SCS sem a necessidade de reduzir a tensão ou corrente de trabalho.

Desta forma o SCS é efetivamente uma chave eletrônica.

Gate/ânodo: liga-desliga o dispositivo

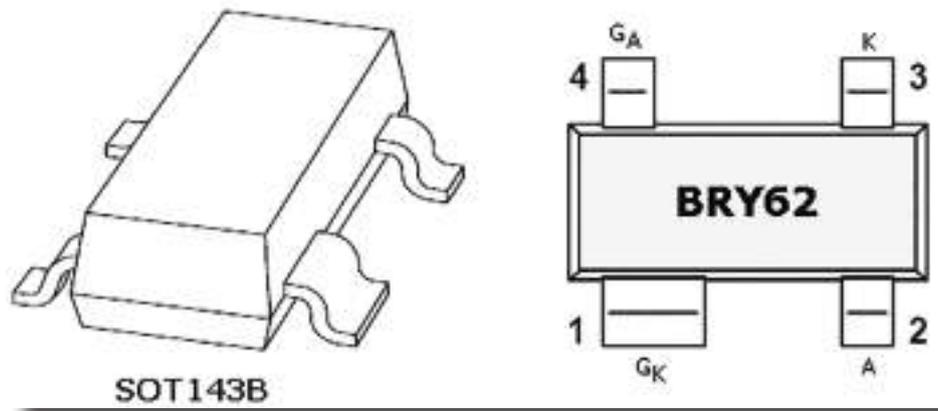
Ligar – pulso negativo

Desligar – pulso positivo

O gate/cátodo operam de forma idêntica ao SCR.



A figura a seguir mostra o aspecto do SCS BRY62 fabricado pela Philips.



Valores típicos:

$$I_{GA} = 10\text{mA}$$

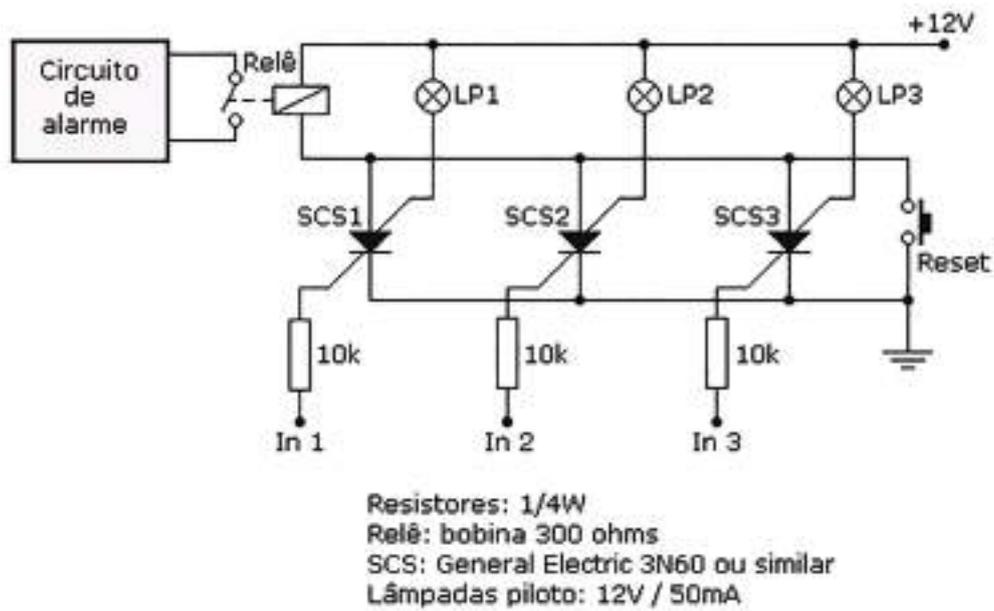
$$I_{GK} = 1\text{mA}$$

$$V_{AK} = 70\text{V}$$

Vantagens do SCS sobre o SCR: tempo de comutação menor (da ordem de 1 a 10 μ s); situação de disparo mais previsível; melhor sensibilidade.

