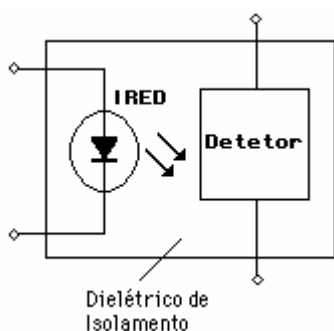


## ACOPLADORES ÓPTICOS:

Há muitos equipamentos que utilizam dispositivos ópticos para trocar informações entre eles. Principalmente aqueles que requerem um alto grau de isolamento entre o transmissor e o receptor.

Exemplos deste uso são as conexões de circuitos lógicos a circuitos de potência, e de transmissores a extensas linhas de transmissão. Os acopladores ópticos ou fotoacopladores são utilizados principalmente em aplicações digitais. Recentemente tem sido adotados para aplicações lineares e controle direto de tiristores bidirecionais.

Um isolador óptico eletrônico contém um IRED - Infra-Red Emitter Diode e um fotodetector em um mesmo bloco.



Estes dispositivos se colocam de tal maneira que a energia irradiada por um IRED é transmitida eficientemente ao detetor através de um meio dielétrico de isolamento. Este dielétrico está rodeado de um material opaco, o qual proporciona proteção contra a luz ambiente.

Não existe nenhuma conexão elétrica entre a entrada e a saída. Dados que os emissores de Gálio-Arsênio e os detectores de silício não são intercambiáveis, qualquer sinal pode atravessar o isolador somente em uma direção. Isto até um

grau determinado pela capacitância entrada-saída do bloco e suas características dielétricas, o dispositivo não responde a sinais de entrada de modo comum, protegendo deste modo o circuito de entrada do ambiente do circuito de saída.

Algumas aplicações típicas dos fotoacopladores são, por exemplo, a prevenção de laços fechados de terra, deslocamento de níveis de corrente contínua e controle lógico de circuitos de potência. A capacidade de isolamento de um fotoacoplador de transferir eficientemente o sinal desejado é definido como CTR - Current Transfer Ratio - Relação de transferência de corrente).

Esta relação depende da eficiência radiativa, da distância entre o IRED e o detetor, da área de superfície e a sensibilidade do detetor e o ganho de amplificação do mesmo.

A relação de transferência é afetada por fatores não lineares (corrente, tensão e temperatura) em ambos circuitos integrados. Isto traz como consequência uma função de transferência muito complexa, função esta que deve ser determinada de forma bastante precisa a menos de condições não especificadas.

A capacidade de um isolador de proporcionar proteção de isolamento é geralmente expressa em termos de sobretensão transitória de isolamento.

De resto, esta sobretensão é a medida da solidez da cápsula e da rigidez dielétrica dos

materiais isolantes. Os 3 parâmetros críticos de isolamento são: resistência de isolamento, capacitância de isolamento e rigidez dielétrica. Esses três valores são especificados para os terminais de entrada e saída em curto-circuito. Esse curto-circuito impede possíveis danos ao emissor e ao detetor, causados pelas correntes capacitivas de carga que circulam nas tensões de prova relativamente altas.

### **Resistência de Isolação**

É a resistência de corrente contínua medida desde a entrada até a saída do acoplador. Em geral os acopladores respondem as especificações que determinam uma resistência de isolamento mínima de  $10^{11} \Omega$ .

Este valor supera a resistência prevista entre os assentos da montagem de muitas placas de circuito impresso sobre as quais pode ser montado o acoplador.

Uma elevada tensão de esforço do dielétrico mais as fugas da placa de circuito impresso podem produzir correntes de ordem até centenas de  $\eta A$ .

Estas correntes são de mesma magnitude que as correntes fotodiódicas geradas em um acoplador Darlington típico, encapsulado em linha dupla de pastilha (DIP) com correntes de **IRE** de até 0,5 mA.

E podem chegar a criar dificuldades em aplicações que requerem baixas correntes. Tomando cuidado na seleção e processamento da placa de circuito impresso geralmente os problemas com isolamento se reduzem a um mínimo.

### **Capacitância de Isolação:**

É a capacitância parasita através do dielétrico desde a entrada até a saída.

Os valores típicos oscilam entre 1 e 2,5 pF. Essa capacitância pode produzir efeitos notáveis, em circuitos nos quais o dielétrico é submetido a oscilações que excedam os 500 V/ $\mu S$ .

Alguns exemplos disto são os circuitos sensíveis a baixos níveis de corrente, ajustados para responder rapidamente e submetidos a flutuações abruptas.

O circuito submetido a essas condições é amplamente utilizado em automação de máquinas ferramentas, interagindo com linhas elétricas ou de comunicação muito ampla, e em casos nos quais grandes quantidades de energia são rapidamente comutadas.

### **Tensão de Isolação**

É a tensão máxima que o dielétrico pode suportar. Na tabela seguinte são indicados os parâmetros que definem capacidades de tensão de isolamento.

Esta propriedade depende da duração do esforço, a taxa de incremento da tensão e das formas de onda.

A dependência varia com o método de construção do acoplador.

A influência da forma de onda de tensão sobre a isolamento de um acoplador tem sido severamente investigada comparando as características de acopladores com dielétrico de vidro com as de outros tipos de características compatíveis.

As provas deram como resultado a diferença, em porcentagem, entre a tolerância a so-

bretensão na isolação de acopladores correspondentes as diversas formas de onda aplicadas e os resultados obtidos com o método especificado.

Essas porcentagens se aplicam a um dispositivo hipotético que tem uma especificação de 1.000 Volt de pico.

Os resultados foram tabelados para determinarmos a verdadeira capacidade de sobretensão transitória de isolação do dis-

positivo para cada forma de onda. Os acopladores com outros materiais dielétricos e/ou fatores de forma dielétrica podem ter diferentes dependências entre a capacidade e a forma de onda.

O dielétrico de vidro tem propriedades elétricas e fatores de forma muito constantes e seu desempenho é consistente em dispositivos diferentes.

Forma de onda Acoplador	CA Nula	Rampa de CC	Rampa de CA	Degrau de CA	Degrau de CC
Dielétrico de Vidro	707 V	1025 V	650 V	580 V	919 V
Outro Dielétrico	540 V	1000 V	540 V	510 V	780 V

[ Capacidade de sobretensão de um acoplador hipotético de 1000 Volt ]

## Características de entrada, saída e transferência

Um fotoacoplador completo apresenta na entrada e na saída, respectivamente, as características elétricas do IRED e do detetor. Uma vez entendidos estes dispositivos e suas ca-

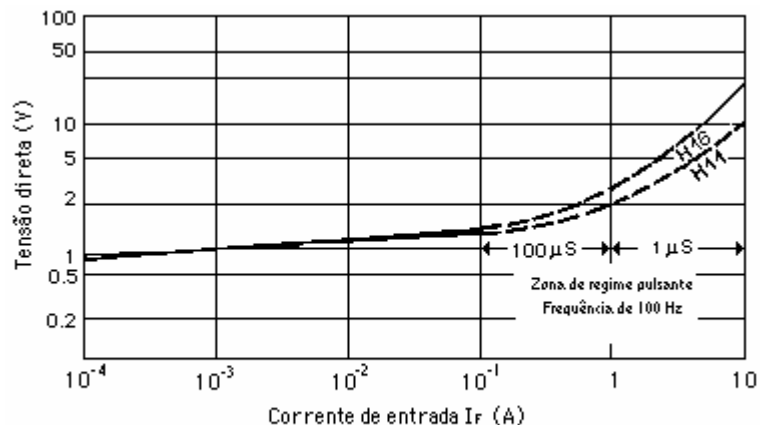
racterísticas dielétricas, consideraremos uma continuação as características específicas deste dispositivo, para proporcionarmos a imagem completa requerida para um projeto analítico de circuito.

### Entrada

As características de entrada de um fotoacoplador são as características do IRED (que geralmente consiste em um diodo único).

A queda de tensão direta, difere muito pouco do IRED separado, devido as diferenças em alguns detalhes do CI e dos contatos.

