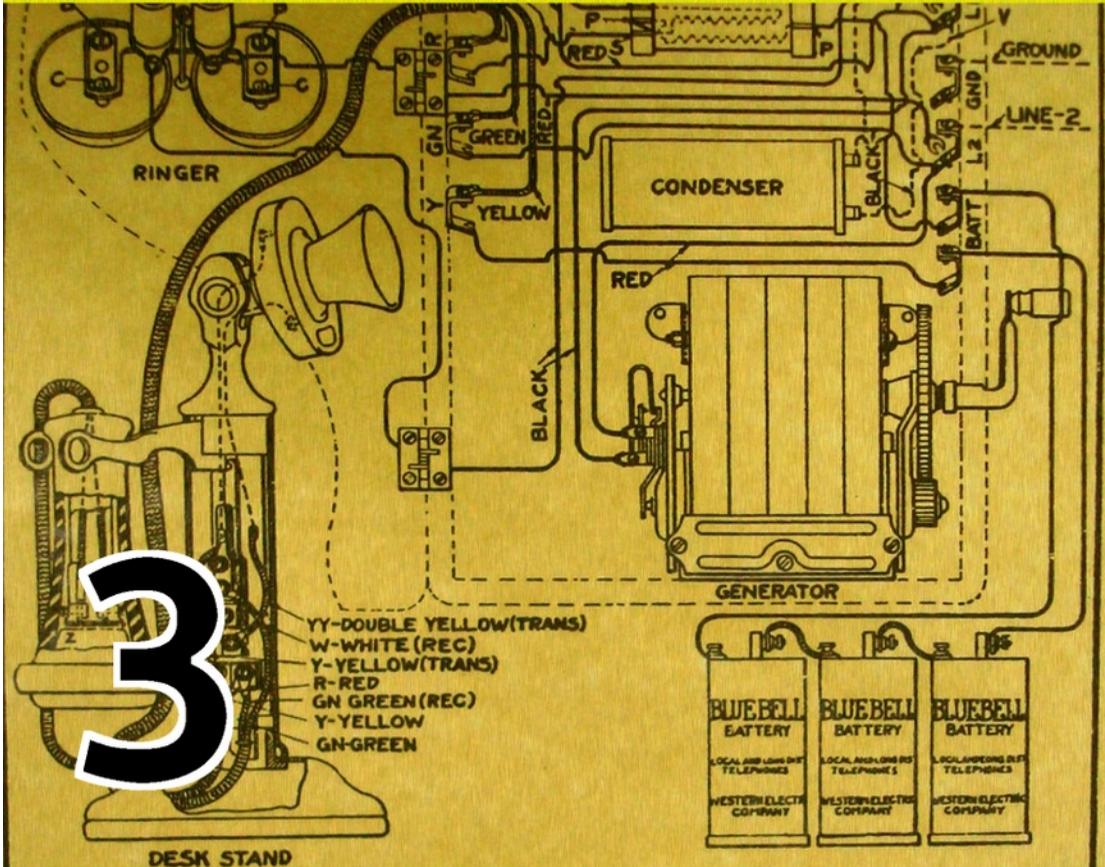


# COMO FUNCIONA

Aparelhos, Circuitos e Componentes Eletrônicos



Osciladores - Inversores - LDOs - Pontes  
Fontes - PLL - Rádio - Multímetro - ETC..



**MOUSER**  
ELECTRONICS



# **Como Funciona**

## **Aparelhos, Circuitos e**

## **Componentes Eletrônicos**

### **Volume 3**

**Newton C. Braga**

**Patrocinado por**



**MOUSER**  
**ELECTRONICS**



São Paulo - Brasil - 2020



**Instituto NCB**

[www.newtoncbraga.com.br](http://www.newtoncbraga.com.br)  
[leitor@newtoncbraga.com.br](mailto:leitor@newtoncbraga.com.br)

**Diretor responsável:** Newton C. Braga

**Coordenação:** Renato Paiotti

**Impressão:** AgBook – Clube de Autores

**Nosso Podcast**



Como Funciona - Aparelhos, Circuitos e Componentes Eletrônicos  
- Volume 3

**Autor:** Newton C. Braga  
São Paulo - Brasil - 2020

**Palavras-chave:** Eletrônica - aparelhos eletrônicos -  
componentes - física - química

Copyright by  
INSTITUTO NEWTON C BRAGA.  
1ª edição

Todos os direitos reservados. Proibida a reprodução total ou parcial, por qualquer meio ou processo, especialmente por sistemas gráficos, microfílmicos, fotográficos, reprográficos, fonográficos, videográficos, atualmente existentes ou que venham a ser inventados. Vedada a memorização e/ou a recuperação total ou parcial em qualquer parte da obra em qualquer programa juscibernético atualmente em uso ou que venha a ser desenvolvido ou implantado no futuro. Essas proibições aplicam-se também às características gráficas da obra e à sua editoração. A violação dos direitos autorais é punível como crime (art. 184 e parágrafos, do Código Penal, cf. Lei nº 6.895, de 17/12/80) com pena de prisão e multa, conjuntamente com busca e apreensão e indenização diversas (artigos 122, 123, 124, 126 da Lei nº 5.988, de 14/12/73, Lei dos Direitos Autorais).

# Índice

<b>Apresentação da Série.....</b>	<b>8</b>
<b>Apresentação.....</b>	<b>10</b>
<b>Osciladores.....</b>	<b>11</b>
a) Osciladores com Dispositivos de Resistência Negativa.....	12
Oscilador de Relaxação Com Lâmpada Neon.....	13
Oscilador de Relaxação com Transistor Unijunção.....	15
Outros Osciladores de Relaxação.....	17
b) Osciladores com Dispositivos Amplificadores.....	19
Oscilador Hartley.....	20
Oscilador Colpitts.....	24
Oscilador por Deslocamento de Fase.....	25
Oscilador de Bloqueio.....	28
Oscilador Controlado por Cristal.....	30
Multivibradores.....	32
Osciladores Integrados.....	34
<b>Os Inversores .....</b>	<b>37</b>
Como Funciona um Inversor.....	37
Energia não se cria.....	38
Inversores Comerciais.....	40
Trabalhando com Inversores.....	41
Diagnóstico de Problemas.....	43
Circuito Prático.....	43
<b>Conheça os LDOs.....</b>	<b>47</b>
Reguladores Lineares de Tensão Comuns.....	48
LDO – Low Dropout.....	49
Transistor NPN.....	50
Darlington NPN.....	51
Transistor PNP.....	51
Par PNP/NPN.....	51
PMOS.....	51
As Arquiteturas.....	52
<b>Configurações de Transistores.....</b>	<b>58</b>
<b>Dissipadores de Calor.....</b>	<b>66</b>

Tipos de Dissipadores.....	67
Inércia Térmica.....	73
<b>As Pontes de Medida.....</b>	<b>75</b>
O Que é uma Ponte.....	75
Ponte de Thomson.....	76
Ponte de Sauty.....	77
Ponte de Schering.....	79
Ponte de Wien.....	80
Ponte de Maxwell.....	81
Ponte de Hay.....	82
Ponte de Owen.....	83
<b>Como Funciona o Multímetro.....</b>	<b>85</b>
O Instrumento de Bobina Móvel.....	86
Medindo a Corrente.....	88
Medida de Tensão.....	90
Medida de Resistências.....	93
Escolhendo e Usando um Multímetro.....	97
<b>Fontes de Alimentação Lineares.....</b>	<b>99</b>
A Escolha do Transformador.....	103
Como Escolher um Transformador para uma Fonte.....	107
Como os Fabricantes Especificam os Transformadores.....	108
As Características Elétricas.....	109
Como Entender as Especificações Elétricas dos Transformadores:.....	111
<b>Como Funcionam as Fontes Chaveadas ou Comutadas.....</b>	<b>113</b>
Fontes Lineares.....	113
Chaveadas ou Comutadas.....	115
Como Funcionam.....	117
<b>O PLL.....</b>	<b>124</b>
Como Funciona.....	124
Características Principais.....	127
Os PLLs da Família 56x, e Outros.....	130
Aplicações.....	131
<b>O Rádio.....</b>	<b>139</b>
O Início.....	140
Landel de Moura.....	141

Os Circuitos Receptores.....	142
Rádio de Galena.....	142
A Válvula, o Transistor e a Amplificação Direta.....	147
Receptores Reflex.....	150
Receptores Regenerativos.....	151
Diversas Etapas.....	153
Neutrodinos, Sincrodinos e Outros.....	155
O Super-heteródino.....	155
<b>Como Funcionam os Circuitos Ressonantes.....</b>	<b>159</b>
O Capacitor.....	159
Os Indutores.....	162
O circuito Ressonante.....	166
O fator Q.....	168
O Circuito de Sintonia.....	169
O Circuito Oscilante.....	170
<b>Acoplamentos.....</b>	<b>176</b>
Acoplamento Entre Etapas.....	178
Acoplamento Rc.....	178
Acoplamento LC.....	180
Acoplamento Direto.....	183
Acoplamento entre Aparelhos ou Dispositivos Externos .....	185
Alto-Falante.....	186
Antenas.....	187
Microfones.....	187
<b>Os outros mais de 160 livros sobre Eletrônica .....</b>	<b>188</b>

## **Apresentação da Série**

---

Esta é uma série de livros que levamos aos nossos leitores sob patrocínio da Mouser Electronics ([www.mouser.com](http://www.mouser.com)). Os livros são baseados nos artigos que ao longo de nossa carreira como escritor técnico publicamos em diversas revistas, livros e no nosso site. São artigos que representam 50 anos de evolução das tecnologias eletrônicas e portanto têm diversos graus de atualidade. Os mais antigos foram analisados com eventuais atualizações. Outros pela sua finalidade didática, tratando de tecnologias antigas e mesmo de ciência não foram muito alterados a não ser pela linguagem que sofreu modificações. Os livros da série consistirão numa excelente fonte de informações para nossos leitores.

Os artigos têm diversos níveis de abordagem, indo dos mais simples que são indicados para os que gostam de tecnologia, mas que não possuem uma fundamentação teórica forte ou ainda não são do ramo. Neles abordamos o funcionamento de aparelhos de uso comum como eletroeletrônicos, não nos aprofundando em detalhes técnicos que exijam conhecimento de teorias que são dadas nos cursos técnicos ou de engenharia.

Outros tratam de componentes, ideais para os que gostam de eletrônica e já possuem uma fundamentação quer seja estudando ou praticando com as montagens que descrevemos em nossos artigos. Estes já exigem um pequeno conhecimento básico da eletrônica. Estes artigos também vão ser uma excelente fonte de consulta para professores que desejam preparar suas aulas.

Temos ainda os artigos teóricos que tratam de circuitos e tecnologias de uma forma mais profunda com a abordagem de instrumentação e exigindo uma fundamentação técnica mais alta. São indicados aos técnicos com maior experiência, engenheiros e professores.

Também lembramos que no formato virtual o livro conta com links importantes, vídeos e até mesmo pode passar por atualizações on-line que faremos sempre que julgarmos necessário.

Trata-se de mais um livro que certamente será importante na sua biblioteca de consulta, devendo ser carregado no seu tablete, laptop ou celular para consulta imediata.

Os livros podem ser baixados gratuitamente no nosso site e um link será dado para os que desejarem ter a versão impressa pagando apenas pela impressão e frete.

Newton C. Braga

---

## Apresentação

---

Saber como funcionam componentes, circuitos e equipamentos eletrônicos é fundamental não apenas para os profissionais da eletrônica que usam de forma prática a tecnologia em seu dia a dia como também para aqueles que não sendo técnicos, mas possuindo certo conhecimento, precisam conhecer o funcionamento básico das coisas.

São os profissionais de outras áreas que, para usar melhor equipamentos e tecnologias precisam ter um conhecimento básico que os ajude.

Assim, tratando de conceitos básicos sobre componentes e circuitos neste primeiro volume e depois de equipamentos prontos num segundo, levamos ao leitor algo muito importante que já se tornou relevante em recente estudo feito por profissionais.

A maior parte dos acidentes que ocorrem com o uso de equipamentos de novas tecnologias ocorre com pessoas que não tem um mínimo de conhecimento sobre o seu princípio de funcionamento.

A finalidade deste livro não é, portanto, ajudar apenas os estudantes, professores e profissionais, mas também os que usam tecnologia no dia a dia e desejam saber um pouco mais para melhor aproveitá-la e não cometer erros que podem comprometer a integridade de seus equipamentos e até causar acidentes graves.

**Nota importante:** componentes básicos como os resistores, capacitores, indutores, transformadores, diodos, transistores, também têm a seu princípio de funcionamento explicado na nossa série de livros "Curso de Eletrônica". Neste livro, abordamos alguns componentes que especificamente têm explicações mais detalhadas do que as encontradas naquelas publicações.

## Osciladores

Preciso gerar um sinal de 1 MHz com forma de onda senoidal. Que tipo de oscilador devo usar?

Não sabemos quantas vezes os leitores já tiveram de responder a este tipo de pergunta, folheando esquemários ou sua coleção de revistas na procura de uma configuração que atendesse a essas características. Talvez o leitor até tenha encontrado vários circuitos capazes de gerar o mesmo sinal, mas na hora da escolha mais uma dúvida: qual deles usar?

Dúvidas sobre o uso de osciladores são comuns, e a melhor maneira de saná-las é entendendo como funcionam estes úteis circuitos.

Isso significa que, para sabermos como usar um oscilador, devemos "começar do começo", ou seja, analisar o que é um oscilador e como ele funciona.

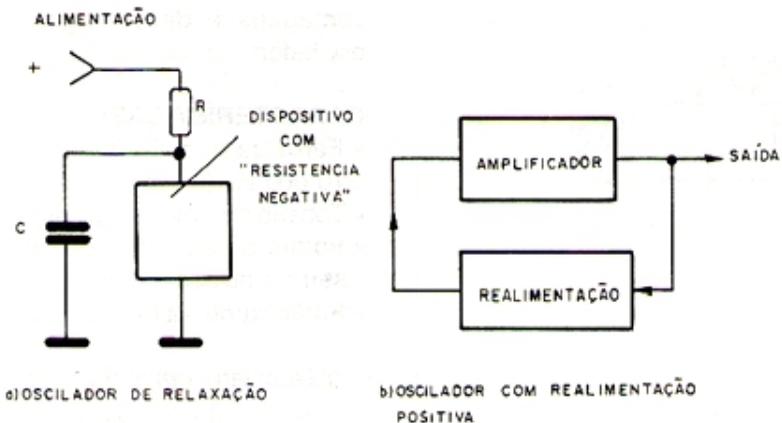


Fig. 1 - Tipos básicos de osciladores.

Basicamente existem dois tipos de osciladores: os que fazem uso de elementos com características de resistência negativa ou que "disparam" quando uma tensão é atingida, e os que fazem uso de amplificadores que partem para um processo de

realimentação positiva, ou simplesmente "jogam" de volta parte do sinal da saída na sua entrada, conforme mostra a figura 1.

Onde usar cada um é algo que vai depender do tipo de sinal gerado, ou seja, faixa de frequências e forma de onda. Vamos analisá-los separadamente.

### **a) Osciladores com Dispositivos de Resistência Negativa**

Num resistor temos uma característica determinada resistência que tem um valor constante, ou seja, independe da corrente e da tensão. A resistência, conforme sabemos é dada pela tangente do ângulo que a característica corrente em função da tensão forma com o eixo  $I$ , conforme mostra a figura 2.

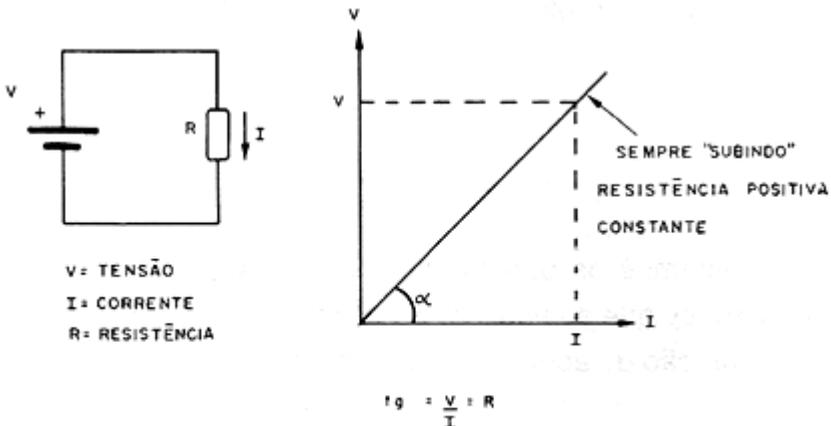


Fig. 2 - Curva característica de um resistor.

No entanto, existem componentes que não apresentam uma resistência constante para uma determinada faixa de correntes e tensões. Tomemos por exemplo uma simples lâmpada neon. Aumentando a tensão a partir de zero volt, vemos que a corrente pouco aumenta, o que significa a presença de uma resistência mais ou menos constante de um valor muito alta. Esta

resistência de muitos megohms praticamente impede a circulação da corrente.

Quando a tensão chega a um valor em torno de 80 volts, entretanto, repentinamente a lâmpada tem seu comportamento alterado. O gás no seu interior ioniza e ela se torna condutora com uma redução muito grande a sua resistência.

Colocando esse comportamento na forma de um gráfico vemos que a partir do ponto de ionização, quando a lâmpada se torna condutora, a curva se torna descendente com um ângulo que tem uma tangente negativa. Ora, como a tangente desse ângulo indica a resistência, dizemos que neste trecho da curva temos um setor de resistência negativa, conforme mostra a figura 3.

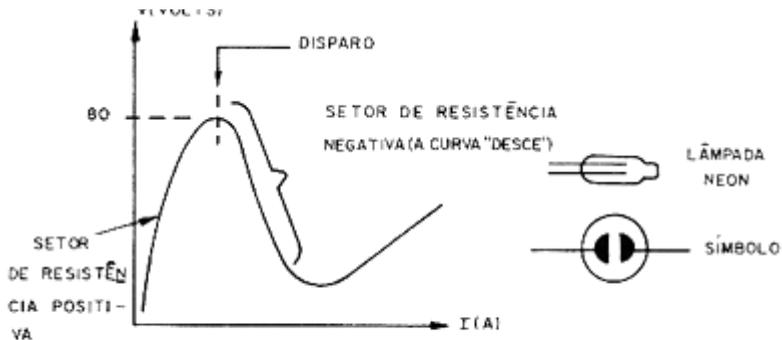


Fig. 3 - Curva característica de uma lâmpada neon.

Componente que se comportam desta forma "disparam" com determinadas tensões e podem ser usados num tipo de oscilador denominado "oscilador de relaxação".

Analisemos alguns desses osciladores:

## Oscilador de Relaxação Com Lâmpada Neon

Este é um oscilador bastante primitivo, tendo sido muito usado antes mesmo do advento dos transistores, por ser a lâmpada neon um componente antigo. Na figura 4 temos o circuito básico de um oscilador de relaxação com lâmpada neon.

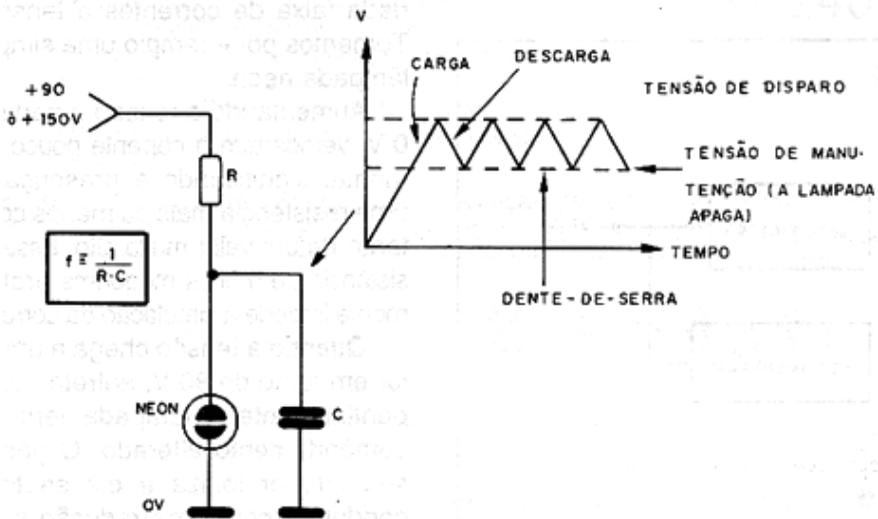


Fig. 4 - Oscilador de reflexão com lâmpada neon.