Desvantagens: menor corrente, potência e tensão (tensão típica da ordem de 100V; corrente típica da ordem de 10 a 300mA e potência típica da ordem de 100 a 500mW).

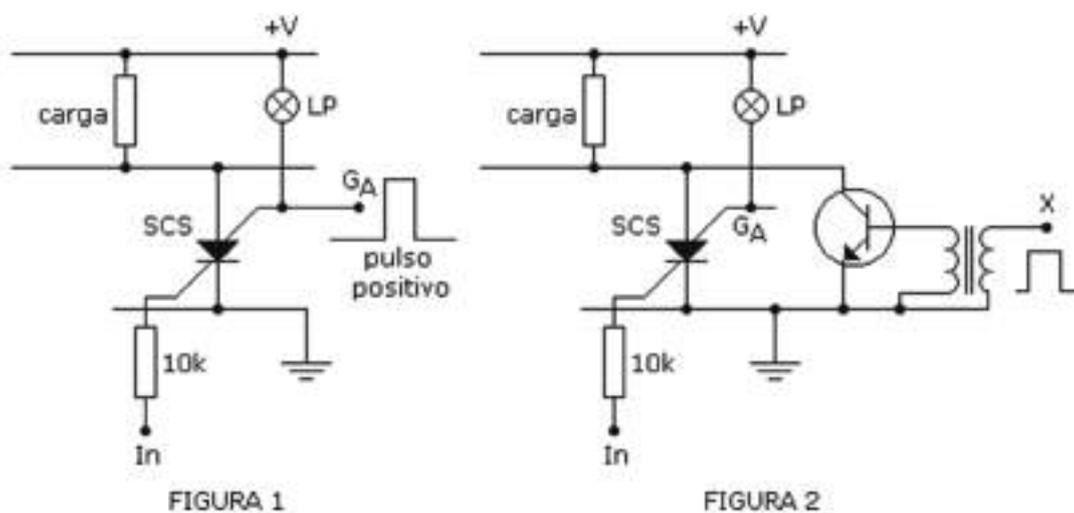
CIRCUITO PRÁTICO: ALARME 1



As entradas (In1 a In3) poderão ser acionadas por qualquer sistema que cause uma perturbação, como por exemplo, sensor luminoso, sensor de aproximação, reed-switch, etc.

O interruptor “push-button” RESET (NA – normalmente aberto), restabelece a condição inicial do circuito, colocando os terminais A-K em curto, levando o SCS a condição de não condução. As lâmpadas piloto (LP1 a LP3) permitirão localizar a entrada que disparou o SCS.

Uma outra forma de levar o SCS ao corte é a aplicação de um pulso positivo no gate/ânodo (G_A), ou ainda, através de um dispositivo externo tornar a resistência A-K do SCS bem próxima de zero, conforme ilustram as figuras a seguir.



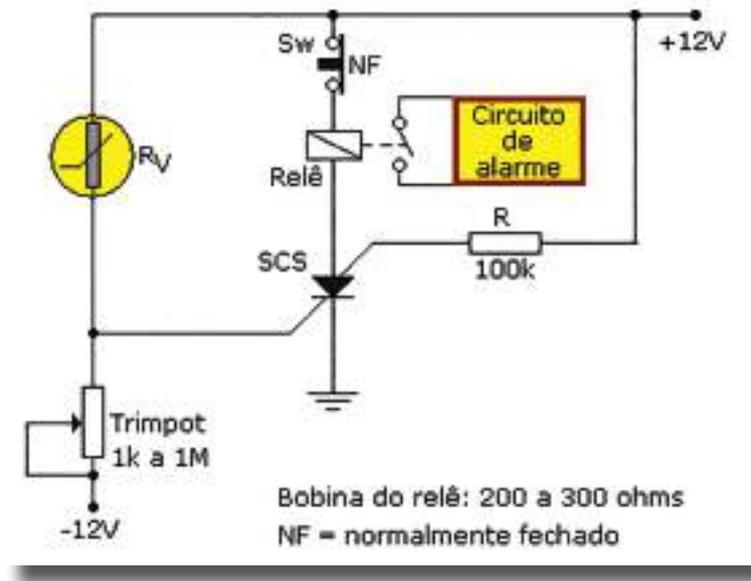
Na figura 1, um pulso positivo externo aplicado ao Gate/Ânodo leva o SCS a condição de não condução.