O gráfico ao lado ilustra essas diferenças para dois tipos de fotoacopladores. Em regime pulsante podemos tolerar correntes de intensidade consideravelmente maior.



Característica de entrada de fotoacopladores típicos  
Tensão direta  $V_f \times I_f$  a 25° C

## Características de Saída e Transferência:

A característica de saída mais importante de um fotoacoplador é a resposta fotodiódica a luz gerada na entrada.

Tanto no transistor como no fotoacoplador Darlington, as características fotodiódicas podem ser medidas na conexão coletor-base.

Para utilizarmos o fotodarlington como fotodiodo, é necessário que o emissor da seção de saída esteja em circuito aberto, e não curto-circuitada.

A razão disto é que a base do transistor de saída não é acessível eletricamente. Portanto, quando o Darlington se conecta com um curto-circuito base-emissor, não atua unicamente como um fotodiodo, mas como um fotodiodo em paralelo com um fototransistor de baixa relação de transferência de corrente (relação corrente de saída/corrente de entrada).

## Tipos de fotoacopladores

O fotoacoplador de transistores é provavelmente a variedade mais difundida de isoladores.

A relação de transferência é relativamente baixa, mantendo a corrente de saída a um nível de 10% a 20% da corrente diódica.

Por exemplo, uma corrente típica de saída é  $\cong 2$  mA para uma corrente diódica de 10 mA.

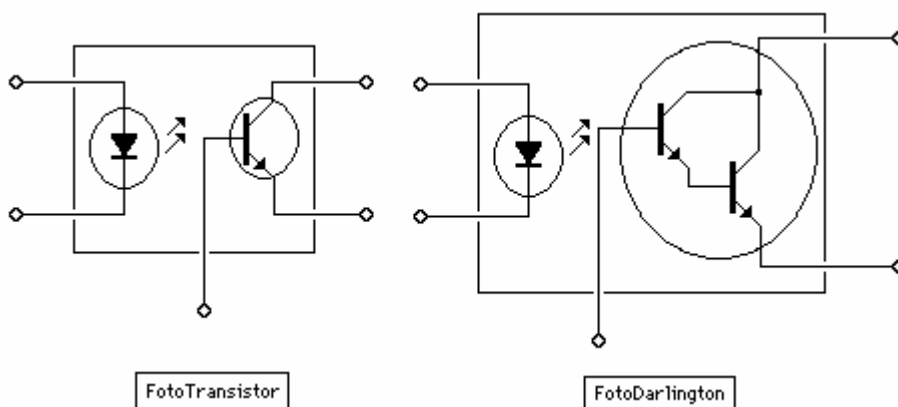
A tensão de isolamento varia entre 500 e 5000 V, dependendo do tipo de isolador.

A largura de banda é de aproximadamente 300 KHz. Todavia o dispositivo é utilizado normalmente em frequências muito inferiores a essa.

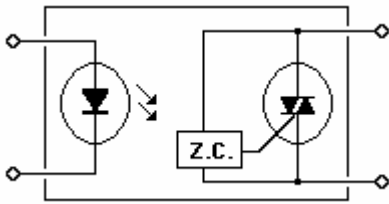
O fotoacoplador Darlington incorpora na etapa de saída um transistor Darlington.

Neste caso, a relação de transferência é muito mais alta, oscilando geralmente entre 100% e 500%. Por exemplo, uma corrente de saída típica é de 30 a 60 mA para uma corrente diódica de 10 mA.

A largura de banda é de aproximadamente 30 KHz. Este tipo de isolador nos casos em que se requer uma frequência mais baixa e uma sensibilidade mais alta.



## FotoTRIAC



O excitador do Triac Isolado (FotoTriac) contém um interruptor bilateral de silício desenhado para o controle direto do TRIAC.

Uma corrente que circula através do diodo ativará o interruptor bilateral. Isto permite comutar a tensão de corrente alternada ou efetuar uma amplificação TRIAC.

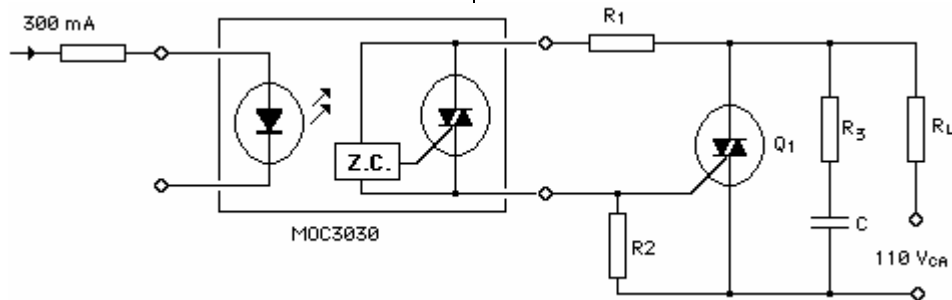
Uma versão melhorada deste amplificador contém circuito de

interseção zero (ZC), e permite ao comutador bilateral ser ativado somente no ponto de corte do zero evitando dessa forma a Radio interferência (RFI).

A corrente diódica requerida para ativar o excitador de TRIAC varia entre 5 e 30 mA, dependendo do tipo de isolador.

A tensão de isolamento típica é de 7500 V. Os amplificadores TRIAC estão desenhados para tensões de saída de 110 V e 240 V. O isolador pode ser utilizado para controlar a carga, se a aplicação requer pequenas correntes CA na ordem de 100 mA.

A figura seguinte ilustra um circuito típico de aplicação deste isolador.



$R_1$  limita a corrente da porta TRIAC.

$R_2$  é uma impedância baixa na comporta TRIAC, cujo objetivo é impedir a ativação por ruído.

$R_3$  e C são utilizados em circuitos que usam carga indutiva.

O circuito de interseção em zero, entretanto, tem algumas limitações.

O circuito de detecção requer um nível mínimo de tensão, neste caso tensão de carga para operar. Esta tensão não está definida pelo fabricante que prefere definir o nível de ten-

são de carga que evitará a ativação.

E neste caso para o modelo MOC3030, o fabricante define esta tensão com o máximo de 25 V. Isto significa que o TRIAC começara a conduzir em algum ponto entre 0 e 25 V.

Para 110  $V_{CA}$  isto é aproximadamente uns 25% do valor médio retificado.

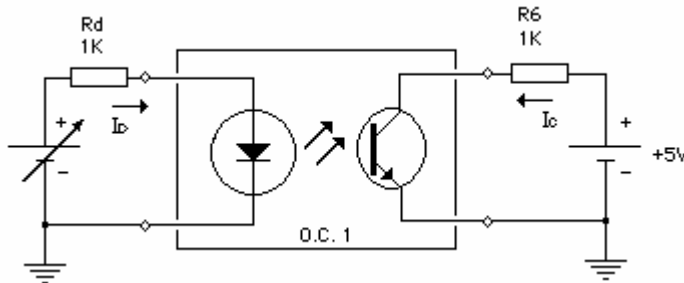
Se desejamos utilizar este circuito para tensões mais baixas, podemos chegar facilmente a um ponto no qual a ativação se produzirá a  $90^\circ$ , e se queremos controlar 12 V de corrente alternada, a operação que cruza o zero desaparecerá totalmente.

Devemos considerar constantemente esta limitação ao avaliar este dispositivo, que tem sido

projetado especialmente para aplicações de alta tensão.