O princípio de funcionamento deste circuito é o seguinte: o capacitor se carrega através do resistor até ser atingida a tensão de disparo da lâmpada, em torno de 80 V. Quando isso ocorre, a lâmpada conduz intensamente a corrente provocando a descarga parcial do capacitor. Essa descarga vai ocorrer até o momento em que a lâmpada não mais consegue se manter ionizada. Com o desligamento da lâmpada, o capacitor volta a se carregar até ocorrer o novo disparo.

O circuito oscila então com o capacitor carregando-se e descarregando-se entre dois valores de tensão: a mais elevada em que ocorre a ionização e uma mais baixa que é a tensão de manutenção, ou seja, aquele em que a lâmpada desliga. A forma de onda deste sinal é dente-de-serra.

A lâmpada neon é um dispositivo lento, o que impede que esse circuito possa ser usado para gerar sinais de frequências muito altas. O limite para este oscilador está em torno de 10 kHz e a intensidade do sinal depende da corrente de descarga do capacitor.

Como o sinal obtido é bastante fraco, este circuito pode ser usado em aplicações de áudio, com o sinal excitando um transdutor ou um pequeno amplificador. Se a frequência for

muito baixa, veremos a lâmpada piscar no instante de ionização e o circuito pode ser usado como um pisca-pisca. Podemos colocar num quadro as vantagens e desvantagens deste oscilador:

### CARACTERISTICAS:

- \* Faixa de frequências: 0,001 Hz a 10 000 Hz (áudio)
- \* Tensão mínima de operação: 90 V
- \* Forma de onda gerada: dente de serra e pulsos
- \* Potência de saída: muito baixa

Usos: temporizadores, geradores de áudio, injetores de sinais, bases de tempo, decoração, sinalização, disparo de SCRs e TRIACs.

## Oscilador de Relaxação com Transistor Unijunção

O transistor unijunção (TUJ ou UJT) pode ser considerado um equivalente semicondutor da lâmpada neon e por isso pode ser usado como base para um oscilador de relaxação. Na figura 5 temos a configuração de um oscilador com este componente.

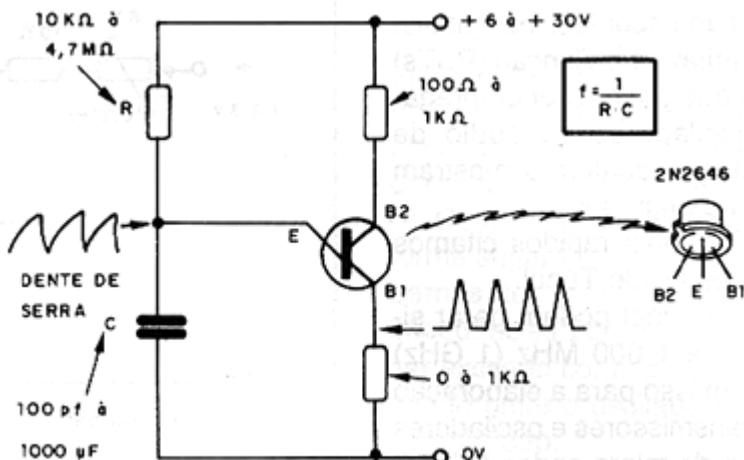


Fig. 5 - Osciladores de relaxação com o transistor unijunção.

O resistor e o capacitor determinam a constante de tempo do circuito. A frequência deste oscilador pode ser dada com boa aproximação pela expressão:

$$f = 1/(RC)$$

O funcionamento do circuito é o seguinte: o capacitor carrega-se através do resistor até ser atingida a tensão de disparo do transistor. Essa tensão é fixada pela característica do componente denominada "relação intrínseca" que diz em que proporção da tensão aplicada entre as bases, uma tensão de emissor leva o dispositivo à condução.

Quando a tensão de disparo é atingida o transistor "liga" permitindo que o capacitor se descarregue com a produção de um pulso de curta duração. A descarga não é total. No ponto certo, o transistor desliga e novamente o capacitor se carrega pelo resistor para um novo ciclo de funcionamento.

São obtidas basicamente duas formas de onda neste circuito: no capacitor temos um sinal dente de serra, exatamente como no caso do oscilador com lâmpada neon, e na base 1 (B1) do transistor, temos pulsos de curta duração que correspondem à descarga do capacitor.

Como as lâmpadas neon, os transistores unijunção são algo lentos, e este oscilador não consegue funcionar satisfatoriamente em frequências que passem de 100 kHz.

Os pulsos obtidos, entretanto, podem ser bastante intensos servindo para o disparo de dispositivos comutadores como SCRs e TRIACs. Se o capacitor usado for suficientemente grande os pulsos podem excitar pequenos alto-falantes e até produzir piscadas em LEDs.

Para um transistor unijunção popular como o 2N2646 a tensão de alimentação pode ficar entre 6 e 30 V. Os pulsos gerados terão uma tensão de pico menor que a usada na alimentação e que justamente vai ser fixada pelo ponto de disparo.

Um LED ligado entre a base 1 (B1) e o terra do circuito (circuito de descarga), com capacitores de 1 uF e resistores de 10k ohms a 1 M ohms piscará numa frequência muito baixa, entre 1 e 10 Hz.

Para se obter um sinal dente de serra linear, já que a curva de carga do capacitor é exponencial, podem ser agregados recursos como um transistor na configuração de fonte de corrente constante. Desta forma, pode-se obter um dente mais próprio para se usar num circuito de varredura ou base de tempo linear.

### **CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: 0,001 Hz a 100 kHz
- \* Tensões de alimentação: 6 a 30V
- \* Sinais gerados: dente de serra e pulsos
- \* Potência de saída: baixa e média

Usos: temporização, áudio, disparo de SCRs e TRIACs, sinalização, bases de tempo e circuitos de varredura, etc.

## **Outros Osciladores de Relaxação**

Além da lâmpada neon e dos transistores unijunção existem outros componentes interessantes que apresentam características de resistência negativa e que por isso podem ser usados como osciladores de relaxação.

Dentre os mais lentos citamos as lâmpadas fluorescentes, os transistores programáveis unijunção (PUTs) e os SCRs que podem ser empregados em osciladores de áudio de temporizadores, conforme mostram os circuitos da figura 6.

Dentre os mais rápidos citamos os Diacs e os Diodo Túnel. Os diodos túnel podem gerar sinais acima de 1 000 MHz (1 GHz) servindo com isso para a elaboração de microtransmissores e osciladores para a faixa de micro-ondas (UHF e SFH).

Na figura 7 temos um exemplo de um oscilador para a faixa de micro-ondas usando um diodo túnel.

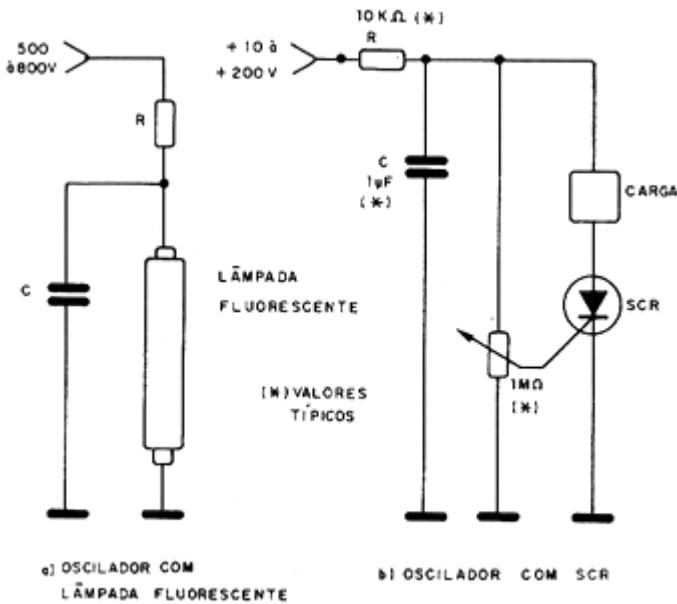


Fig. 6 - Outros osciladores de relaxação.

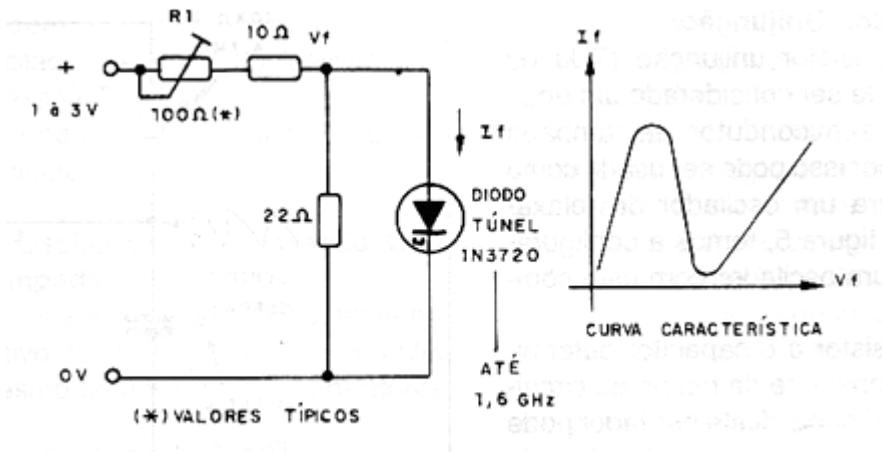


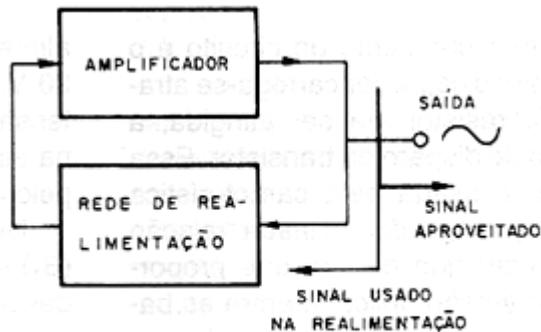
Fig. 7 - Um oscilador básico com diodo túnel.

Entretanto, tais diodos não são comuns no mercado o que torna bastante difícil o acesso a este tipo de circuito por parte do montador comum.

## ***b) Osciladores com Dispositivos Amplificadores***

Qualquer dispositivo que amplifique um sinal pode ser usado como base para um circuito oscilador. Podemos dar como exemplos as válvulas, os transistores comuns, transistores de efeito de campo etc.

Um oscilador deste tipo tem então um elemento amplificador e uma "rede de realimentação positiva" que tem por finalidade "jogar" parte do sinal retirado na saída, de volta na entrada.



**Fig. 8 - Estrutura de um oscilador com elemento ativo (amplificador).**

Evidentemente, um amplificador para oscilar tem de satisfazer certos requisitos: a parte do sinal retirada da saída e jogada de volta à entrada tem de ser capaz de excitar o circuito e, portanto, mantê-lo funcionando. Isso implica que a condição necessária para se obter a oscilação é que o ganho do circuito seja maior que 1.

Os diversos tipos de osciladores recebem nomes que dependem da maneira como a realimentação é feita ou então que

homenageiam seus descobridores. Os mais comuns são os seguintes:

## Oscilador Hartley

Este oscilador é bastante popular tanto em vista de sua simplicidade como pelas suas características que permitem gerar sinais que vão desde a faixa de áudio até algumas dezenas de megahertz, utilizando-se componentes comuns.

A configuração básica do oscilador Hartley com transistor NPN é mostrada na figura 9.

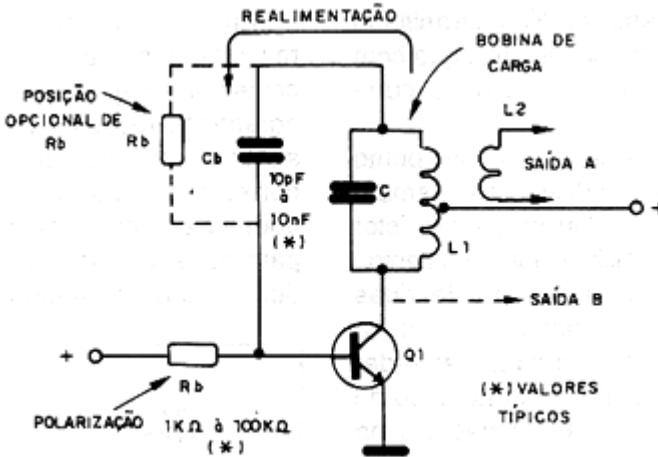


Fig. 9 - Oscilador Hartley.

Neste oscilador, a frequência das oscilações é basicamente determinada pela bobina e pelo capacitor em paralelo que formam um circuito ressonante. A fórmula que relaciona estes dois componentes com a frequência gerada está junto ao diagrama.

O resistor tem por finalidade fazer a polarização de base do transistor e o capacitor  $C_b$  fornece o percurso para o sinal de realimentação. O resistor, juntamente com o capacitor  $C_b$  possuem certa constante de tempo que "retarda" o sinal de realimentação e por isso esses componentes têm certa influência

na frequência do sinal gerado. Assim, nos circuitos de baixa frequência é comum agregar-se um controle de frequência a este tipo de oscilador na forma de um potenciômetro que atua sobre a polarização.

A realimentação é obtida fazendo-se com que o enrolamento da bobina forme um autotransformador. Metade do enrolamento é a carga e a outra metade funciona como um secundário que inverte a fase do sinal e o joga com a fase invertida à base do transistor de modo a manter as oscilações. Veja que o transistor na configuração de emissor comum inverte a fase do sinal amplificado, por isso, para excitá-lo precisamos desta inversão que é garantida pela bobina com derivação.

O sinal para ser usado num circuito externo pode ser retirado diretamente do coletor do transistor. No entanto, também podemos ter um segundo enrolamento no transformador para esta finalidade.

Com uma segunda bobina, conforme mostra a figura 10, não só podemos ter melhor casamento de impedância com o circuito que vai ser excitado como ainda garantimos um isolamento entre o oscilador e o que vai ser excitado.

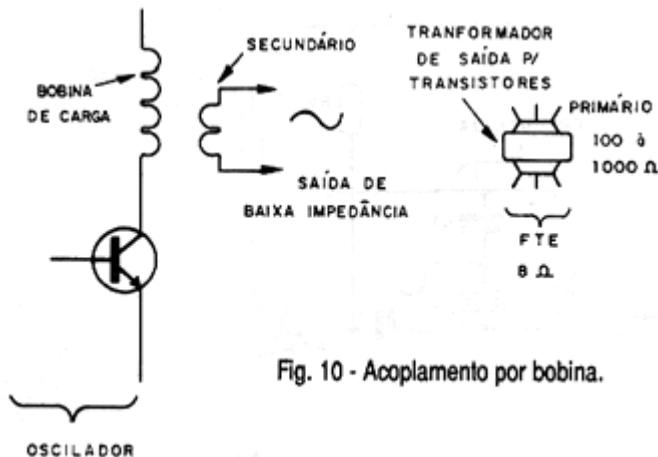


Fig. 10 - Acoplamento por bobina.

Nos circuitos de áudio, em que o oscilador Hartley deve gerar sinais de frequências menores que 10 Hz, um

transformador comum de saída para transistores ou semelhante pode ser usado, pois se necessita de impedâncias elevadas.

Veja que o sinal deste circuito, à medida que a frequência aumenta, se aproxima bastante da forma de onda senoidal. A potência gerada também pode ser bastante alta. Com transistores como os TIP41 e 2N3055 é possível obter diretamente de um circuito como esses sinais de até algumas dezenas de watts na faixa de áudio.

Para a faixa de RF este circuito também tem bom rendimento, podendo ser elaborados pequenos transmissores para a faixa de ondas médias e curtas, conforme mostra a figura 11.

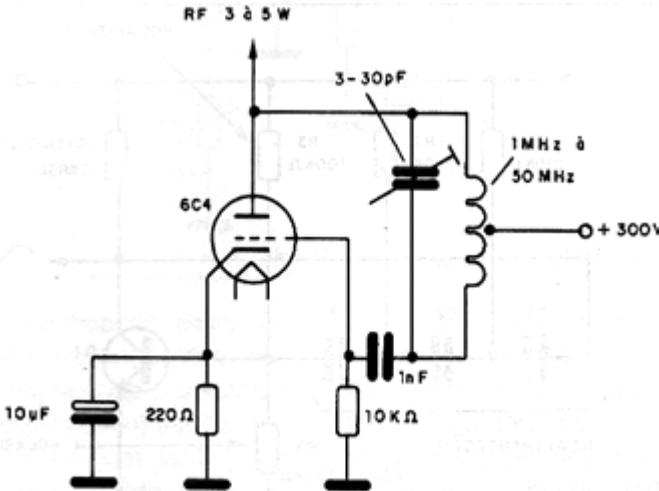


Fig. 11 - Oscilador de RF de potência com válvula.

Na figura 12 temos um circuito básico para a faixa de áudio e RF até alguns megahertz com os valores típicos dos componentes que podem ser usados num projeto.

Para maiores potências podem ser usados transistores como o BD135 ou TIP41 montados em radiadores de calor e a tensão de alimentação pode chegar aos 12 ou 15 volts.

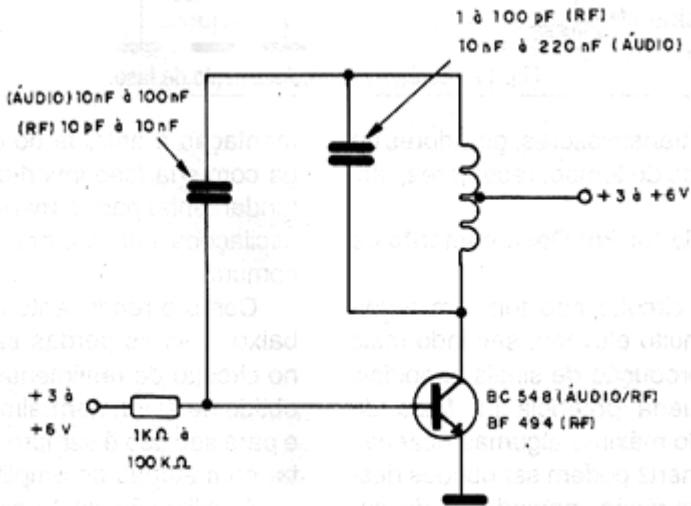


Fig. 12 - Valores típicos para um oscilador de baixa potência ( 1 a 100 mW ).

### CARACTERÍSTICAS:

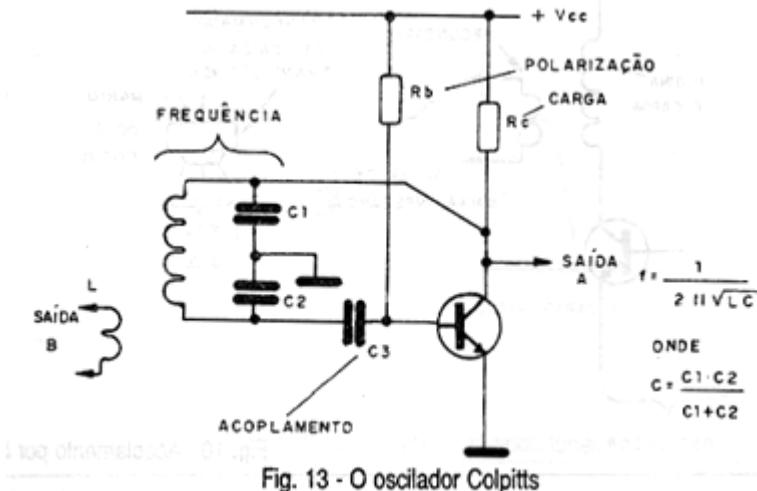
- \* Faixa de frequências: alguns hertz a 50 MHz (tip.)
- \* Tensões de alimentação: 3 a 30V com transistores e 80 a 1000V com válvulas (dependendo do tipo)
- \* Sinais gerados: senoidais
- \* Potência de saída: 5 mW a 50W com componentes comuns

**Usos:** geradores de áudio, inversores, pequenos transmissores, geradores de ultrassons, osciladores de RF etc.

Observe que nas baixas frequências precisamos de bobinas de grandes indutâncias neste circuito. O núcleo dessas bobinas deve ser de ferro laminado ou ferrite o que leva a dispositivos de grande porte para o caso de potências elevadas como, por exemplo, em inversores.

## Oscilador Colpitts

No oscilador Hartley a realimentação de sinal é feita por meio de derivação no enrolamento. O oscilador Colpitts tem um princípio de funcionamento semelhante ao Hartley com a diferença de que a realimentação é obtida por uma derivação capacitiva e não pela bobina, conforme mostra a figura 13.



A bobina empregada neste caso não tem derivação. A frequência de operação do circuito vai ser determinada pela indutância da bobina e pelos valores dos capacitores. Um oscilador como este pode gerar sinais que vão desde a faixa de áudio até algumas dezenas de megahertz. O rendimento do circuito é bom, mas menor que o Hartley.

A retirada do sinal para um circuito externo pode ser feita da mesma maneira que no caso do oscilador Hartley.