Na figura 2, um pulso positivo é aplicado na base do transistor, através de um transformador isolador, levando-o a saturação; isto faz com que a resistência entre coletor e emissor seja próxima de zero (condição de saturação), interrompendo a condução do SCS, uma vez que a resistência entre A-K cai praticamente a zero pois esses terminais estão em paralelo com os terminais C-E do transistor.



CIRCUITO PRÁTICO: ALARME 2

O circuito a seguir mostra um alarme sensível a um dispositivo de coeficiente negativo (NTC, LDR, etc.).



- O potencial no gate/cátodo é determinado pelo divisor de tensão RV e trimpot;
- O potencial no gate/cátodo será zero quando a resistência RV for igual a resistência do trimpot, pois ambos possuem 12V em seus terminais (+12V e -12V);
- Se RV diminui o SCS ficará diretamente polarizado, levando-o à condução disparando o relê;
- O resistor de 100kΩ reduz a possibilidade de disparo acidental devido ao fenômeno conhecido como rate effect (capacitância entre gates), pois um transiente de alta frequência poderá provocar o disparo.
- A interrupção do alarme é feita através de Sw (push-button normalmente fechado).



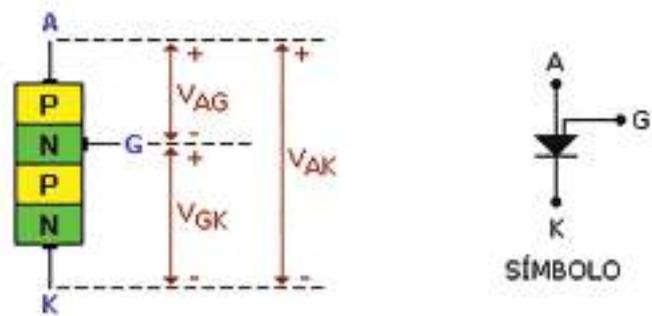
PUT – Programmable Unijunction Transistor

Introdução

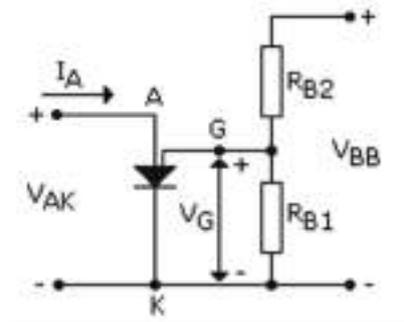
O PUT é um dispositivo de quatro camadas PNPN, que possui um ânodo, um cátodo e um gate.

A sua curva característica é semelhante a do UJT, porém não opera na região de resistência negativa.

Veja a seguir sua estrutura básica e simbologia.



O circuito básico equivalente é mostrado a seguir.