**Procedimento experimental:**

**FotoTransistor: Características**



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Usando o osciloscópio conectado ao coletor do transistor, atue na tensão até conseguir saturá-lo;
- 2-Meça as tensões em  $R_d$  e  $R_6$  e anote na tabela 1;

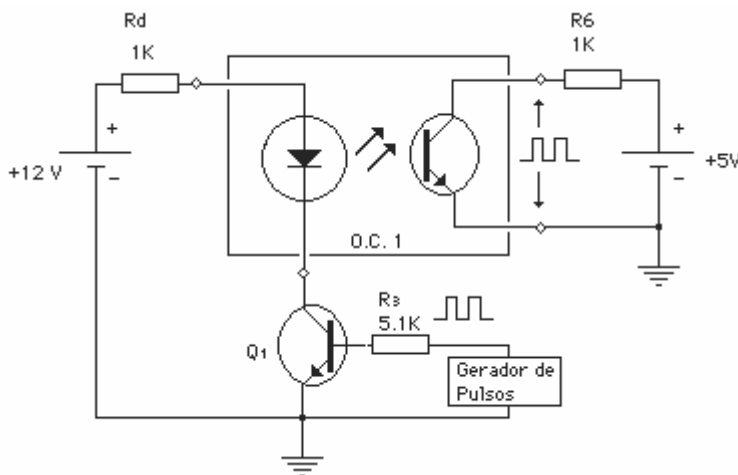
Calcule de forma indireta a corrente diódica, a corrente do transistor e calcule a **CTR - Current Transfer Ratio** - Relação de transferência de corrente).

**Nota:** Antes de anotar alguma coisa, certifique-se do ponto de saturação, lembre-se de que quanto mais precisa for a medição, melhores serão os resultados.

Tabela 1

$V_{Rd}$	$V_{R6}$	$I_b$	$I_c$	CTR

**Resposta em freqüência:**



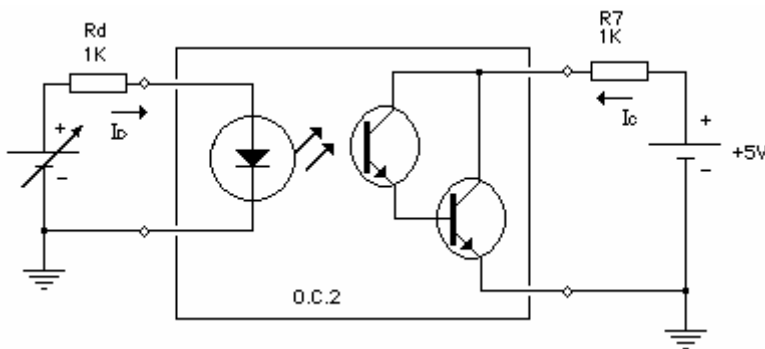
Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Ajuste o gerador de RF em 1 KHz e 5 V<sub>PP</sub>;
- 2-Ponha o osciloscópio na saída do transistor;
- 3-Copie a forma de onda com detalhes no gráfico 1;
- 4-Repita para cada freqüência da tabela.

Gráfico 1

Frequência	Formas de onda da saída	Tsubida	Tdescida
1 KHz			
5 KHz			
10 KHz			
30 KHz			
50 KHz			

## FotoDarlington: Características



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Usando o osciloscópio conectado ao coletor do transistor, atue na tensão até conseguir saturá-lo;
- 2-Meça as tensões em  $R_d$  e  $R_7$  e anote na tabela 2;

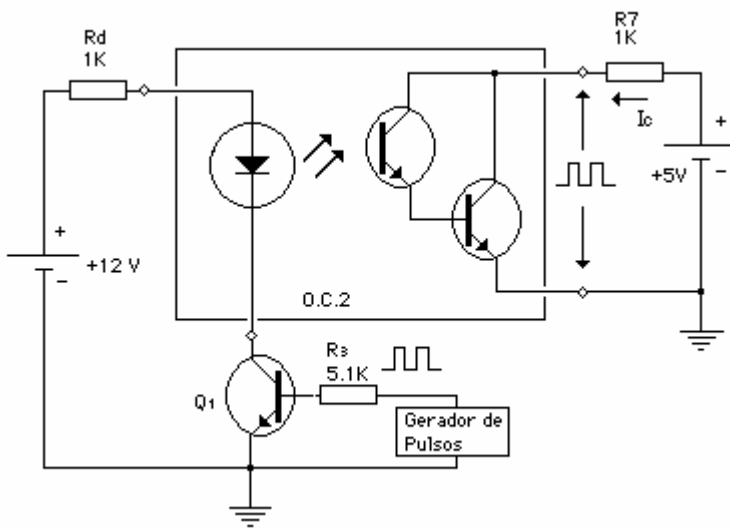
Calcule de forma indireta a corrente diódica, a corrente do transistor e calcule a **CTR** (**C**orrente **T**ransfer **R**atio - Relação de transferência de corrente).

**Nota:** Antes de anotar alguma coisa, certifique-se do ponto de saturação, lembre-se de que quanto mais precisa for a medição, melhores serão os resultados.

Tabela 2

$V_{Rd}$	$V_{R7}$	$I_D$	$I_C$	CTR

# Resposta em frequência



Monte o circuito ao lado, e:

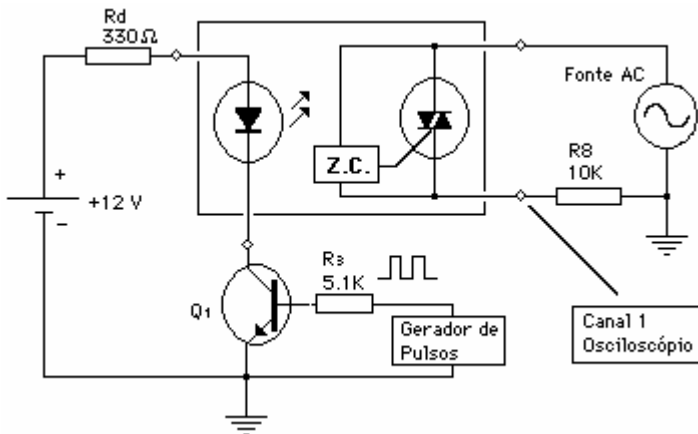
- 1-Ajuste o gerador de RF em 1 KHz e 5 V<sub>PP</sub>;
- 2-Ponha o osciloscópio na saída do transistor;
- 3-Copie a forma de onda com detalhes no gráfico 2;
- 4-Repita para cada frequência da tabela.

Gráfico 2

Frequência	Formas de onda da saída	Tsubida	Tdescida
1 KHz			
5 KHz			
10 KHz			
30 KHz			
50 KHz			

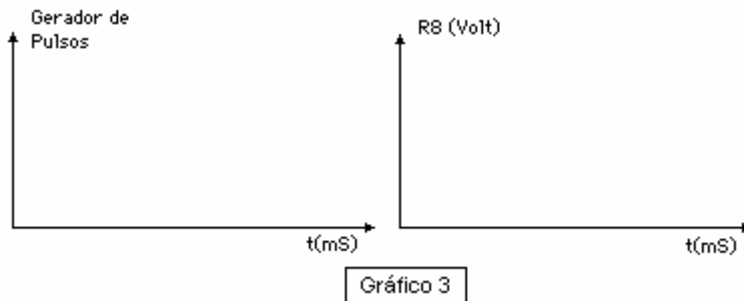


## FotoTRIAC: - Operação do dispositivo



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Ajuste o gerador de RF em 100Hz e 5 V<sub>PP</sub>;
- 2-Ponha o osciloscópio para medir indiretamente a corrente no TRIAC;
- 3-Copie a forma de onda com detalhes no gráfico 3. Note que o TRIAC começa sempre a conduzir a partir de um ponto determinado ou quando o sinal de 100 Hz não sincroniza com a fonte CA;



# COMUTADORES ÓPTICOS:

## Introdução

### **Detetores e emissores ópticos**

Os componentes fotoeletrônicos requerem um encapsulamento que não somente o proteja, mas que também permita que a luz atravesse e chegue ao sensor.

A abertura pode ser modificada para proporcionar um efeito de lente e dessa maneira assegurar a obtenção de uma resposta melhor no eixo óptico da lente, uma maior direcionalidade do foco e uma abertura maior em conjunto com uma maior resolução.

Na maioria dos componentes comerciais a lente é parte integral da cápsula por razões puramente econômicas. Portanto o controle preciso das tolerâncias ópticas é depreciado até certo ponto com o objetivo de economizar a proteção do circuito integrado por meio do selo hermético do mesmo.

Os componentes de lente apresentarão maior tolerância, isto é terão respostas básicas mais amplas.

Quando é necessário um sistema óptico altamente direcional de alto ganho, geralmente são necessários componentes sem lente integrada, obtendo com componentes externos a qualidade desejada.