Variações para este circuito podem ser obtidas com a alteração da configuração do elemento ativo (válvula ou transistor). No exemplo que demos o transistor está na configuração de emissor comum, mas podemos modificar a configuração conforme a faixa de frequências geradas.

Por exemplo, na configuração de base comum temos uma redução dos efeitos das capacitâncias de base do transistor o que

permite alcançar frequências bem mais elevadas do que nas outras configurações.

**CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: alguns hertz a 50 MHz
- \* Tensões de alimentação: 3 a 40V com transistores (tip.)
- \* Sinais gerados: senoidais
- \* Potência de saída: mW a alguns watts

Uso: transmissores, geradores de RF, bases de tempo, receptores, etc.

**Oscilador por Deslocamento de Fase**

Este circuito não tem um rendimento muito elevado, servindo mais para a produção de sinais senoidais de pequena potência na faixa de áudio. No máximo algumas dezenas de quilohertz podem ser obtidos desta configuração, partindo-se do circuito mostrado na figura 14.

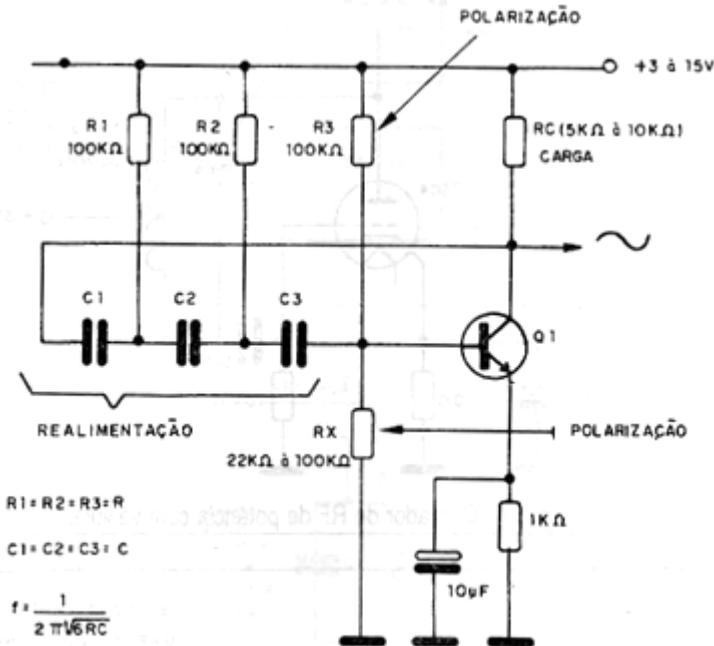


Fig. 14 - Oscilador de deslocamento de fase.

Nesta configuração, os resistores e capacitores da rede de realimentação são calculados para fornecer um deslocamento de fase apropriado para o sinal na frequência deve ser gerada. Assim, o sinal obtido no coletor, ao ser reaplicado via rede de realimentação, à entrada do circuito chega com sua fase invertida, condição fundamental para a manutenção das oscilações numa etapa de emissor comum.

Como o rendimento do circuito é baixo, pois as perdas são elevadas no circuito de realimentação, o sinal obtido na saída normalmente é fraco, e para seu uso é sempre preciso contar com etapas de amplificação.

A utilização deste circuito, entretanto, é bastante atraente quando precisamos de sinais senoidais de frequências muito baixas, na faixa de 0,1 a 10 Hz, já que a distorção obtida é pequena e a estabilidade é grande.

Na figura 15 temos um exemplo de circuito de efeitos para guitarras e violões (trêmulo) usando um oscilador deste tipo.

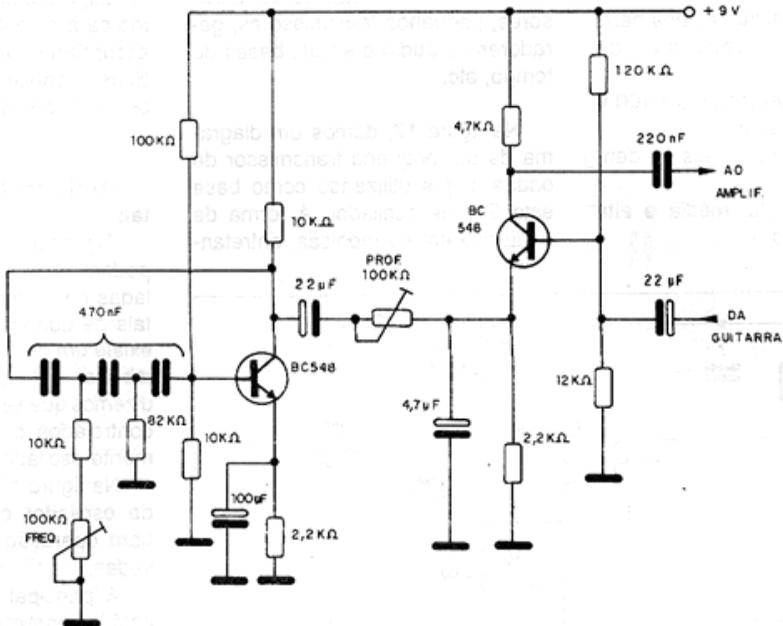


Fig. 15 - Um trêmulo com oscilador de deslocamento de fase.

Como a amplificação deve ser grande para a manutenção das oscilações é importante que o transistor (ou outro elemento ativo) usado neste circuito tenha um bom ganho, pois pelo contrário, sua partida pode ser difícil e ele se "negará" a oscilar.

### **CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: alguns hertz a dezenas de quilohertz
- \* Tensões de alimentação: 6 a 30V (com transistores)
- \* Sinais gerados: senoidais
- \* Potência de saída: baixa

Usos: baixas frequências, efeitos sonoros, metrônomos, áudio, instrumentos musicais etc.

## Oscilador de Bloqueio

Este é um oscilador bastante usado, sendo encontrado principalmente nas aplicações de baixa e média potência de até alguns megahertz. Nos circuitos de varredura de televisores este circuito também é muito usado, dada sua simplicidade e a possibilidade de se obter sinais dente de serra. na figura 16 temos a sua configuração básica.

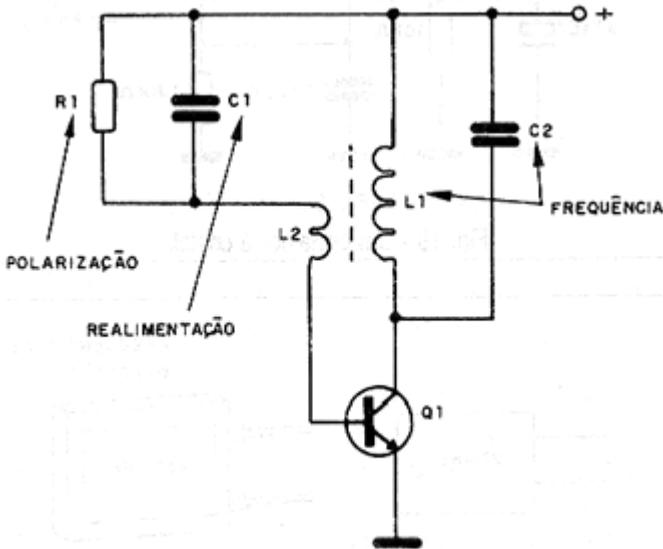


Fig. 16 - Um oscilador de bloqueio.

Neste circuito, o enrolamento principal (L1) do transformador é ligado ao coletor do transistor tendo em paralelo com capacitor  $C_v$  que forma o sistema ressonante responsável pela frequência das oscilações. Nesse enrolamento aparece a corrente total do circuito, servindo, portanto, como "tanque" de saída.

O enrolamento L2 serve de derivação ou secundário, de onde é retirado o sinal para realimentação. Por meio de L2 temos a reaplicação, com a fase apropriada de parte do sinal de saída de volta à entrada de modo a manter as oscilações.

Este sinal, na realidade atua sobre o circuito bloqueando sua condução, ou seja, com sua presença não há corrente daí a denominação do circuito. O resistor R polariza a base do transistor para o funcionamento.

O resistor R deve ser dimensionado de tal forma a produzir uma corrente de coletor de acordo com as características do transistor.

A saída deste oscilador tanto pode ser obtida diretamente do coletor do transistor como a partir de uma terceira bobina enrolada sobre L1 e L2.

### **CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: alguns hertz até algumas dezenas de megahertz.

- \* Tensões de alimentação: 3 a 100 Volts (conforme o transistor)

- \* Sinais gerados: senoidais ou dente de serra

- \* Potência de saída: média e alta (até alguns watts)

**Usos:** RF, sincronismo de televisores, pequenos transmissores, geradores de áudio e sinais, bases de tempo etc.

Na figura 17 damos um diagrama de um pequeno transmissor de ondas curtas utilizando como base este tipo de oscilador.

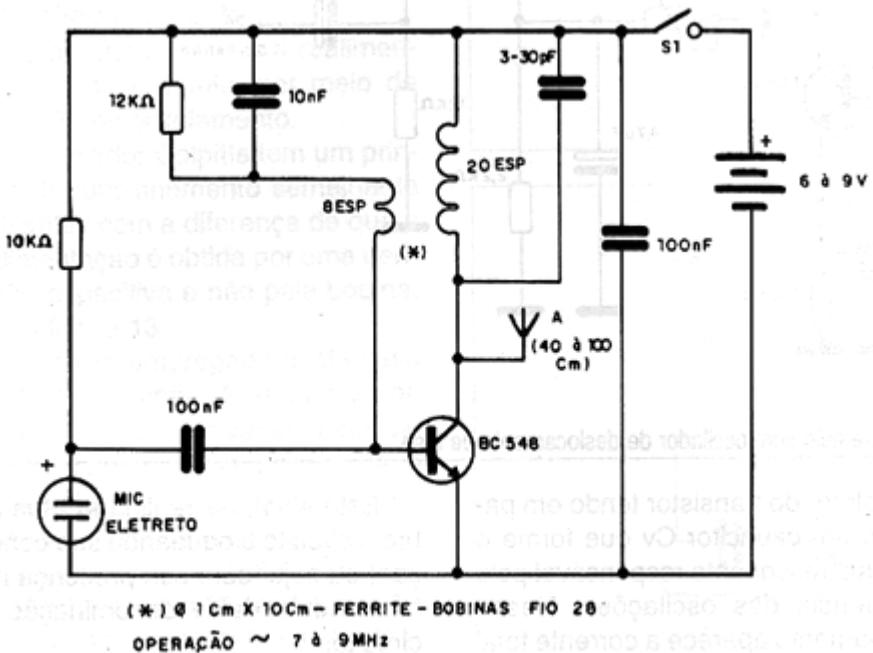


Fig. 17 - Um transmissor de ondas curtas.

A forma de onda rica em harmônicas, entretanto, exige o emprego de filtros na saída para se obter um funcionamento apropriado em telecomunicações. Experimentalmente, a antena pode ser do tipo telescópico.

## Oscilador Controlado por Cristal

Alguns dos osciladores que vimos podem ter suas frequências controladas com precisão a partir de cristais de quartzo. Nos casos em que existe um cristal para se fixar ou estabilizar a frequência do oscilador, dizemos que se tratam de osciladores controlados por cristal ou simplesmente osciladores à cristal.

Na figura 18 temos um exemplo de oscilador controlado por cristal para operação em frequências elevadas.

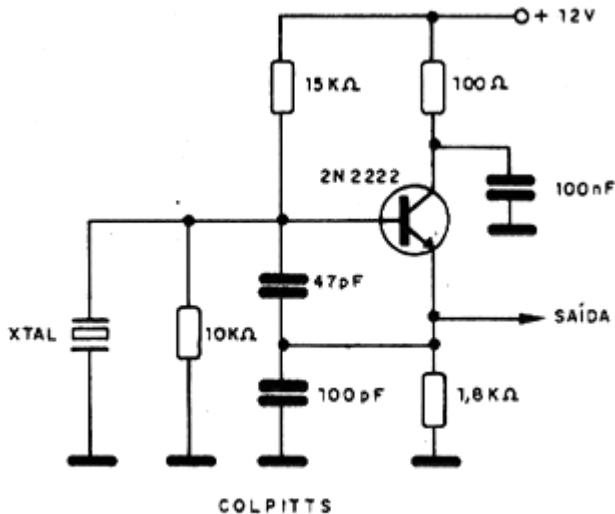


Fig. 18 - Um oscialdor à cristal.

A principal vantagem do cristal está na enorme estabilidade de frequência obtida. Em radio transmissão é muito importante usar cristais assim como em instrumentos de precisão.

Na figura 19 temos o aspecto de cristais usados em radio transmissão e mesmo em outros tipos de circuitos.

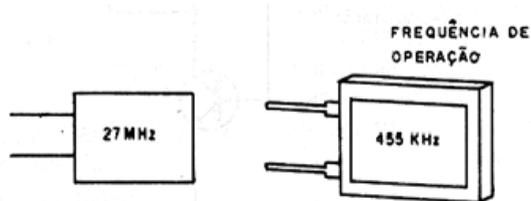


Fig. 19 - Aparência dos cristais de quartzo usados em osciladores, e controle de frequência.

Os cristais podem ter frequências de vibração naturais que variam entre algumas dezenas de quilohertz até megahertz.

Existem osciladores com cristais em que a frequência pode ser ajustada numa determinada faixa de valores. Tais osciladores são denominados V XO e são bastante usados em transmissores.

### **CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: 20 kHz a 200 MHz
- \* Tensões de alimentação: a partir de 5V tipicamente
- \* Sinais gerados: senoidais
- \* Potência de saída: pequena e média

**Usos:** osciladores de precisão, instrumentação, transmissores de telecomunicações, circuitos digitais, relógios, cronômetros, TV, etc.

## **Multivibradores**

Um tipo importante de gerador de formas de onda e que encontra uma infinidade de aplicações práticas é o que recebe o nome de multivibrador astável ou somente multivibrador. Seu circuito básico é mostrado na figura 20.

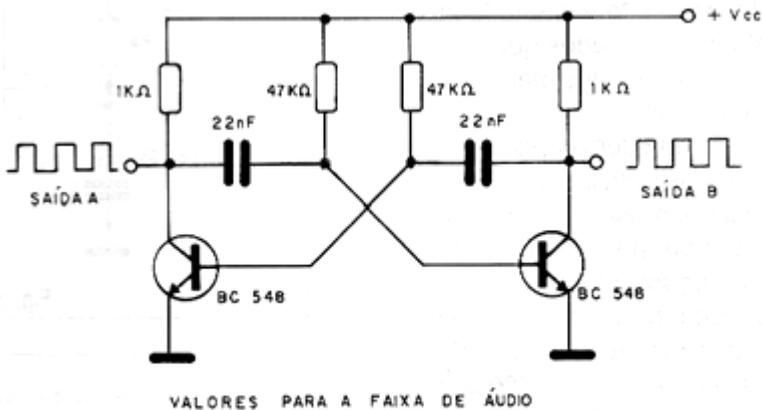


Fig. 20 - Um multivibrador astável.

Este oscilador se baseia na alternância entre os estados de condução e corte de dois transistores. Essa alternância não

encontra um estado estável, e os transistores ficam constantemente trocando de estado numa velocidade determinada pelos valores dos resistores e capacitores.

A frequência máxima de operação deste circuito, com componentes comuns, não vai além de algumas dezenas de megahertz e podemos obter dois tipos de sinais.

Nos coletores dos transistores obtemos sinais retangulares defasados (complementares) e nas bases podemos obter uma forma de onda que se aproxima do dente de serra.

Observe que este circuito não utiliza bobinas, o que o torna bastante interessante em determinados tipos de aplicação, por exemplo em frequências muito baixas, onde indutores de valores elevados seriam caros e volumosos. Na integração também, a não utilização de bobinas consiste numa vantagem que merece ser considerada.

Na figura 21 temos um exemplo de multivibrador obtido a partir de portas de um circuito integrado.

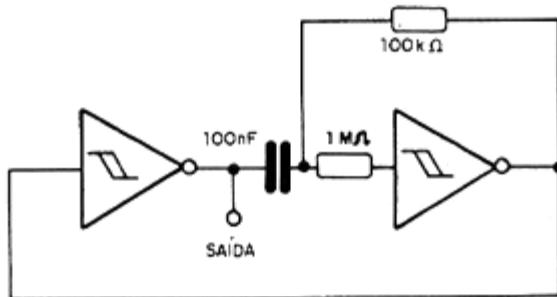
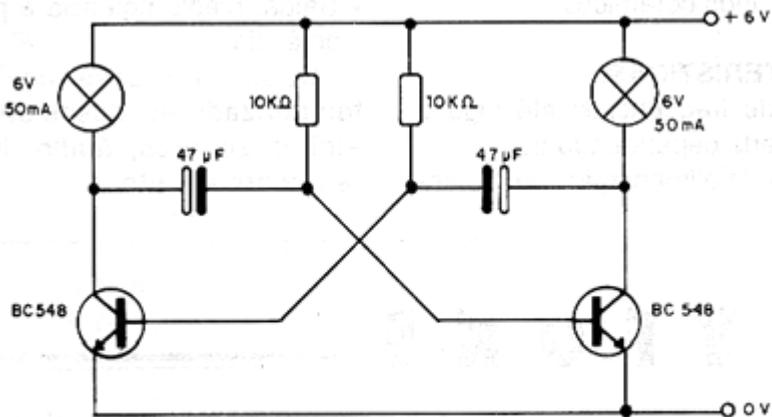


Fig. 21 - Astável com 2 inversores CMOS.

Outra característica importante deste tipo de circuito é que, em frequências não muito elevadas, é possível obter boas potências, ligando a carga diretamente ao coletor de um ou dos dois transistores, como no pisca-pisca mostrado na figura 22.



(\*) ATÉ 47K PARA MUDAR A FREQUÊNCIA

Fig. 22 - Um pisca-pisca simples.

Os multivibradores podem ser usados em bases de tempo, injetores de sinais, efeitos sonoros, instrumentos musicais e em muitos outros casos onde a frequência está dentro da faixa de áudio ou no máximo de alguns megahertz.

### **CARACTERÍSTICAS:**

\* Faixa de frequências: fração de hertz a algumas dezenas de megahertz

\* Tensão de alimentação: a partir de 1V

\* Sinais gerados: retangulares e dente de serra

\* Potência de saída: média e alta

Usos: bases de tempo, instrumentos musicais, efeitos sonoros, pisca-piscas, inversores etc.

## **Osciladores Integrados**

Muitos circuitos integrados lineares possuem configurações que permitem a elaboração de osciladores. É o caso de amplificadores operacionais, comparadores de tensão, funções lógicas, etc. Os osciladores elaborados em torno destes circuitos

integrados podem ter os mais diversos tipos de configurações, dependendo da realimentação. Assim, em torno de tais integrados podem ser elaborados circuitos osciladores conhecidos como os Hartley, Colpitts etc.

Como a variedade de configurações possíveis é muito grande, não temos condições de apenas em um artigo fazer a abordagem completa. Assim, será interessante focalizarmos alguns integrados que possuam uma compatibilidade maior com este tipo de função.

Dentre os integrados próprios para a elaboração de osciladores, sem dúvida o mais famoso é o 555 que pode ser usado na configuração astável, conforme mostra a figura 23.

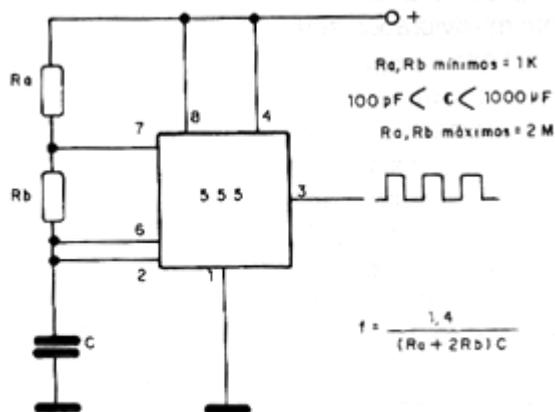


Fig. 23 - Um ast\u00e1vel com 555.

Este circuito pode gerar sinais retangulares cujas frequ\u00eancias v\u00e3o de fra\u00e7\u00e3o de hertz at\u00e9 perto de 100 kHz. O circuito integrado 555 pode ser alimentado com tens\u00f5es entre 5 e 30V e fornece uma pot\u00eancia de sa\u00edda bastante elevada podendo excitar cargas como LEDs, pequenas lâmpadas e at\u00e9 mesmo rel\u00e9s.

Outro integrado que \u00e9 bastante usado como oscilador \u00e9 o 4093, conforme mostra o circuito da figura 24.