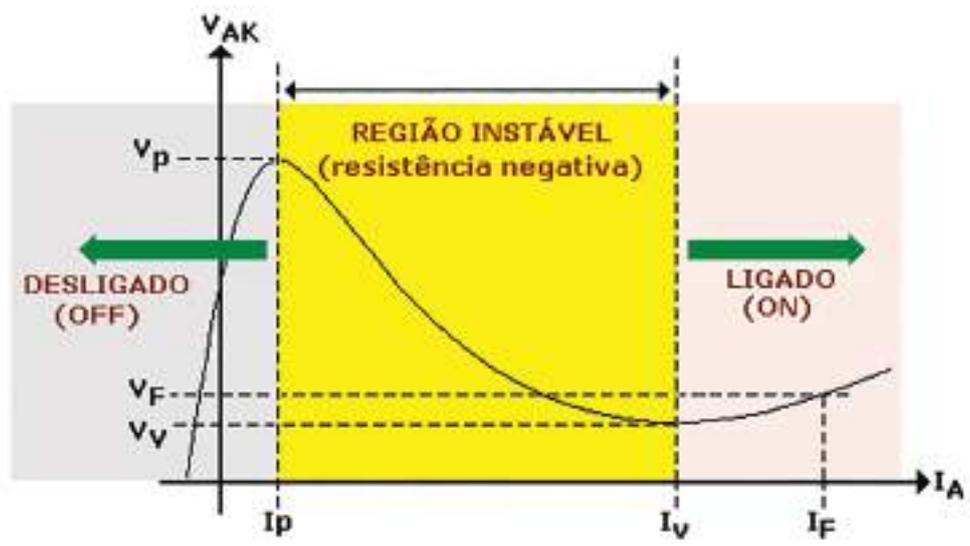


R_{BB} , η e V_p podem ser controlados através de R_{B1} , R_{B2} e da tensão V_{BB} .

$$V_G = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{BB} = \eta V_{BB} \quad \text{onde: } \eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}}$$



Veja sua curva característica a seguir.



V_F e I_F = tensão e corrente de manutenção respectivamente

Nestas condições: $V_F = V_{AK}$.

O PUT não permanece no estado instável ou de resistência negativa (-R).

ESTADO LIGADO: I (corrente) baixa V (tensão) entre 0 e V_p	ESTADO DESLIGADO: I (corrente) $\geq I_v$ V (tensão) $\geq V_v$
--	---

NO DISPARO:

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D \quad \text{onde } V_D \cong 0,7V$$

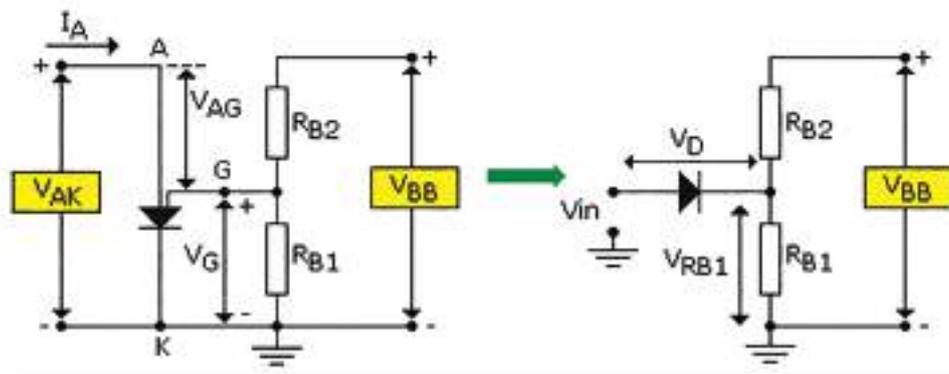
$$V_p = \eta V_{BB} + V_D = \eta V_{BB} + V_{AG}$$

$$V_p = \eta V_{BB} + 0,7V$$

Porém, $V_G = \eta V_{BB}$

Assim: $V_p = V_G + 0,7V$





OBSERVAÇÕES:

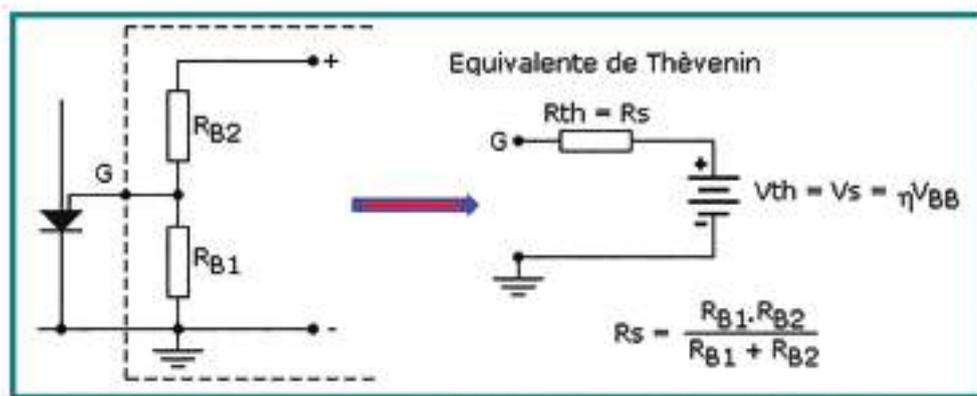
- Lembrar que o PUT é formado por quatro camadas PNPN, daí o aparecimento da tensão V_D na junção PN (diodo) entre ânodo e gate.
- A tensão V_G é a tensão nos extremos de R_{B1} .
- Portanto, $V_G = V_{RB1}$.
- A tensão V_D é a própria tensão V_{AG} .