O segundo mais importante fator na montagem do detector/emissor é a escolha de um encapsulamento plástico ou hermético. Podemos encontrar ambos sem lente ou com lente integrada.

As cápsulas plásticas tem o eixo óptico disposto em forma

perpendicular aos terminais enquanto que as herméticas o eixo óptico se encontra paralela aos mesmos. A cápsula hermética operará com potências maiores, conseqüentemente sobre uma margem mais ampla de temperatura, e que por essa razão suporta condições ambientais muito mais severas, todavia é muito mais cara que a plástica. Se bem que o uso de alguns componentes em certas condições é restrita a outros, e evidentemente o usuário deve analisar com muito cuidado as condições necessárias a aplicação e em face a isto escolher o tipo de encapsulamento a ser adotado.

### **Módulos interruptores/refletores**

A utilização de módulos interruptores/refletores elimina a maior parte dos cálculos ópticos e os problemas geométricos e de conversão para as aplicações de transdução de posição.

Estes módulos são especificados na entrada e na saída de forma simultânea (como par acoplado) e plantam uma série de limitações à entrada mecânica.

O projetista deve somente proporcionar a corrente de entrada e a entrada mecânica, isto é, utilizar um objeto opaco para impedir que a radiação infravermelho atravesse a abertura), e controlar a saída elétrica.

Além das exigência padrão de tolerância, resolução e potência requer conhecimentos adicionais sobre a capacidade do objeto estudado para bloquear ou refletir as ondas infraver-

melho e os efeitos estimados das condições de luz ambiente que possam gerar sinais espúrios.

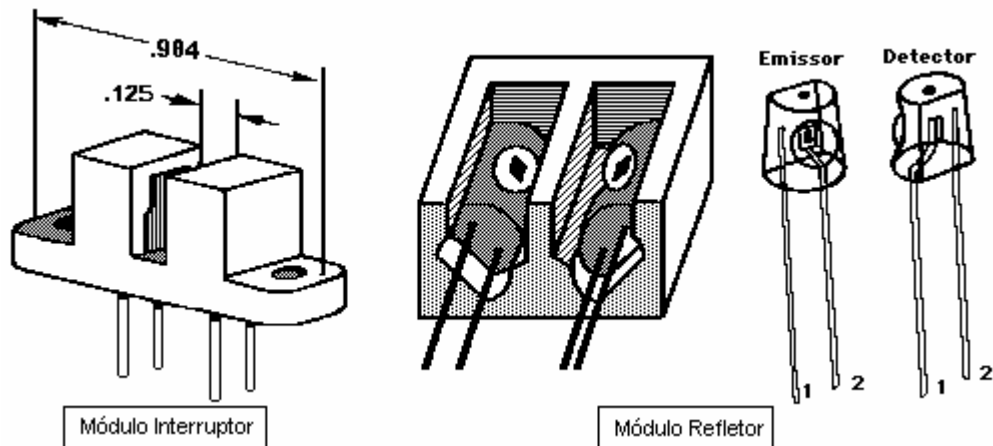
Isto se aplica tanto a módulos comerciais padrão de produção em série como aqueles feitos em pequena escala de produção, dado que os parâmetros mecânicos e ópticos de qualquer um deles é fixo.

Uma vez que o módulo tenha sido especificado em suas ca-

racterística mínimas e máximas, este não requer maiores cuidados no projeto óptico.

Estes módulos se enquadram na mesma categoria de projeto que os comutadores de limite de precisão mecânica com a exceção de que o mecanismo ativador bloqueia ou reflete a luz ao invés de aplicar uma força.

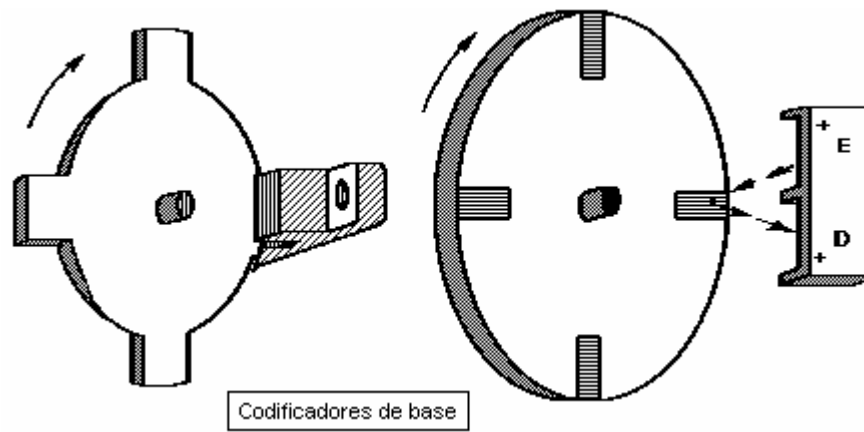
O desgaste mecânico e os defeitos de deformação são portanto eliminados deste.



A maioria dos módulos interruptores disponíveis no mercado foram projetados com base em emissores e detectores montados em plástico. Os módulos refletores e outros módulos existentes foram projetados com componentes montados em módulo plástico ou em forma hermética, dependendo da relação custo/benefício.

Os dispositivos de lente são predominantes nestas aplicações devido ao fato da transmissão de luz nos módulos re-

fletores, os quais são mais largos, dependem do ângulo, e geralmente são menos eficientes. Isto também explica a inexistência de módulos refletores padronizados, dado que deve-se conservar a estreita cercania do módulo e o ajuste mecânico para poder oferecer um perfeito acoplamento óptico. Vemos então que existem diversas necessidades de montagem mecânica para cada sistema mecânico existente.



## Luz Ambiente

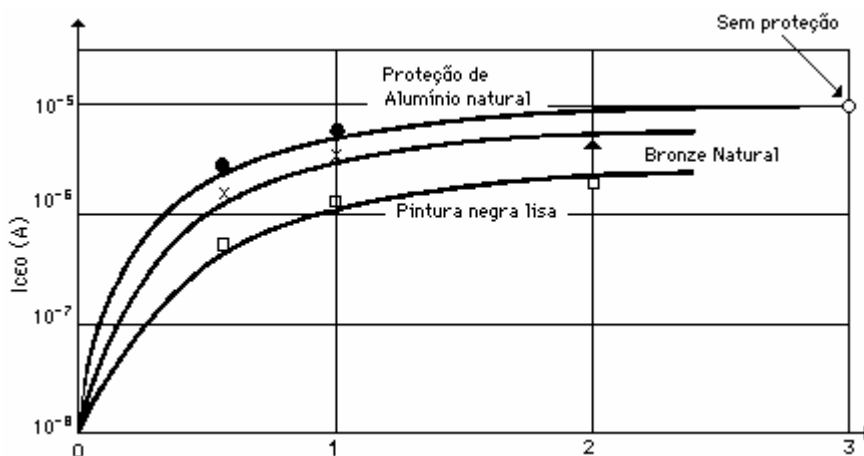
O efeito da luz sobre os fenômenos optoeletrônicos é difícil de estimar, dado que a luz não pode ser facilmente quantificada em termos de nível, direção, conteúdo espectral e modulação.

A menos que o detetor seja muito direcional, todas as superfícies refletoras que se encontrem no sistema devem ser encobertas com material não refletor, ou protegidas tanto da luz ambiente como de reflexos da fonte de luz.