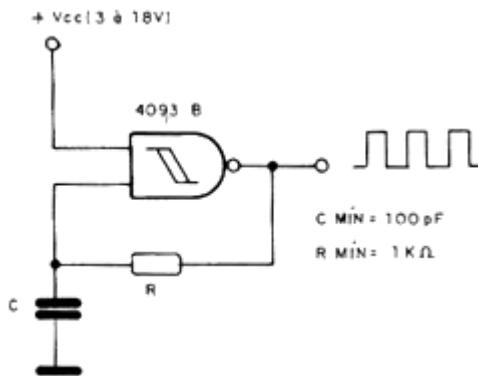


Fig. 24 - Um oscilador CMOS simples.

Este circuito pode gerar sinais de até uns 4 MHz, sempre com forma de onda retangular e usando alimentação de 3 a 15 Volts.

A potência do sinal é bastante boa podendo excitar LEDs e até transdutores de alta impedância como os tipos cerâmicos.

### **CARACTERÍSTICAS:**

- \* Faixa de frequências: até alguns megahertz dependendo do tipo.
- \* Tensão de alimentação: varia conforme o tipo.
- \* Sinais gerados: retangulares tipicamente
- \* Saída: média potência e pequena potência

**Usos:** injetores de sinais, temporizadores, bases de tempo, efeitos sonoros, áudio, inversores, alarmes etc.

---

## Os Inversores

---

As baterias e mesmo pilhas fornecem baixas tensões contínuas não servindo para alimentar aparelhos ligados na rede de energia. Os inversores ou conversores DC/AC são aparelhos que podem converter as baixas tensões de bateria (geralmente de 12 V de carro ou caminhão), ou mesmo de um conjunto de pilhas grandes, em uma alta tensão alternada (geralmente 110 V ou 220 V) para alimentar aparelhos que são plugados na rede de energia.

Veja neste artigo como funcionam os inversores, quais são suas limitações e como trabalhar com eles. No final, daremos um projeto prático de um pequeno inversor para lâmpadas fluorescentes.

Muitas pessoas desejam ligar aparelhos de uso doméstico e, portanto, projetados para funcionar com 110 V ou 220 V no carro ou mesmo alimentá-los por pilhas e baterias.

Se bem que tais aparelhos, em geral, tenham consumo elevado e por isso não se recomenda o uso com baterias ou pilhas, existem situações em que não se pode escapar disso.

É o caso de sistemas de iluminação de emergência que usam lâmpadas fluorescentes, pequenos televisores que devam ser usados em acampamentos ou locais em que não rede de energia, e até mesmo eletrodomésticos do tipo barbeador, ventilador etc.

Para converter a energia disponível em baterias na forma de uma baixa tensão contínua para alta tensão alternada são usados circuitos denominados inversores ou conversores DC/AC.

### ***Como Funciona um Inversor***

Na figura 1 temos um diagrama de blocos de um inversor típico para uso geral.

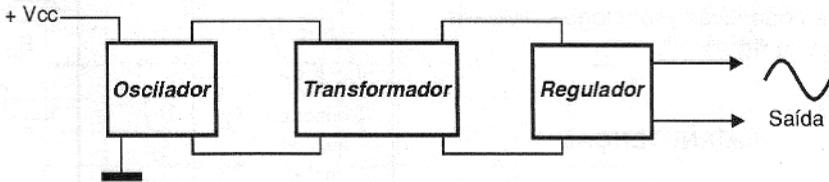


Figura 1 – Diagrama de blocos de um inversor

Um inversor desse tipo é formado por um circuito oscilador de potência que converte a tensão contínua pura em tensão contínua pulsante para que ela possa ser aplicada a um transformador. Isso é necessário, pois os transformadores só podem operar com correntes que variam, e uma corrente contínua pura não passaria por esse componente.

O transformador é o elemento seguinte do circuito e sua finalidade é elevar os pulsos de baixa tensão do oscilador, obtendo-se em seu secundário uma alta tensão alternada. É importante observar que na maioria dos circuitos, a tensão alternada não é perfeitamente senoidal, mas sim dotada de alguns picos que podem ser perigosos se os aparelhos alimentados forem sensíveis.

Normalmente, os osciladores são otimizados para que a tensão seja a mais próxima possível da senoide, no entanto, isso nem sempre ocorre. Outro problema comum nesses circuitos é o fato da frequência nem sempre ser de 60 Hz. Muitos inversores que se destinam à lâmpadas fluorescentes e outros aparelhos não sensíveis à frequência podem operar com frequências mais altas, entre 200 e 1000 Hz.

Um ponto crítico no projeto do inversor é a qualidade do transformador. De fato, esse componente determina o rendimento do circuito e se não for bem dimensionado, a maior parte da energia pode ser perdida na forma de calor.

## Energia não se cria

Um fato comum que ocorre com os que pretendem usar inversores é que eles pensam que a energia pode ser criada.

Muitos acham que a partir de um jogo de pilhas ou bateria, pode-se elevar a tensão a ponto de ela poder alimentar grandes televisores, geladeiras e outros aparelhos de alto consumo.

Energia não pode ser criada. A capacidade de fornecimento de energia de baterias e pilhas é bastante limitada. Por exemplo, se uma bateria pode fornecer uma corrente máxima de 10 A com 12 V, sua potência máxima é 120 W.

Isso, significa que, se convertermos os 12 V dessa bateria para 120 V a corrente máxima teórica será 1 A e nenhum aparelho de mais de 120 W poderá ser alimentado, conforme mostra a figura 2. Isso é claro, supondo que 100% da energia possa ser convertida, o que não ocorre na prática.

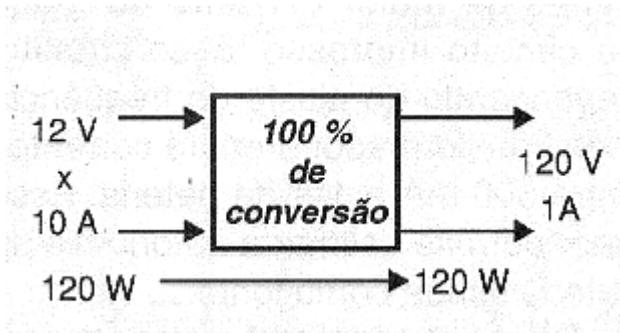


Figura 2 – O princípio da conservação da energia deve ser observado

Assim, a maioria dos inversores é de baixa potência e, quando operam no limite, a duração da carga da bateria ficará reduzida proporcionalmente.

Veja então que ao usar um inversor é preciso observar que não é possível criar energia, assim, a bateria usada deve ter potência compatível com o aparelho alimentado e sua autonomia dependerá justamente disso.

Assim, normalmente uma bateria de carro não pode fornecer energia por mais do que umas poucas horas a qualquer aparelho de consumo mais elevado como, por exemplo, um pequeno televisor.

Por outro lado, aparelhos cujo consumo seja superior a 100 W dificilmente podem ser alimentados mesmo com

conversores, pois as baterias é que não dão conta da energia a ser fornecida.

Por exemplo, para 240 W de potência usando uma bateria de 12 V, mesmo se tivéssemos um conversor de 100% de rendimento (o que não ocorre na prática) a corrente drenada seria da ordem de 20 ampères! Uma bateria de 30 Ah teria a capacidade de alimentar tal aparelho por apenas 1 hora e meia!

Inversores são indicados apenas para alimentar pequenos equipamentos como lâmpadas fluorescentes em sistemas de emergência, computadores quando falta energia (no break), ou outros equipamentos cujo consumo não seja elevado.

Mesmo assim, eles devem ser usados apenas quando não se dispõe da energia da rede de corrente alternada, observando-se a autonomia da sua fonte de alimentação.

## Inversores Comerciais

A qualidade do circuito determina a eficiência do inversor e para os tipos comerciais pode chegar aos 90%. Assim, para se obter 90 W de energia 10 W são perdidos na forma de calor no próprio circuito. É preciso observar que muitos tipos de inversores não fornecem uma tensão de saída perfeitamente senoidal de 60 Hz. Estes tipos de inversores não servem para alimentar equipamentos mais sensíveis.

O leitor vai encontrar inversores principalmente em sistemas de iluminação de emergência onde eles usam os 12 V de uma bateria que fica em carga constante quando a energia está presente, para alimentar lâmpadas fluorescentes.

Algumas aplicações importantes dos inversores:

- a)** Podem ser usados para alimentar aparelhos elétricos comuns, a partir de baterias, em barcos, carro e na barraca de camping. Também podem ser usados para a mesma finalidade em locais em que não chega energia convencional, sendo as baterias carregadas por painéis solares durante o dia.
- b)** Inversores para lâmpadas fluorescentes são usados em sistemas de iluminação de emergência.
- c)** Sistema nobreak, onde o computador se mantém alimentado por uma bateria ligada a um inversor por tempo suficiente para se salvar o trabalho quando há um

corte de energia. Observe que as baterias desses sistemas são de pequena autonomia, mantendo o computador ligado por intervalos que variam entre 10 minutos e meia hora, ou seja, o suficiente para se terminar e salvar um trabalho.

- d)** Sistemas de sinalização com lâmpadas de xenônio em veículos, barcos ou boias. Nestes sistemas, o inversor normalmente chega a fornecer tensões que superam os 600 V.

Na figura 3 mostramos um inversor comercial de tipo que pode ser ligado ao acendedor de cigarros de um carro para alimentar pequenos aparelhos tais como um televisor portátil, um aparelho de barbear ou um dispositivo de sinalização.

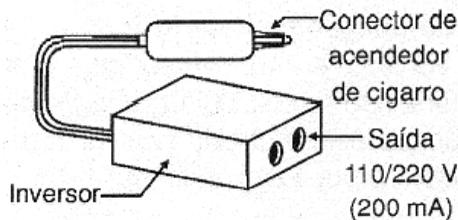


Figura 3 – Inversor comum para uso automotivo

## Trabalhando com Inversores

Para o profissional é muito importante saber que tipo de inversor é recomendado para uma determinada aplicação. Se equipamentos sensíveis forem alimentados de forma indevida podem ocorrer danos. Damos a seguir as principais especificações de tais aparelhos para as quais o profissional deve estar atento:

**a) Potência de saída**

O leitor deve estar certo de que o inversor pode fornecer a potência que o aparelho a ser alimentado exige, dando uma certa

margem de segurança para que os componentes não trabalhem no limite.

Por exemplo, se vai ser alimentada uma lâmpada fluorescente de 40 W o inversor deve ser capaz de fornecer pelo menos 50 W de potência.

#### **b) Forma de onda**

Muitos inversores fornecem correntes de saída com formas de onda que não são senoidais. Lâmpadas fluorescentes e incandescentes não são sensíveis às formas de onda, mas existem aparelhos que não podem ser usados com conversores que não tenham uma saída senoidal de 60 Hz.

#### **c) Performance**

Deve-se optar pelo inversor que tenha o maior rendimento possível. Normalmente acima de 70%.

#### **d) Isolação**

A alta tensão da saída de inversores pode causar choques perigosos. Verifique a qualidade do isolamento do sistema que alimenta o aparelho externo.

#### **e) Colocação da bateria**

Ao instalar um inversor com uma bateria não selada cuide para que ela fique em local ventilado, pois os gases que ela produz são tóxicos.

#### **f) Conexões**

As conexões do inversor à bateria devem ser feitas com fios grossos, pois a corrente normalmente é intensa. O cabo da bateria ao inversor deve ser o mais curto possível. Na figura 4 mostramos o modo típico de instalação de um inversor.

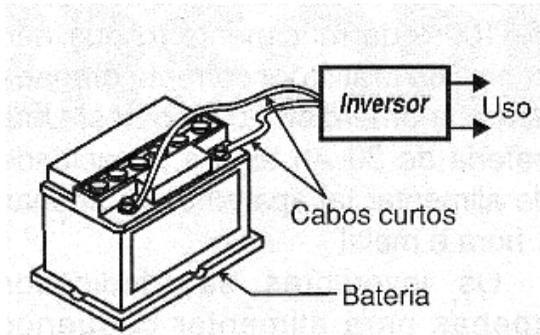


Figura 4 – Conectando um inversor a uma bateria

## Diagnóstico de Problemas

Os transistores de potência dos inversores normalmente são os componentes que mais facilmente queimam neste tipo de equipamento, pois trabalham com correntes elevadas e não raro bem perto de suas condições-limite.

Ao trocar estes componentes tenha cuidado para verificar se suportam a corrente e a tensão dos originais. Por exemplo, o sufixo do tipo comprado deve ser o mesmo do que queimou.

## Circuito Prático

Na figura 5 damos um circuito simples de um inversor que pode ser usado para alimentar lâmpadas fluorescentes de 7 a 40 W a partir de baterias de automóvel.

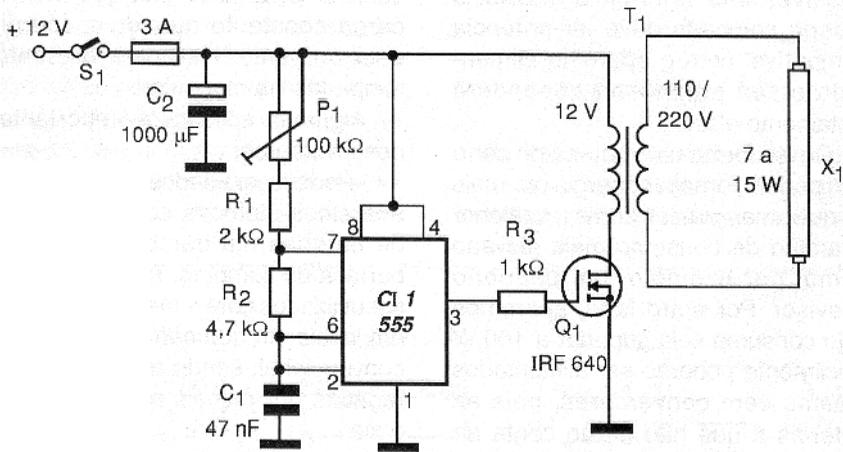


Figura 5 – Um inversor simples sem saída regulada

Com a troca do capacitor C1 na temporização do 555, por um de 10  $\mu\text{F}$  o mesmo circuito gerará pulsos luminosos servindo para um sistema de sinalização.

Como o circuito usa um transformador comum e seu rendimento não é muito elevado, lâmpadas de 20 a 40 W acenderão com menor brilho do que aquelas que apresentam quando ligadas na rede de energia.

Também é importante observar que o sinal de saída não é senoidal, tem picos maiores do que 110 V ou 220 V, mesmo usando um transformador para essa tensão e que a frequência de saída não é de 60 Hz.

Na figura 6 temos a placa de circuito impresso para a montagem do circuito.

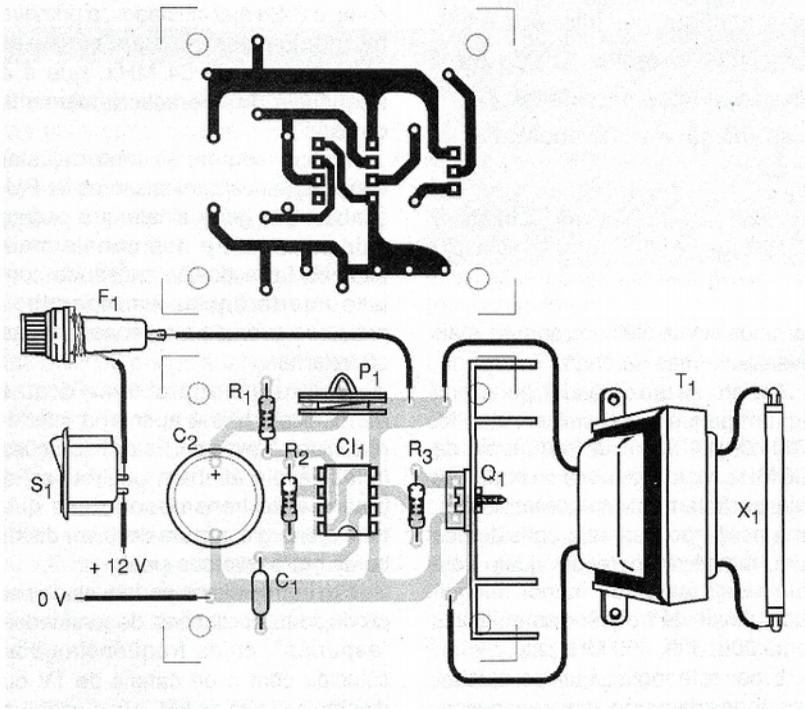


Figura 6 – Placa de circuito impresso para o inversor

O transistor de efeito de campo MOSFET de potência deve ser dotado de um bom radiador de calor. Qualquer tipo de canal N para correntes superiores a 3 A e tensões entre dreno e fonte  $V_{ds}$  a partir de 200 V pode ser usado sem problemas. O circuito também funcionará com um TIP31 ou TIP41, mas com um pouco menos de rendimento, dependendo do transformador.

O transformador tem enrolamento primário de 110 V ou 220 V (recomenda-se 220 V para maior facilidade de excitação de fluorescentes) com secundário de 12 V com corrente entre 800 mA e 2 A.

Os demais componentes do circuito não são críticos, devendo apenas o leitor atentar para a espessura das trilhas de maior corrente da placa de circuito impresso.

Esse circuito, dependendo do ajuste de frequência e do transformador drenará correntes entre 500 mA e 1 A da bateria.

Esse valor permite estimar a autonomia da bateria usada como fonte.

O circuito também funcionará com 4 pilhas grandes recarregáveis ou alcalinas se o transformador for do tipo com secundário de 6 ou 7,5 V e de 300 mA a 600 mA e, além disso, forem usadas lâmpadas fluorescentes até 15 W.

Cuidado deve ser tomado com o fio de conexão à lâmpada, se ela ficar longe do circuito, devendo os mesmos ser bem isolados, para que não ocorram perigos de choque.

O trimpot serve para ajustar a frequência em que o circuito tem máximo rendimento, ou seja, a lâmpada acende com o máximo de brilho.

É interessante observar que até mesmo lâmpadas fracas que já não mais acendem quando ligadas na rede de energia, funcionarão neste circuito, pois os picos de alta tensão ionizarão facilmente o gás no seu interior.

#### **Lista de Material**

CI-1 - 555 - circuito integrado, timer

Q1 - IRF640 ou equivalente - qualquer MOSFET de potência - ver texto

T1 - Transformador com primário de 110/220 V e secundário de 12 V com corrente entre 600 mA e 2 A - ver texto

X1 - lâmpada fluorescente de 7 a 15 W

P1 - 100 k ohms - trimpot

R1 - 2,2 k ohms x 1/8 W - resistor - vermelho, vermelho, vermelho

R3 - 4,7 k ohms x 1/8 W - resistor - amarelo, violeta, vermelho

R4 - 1 k ohms x 1/8 W - resistor - marrom, preto, vermelho

C1 - 47 nF - capacitor cerâmico ou de poliéster

C2 - 1 000 uF x 16 V - capacitor eletrolítico

F1 - Fusível de 3 A

S1 - Interruptor simples

Diversos:

Caixa para montagem, placa de circuito impresso, radiador de calor para o transistor, fios, solda etc.

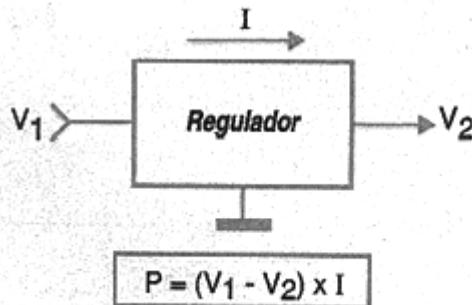
## Conheça os LDOs

Quando os problemas de disponibilidade de energia, espaço e calor gerado não precisam ser levados em conta, o uso de circuitos reguladores de tensão lineares não oferece qualquer problema.

Os tipos comuns como os tradicionais que fazem uso de transistores bipolares em invólucros de três terminais como os das serie 78 e 79 podem ser usados sem problemas.

No entanto, nos equipamentos modernos, principalmente os alimentados por baterias, onde a energia deve ser gerenciada da melhor maneira possível, tanto para atender a durabilidade da fonte, como também para se evitar desperdício na forma de calor, os reguladores lineares comuns não são a melhor solução.

Esses reguladores, intercalados aos circuitos em que devem funcionar, conforme mostra a figura 1, causam uma queda de tensão de pelo menos 2 V nos circuitos, e essa queda, além de desperdício de energia significa também a geração de calor. O calor gerado é dado pelo produto da queda de tensão pela corrente circulante.