RESUMINDO:

$$V_G = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{BB} = \eta V_{BB}$$

$$V_p = \eta V_{BB} + V_{AG}$$

Enquanto para o UJT R_{B1} e R_{B2} são inacessíveis, uma vez que estes representam os contatos da base, para o PUT estes são externos ao circuito, permitindo um ajuste de “ η ” e portanto de V_G .



OPERAÇÃO BÁSICA:

O PUT não mudará de estado até que a tensão V_p definida por V_G e V_D seja alcançada ($V_p = V_G + V_D$).

O nível de corrente até que I_p seja alcançada é muito baixo, resultante de um circuito equivalente aberto, onde a resistência tende ao infinito.

$$R = \frac{V \text{ (alta)}}{I \text{ (baixa)}} = \text{resistência alta}$$

Quando V_p for alcançada o PUT comutará para o estado ligado através da região instável (resistência negativa), resultando em uma resistência muito baixa, uma vez que:

$$R = \frac{V \text{ (baixa)}}{I \text{ (alta)}} = \text{resistência baixa}$$

Estando o dispositivo ligado, a retirada de V_G não desligará o mesmo, a não ser que V_{AK} caia bastante reduzindo a tensão e corrente de manutenção (V_F e I_F).

EXEMPLO:

Determinar R_{B1} e V_{BB} para um PUT de Si, sabendo-se que:

$$\eta = 0,8$$

$$V_p = 10,3v$$

$$R_{B2} = 5k\Omega$$

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \rightarrow \text{onde } \eta = 0,8$$

$$0,8(R_{B1} + R_{B2}) = R_{B1}$$

$$0,8R_{B1} + 0,8R_{B2} = R_{B1} \rightarrow 0,2R_{B1} = 0,8R_{B2}$$

$$R_{B1} = \frac{0,8}{0,2}R_{B2} = 4R_{B2} \rightarrow \text{logo: } R_{B1} = 4(5k\Omega) = 20k\Omega$$

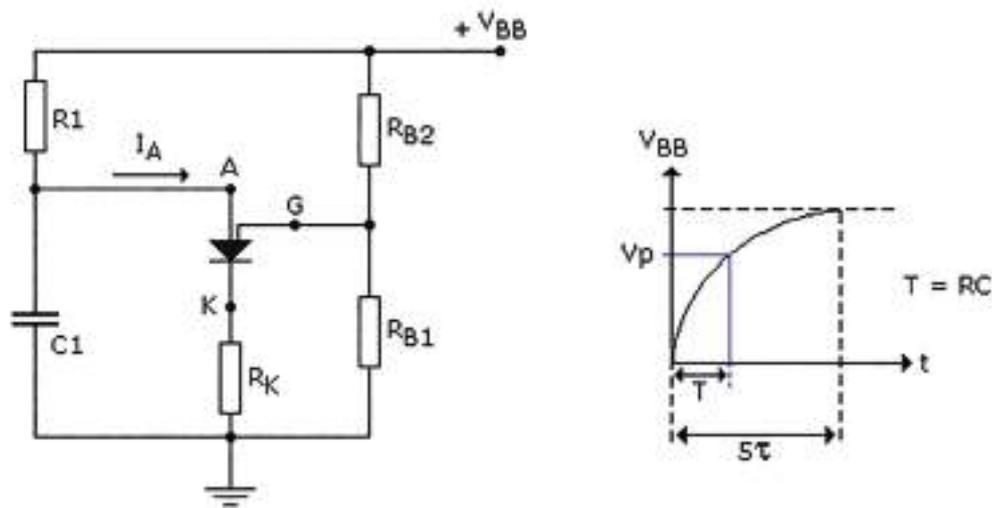


$$V_p = \eta V_{BB} + V_D$$

$$10,3 = (0,8)(V_{BB}) + 0,7$$

$$9,6 = 0,8V_{BB} \rightarrow V_{BB} = \frac{9,6}{0,8} = 12V$$

OSCILADOR DE RELAXAÇÃO COM PUT:



O tempo para atingir o disparo é dado por:

$$T \cong RC \log_e \left(\frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_p} \right) \text{ ou}$$

$$T \cong RC \log_e \left(1 + \frac{R_{B1}}{R_{B2}} \right)$$

Onde: \log_e = logaritmo neperiano

Quando o circuito é ligado C1 carrega-se até V_p , pois não há até então, corrente nesse ponto. O corrente I_A é decorrente da carga do condensador, onde:

$V_c = V_A$ ou seja, a tensão no condensador encontra-se teoricamente presente no ânodo do PUT.



Quando a tensão no condensador C1 for igual a V_p , ocorrerá o disparo, havendo uma corrente I_p através do PUT.

Se R1 for muito grande a corrente I_p será pequena e não haverá o disparo.

No ponto de transição:

$$I_p R1 = V_{BB} - I_p$$

$$R(\max) = \frac{V_{BB} - V_p}{I_p}$$

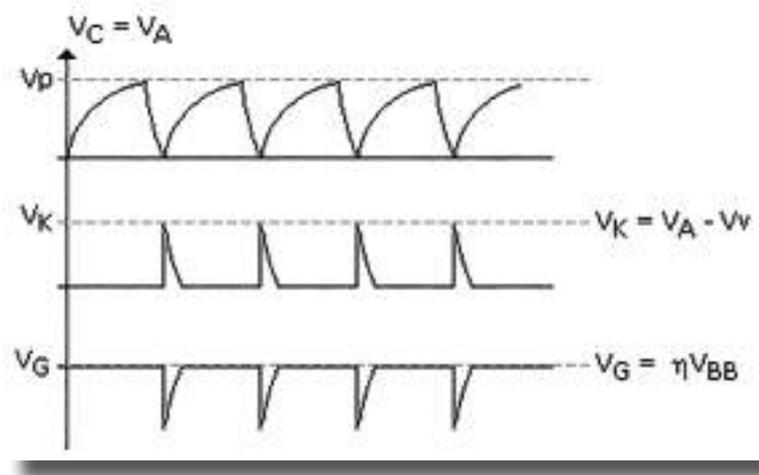
Conclui-se então que qualquer resistor maior do que R(max) não disparará o PUT.

O valor de R1 deve ser tal que I_p seja menor do que I_v para que ocorra a oscilação, isto é: *O PUT deve entrar na região instável e retornar ao estado desligado.*

Assim:

$$R(\min) = \frac{V_{BB} - V_v}{I_v}$$

Teremos então como regra: $R(\min) < R1 < R(\max)$.



A curva acima mostra a carga do condensador C1 através de R1, e a ocorrência do disparo originando a tensão no cátodo (sobre R_k).



EXERCÍCIO RESOLVIDO:

A partir dos dados abaixo:

$$V_{BB} = 12V$$

$$R_1 = 20k\Omega$$

$$C_1 = 1\mu F$$

$$R_k = 100\Omega$$

$$R_{B1} = 10k\Omega$$

$$R_{B2} = 5k\Omega$$

$$I_p = 100\mu A$$

$$V_v = 1V$$

$$I_v = 5,5mA$$

Determine:

- 1) V_p
- 2) $R(\max)$ e $R(\min)$
- 3) Frequências de oscilação
- 4) Formas de onda ($V_A - V_G - V_k$) com os respectivos valores.

Resolvendo:

$$V_p = \eta V_{BB} + V_D \quad \rightarrow \quad \eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} \quad \rightarrow \quad V_p = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{BB} + 0,7$$

$$V_p = \left(\frac{10k}{15k} \right) \cdot 12 + 0,7 = 8,7V$$

$$R(\max) = \frac{V_{BB} - V_p}{I_p} = \frac{12 - 8,7}{100\mu A} = \mathbf{33k\Omega}$$

$$R(\min) = \frac{V_{BB} - V_v}{I_v} = \frac{12 - 1}{5,5mA} = \mathbf{2k\Omega}$$



Faixa de atuação de R: $2k\Omega < 20k\Omega < 33k\Omega$.