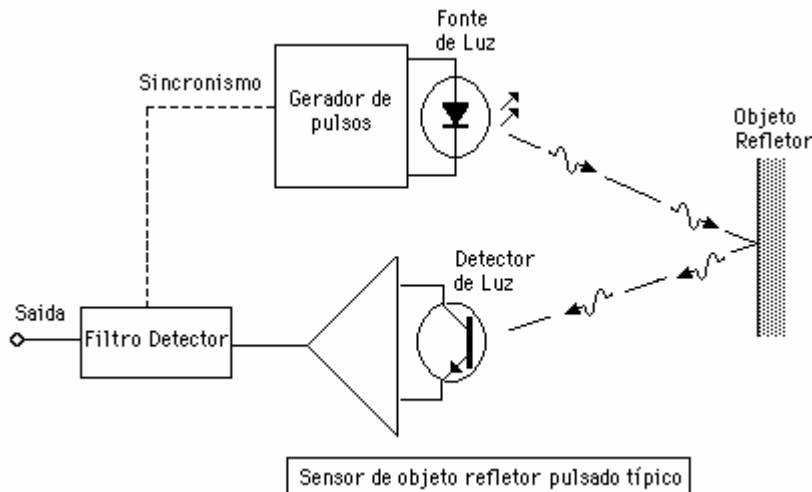
A iluminação na parte traseira do refletor pode causar problemas ao refletir luz do objeto que normalmente obstrui a trajetória da luz. No caso de

ser necessário, podemos utilizar um sistema de luz codificado ou decodificado por pulso para proporcionar uma alta imunidade contra a luz ambiente e estender consideravelmente o alcance do raio de luz (distância), o que melhora o performance do sistema.

Pulsando o IRED podemos obter uma alta potência luminosa. Podemos obter altas relações sinal/ruído no detetor por meio de técnicas simples de decodificação de pulsos e processamento de sinais CA. A seguir veja as características de um sistema assim.



## Sistemas Pulsados



sibilidade do detector para o mesmo trabalho dado que nos sistemas pulsados podemos incluir com certa facilidade alguns circuitos mais baratos.

Geralmente, o desempenho de um sistema pulsado superará o de estado fixo.

Os sistemas de baixo custo, geralmente utilizam pulsos de corrente produzidos por um dispositivo UJT, com um período de 1 a  $10\mu\text{s}$  em um regime de trabalho de 0,1% a 1% em um IRED, dados que tempos menores que estes não produzem um aumento proporcional na saída de luz, mas a sua geração requer circuitos mais sofisticados e caros.

O detector consiste geralmente em um fototransistor, derivado em cascata por uma amplificador de CA; este geralmente construído com 1 ou 3 transistores uma vez que os amplificadores baratos de circuito integrado são demasiadamente lentos.

A retificação síncrona do amplificador de CA por meio de um gerador de pulsos permite um

Os sistemas de luz pulsados podem proporcionar um rendimento ótimo nas aplicações de pares detetor/emissor pois são construídos com circuitos mais completos.

O custo de um sistema pulsado pode ser de fato menor que o de fonte de luz da alta potência e o mesmo se pode dizer sobre a sensibilidade do detector para o mesmo trabalho dado que nos sistemas pulsados podemos incluir com certa facilidade alguns circuitos mais baratos.

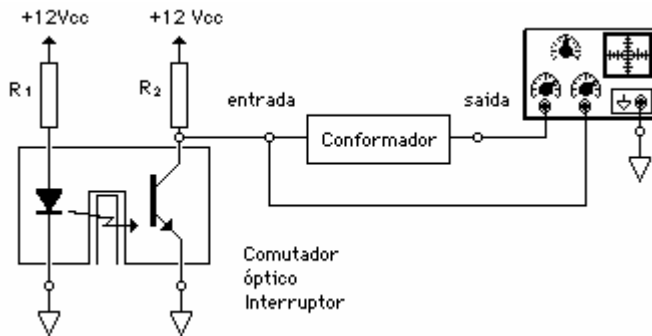
notável aumento do rendimento a baixo custo.

Os tubos de centelhamento de XENON e as fontes de luz a LASER são as que proporcionam maior saída, mas seu custo e complexidade limitam o uso destas fontes em sistemas de rendimento extremamente alto.

Os progressos normais na relação custo/benefício são as seguintes: Operação em corrente contínua sem óptica externa, operação pulsante sem óptica externa, operação pulsante com óptica externa, sistemas exóticos (LASER, etc). Ocasionalmente, lentes plásticas vulgares permitirão obter custos menores que aqueles de pulso eletrônico, mas o custo do alinhamento e os sistemas mecânicos devem ser considerados para efeito de comparação.

## Procedimento experimental:

### Comutador-Interruptor óptico - Características



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Ligue o motor com 5 V<sub>CC</sub>;
- 2-Copie com detalhes as formas de onda do osciloscópio no gráfico 4;
- 3-Anote com cuidado os tempos de subida e de descida T<sub>ON</sub> e T<sub>OFF</sub> na tabela 3;
- 4-Conte os orifícios do disco.

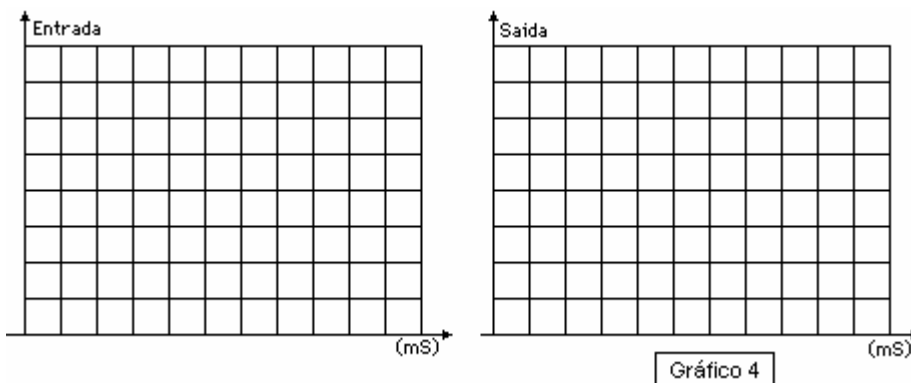
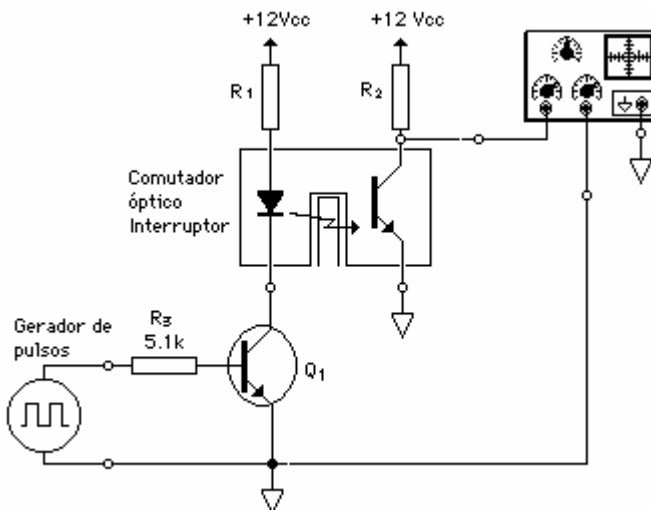


Tabela 3

Orifícios	
T <sub>on</sub>	
T <sub>off</sub>	
RPM *	

\* - calcule a velocidade em RPM.

### Resposta em frequência



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Ajuste o gerador de pulsos para 1 KHz e 5 V<sub>PP</sub> e anote com cuidado os tempos de subida e de descida T<sub>ON</sub> e T<sub>OFF</sub> na tabela 4;
- 2-Movimente a placa do interruptor até que você observe uma forma de onda o mais próximo possível da quadrada no osciloscópio. Isto ocorre porquê há um orifício entre o diodo emissor e o transistor receptor;
- 3-Anote o nível de tensão de saída e a forma de onda no gráfico 5;
- 4-Repita o procedimento para as frequências da tabela 5.

Tabela 4

T <sub>on</sub>	
T <sub>off</sub>	

Tabela 5

Frequência	10 Hz	50 Hz	100 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	5 KHz	7 KHz	10 KHz	12 KHz	15 KHz	17 KHz	20 KHz	25 KHz	30 KHz
Tensão de saída (V <sub>pp</sub> )															
Tensão de saída (dB) *															

\* - A ser calculado.