**F1.**

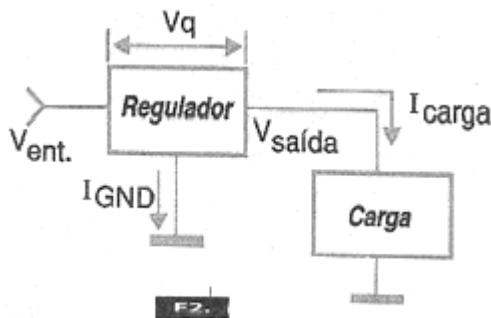
E, se levarmos em conta que as aplicações modernas usam baterias de tensões muito baixas como 2,7 V e 3,3 V, uma queda de tensão de 2 V num dispositivo regulador não seria admissível.

Assim, para atender uma nova gama de aplicações em que energia não pode ser desperdiçada como também calor não deve ser gerado em grandes quantidades, uma geração diferente de reguladores de tensão lineares se tornou disponível, os LDOs ou low dropout – saída com baixa queda de tensão.

Esses dispositivos apresentam quedas de tensão muito baixa quando em condução, com valores na faixa de 0,1 v a 0,5 V apenas. É justamente deles que estaremos tratando nesse artigo.

### **Reguladores Lineares de Tensão Comuns**

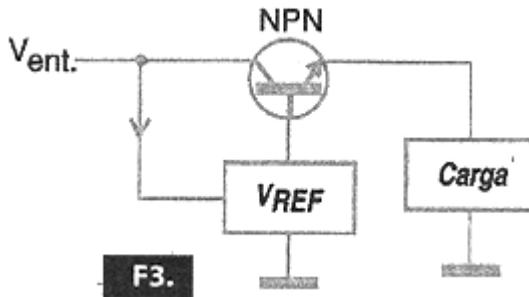
Os reguladores lineares de tensão típicos são intercalados com o circuito de carga, conforme mostra a figura 2.



Internamente, eles possuem um circuito de referência, eventualmente circuitos de proteção contra sobrecarga, aquecimento e outros recursos que dependem de sua aplicação.

Para controlar a corrente sobre a carga de modo a manter constante a tensão, esses dispositivos podem empregar diversas configurações. São justamente essas configurações que causam a queda de tensão responsável por perdas e pela geração de calor.

A configuração mais simples é a que faz uso de um transistor NPN bipolar, conforme mostra a figura 3.



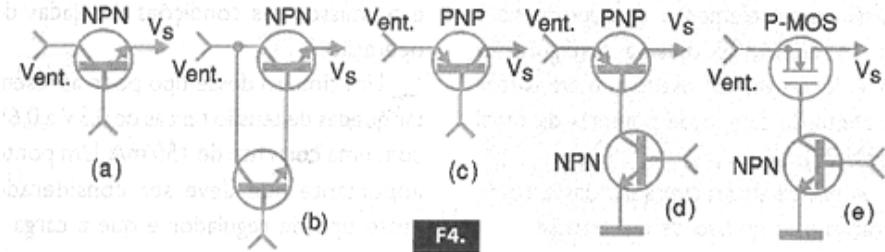
A polarização do transistor numa região intermediária entre o corte e a saturação faz com que apareça entre o coletor e o emissor uma tensão. O produto dessa tensão pela corrente conduzida nos dá a quantidade de calor que o dispositivo vai dissipar.

Além disso, pelas suas características, os transistores bipolares fazem com que apareçam tensões razoáveis entre o coletor e o emissor mesmo quando se encontram saturados ou próximos da saturação. Tudo isso se traduz num baixo rendimento da configuração, com a geração de calor e perdas pela queda de tensão no dispositivo de passagem que é o transistor.

### ***LDO – Low Dropout***

Para se conseguir que os dispositivos usados no controle da corrente sobre a carga apresentem uma baixa

queda de tensão, existem diversas possibilidades que são dadas por configurações, tanto usando transistores comuns como transistores de efeito de campo de potência, conforme mostra a figura 4.



As configurações apresentadas têm, entretanto, limitações que devem ser consideradas em cada projeto. Analisemos as características dessas configurações como:

**V<sub>min</sub>** – trata-se da tensão mínima de entrada com que pode operar a configuração.

**IL** – é a corrente típica de carga

**Z<sub>out</sub>** – trata-se da impedância de saída

**BW** – Faixa passante

### Transistor NPN

Nesse caso o transistor opera como seguidor de emissor com uma baixa impedância de saída e uma faixa passante (BW) larga.

- $V_{min} = 1 \text{ V}$
- $IL = < 1 \text{ A}$

### **Darlington NPN**

Com um par Darlington operando como seguidor de emissor temos uma baixa impedância de saída e uma faixa passante larga. No entanto:

- $V_{min} = 2 \text{ V}$
- $I_L > 1 \text{ a}$

### **Transistor PNP**

Essa é uma configuração interessante para LDOs, pois usando o transistor como inversor temos uma alta impedância de saída, uma faixa estreita mas uma tensão de entrada muito baixa.

- $V_{min} = 0,1 \text{ V}$
- $I_L < 1 \text{ a}$

### **Par PNP/NPN**

Nessa configuração temos transistores complementares funcionando como inversores, obtendo-se uma alta impedância de saída e uma faixa passante estreita. Além disso:

- $V_{min} = 1,5 \text{ V}$
- $I_L > 1 \text{ A}$

### **PMOS**

Usando um transistor de efeito de campo PMOS a tensão mínima de entrada será dada pelo produto:

$$R_{ds(on)} \times I_L$$

A impedância de saída é alta e a faixa passante estreita. Além disso a corrente máxima de carga pode ser maior que 1 A.

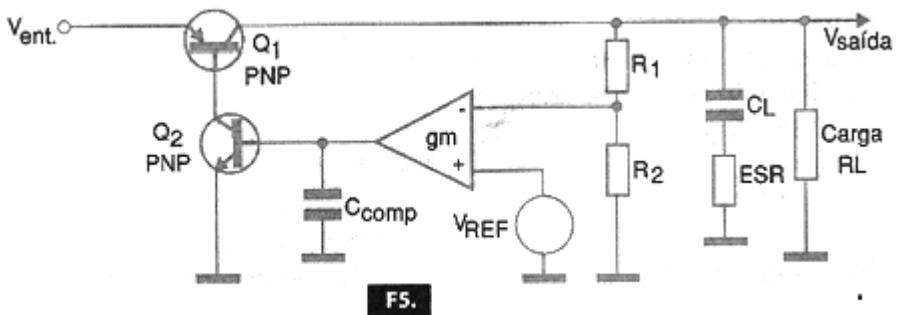
Em função das características das configurações típicas que podem ser usadas nos dispositivos desse tipo, diversas arquiteturas para a elaboração de LDOs são adotadas pelos fabricantes.

### As Arquiteturas

A seguir faremos uma breve análise de algumas arquiteturas encontradas em LDOs comerciais. As principais características são comuns, mas existem diferenças em alguns pontos, as quais devem ser consideradas no tipo específico para uma aplicação.

#### α) Arquitetura Tradicional

Na figura 5 temos a arquitetura tradicional de um LDO que faz uso de um transistor PNP para controlar a corrente principal. Esse transistor tem um transistor NPN controlado por um comparador de tensão como elemento que determina a sua condução. Na mesma configuração pode também ser usado um transistor de efeito de campo de potência de canal P (PMOS).



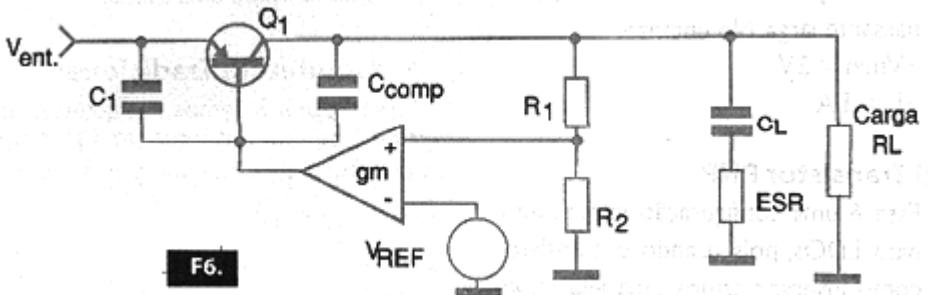
A principal característica dessa configuração está no uso de um transistor de potência de baixo ganho, excitado por

uma alta corrente de base, o que permite obter uma baixa queda de tensão entre o coletor e o emissor, nas condições desejadas de operação.

Um circuito desse tipo pode apresentar quedas de tensão típicas de 0,3 e 0,6 V com uma corrente de 150 mA. Um ponto importante que deve ser levado em conta nesse tipo de regulador é que a carga é ligada ao coletor do transistor, ou seja, ele opera na configuração de emissor comum. Isso significa que a carga vê a fonte como um circuito de alta impedância.

### β) Topologia Pole-Splitting

Essa configuração é mostrada na figura 6, usando também como elemento principal de controle ou dispositivo de passagem, tanto um transistor PNP como um MOSFET de potência de canal P.

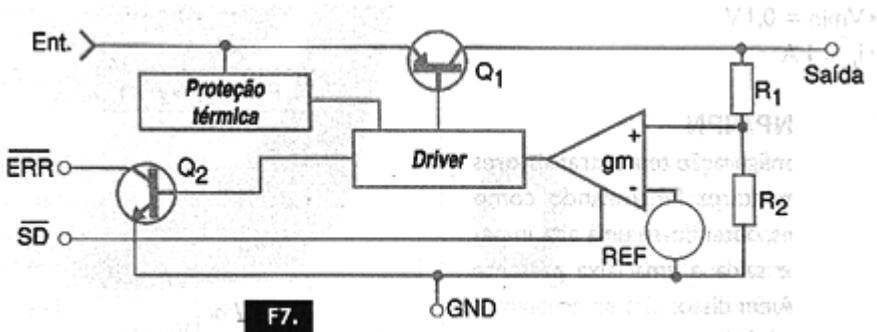


Nesse circuito destaca-se o capacitor de compensação ( $C_{comp}$ ) interno ligado entre o coletor e a base do transistor. Esse componente ajuda a evitar os problemas que podem ser causados pela presença de  $C_1$  no circuito de entrada.

Essa configuração não é das melhores pois a presença de  $C_1$  afeta a rejeição de ripple da fonte que, não é das melhores.

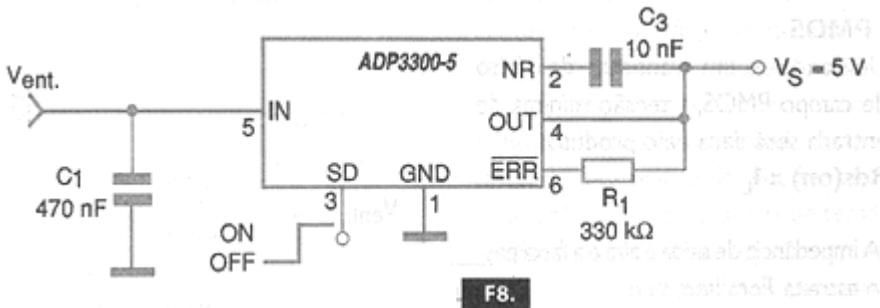
### χ) Topologia AnyCAP

Essa é uma topologia desenvolvida pela Analog Devices ([www.analog.com](http://www.analog.com)) que, conforme o nome sugere, permite o uso de capacitores de qualquer valor no circuito de entrada, sem que isso afete a rejeição de ripple e outras características do regulador. Na figura 7 temos um exemplo dessa topologia de LDOs de baixa corrente da Analog.



Com essa topologia a Analog tem como exemplo o circuito integrado ADP3300 que fornece tensões de saída de 2,7 V a 5 V com uma queda de tensão de apenas 0,3 V apenas. Isso significa que numa fonte de 5 V ele pode ser alimentado com tensões a partir de 5,3 V.

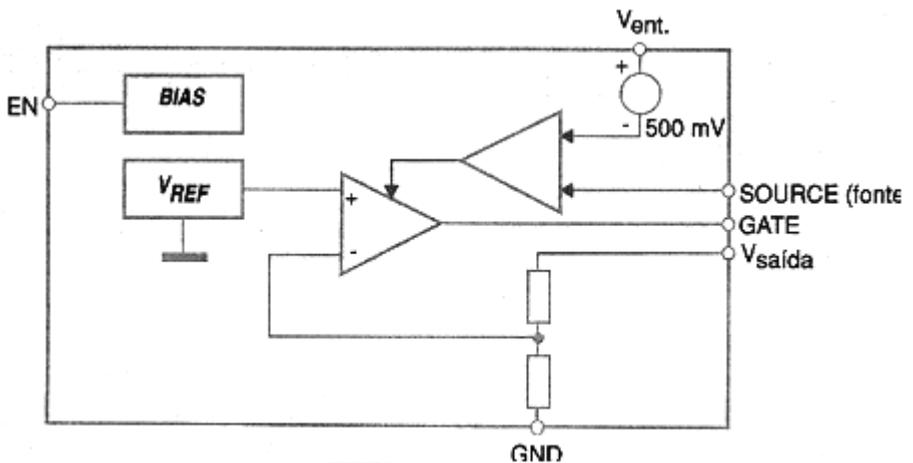
Na figura 8 temos uma sugestão de circuito de aplicação com esse componente.



### δ) Controladores Reguladores

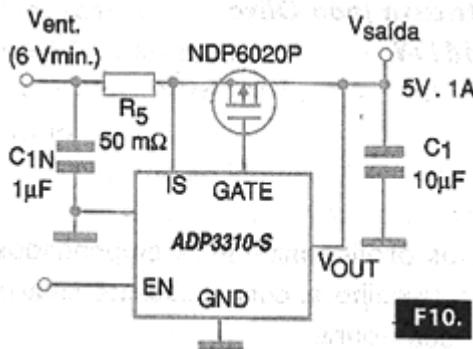
Outra categoria de regulador de tensão que pode ser empregado no projeto de LDO é o controlador de regulador. A diferença básica entre um regulador completo e o controlador de regulador é que no controlador de regulador, o transistor de potência ou de passagem, é um componente externo.

Assim, para esse tipo de componente temos uma topologia conforme a mostrada na figura 9.



F9.

Um exemplo típico de aplicação para um circuito regulador usando um controlador regulador é mostrado na figura 10.

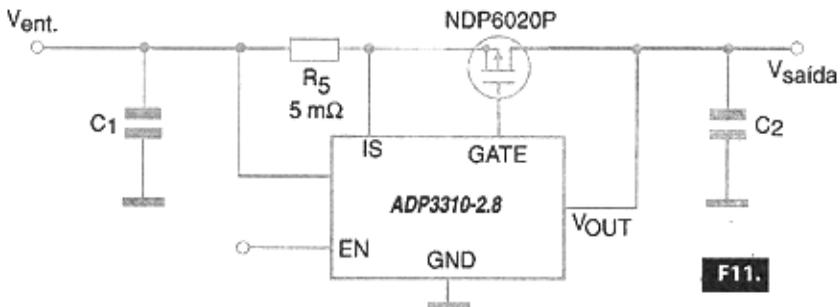


O elemento de passagem é um transistor de potência MOS de canal P, observando-se ainda a existência de um resistor em série de 50 mOhms e como elementos adicionais do circuito, dois capacitores de baixo valor.

Esse circuito opera com uma tensão de entrada a partir de 6 V e fornece uma saída regulada de 5 V com uma corrente máxima de 1 A.

O resistor tem por finalidade sensoriar a corrente no circuito de modo a fazer sua proteção em caso de curto-circuito ou sobrecarga.

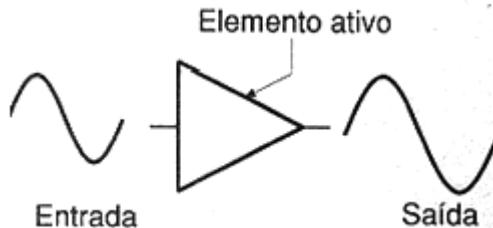
Para uma configuração com saída de 2,8 V usando o controlador regulador ADP3310-2.8 temos o circuito mostrado na figura 11, em que também se faz uso de um transistor de efeito de campo de potência de canal P.



A corrente máxima de saída desse circuito é de 8 A e o resistor sensor tem apenas 5 mOhms. O circuito utiliza um MOSFET da Fairchild e o controlador regulador é da Analog Devices.

## Configurações de Transistores

Componentes ativos são aqueles que podem amplificar sinais, ou seja, em que uma variação de uma corrente ou tensão de entrada (ou ambas) causa uma variação maior da corrente ou tensão de saída (ou ambas). Em outras palavras, a potência do sinal que obtemos na saída de um desses dispositivos é maior do que aquela que aplicamos na entrada, conforme mostra a figura 1.



*Figura 1 – O ganho é dito positivo quando o sinal de saída é maior do que o de entrada.*

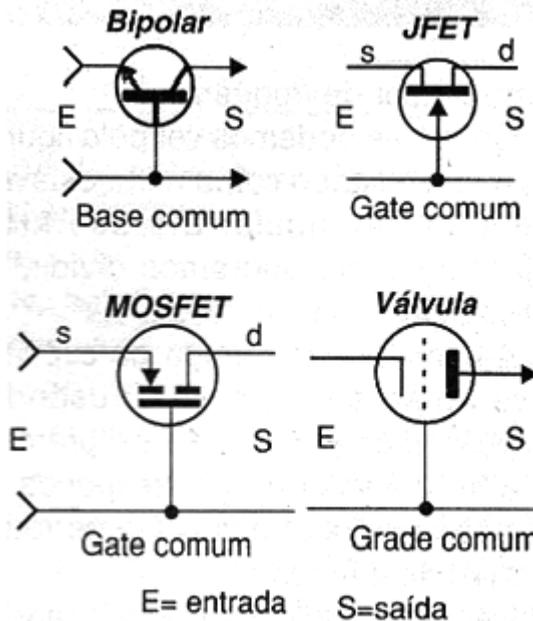
A eletrônica se baseia totalmente na operação desses dispositivos para nos dar os equipamentos que temos hoje. Sem essa propriedade dos elementos ativos não seria possível amplificar os fracos sinais que chegam a antena de um celular e convertê-los em som audível. Também não seria possível converter em imagem os sinais fracos que chegam a uma antena de TV. Basicamente são quatro os componentes ativos que usamos hoje nas aplicações eletrônicas:

1. Transistores bipolares
2. Transistores de efeito de campo de junção (JFET)
3. Transistores de efeito de campo MOS (MOSFETs)
4. Válvulas termiônicas ou simplesmente válvulas

Esses componentes podem ser ligados em três configurações básicas que passamos a analisar a seguir, tomando como ponto de partida sempre o transistor bipolar.

**a) Base comum**

Na figura 2 temos essa configuração do transistor bipolar e seus equivalentes para a válvula, JET e MOSFET.



*Figura 2 – Base comum e o equivalente para válvulas e transistores de efeito de campo.*

Observe que, nela o sinal entra entre o emissor e a base e é retirado entre o coletor e a base. Como a base é o elemento comum à entrada e saída, dizemos que se trata de uma configuração em “base comum”.

É evidente que para uma válvula, o elemento comum à entrada e saída é a grade, daí a denominação ser chamada “grade comum”, e para os FETs de “comporta ou gate

comum”. Para o transistor bipolar obtemos as seguintes características quando o usamos nesta configuração:

Ganho de corrente	Próximo de 1
Ganho de tensão	Elevado
Ganho de potência	Médio
Resistência de entrada	Muito baixa
Resistência de saída	Muito alta

A figura 2 nos mostra a configuração simplificada, sem os componentes de polarização. Para uma etapa com esta configuração, com os componentes de polarização e acoplamento o circuito fica como o mostrado na figura 3.

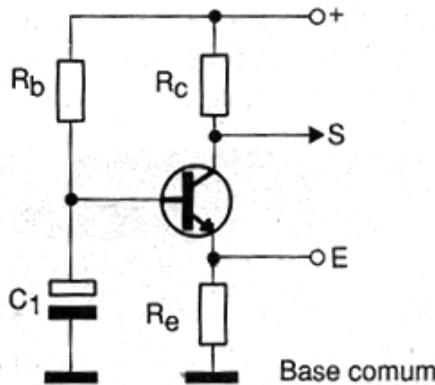


Figura 3- Etapa amplificadora em base comum com NPN.

Nesta configuração temos ainda a sua capacidade de operar com frequências mais elevadas, dada a menor capacitância de entrada.

### b) Emissor comum

Na configuração de emissor comum, o sinal é aplicado entre a base e o emissor e retirado entre o coletor e o emissor, conforme mostra a figura 4.

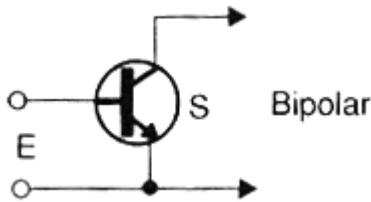


Figura 4 – Transistor NPN na configuração de emissor comum.

Para as válvulas e FETs temos a configuração equivalente de catodo comum e fonte comum, mostradas na figura 5.