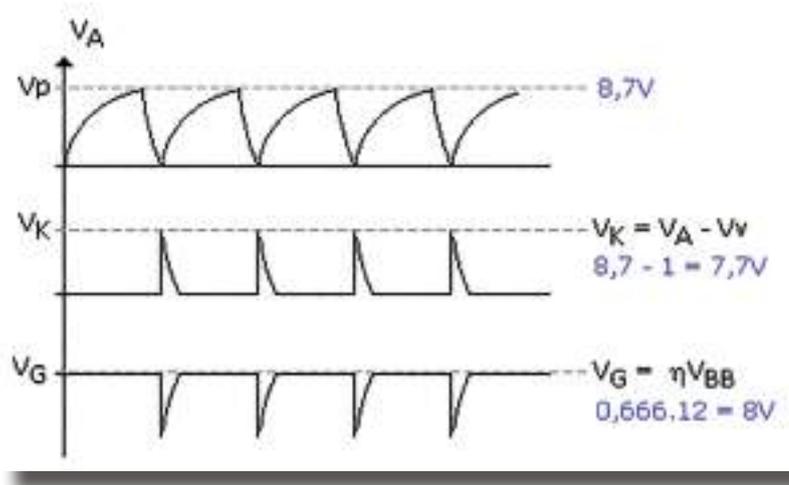
Calculando a frequências de oscilação, através do período "T".

$$T \cong RC \log_e \left(\frac{V_{BB}}{V_{BB} - V_p} \right)$$

$$(20 \cdot 10^3 \times 1 \cdot 10^{-6}) \log_e \frac{12}{12-8,7} = (20 \cdot 10^{-3}) \log_e 3,3 \rightarrow \ln 3,3 = 1,194$$

$$T = 20 \cdot 10^{-3} \cdot 1,194 = 23,88ms$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{23,88ms} = \mathbf{41,876Hz}$$



Calculando η :

$$\eta = \frac{R_{B1}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{10K}{15K} = 0,666$$

Calculando a frequências através da outra fórmula: $T \cong RC \log_e \left(1 + \frac{R_{B1}}{R_{B2}} \right)$

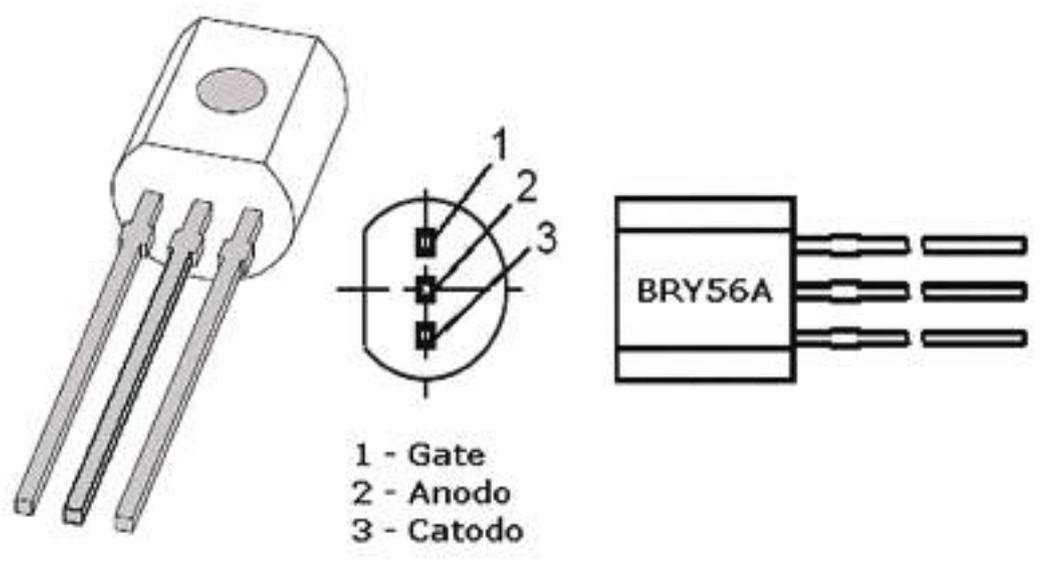
$$T = (20 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-6}) \cdot \log_e \left(1 + \frac{10k}{5k} \right) = (20 \cdot 10^{-3}) \log_e (1+2) \rightarrow \ln 3 = 1,0986$$



$$T = 20 \cdot 10^{-3} \times 1,0986 = 21,972\text{ms}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{21,972\text{ms}} = \mathbf{45,51\text{Hz}}$$

A figura a seguir mostra o aspecto de um PUT – BRY56A, fabricado pela Philips.