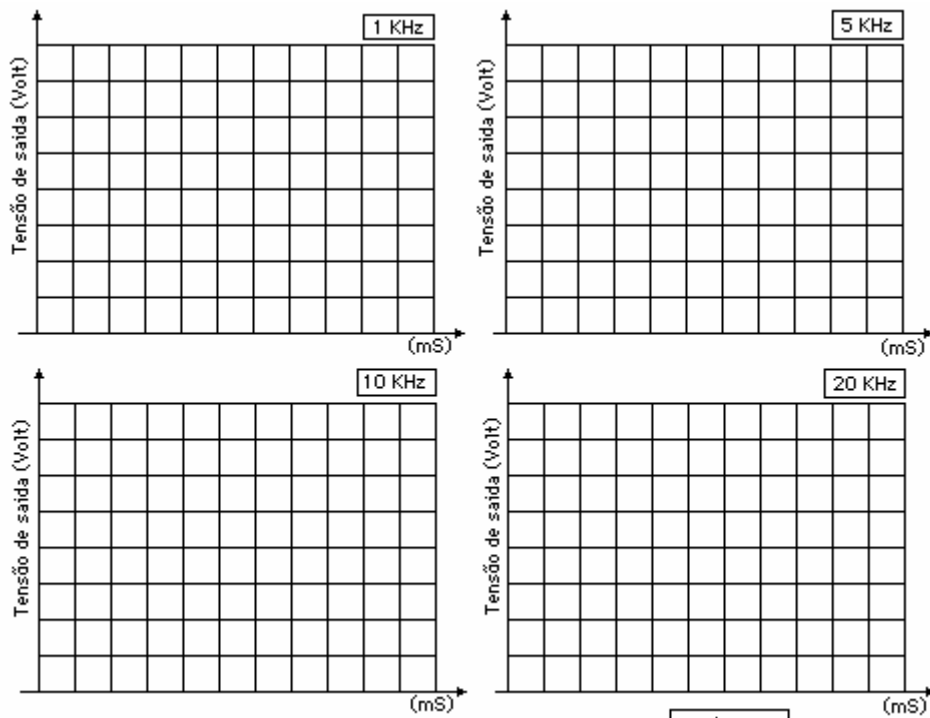
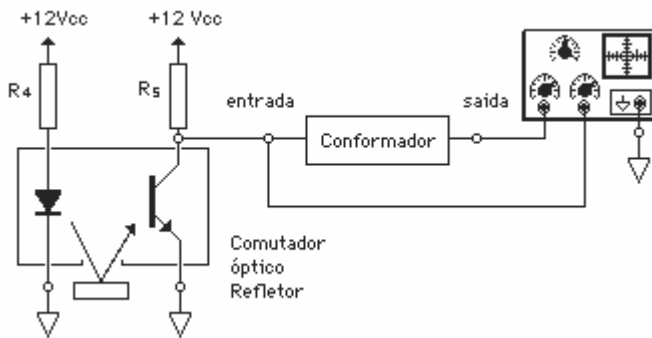


Gráfico 5

## Comutador-Refletor óptico - Características



- 1-Ligue o motor com 5 V<sub>CC</sub>;
- 2-Copie com detalhes as formas de onda do osciloscópio no gráfico 6;
- 3-Anote com cuidado os tempos de subida e de descida T<sub>ON</sub> e T<sub>OFF</sub> na tabela 6;
- 4-Conte os orifícios do disco.

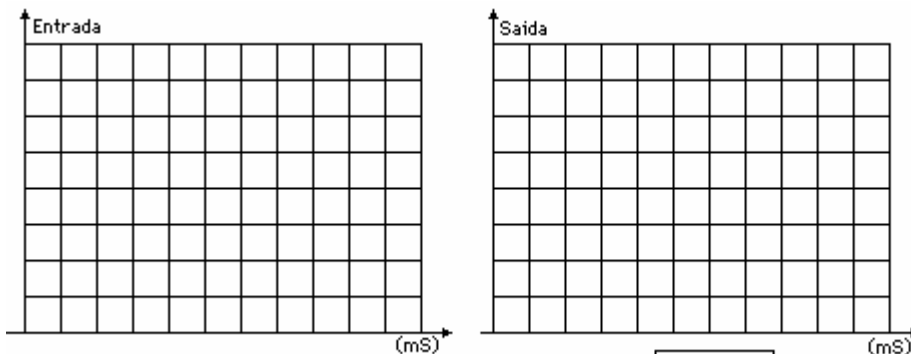


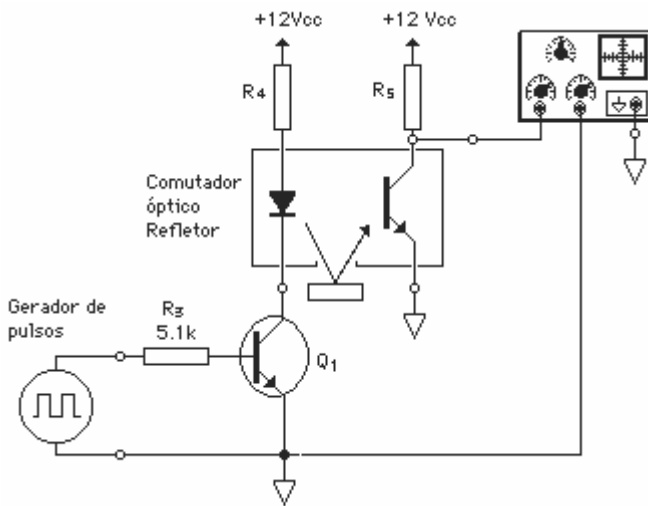
Gráfico 6

Tabela 6

Orifícios	
T <sub>on</sub>	
T <sub>off</sub>	
RPM *	

\* - calcule a velocidade em RPM.

# Resposta em frequência



Monte o circuito ao lado, e:

- 1-Ajuste o gerador de pulsos para 1 KHz e 5 V<sub>PP</sub> e anote os tempos de subida e de descida T<sub>ON</sub> e T<sub>OFF</sub> na tabela 7;
- 2-Movimente a placa refletora até que você observe uma forma de onda o mais próximo possível da quadrada no osciloscópio. Isto ocorre porquê há uma reflexão do sinal do diodo emissor ao transistor receptor;
- 3-Anote o nível de tensão de saída e a forma de onda no gráfico 7;
- 4-Repita o procedimento para as frequências da tabela 8.

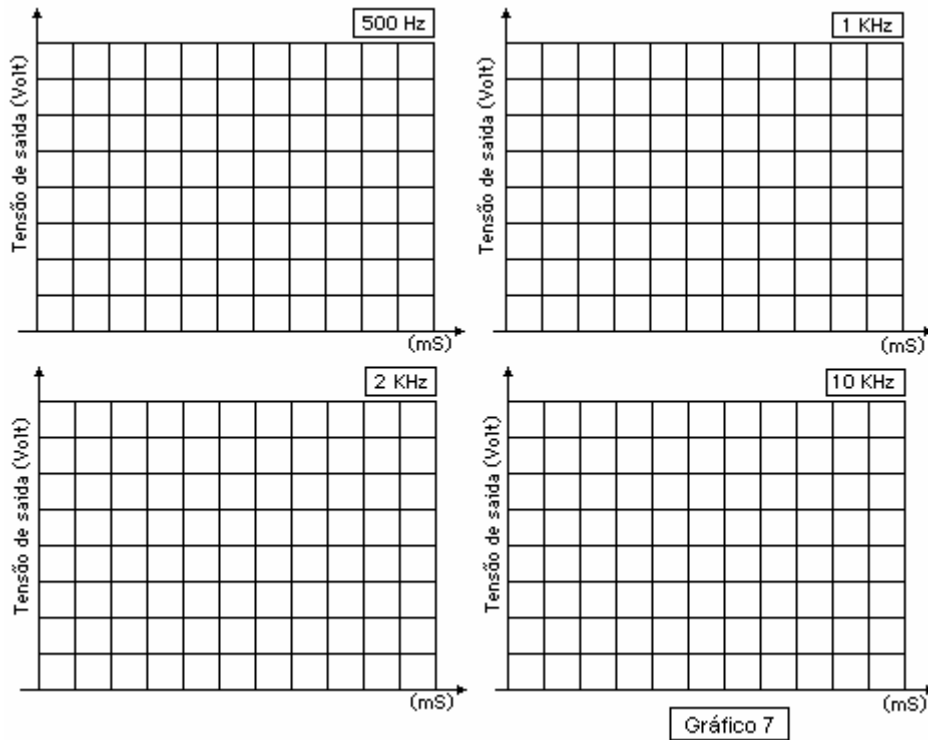
Tabela 7

T <sub>on</sub>	
T <sub>off</sub>	

Tabela 8

Frequência	10 Hz	50 Hz	100 Hz	500 Hz	1 KHz	2 KHz	5 KHz	7 KHz	10 KHz	12 KHz	15 KHz	17 KHz	20 KHz	25 KHz	30 KHz
Tensão de saída (V <sub>pp</sub> )															
Tensão de saída (dB) *															

\* - A ser calculado.