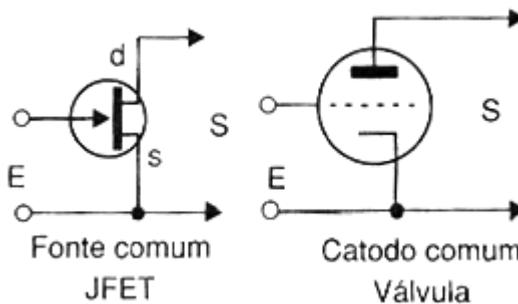
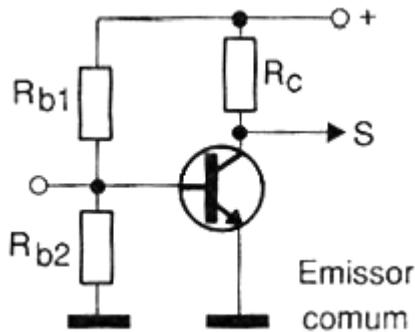


Figura 5 – Configuração equivalente para transistores de efeito de campo e válvulas.

As principais características desta configuração são:

Ganho de corrente	Elevado
Ganho de tensão	Elevado
Ganho de potência	Elevado
Resistência de entrada	Baixa
Resistência de saída	Alta

Na figura 6 mostramos a mesma configuração com os elementos de polarização e acoplamento.

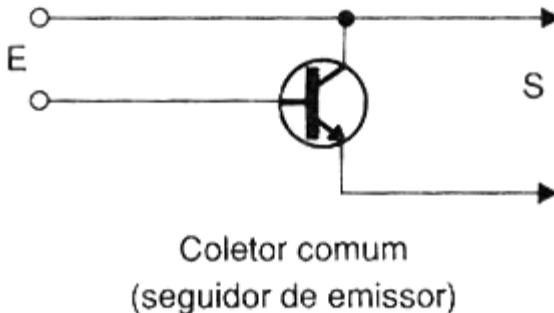


*Figura 6 – Etapa amplificadora em emissor comum com elementos de polarização.*

A maior capacitância de entrada limita a frequência máxima de operação das etapas com esta configuração. Para frequências mais altas, as configurações de base comum são preferidas.

### c) Coletor Comum

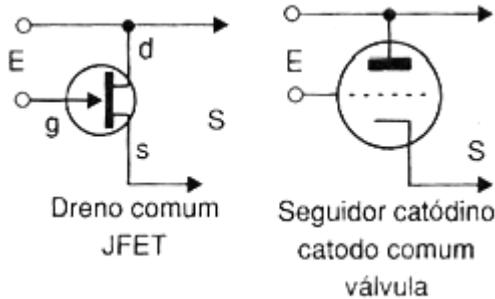
Esta configuração também recebe a denominação de seguidor de emissor. Os sinais entram pela base e saem pelo emissor, tendo por elemento comum à entrada e saída o coletor, conforme mostra a figura 7.



Coletor comum  
(seguidor de emissor)

*Figura 7 – Configuração de um transistor NPN em coletor comum.*

Para as válvulas temos a denominação de anodo comum ou seguidor catodino, e para os transistores de efeito de campo a denominação é dreno comum ou seguidor de fonte. Para esses componentes a configuração é mostrada na figura 8.

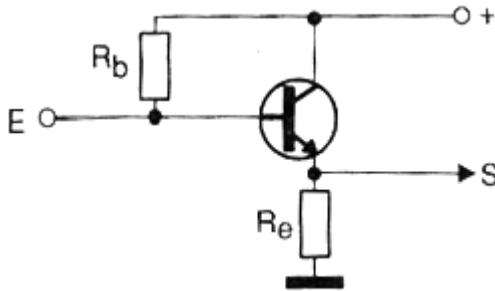


*Figura 8 – Etapas equivalentes com transistores de efeito de campo e válvulas.*

As principais características dessa configuração, para o caso de transistores bipolares são:

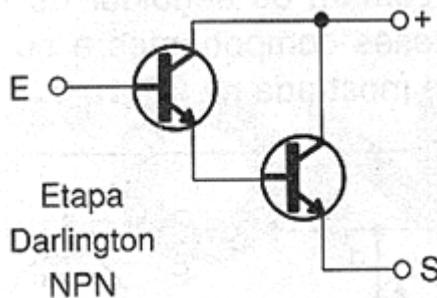
Ganho de corrente	Elevado
Ganho de tensão	Menor que 1
Ganho de Potência	Pequeno
Resistência de entrada	Elevada
Resistência de saída	Baixa

Pelas suas características este circuito é usado normalmente para casar uma alta impedância de entrada com uma baixa impedância de saída. Na figura 9 temos a mesma configuração com os elementos de polarização e acoplamento para um transistor bipolar comum.



*Figura 9 – Etapa em coletor comum com resistores de polarização.*

É nesta configuração que dois ou mais transistores são acoplados de modo a se obter o que se denomina etapa Darlington, conforme mostra a figura 10.



*Figura 10 – Etapa amplificadora Darlington com dois transistores NPN.*

Nesta configuração, os ganhos de corrente dos transistores ficam multiplicados. No entanto, como a capacitância de entrada fica também multiplicada, este tipo de circuito não se presta a amplificação de sinais de altas frequências. A tabela dada a seguir resume as características obtidas para todos os componentes ativos nas diversas configurações.

Características	Válvulas	Transistores baixa potência	Transistores de potência	JFETs	MOSFETs
Impedância de entrada	alta	depende da configuração.	Muito baixa	Alta	Muito alta
Impedância de saída	Alta	depende da configuração.	baixa	alta	alta
Ruído	baixo	Baixo	moderado	baixo	-
Tempo de aquecimento	longo	não existe	não existe	não existe	não existe
Consumo de potência	grande	Pequeno	médio	muito pequeno	muito pequeno
Confiabilidade	pobre	Excelente	muito boa	excelente	muito boa
Sensibilidade a sobrecarga	excelente	Boa	regular	boa	pobre
Tamanho	grande	pequeno	médio	pequeno	pequeno

## Dissipadores de Calor

Fontes de alimentação, controles de potência e amplificadores de áudio são apenas alguns exemplos de circuitos que operam com potências elevadas, usando componentes que trabalham próximos de seus limites. Como transferir o calor gerado por esses componentes para o meio ambiente é uma grande preocupação que os projetistas devem enfrentar para não terem problemas posteriores de funcionamento.

Um dos pontos de partida para a escolha do dissipador apropriado está na própria durabilidade de um componente semicondutor como um transistor, MOSFET, Triac ou mesmo circuito integrado de potência. A confiabilidade, e a durabilidade de um dispositivo semicondutor, é inversamente proporcional ao quadrado das variações de temperatura da junção. Isso significa que reduzindo à metade a temperatura de um dispositivo, podemos esperar uma durabilidade quatro vezes maior.

O processo de transferência do calor gerado na junção de um dispositivo semicondutor envolve um circuito térmico com diversas etapas, conforme mostra a figura 1.

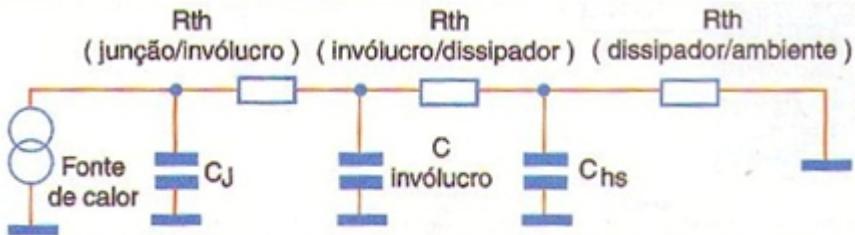


Figura 1

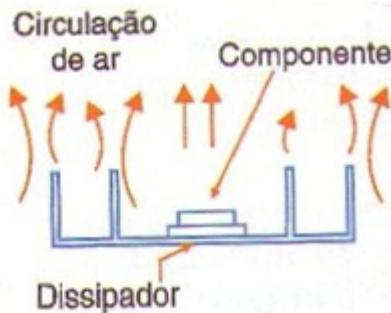
Três componentes se destacam nesse circuito: a resistência térmica do invólucro do dispositivo ao passar para o dissipador, a inércia térmica do dissipador de calor (que é grande), e a resistência térmica entre o dissipador e o meio ambiente.

Nesse circuito deve-se encontrar um estado de equilíbrio térmico, que permita a transferência do calor gerado para o meio

ambiente sem, entretanto, que a temperatura da junção do dispositivo semiconductor ultrapasse os limites estabelecidos pelo fabricante.

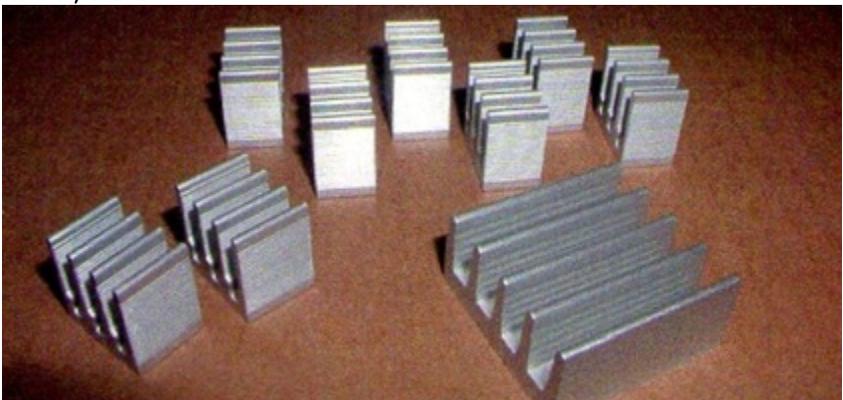
## ***Tipos de Dissipadores***

Partindo da ideia de que qualquer corpo que conduza e irradie calor pode funcionar como um radiador de calor, podemos ter diversas técnicas para a construção de dissipadores para uso em aplicações eletrônicas. A maioria dos tipos tem na circulação do ar a transferência da maior parte do calor gerado, conforme mostra a figura 2.



**Figura 2**

Os principais tipos são, cujos formatos são mostrados na figura 3, são:



- Estampados – são dissipadores formados por folhas de cobre ou alumínio, estampados de modo a adquirir o formato desejado. Esse tipo de dissipador é bastante usado na maioria das aplicações eletrônicas por serem baratos e por serem de fabricação fácil.
- Por extrusão – são os mais comuns em aplicações de potência como fontes de alimentação, amplificadores etc. O processo de extrusão facilita a obtenção de formatos bidimensionais com a capacidade de dissipar grandes quantidades de calor. Além disso, eles podem ser cortados e trabalhados de diversas maneiras. A possibilidade de se cortar aletas em corte cruzado permite a elaboração de padrões que possibilitam o aumento da performance de 10 a 20%.
- Juntas de Tiras Pré fabricadas – a limitação da capacidade de dissipação dos tipos que operam por convecção pode ser contornada se a superfície de contato com o ar for aumentada. A maior exposição à corrente de ar facilita a transferência do calor gerado. Os dissipadores desse tipo são formados por aletas de alumínio coladas com epóxi a uma base fabricada por extrusão.
- Fundidos – areia, um cerne e processo de fundição para dissipadores podem ser feitos em alumínio sem a necessidade de vácuo, cobre ou bronze. Esse tipo de dissipador tem maior desempenho em sistemas de ventilação forçada.
- Aletas dobradas – folhas de alumínio ou cobre corrugado são usadas para aumentar a área da superfície em contato com o ar nesse tipo de dissipador. O sistema é então fixado a uma placa que serve de base ou mesmo colado na superfície de onde o calor deve ser removido.

#### Como Medir a Resistência Térmica de um Dissipador

O método descrito é empírico, servindo para determinar com razoável precisão a resistência térmica de um dissipador de calor.

Tudo que o leitor precisa é de um termômetro (preferivelmente do tipo de contato digital) e de uma fonte de calor conhecida. A fonte de calor pode ser um resistor de potência ou ainda um transistor, conforme mostra a figura 4 ligados a uma fonte ajustável de tensão.

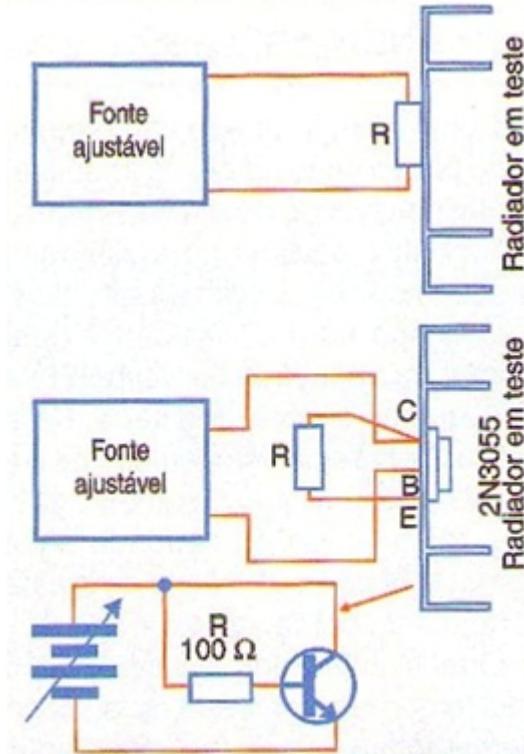


Figura 4

O resistor ou o transistor devem ser capazes de fornecer uma boa potência, por exemplo, o 2N3055. Será interessante que na determinação das características do dissipador, ele esteja o mais próximo possível das condições reais em que ele vai ser usado.

Por exemplo, ele já pode ser fixado na caixa do aparelho em que vai ser instalado de modo a se verificar se o sistema de ventilação é eficiente. O que se faz então é montar o dissipador

em contato com o resistor ou transistor usado como fonte de calor. O contato térmico perfeito é essencial para a precisão das medidas, conforme mostra a figura 5.

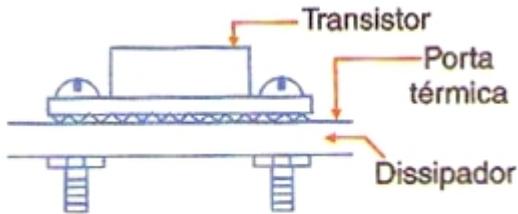


Figura 5

No caso de um transistor é mais fácil fazer esse contato pois já podemos usar pasta térmica para essa finalidade, como na montagem final do componente que vai ser utilizado. Comece aplicando uma pequena potência ao resistor ou transistor e espere pelo menos uma hora para que ocorra o equilíbrio térmico.

Se o calor gerado for insuficiente para aquecer o dissipador (que estará ainda muito frio), aumente a potência e espere mais uma hora até a estabilização. Vá fazendo isso por etapas até obter uma temperatura final do dissipador na faixa de 50 a 60° C aproximadamente. Anote a potência que está sendo gerada  $P_h$  multiplicando a corrente no circuito pela tensão, conforme mostra a figura 5.

Anote a temperatura final medida no dissipador ( $t_h$ ) e a temperatura ambiente ( $t_a$ ). Podemos então aplicar as seguintes fórmulas:

Variação da temperatura ( $t_r$ )

$$t_r = t_h - t_a \quad (1)$$

Onde:

$t_h$  – temperatura do dissipador (°C)

$t_a$  – temperatura ambiente (°C)

Potência dissipada (aplicada ao dissipador) –  $W$

$$P = V \times I \text{ (2)}$$

**Onde**

P – potência aplicada e dissipada em watts

V – tensão no elemento de aquecimento (V)

I – corrente no elemento de aquecimento (I)

Finalmente temos o modo de se encontrar a resistência térmica em  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ :

$$R_{th} = T_r/P \text{ (3)}$$

**Onde:**

$R_{th}$  – resistência térmica em  $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

$T_r$  – variação da temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

P – potência aplicada/dissipada (W)

Para obter maior precisão nos cálculos, o leitor pode realizar a medida várias vezes e tirar a média. Na maioria dos casos, a determinação será razoável pois os próprios fabricantes dos dissipadores especificam seus produtos com uma tolerância que chega aos 25% (para mais e para menos!).

Vamos dar um exemplo de cálculo:

Ao aplicar uma tensão de 12 V a corrente circulante no elemento de aquecimento usado como prova é de 3 A. A temperatura ambiente é  $20^{\circ}\text{C}$  e a temperatura final medida depois de uma hora no dissipador  $60^{\circ}\text{C}$ . Qual é a resistência térmica do dissipador?

**Temos:**

$$t_a = 20^{\circ}\text{C}$$

$$t_h = 60^{\circ}\text{C}$$

$$V = 12\text{ V}$$

$$I = 3\text{ A}$$

Começamos por calcular  $t_r$ :

$$t_r = 60 - 20 = 40^{\circ}\text{C}$$

Depois calculamos P:

$$P = 12 \times 3 = 36 \text{ W}$$

A resistência térmica será:

$$R_{th} = T_r/P = 40/36 = 1,11 \text{ oC/W}$$

Compostos ou Pastas Térmicas

De modo a facilitar a transferência de calor entre o componente (onde ele é gerado) e o dissipador de calor é comum o emprego de compostos térmicos ou pastas térmicas, conforme mostra a figura 6.

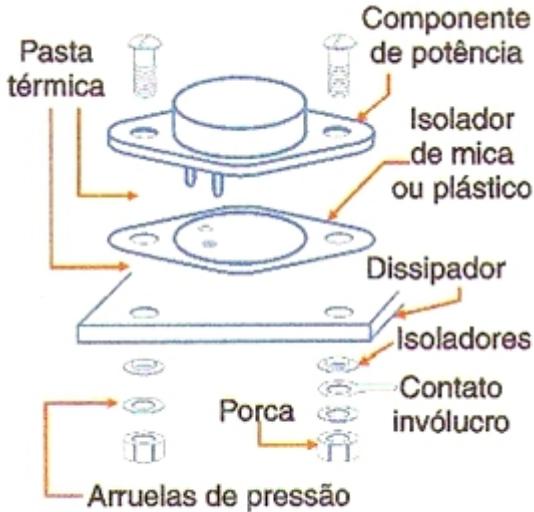


Figura 6

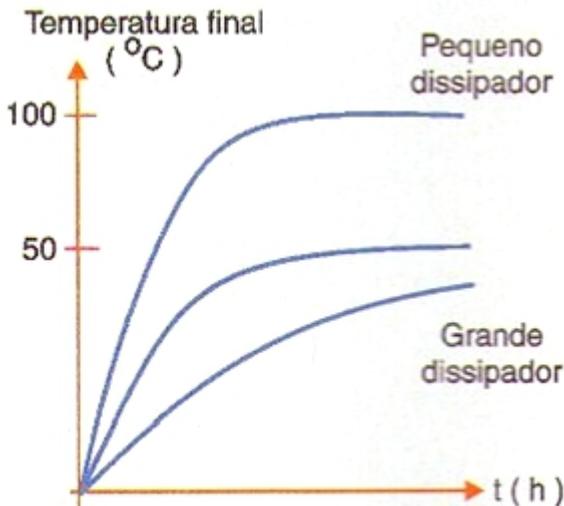
Muitos projetistas acham que se a utilização de um pouco de pasta térmica é recomendável colocar mais é melhor. Um erro grave que pode comprometer a aplicação. Os compostos ou pastas térmicas possuem uma resistência térmica que não é desprezível, e um excesso de pasta em lugar de ajudar, pode

agregar resistência ao circuito térmico, diminuindo, em lugar de aumentar, a capacidade de dissipação.

## ***Inércia Térmica***

Como o calor gerado não é transferido para o meio ambiente imediatamente, precisando de um certo tempo de "trânsito" através do dissipador, isso se traduz numa inércia térmica. Leva tempo para o dissipador "responder" às variações de temperatura do componente nele montado.

Essa inércia deve-se basicamente à massa do dissipador, a qual deve ser aquecida, absorvendo ou cedendo calor quando a temperatura do ar ambiente ou do componente varia. Quanto maior for um dissipador mais tempo ele demora até atingir a temperatura final de funcionamento, conforme mostra o gráfico da figura 7.



**Figura 7**

Veja então que um dissipador maior não significa necessariamente que ele pode dissipar mais calor, mas sim que ele demora mais tempo para chegar à temperatura de equilíbrio.

Uma grande inércia térmica pode ser interessante em algumas aplicações, pois ela significa a capacidade de absorver o calor gerado em transientes.

Deve-se também tomar cuidado com uma inércia excessiva, pois a temperatura do radiador pode demorar para subir atuando sobre um eventual dispositivo de proteção conectado a ele, quando a temperatura do próprio componente já atingiu um valor capaz de causar sua queima.

## As Pontes de Medida

A maioria dos nossos leitores conhece a ponte de Wheatstone, usada na medida de resistências e que serve de ponto de partida para muitos estudos de laboratório de instrumentação.