Encapsulamento: SOT54

Tensão V_{AK} (max) = 70V

Corrente de anodo I_A (max) = 175mA

Potência total (max) = 300mW

A figura a seguir mostra o aspecto físico do PUT 2N6027, fabricado pela *ON Semiconductor*, para operar em 40V com potência de 300mW, com encapsulamento TO-92.



Exercícios propostos

Perguntas de exemplo sobre este módulo:

- O que são Componentes Optoelectrónicos?
- Qual a natureza da luz, o que é?
- O que é o espectro solar?
- Qual a letra que representa o comprimento de onda?
- Quais as unidades mais utilizadas para representar o comprimento de onda?
- O que está representado abaixo do vermelho no espectro?
- O que são Foto Elementos?
- O que é a célula fotoelétrica?
- Quais as aplicações da célula fotoelétrica?
- O que é o foto resistor?
- O que são os Foto Díodos?
- O que é a unidade de medida LUX?
- O que é a unidade de medida Lúmen?
- Qual o funcionamento básico de um LED?
- De que são constituídos os Díodos Emissores de Infravermelho?
- O que é uma infraestrutura para fibra óptica?
- O que são redes aéreas na infraestrutura para fibra óptica?
- Quais as aplicações do transistor de unijunção?
- Quais as vantagens dos transístores FET em relação aos Bipolares?
- Como funciona o Tiristor?

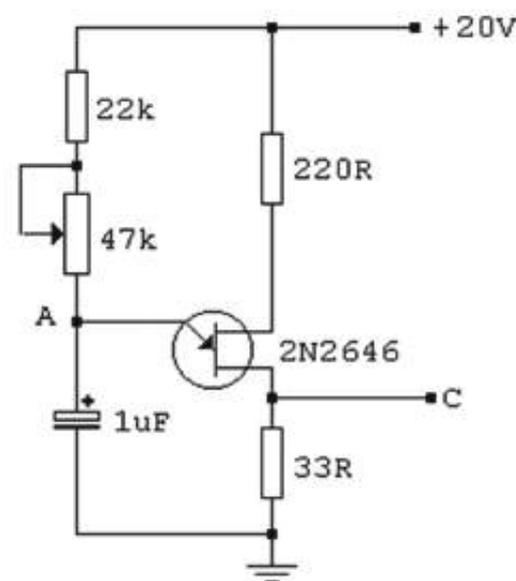


Parte prática

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

- 1 - Fonte de alimentação 0-20V
- 1 - Módulo de ensaios ELO-1
- 1 - Multímetro analógico ou digital
- 1 - Osciloscópio

1. Monte o circuito abaixo:



- 2 - Ligue os canais do osciloscópio nos pontos A e C (com relação ao terra) e observe as formas de onda.

OBS: O potenciômetro deverá estar totalmente aberto.

- 3 - Meça os valores de V_p e V_v .

- 4 - Desenhe em papel milimétrico A4 as formas de onda das tensões observadas nos pontos A e C.

- 5 - Feche totalmente o *potenciômetro* e observe o que ocorre com a frequência das oscilações. Explique o porquê.

- 6 - Calcule a frequência das oscilações com o *potenciômetro* totalmente aberto e totalmente fechado.



Bibliografia

PINTO, António; ALVES, Vítor, Tecnologias, 11.º Ano. Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica. Porto Editora. (s.d.).

PINTO, António; CALDEIRA, José, Tecnologias, 12.º Ano. Curso Tecnológico de Electrotecnia e Electrónica. Porto Editora. (s.d.).