## DISPOSITIVOS INFRAVERMELHOS:

### Introdução

Os dispositivos fotoelétricos podem emitir radiação eletromagnética quando são atravessados por uma corrente, ou ainda podem absorver radiação e converte-la em uma quantidade elétrica mensurável (trocas em V, I ou R). A radiação eletromagnética se refere a energia irradiada na região espectral visível, assim como nas regiões espectrais adjacentes ultravioletas e infravermelhas (0,3, ..., 15 $\mu$ m).

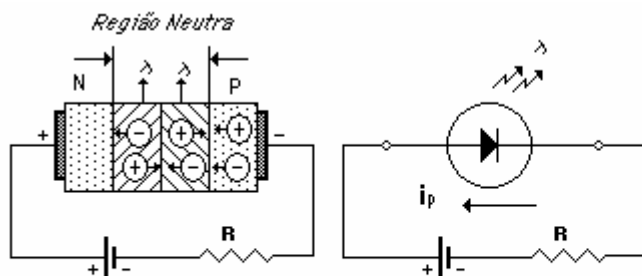
- **LED (Light Emissor Diode)**

Se uma corrente elétrica passa através de um diodo semicondutor, os elétrons e as lacunas são injetados nas regiões P e N respectivamente. Dependendo da magnitude da corrente

tem lugar uma recombinação dos portadores livres de carga (elétrons e lacunas).

De acordo com o conceito da banda de energia (região de depleção) lá ocorre a chamada recombinação radiante que requer que os elétrons saltem de uma órbita de alta energia para outra de baixa energia, e a energia restante se converte em energia eletromagnética que é irradiada. Neste caso, a energia de radiação emitida, e portanto o comprimento de onda, depende da energia restante dessa transição dos elétrons.

A transição direta de elétrons entre órbitas energéticas em **GaAs**, por exemplo, produzirá um comprimento de onda dado por:



$$\lambda = \frac{h \cdot c}{\Delta W} = 900 \text{ nm}$$

Onde:  $h =$  Constante de Planck =  $4,6 \times 10^{-15}$  eVs (elétron Volt)  
 $c =$  Velocidade da Luz =  $3 \times 10^8$  m/S  
 $\Delta W =$  Diferença de energia = 1,38 para GaAs (Arsenieto de Gólio)

- **Dispositivos fotosensores**

A operação dos dispositivos fotosensores se baseia no efeito fotoelétrico de contato. As principais características deste efeito são a geração de pares de portadores de carga, como resultado da absorção de luz por parte do material semicondutor e o acúmulo de portadores minoritários de carga na junção

PN; em todo caso, tudo isto produz uma corrente fotoelétrica no circuito externo. A divisão tradicional dos dispositivos fotoeletrônicos em emissores, detetores e acopladores, também proporciona os títulos abaixo, os quais podem descrever os processos de fabricação destes dispositivos. Os emisso-

res, no contexto deste trabalho, são definidos como dispositivos compostos por algumas substâncias tais como GaAs, GaAsP e GaP, ainda que os detetores sensíveis a luz visível e infravermelha de curto comprimento de onda usam silício.

A tecnologia de acopladores consiste principalmente de tecnologia de encapsulamento de montagem para produzir por meio de uma hábil combinação de emissores e detetores através de um meio de acoplamento, um dispositivo tão compacto quanto possível. O comprimento de onda da radiação produzida pelos diodos emissores de luz é determinada não somente pelo material semiconductor empregado na sua fabricação mas até certo ponto pelo modo no qual este material é impurificado.

Material	Comprimentos de Onda
GaAs: Zn	Infravermelho de 900 nm
GaAs: Si	Infravermelho de 930 nm
GaAsP	Violeta de 660 nm
GaAsP: N	Laranja de 630 nm
GaAsP: N	Amarelo de 590 nm
GaP: N	Verde de 560 nm

Os diodos de Arsenieto de Gálio (GaAs) emitem luz na região infravermelho, com comprimentos de onda que variam de 800 a 1000 nm.

Basicamente existem 2 processos que são utilizados na fabricação de diodos infravermelhos, e a principal diferença entre ambos, consiste na maneira com que é fabricada a junção PN.

A junção PN é formada pela união de Zinco em bolachas (Waffers) de GaAs com impurezas N monocristalinas.

A difusão se efetua sobre toda a área da bolacha, de modo que a junção PN dos dispositi-

vos produzidos continuamente pela divisão da bolacha se estendam até a borda aberta (Técnica planar) ou é efetuada através de janelas, por um processo fotolitográfico sobre uma cobertura de máscara apropriada (como por exemplo Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> + SiO<sub>2</sub> inseridas sobre a superfície de GaAs).

Neste último caso, os dispositivos se dividem ao longo dos marcos das janelas, e a borda de união PN não se estende até a margem do dispositivo (Técnica Planar).

Neste caso, utilizamos uma técnica epitaxial de fase líquida para precipitar uma delgada capa de Arsenieto de Gálio monocristalino de um preparado de Silício impuro sobre uma bolacha de Arsenieto de Gálio com impurezas N. Devido aos diferentes padrões de deposição de Silício na estrutura de cristal de GaAs do começo ao fim do processo, formando uma junção PN.

Os diodos IR (InfraRed) com difusão de Zinco tem tempo de resposta rápido (1 a 100 ns), mas produzem um nível de radiação relativamente baixa (0,5 a 2 mW); Os diodos IR com impurezas de Si, por outro lado, tem tempo de resposta na ordem de centenas de ns, mas podem produzir níveis de potência elevados, de até 20 mW.

Os detetores, assim como os fotodiodos, células fotovoltaicas e fototransistores são fabricados por técnicas comprovadamente eficazes. As junções PN de detectores de Silício são produzidas pelo mesmo processo dos fotodiodos, com técnica planar. Os emissores IR tem um espectro bem definido na faixa de infravermelho, ainda que os

detetores cubram um espectro muito amplo.

Em algumas aplicações são utilizados emissores infravermelhos para transmitir informações a um detetor que deve responder a essas informações. Para podermos eliminar a interferência do meio ambiente, o detetor é coberto por uma lente de filtro infravermelho que modificara a resposta espectral muito ampla do detetor e a transformara em uma faixa bastante estreita.

Este canal é utilizado para diversos tipos de comunicação, principalmente em controle remoto. Os dispositivos de emissão e detecção geralmente tem lente, a qual faz com que o canal tenha um ângulo de radiação definido. Há vários tipos destes dispositivos:

### 1. Dispositivos com janela plana

Estes dispositivos são de menor sensibilidade ou intensidade de radiação, mas dispõem de um grande ângulo de radiação ( $\alpha > 70^\circ$ ). Não apresenta problemas de posicionamento, e não é necessário efetuar um ajuste fino para receber uma imagem adequada do objeto a ser medido ou obter uma projeção exata da área emissora.

Quando este é utilizado com um sistema óptico adicional, eles são ideais para aplicações em barreiras de luz de médio alcance.

### 2. Dispositivos com lente

Estes são divididos em 2 grupos: Lente de foco médio e lente de foco preciso.

- a) Dispositivos com lentes de foco médio;

Estes dispositivos tem ou produzem 10 vezes mais sensibilidade ou intensidade de radiação que aqueles sem lentes (vidros planos), possuem ângulos com a metade da intensidade ou da sensibilidade, isto é, algo entre  $25^\circ$  e  $40^\circ$ .