No entanto, para essa mesma maioria, existem muitas outras pontes que são desconhecidas, mas cuja importância não é menor do que a própria Ponte de Wheatstone.

É dessas pontes que vamos falar neste artigo.

### O Que é uma Ponte

Uma ponte nada mais é do que um circuito de medida que faz uso de uma fonte de sinal ou de tensão contínua e um detector de nulo que pode ser um fone de ouvido, um indicador de bobina móvel ou qualquer outro conforme o tipo de aplicação exija, tudo isso conforme mostrado na figura 1.

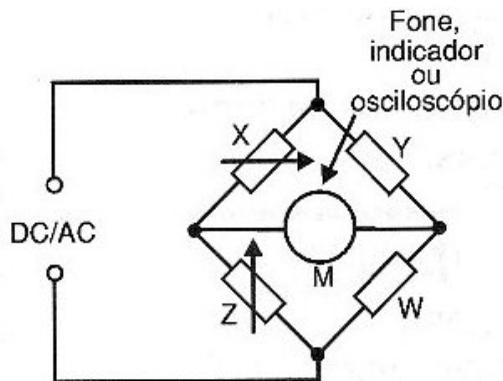


Fig. 1 - Uma ponte de medida.

Quando os componentes desta ponte apresentam uma determinada relação de valores, não há sinal ou não circula corrente pelo detector de nulo. Diz-se, nestas condições, que a ponte se encontra em equilíbrio.

Se tivermos um componente de valor desconhecido, e tivermos um componente variável que compense seu valor, poderemos sempre obter o equilíbrio da ponte ajustando o componente variável.

Isso significa que podemos dotar o componente variável de uma escala de tal forma que nos permita determinar o valor do componente desconhecido, quando for alcançado o equilíbrio. Conforme os componentes usados, o tipo de grandeza que vai ser medida as pontes recebem diversas denominações que passamos agora a analisar.

### **Ponte de Thomson**

Esta é uma ponte muito interessante destinada à medida de resistências muito baixas, menores que 1 ohm.

Esta ponte recebe o nome de seu descobridor que a desenvolveu em 1862, tendo o circuito básico mostrado na figura 2.

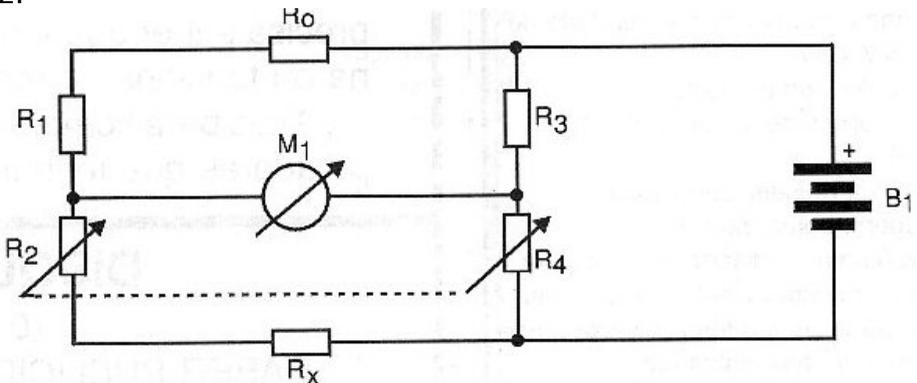


Fig. 2 - Ponte de Thomson usada na medida de resistências muito baixas.

As resistências do circuito devem manter inicialmente as seguintes relações de valores:

$$R_1 = R_3$$

$$R_2 = R_4$$

A resistência  $R_o$  é fixa e tem um valor que deve ser aproximadamente o valor da resistência que se espera medir ( $R_x$ ).

As resistências  $R_2$  e  $R_4$  são conjugadas, ou sejam variam ao mesmo tempo por um eixo único. Nestas condições o nulo da ponte será obtido quando as resistências do circuito satisfizerem a seguinte igualdade:

$$R_x = R_o (R_4/R_3)$$

A principal vantagem no uso deste tipo de ponte é que a influência da resistência dos fios que fazem a ligação a  $R_x$  pode ser eliminada, o que é importante quando se mede resistências muito baixas.

### Ponte de Sauty

A Ponte de Sauty tem seu circuito mostrado na figura 3 e serve para a medida de capacitâncias.

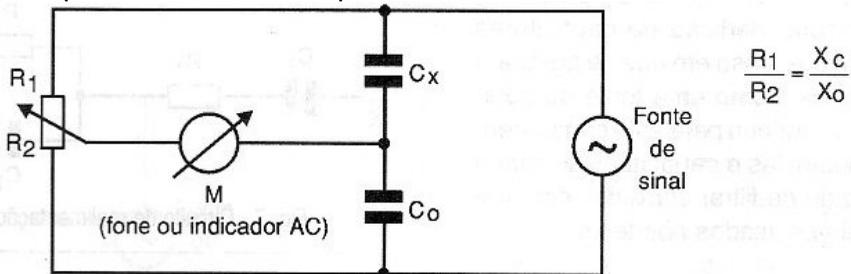


Fig. 3 - Ponte de Sauty para a medida de capacitâncias.

O que se faz nesta ponte é trocar um dos resistores da ponte de Wheatstone por um capacitor e, além disso, aplica-se na alimentação um sinal de frequência de acordo com os capacitores a serem medidos. Desta forma, as reatâncias capacitivas do capacitor a ser medido e de um capacitor de referência é que são usadas no equilíbrio da ponte.

Chamando-se de  $X_c$  a reatância do capacitor a ser medido e de  $X_o$  a reatância do capacitor de referência, o equilíbrio da ponte vai ser conseguido quando a seguinte relação de valores entre todos os elementos da ponte for satisfeita:

$$R1/R2 = Xc/Xo$$

Trabalhando-se com um fone de ouvido de alta impedância e com sinais na faixa de 1 kHz a 5 kHz a detecção de nulo ser feita no ponto em que o som desaparecer.

Para capacitâncias muito pequenas se pode usar sinais de frequências mais altas e como detector de nulo um osciloscópio. Um problema que pode ocorrer neste tipo de ponte vem do fato de o capacitor medido pode não apresentar uma capacitância pura. Lembramos que um capacitor real tem uma certa resistência parasita em série a ser considerada.

Um resistor variável pode ser agregado em série com o capacitor de referência também para compensar esta resistência parasita caso em que o equilíbrio, ao ser conseguido, leva tanto a determinação da capacitância  $C_x$  como a resistência parasita ligada em série, conforme mostra a figura 4.

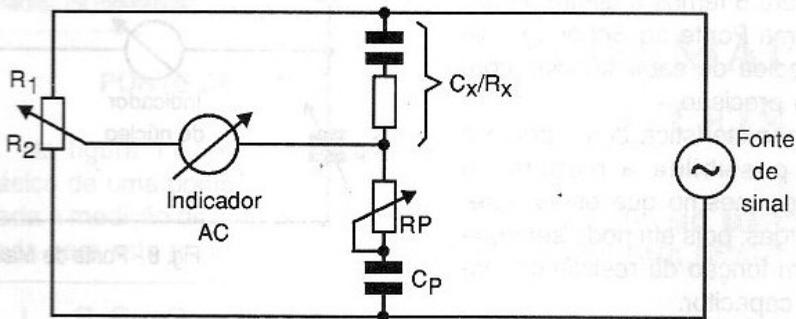


Fig. 4 - Acréscimo de RP para compensar a resistência parasita de um capacitor em medida.

Variações da ponte de Sauty existem para medição de capacitores eletrolíticos caso em que se agregam elementos como uma fonte de polarização contínua para este componente, indutâncias e capacitâncias com a finalidade de filtrar correntes contínuas e sinais usados nos testes.

### **Ponte de Schering**

Na figura 5 temos o diagrama básico de uma Ponte de Schering que é usada na medida de capacitâncias com excelente precisão.

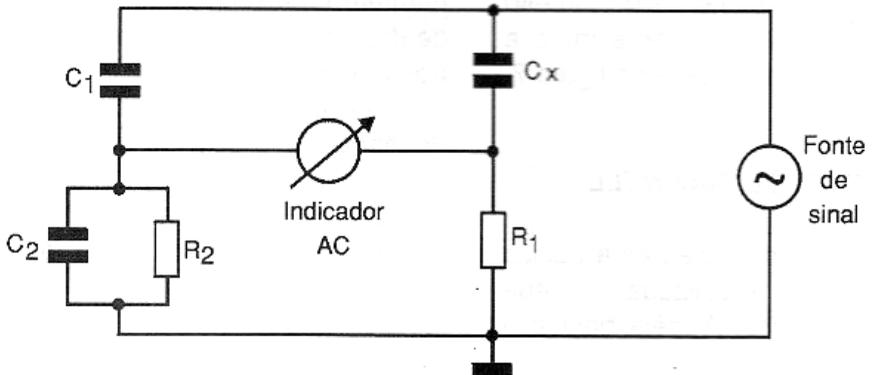


Fig. 5 - Ponte de *Schering* para medida de capacitâncias.

Uma característica desta ponte é que ela possibilita a medida de capacitores mesmo que apresentem fugas, pois ela pode ser equilibrada em função da resistência paralela ao capacitor.

A fonte de sinal vai depender dos valores a serem medidos, assim como o detector de nulo. Para capacitores comuns na faixa de 1 nF a 1 uF pode-se usar um gerador de sinais de 1 kHz e um fone de ouvido como elementos da ponte.

O equilíbrio desta ponte ocorre quando as seguintes relações entre os componentes forem satisfeitas:

$$C_x = C_1 (R_1/R_2)$$

$$R_x = R_1 (C_2/C_1)$$

Onde  $C_x$  é a capacitância do capacitor em teste e  $R_x$  a resistência de fuga.

### ***Ponte de Wien***

Uma característica importante das pontes que vimos até agora é que seu equilíbrio independe da frequência do sinal de entrada.

Para a medida de sinais de áudio, uma ponte interessante, que na verdade foi a que deu origem à ponte de Schering, é a chamada ponte de Wien, mostrada na figura 6.

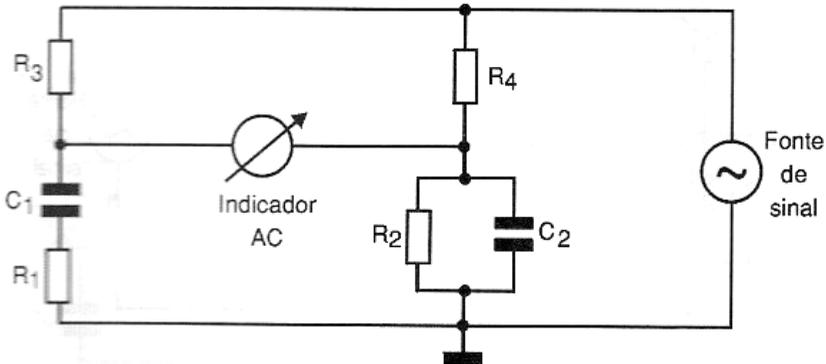


Fig. 6 - Ponte de *Wien* para medidas de frequência.

Esta ponte equilibra-se quando um capacitor  $C_x$  adquire um valor tal que:

$$C_x = 1/(R_1.R_2.C_1.\omega)$$

**Onde:**  $\omega = 2. \pi. f$ , sendo  $f$  a frequência do sinal

Se o capacitor utilizado é variável, previamente ajustado em função dos demais elementos pode-se determinar a frequência do sinal.

Fazendo-se com que:

$$R_3 = 2.R_4$$

$$C_1 = C_2$$

O equilíbrio da ponte ser obtido quando:

$$f = 1/(2.\pi.C_x.R_2)$$

Veja o leitor que esta configuração é a mesma utilizada nos denominados osciladores por ponte de Wien, cujo circuito

básica do elo de realimentação que determina a frequência é mostrada na figura 7.

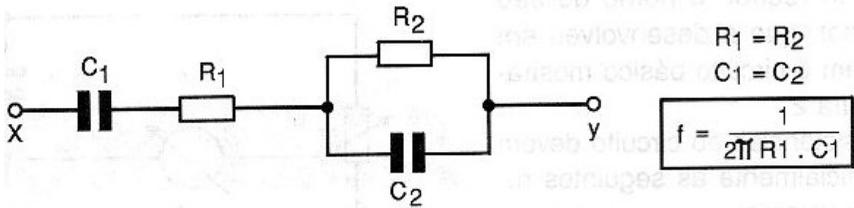


Fig. 7 - Circuito de realimentação usado nos osciladores por ponte de Wien.

### Ponte de Maxwell

Esta ponte, cujo diagrama básico é mostrado na figura 8, é utilizada na medida de indutâncias.

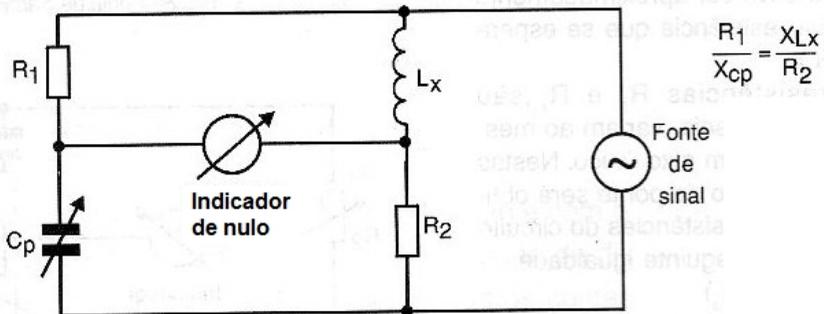


Fig. 8 - Ponte de Maxwell para a medida de indutâncias.

A ideia básica é fazer a comparação de uma indutância com uma capacitância, com base em suas reatâncias, isso porque é mais difícil obter-se um padrão de indutâncias do que de capacitâncias.

Assim, quando esta ponte está em equilíbrio temos a relação mostrada no próprio diagrama.

O equilíbrio ocorre quando as reatâncias, da bobina e do capacitor de referência, adquirem valores que mantém uma proporção que depende dos valores dos resistores dos outros braços. A frequência do sinal usado vai depender da ordem de grandeza da indutância que se pretende medir.

Um aperfeiçoamento desta ponte é mostrado na figura 9 em que se acrescenta ao circuito também um resistor variável.

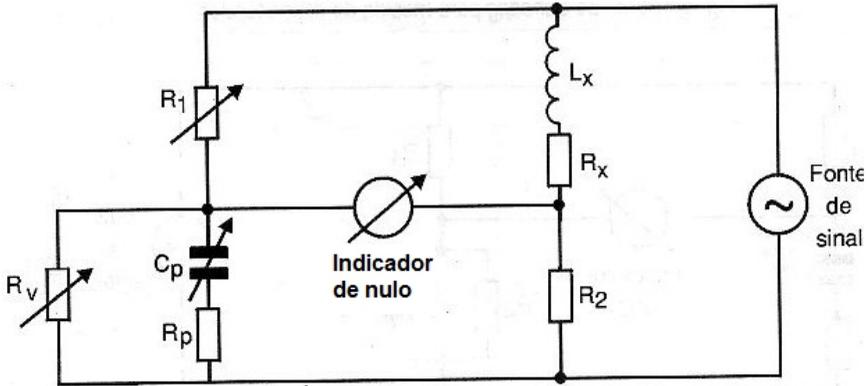


Fig. 9 - Aperfeiçoamento da ponte de *Maxwell* para compensar a resistência  $R_x$  do enrolamento de  $L_x$ .

Este componente é necessário para se equilibrar a ponte levando-se em conta também a resistência ôhmica do enrolamento da bobina que se soma à sua indutância.

Lembramos que a bobina equivale, em seu circuito real, a uma indutância ligada em série com uma resistência.

Veja que o equilíbrio desta ponte é feito por meio de dois ajustes e um ponto importante é que, através da medição tanto da indutância, como da resistência associada, pode-se ter uma ideia também de seu fator de qualidade (fator  $Q$ ).

## **Ponte de Hay**

Esta ponte, cujo diagrama básico é mostrado na figura 10, também se destina à medida de indutâncias.

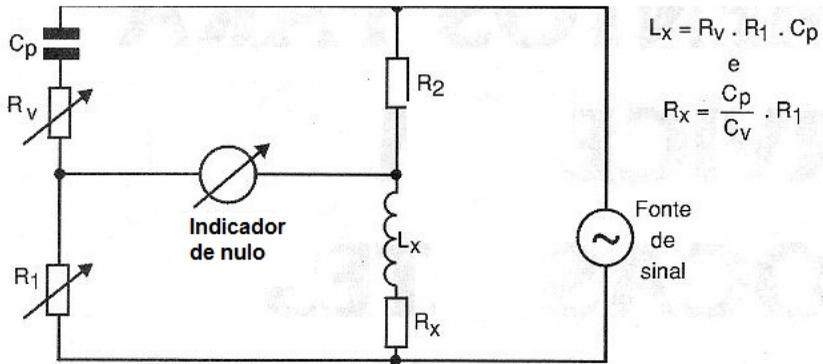


Fig. 10 - Ponte de Hay para a medida de indutâncias.

O princípio de funcionamento é o mesmo da ponte de Maxwell, utilizando-se um capacitor para equilibrar com sua reatância, a reatância apresentada por um indutor, que está sendo medido.

O equilíbrio desta ponte vai ser conseguido quando a relação de valores de componentes mostrada em seu diagrama for alcançada.

### Ponte de Owen

Na figura 11 temos o diagrama básico de uma ponte de Owen que é destinado a medição de indutâncias.

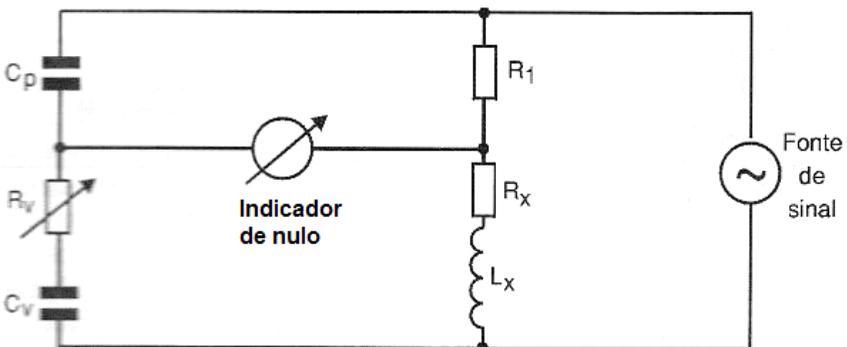


Fig. 11 - Ponte de Owen para medida de indutâncias.

Esta ponte tem por característica importante o fato de seu funcionamento não depender da frequência do sinal.

No diagrama temos a relação de valores de componentes que deve ser satisfeita para que ela fique em equilíbrio.

## Como Funciona o Multímetro

Não podemos ver ou sentir as correntes muito fracas que circulam pelos circuitos eletrônicos ou mesmo saber o que ocorre com um componente quando submetidos a determinadas tensões. Para que possamos então avaliar o estado de circuitos e componentes precisamos de um auxiliar, um instrumento, que possa traduzir de uma forma que nossos sentidos possam perceber, o que ocorre nos circuitos eletrônicos.

O mais simples e o mais importante desses instrumentos é o multímetro.

Os técnicos mais antigos também costumam chamar este instrumento de Tester, Multiteste ou VOM (Das iniciais das unidades que ele mede, ou Volt-Ohm-Miliamperímetro). Atualmente encontramos multímetros com os mais diversos aspectos, que são basicamente divididos em dois grupos: os que possuem um indicador com um ponteiro, e que são denominados analógicos, e os digitais em que existe um mostrador de cristal líquido onde aparece o valor numérico da grandeza que está sendo medida.

Na figura 1 temos os aspectos mais comuns desses multímetros.

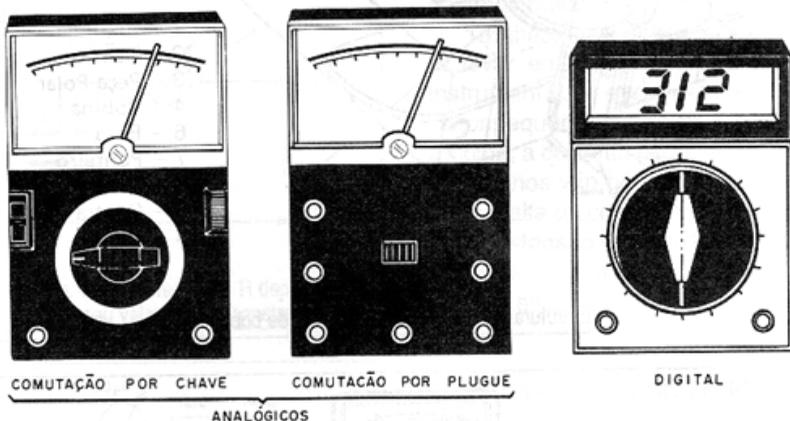


Fig. 1 - Tipos comuns de multímetros.