Além disso precisa de um alinhamento mais preciso, se bem que os desvios de até  $\pm 5\%$  quase não tem influência sobre o desempenho deste dispositivo. Neste dispositivos temos obtido o melhor compromisso entre enfoque e sensibilidade/intensidade de radiação, sendo portanto os mais recomendáveis para a grande maioria das aplicações existentes.

- b) Dispositivos com lentes de foco preciso (alto perfil).

Dado que o ângulo da metade da sensibilidade ou de intensidade destes dispositivos é muito fechado ( $\alpha=10^\circ$ ) isto é, cerca de 25 vezes maior que a dos dispositivos de vidros planos. Por esta razão, a calibração do instrumento que o utilize deve ser feito muito cuidadosamente, pois o menor desvio faz com que se perca o foco óptico.

Estes dispositivos são ideais para medições de luminosidade em grandes superfícies (em sistemas de proteção de fornos, por exemplo) ou sem sistemas de barreiras de luz simplesmente e de curto alcance, (poucos centímetros). As lentes utilizadas na área dos dispositivos fotoelétricos são, via de regra, simples gotas de vidro encapsuladas e não verdadeiramente lentes no sentido óptico geométrico, portanto, seu eixo mecânico desvia algumas vezes do

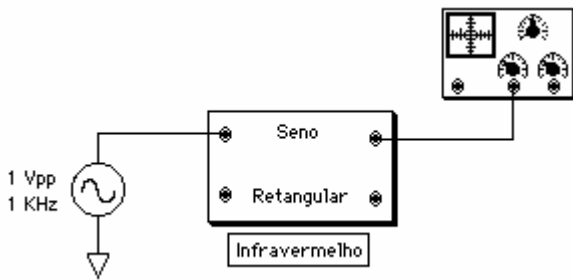
eixo óptico (Efeito de estrobismo).

O grande cuidado a ser tomado nesses casos, é que uma

disposição inadequada da lente poderia inclusive difundir ao invés de focar a radiação recebida ou emitida.

## **Procedimento Experimental:**

### **Resposta em frequência**



Monte o circuito ao lado, e:

1-Ajuste o braço mecânico até obter a melhor resposta (Use  $P_1$  e  $P_2$  para ajuste de níveis - evite ao máximo as distorções);

2-Mantendo o nível de entrada sempre constante (ajuste se necessário) meça o nível de saída para as diferentes frequências;

3-Refira-se ao nível do sinal de saída de 1kHz

como 0 dB. Calcule os níveis de sinal em dB e anote o resultado na tabela.

Tabela 9

Frequência (Hz)	10	100	500	1K	5K	10K	15K	20K	30K	40K	50K
Nível de sinal de saída (Volt)											
dB											

\*\*\* Nível de sinal de entrada: \_\_\_\_ Vpp

### **Padrão de Radiação**

1-Ainda mantendo a montagem anterior, ajuste o braço mecânico até obter a melhor resposta (Use  $P_1$  e  $P_2$  para ajuste de níveis - evite ao máximo as distorções);

2-Para esta posição ótima, anote o ângulo do braço;

3-gire o braço no sentido horário de  $2^\circ$  em  $2^\circ$  e anote a amplitude de saída na tabela 10;

4-Coloque no ângulo ótimo e gire o braço no sentido anti-horário de  $2^\circ$  em  $2^\circ$  e anote a amplitude de saída na tabela 11;

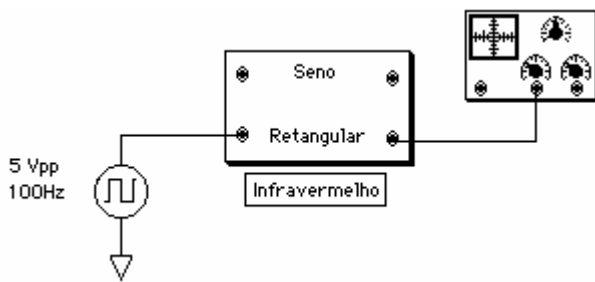
Tabela 10

Ângulo (graus)	Referência	+2	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+16	+18	+20
Nível de sinal de saída (Volt)											
dB											

Tabela 11

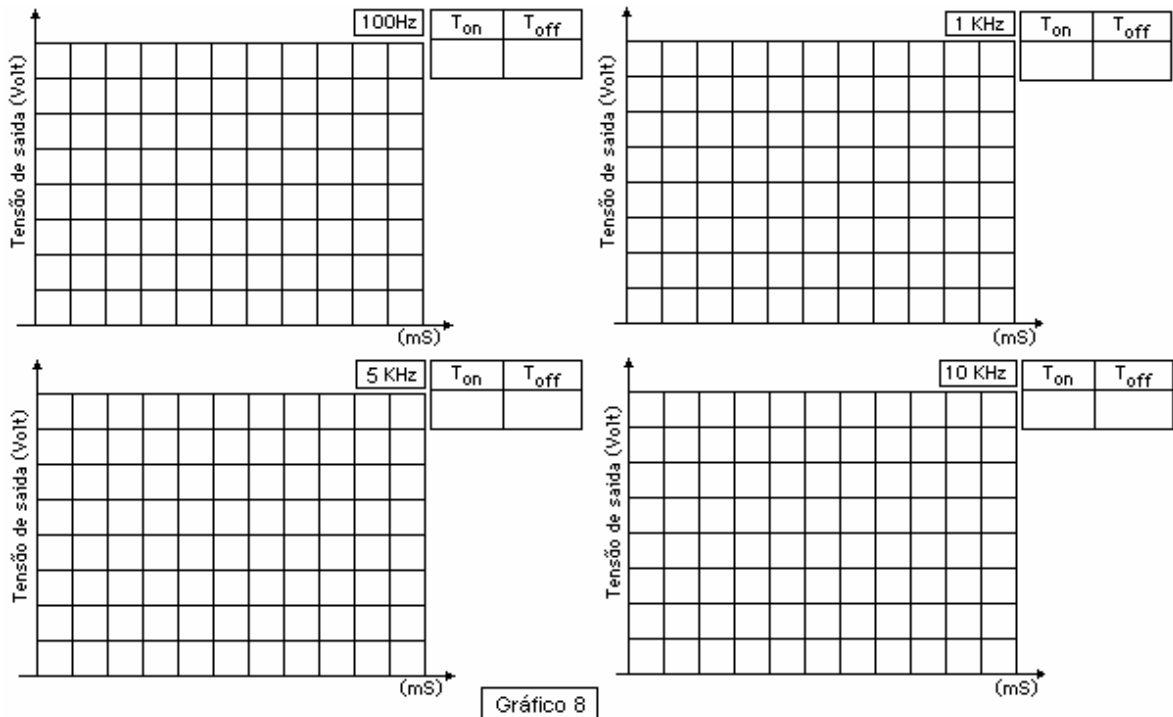
Ângulo (graus)	Referência	+2	+4	+6	+8	+10	+12	+14	+16	+18	+20
Nível de sinal de saída (Volt)											
dB											

## Resposta a onda quadrada



Monte o circuito ao lado, e:

1-Ajuste o gerador de pulsos para 100 Hz e 5 V<sub>PP</sub> e anote com cuidado os tempos de subida e de descida T<sub>ON</sub> e T<sub>OFF</sub> e os detalhes no gráfico 8.



## Análise de Resultados:

### • Fotoacopladores:

1. Compare as características do acoplador de Transistor com o acoplador Darlington;
2. Explique o funcionamento do excitador de TRIAC desenhado anteriormente e a forma de onda da saída

### • Comutadores ópticos:

1. Compare as características dos dois tipos de comutadores ópticos;
2. explique a origem da instabilidade do comutador óptico de interrupção;
3. Explique o método de cálculo de rotações por minuto;
4. Calcule e registre em papel monoLog os valores em dB a curva de Tensão de saída x Freqüência.

- **Resposta em onda quadrada:**

1. Calcule e registre em papel monoLog os valores em dB a curva de Tensão de saída x Freqüência.
2. Determine de quem é o melhor comportamento: Onda quadrada ou onda Senoidal. Justifique.