O multímetro, apesar de sua grande utilidade e de poder ser levado a qualquer parte é um instrumento delicado que o técnico deve manejar com muito cuidado.

Para entender o que o multímetro pode fazer, suas limitações e também os cuidados que devemos ter na sua utilização vamos começar nossa análise pelo instrumento indicador dos tipos mais comuns, os analógicos.

## ***O Instrumento de Bobina Móvel***

H. C. Oesterd descobriu que uma corrente elétrica pode atuar à distância sobre uma agulha imantada, mudando sua orientação. Pelo movimento da agulha seria, em princípio, possível saber se um fio estava ou não sendo percorrido por uma corrente.

Aperfeiçoando a ideia, foram desenvolvidos os primeiros instrumentos capazes de indicar a passagem de correntes elétricas e mais do que isso, medir sua intensidade.

Na figura 2 temos então a estrutura básica de um instrumento de bobina móvel, do tipo que podemos encontrar nos multímetros analógicos mais comuns e que aproveita o princípio descoberto por Oesterd.

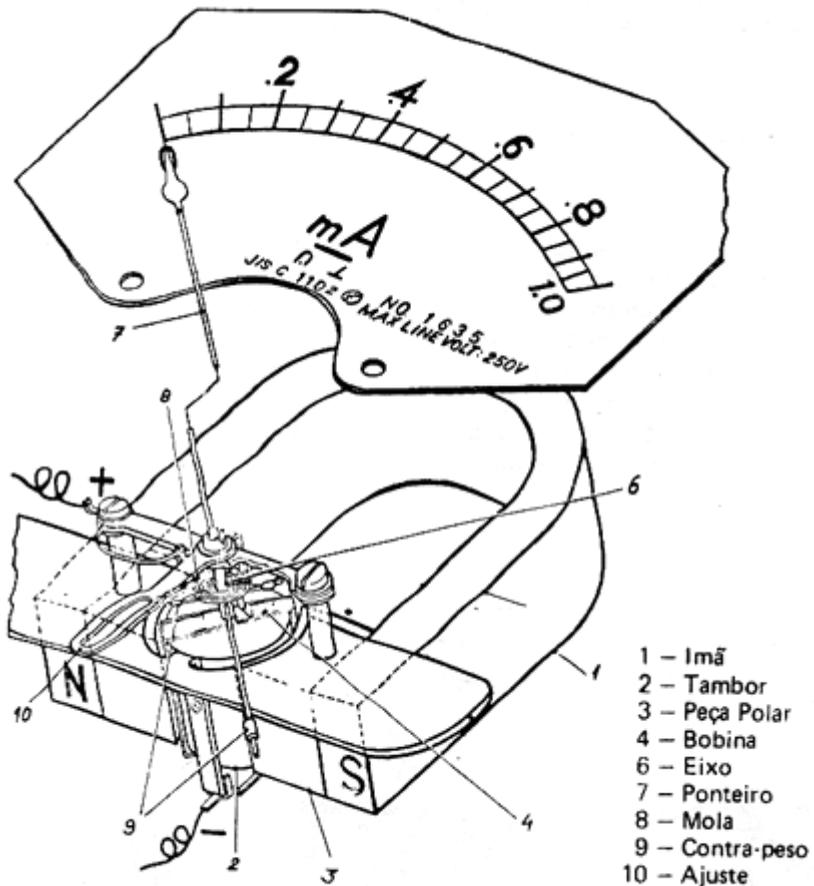


Fig. 2 - Estrutura básica de um instrumento de bobina móvel.

O termo analógico vem do fato de que há uma correspondência direta entre a posição da agulha indicadora e a intensidade da corrente que está sendo medida. Neste instrumento, um ímã em forma de ferradura cria um campo magnético que corta as espiras de uma bobina montada num tambor.

Este tambor pode movimentar-se sobre um eixo (daí o nome do instrumento: bobina móvel) e tem fixado um ponteiro que se desloca sobre uma escala. Uma mola espiral de retorno garante que a bobina e ponteiro voltem à sua posição inicial quando a força que o movimenta desaparece.

Quando uma corrente circula pela bobina, o campo magnético que essa corrente cria interage com o campo magnético do imã, aparecendo então uma força (momento) que tende a girá-lo. O movimento é contraposto pela mola, de modo que o ponteiro tende a avançar tanto mais quanto maior for a força e, portanto, quanto maior for a corrente.

Fazendo uma escala para o ponteiro, podemos calibrá-la em termos de valores de corrente.

Os instrumentos obtidos desta forma são muito sensíveis e podem detectar correntes de milionésimos de ampère com uma indicação precisa de seu valor. Como milionésimo é "micro", e a unidade de corrente é o ampère, estes instrumentos são denominados microamperímetros.

Quando então dizemos que um instrumento é um microamperímetro de 100  $\mu\text{A}$  de fundo de escala, ou de 0-100  $\mu\text{A}$ , isso quer dizer que, para o ponteiro ir até o final da escala (fundo), precisamos de uma corrente desta ordem. Trata-se, portanto, da corrente máxima que ele pode medir.

Podemos usar instrumentos deste tipo como base para um multímetro, acrescentando componentes que permitam a medida de outras grandezas como tensões e resistências, ou mesmo de correntes mais intensas.

Vejamos como isso pode ser feito:

## ***Medindo a Corrente***

Para medir uma corrente como, por exemplo, a que passa por uma lâmpada quando alimentada por uma pilha, intercalamos o instrumento de medida ao circuito, conforme mostra a figura 3.

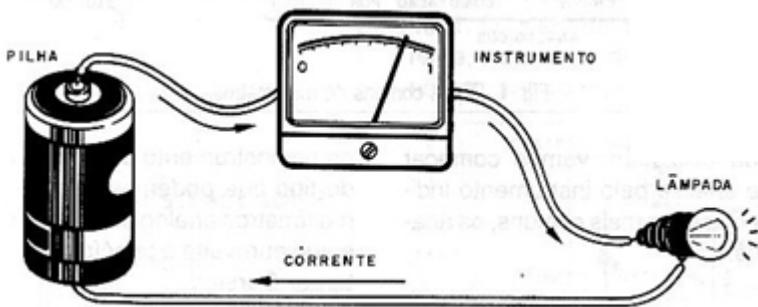


Fig. 3 - Medindo a corrente numa lâmpada.

Desta forma, a corrente pode passar pelo instrumento e pela lâmpada.

O que precisamos fazer se desejamos medir uma corrente maior do que a máxima suportada pelo instrumento? Por exemplo, se desejarmos medir a corrente de uma lâmpada que exige correntes de 50 mA, mas dispondo de um microamperímetro cujo fundo de escala seja de apenas 100  $\mu\text{A}$ ? (lembramos que 50 mA correspondem a 50 000  $\mu\text{A}$ ).

A ideia básica consiste em se desviar "por fora" do instrumento o excedente da corrente, conforme mostra a figura 4.

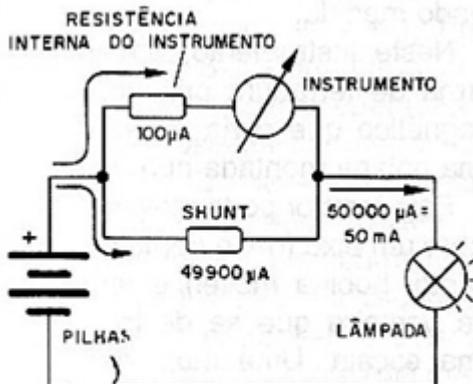


Fig. 4 - Medindo correntes maiores com o instrumento.

Podemos calcular então a resistência "por fora" de modo que, para 50 mA, ela desvie 49 900 mA deixando então 100 uA para o instrumento. Com isso, o instrumento de 100 uA terá suas características modificadas, passando a ter um fundo de escala de 50 mA. Ele passará a ser um miliamperímetro de 0 a 50 mA.

Nos multímetros é justamente isso que se faz: temos uma chave que coloca no circuito resistências de "desvio" denominadas "shunts" para diversos valores, que então mudam as escalas do instrumento.

Temos então multímetros que medem 50 uA, 5 mA, 50 mA e até 500 mA conforme o shunt que seja colocado no circuito.

É claro que o usuário das escalas de corrente deve ter muito cuidado, pois se um shunt impróprio for usado numa medida (escolhendo a escala errada) pode haver excesso de corrente no instrumento o que causaria sua queima! E, veja que o instrumento é justamente a parte mais cara do multímetro.

Na dúvida sobre a intensidade da corrente que vamos encontrar num circuito, começamos sempre escolhendo a maior escala.

## **Medida de Tensão**

A bobina de um instrumento indicador, como o que vimos, possui certa resistência que depende da espessura do fio usado no seu enrolamento e do número de voltas.

Supondo que nosso microamperímetro de 100 uA, tomado como exemplo, possua uma "resistência" ôhmica de 1 000 ohms, quantos volts precisaríamos aplicar nos seus terminais para termos a corrente de fundo de escala? Essa situação é mostrada na figura 5.

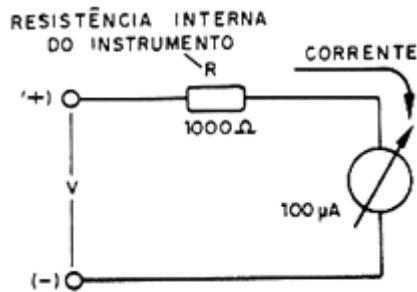


Fig. 5 - Medindo tensões.

Esta pergunta pode ser respondida com a simples aplicação da Lei de Ohm:

$$V = R/I$$

**Onde:**

V é a tensão aplicada em volts

R é a resistência do instrumento e vale 1 000 ohms

I é a corrente de fundo de escala de 100 uA mas que transformada em ampères resulta em 0,0001.

Calculando temos:

$$V = 1\ 000 \times 0,000\ 1$$

$$V = 0,1\ \text{volt}$$

Ora, como 0,1 V é o mesmo que 100 mV (mV = milivolts) o nosso microamperímetro também funciona como um voltímetro que mede tensões de 0 a 100 mV.

O que seria necessário fazer para que esse instrumento fosse capaz de medir tensões maiores?

Vamos supor que desejamos medir tensões de até 100 volts em lugar de apenas 1 mV.

A solução está na ligação em série com o instrumento de uma resistência multiplicadora tal que, somada com a resistência do instrumento resulte num circuito que deixe circular somente a

corrente de 100  $\mu\text{A}$ , conforme mostra a figura 6, isso quando a tensão de 100 V fosse aplicada.

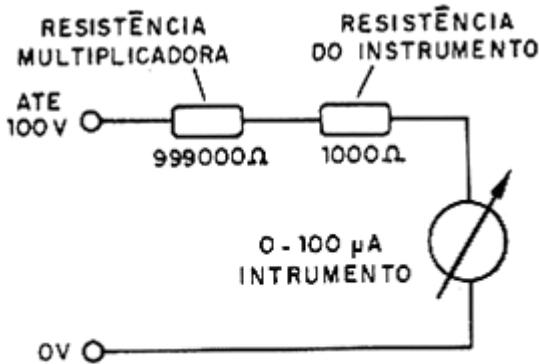


Fig. 6 - Obtendo um voltímetro de 0-100 V com um microamperímetro de 0-100  $\mu\text{A}$

Essa resistência pode ser facilmente calculada pela Lei de Ohm:

$$R = V/I$$

**Neste caso:**

R é a resistência total que deve ter o circuito em ohms

V é a tensão que desejamos medir (100 V)

I é a corrente do instrumento usado que é de 0,0001A ou 100  $\mu\text{A}$

Aplicando a fórmula:

$$R = 100/0,0001$$

$$R = 1\ 000\ 000\ \text{ohms ou } 1\ \text{Megohms}$$

Ora, como o instrumento já entra com 1 000 ohms, o resistor colocado em série será de 999 000 ohms.

Nos multímetros comuns encontramos então uma certa quantidade de resistores internos, denominados resistores multiplicadores, que são ligados em série com o instrumento, conforme a faixa de tensões que desejamos medir.

Também, neste caso, é importante levar em conta a fragilidade do instrumento: se escolhermos um resistor pequeno demais para a tensão medida, a corrente pode ser excessiva e danos vão ocorrer.

Na falta de conhecimento sobre o valor da tensão (ordem de grandeza) começamos sempre ligando a escala mais alta (maior tensão).

## Medida de Resistências

A medida da resistência de um circuito ou de um componente é feita aplicando-se uma tensão neste circuito ou componente e medindo-se a corrente que passa. Sabemos, pela Lei de Ohm, que a intensidade da corrente nestas condições, vai ser inversamente proporcional à tensão conforme indicado na figura 7.

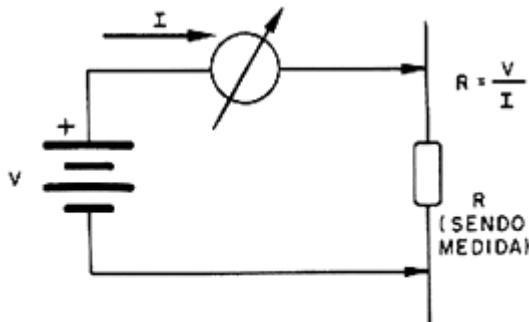


Fig. 7 - A corrente em R depende de seu valor para V constante.

Tomemos como exemplo novamente o nosso instrumento de 100  $\mu\text{A}$ . Para usá-lo na medida de resistências precisamos, em primeiro lugar, de uma fonte de energia, para fazer circular a corrente no dispositivo ou circuito que vai ser testado. Uma pilha comum de 1,5 V serve perfeitamente para esta finalidade.

Veja que, nas outras medidas, não precisamos de fonte de energia (pilha ou bateria), pois no próprio circuito analisado temos disponível para o teste uma tensão ou corrente, o que não

ocorre com a medida de resistências: nela, o circuito deve estar desligado e a corrente para o teste deve ser fornecida pelo próprio instrumento.

Levando em conta que a tensão disponível é de 1,5 V e que a corrente é de 100  $\mu$ A, temos ainda a resistência do instrumento de 1 000 ohms a ser considerada. Que resistência precisamos ligar em série com o instrumento para medir resistências externas se ultrapassar o final da escala?

A figura 8 mostra o que precisamos fazer:

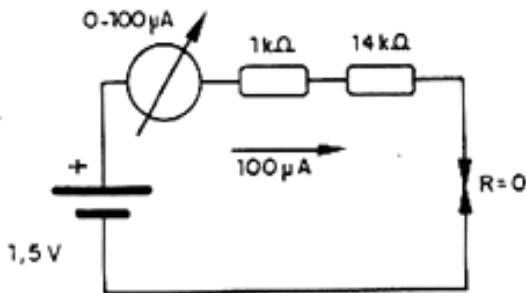


Fig. 8 - Neste circuito circula uma corrente de 100  $\mu$ A ( $R=0$ ).

Neste caso:

$$R = ?$$

$$V = 1,5 \text{ V}$$

$$I = 0,0001 \text{ A}$$

Aplicando a Lei de Ohm:

$$R = V/I$$

$$R = 1,5/0,0001$$

$$R = 15\,000 \text{ ohms}$$

Como o instrumento já entra com 1 000 ohms, ligamos em série com o instrumento um resistor de 14 000 ohms (na verdade, conforme veremos, será interessante poder ajustar este resistor para compensar as variações de tensão da pilha, por isso,

conforme veremos, na prática podemos usar um trimpot de 47 000 ohms).

Quando então a resistência que ligamos em série com este circuito for zero, a corrente será de 100  $\mu\text{A}$ . O fundo de escala do instrumento corresponde, portanto a 0 ohm.

Se agora ligarmos em série um resistor de exatamente 15 000 ohms, ou seja, esta for a resistência que vamos medir externamente, conforme mostra a figura 9, o que ocorre?

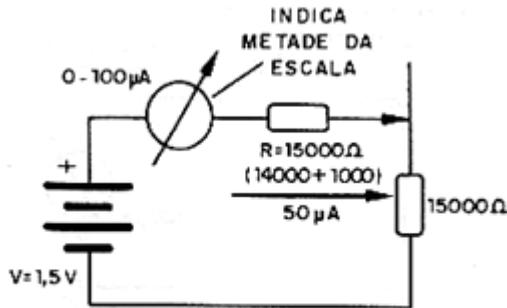


Fig. 9 - Medindo resistências.

A resistência total do circuito, nestas condições, dobrará e conseqüentemente a corrente circulante cairá à metade. Desta forma, o instrumento terá seu ponteiro se deslocando até o meio da escala, conforme mostra a figura 10.

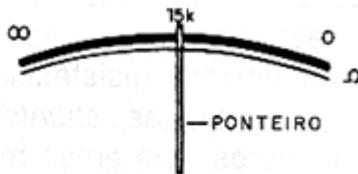
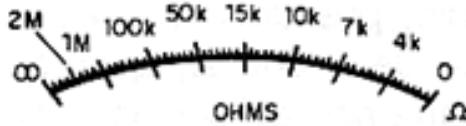


Fig. 10 - Escala do instrumento.

Veja que, quanto maior for a resistência que ligamos em série, menor será a corrente e menor será a deflexão. Por isso,

nesta escala, as resistências aumentam da direita para a esquerda e nos extremos temos zero e infinito.

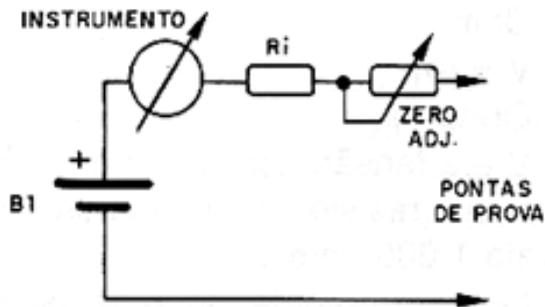


**Fig. 11 - Escala de resistência típica de um multímetro.**

O que muda nos multímetros, quando trocamos de escala, é o valor que temos no meio e que é o ponto onde temos maior comodidade para uma leitura. Escolhemos a escala de modo a termos uma medida mais cômoda e, portanto, mais precisa. Veja então que, para usar o multímetro, basta ligar suas pontas de prova no circuito em que desejamos medir a resistência.

Ocorre, entretanto, que com o tempo, a tensão na pilha tende a cair, e com isso afetar a medida, pois ela depende dessa tensão. Para compensar este efeito, em lugar de usar um resistor fixo em série com o instrumento é preferível ter um trimpot.

Este trimpot permite ajustar a leitura antes de cada medida de modo a termos a indicação de zero de resistência quando as pontas de prova forem unidas, conforme mostra a figura 12.



**Fig. 12 - O ajuste de zero da escala de resistências.**

Este ajuste é denominado ajuste de nulo ou ajuste de zero (Zero Adj do inglês) e deve ser feito antes de qualquer medida de resistência.

Se atuando sobre o trimpot de Zero Adj não for possível colocar o ponteiro no zero da escala, com as pontas de prova unidas, isso é sinal que a pilha interna do multímetro está fraca e precisa ser substituída.

## ***Escolhendo e Usando um Multímetro***

Existem centenas ou mesmo milhares de tipos de multímetros disponíveis no mercado e com as mais diversas características. Estes multímetros podem ser simples e baratos do tipo analógico, com poucas escalas e pequena sensibilidade, ou ainda mais sofisticados com muitas escalas, grande sensibilidade e até indicação digital.

Alguns possuem requintes como a capacidade de medir outras grandezas além de resistências, correntes e tensões, como por exemplo o ganho de transistores, capacitâncias, servir de injetores de sinais, etc.

Um dos pontos importantes que o comprador deve observar na hora de escolher seu multímetro é a sensibilidade.

A sensibilidade de um multímetro é medida em ohms por volt e deve ser a maior possível para que o instrumento não influa na medida que vai ser feita. Valores considerados baixos, encontrados nos multímetros de menor custo estão na faixa de 1 000 a 5 000 ohms por volt. Valores médios, para os multímetros que servem para a maioria dos trabalhos de reparação estão na faixa de 5 000 a 20 000 ohms por volt, e valores considerados altos são os que estão acima dos 20 000 ohms por volt.

Os tipos digitais, pelo uso de transistores de efeito de campo são especificados pela resistência de entrada, que também deve ser a maior possível. Tais instrumentos possuem uma resistência de entrada da ordem de 22 000 000 ohms em todas as escalas o que é excelente para todos os trabalhos profissionais.

---

## Fontes de Alimentação Lineares

---

Para um leigo, um equipamento eletrônico nada mais é do que um emaranhado insolúvel de fios e "peças"; para um técnico experiente, entretanto, o emaranhado imediatamente se resolve numa bem definida disposição de condutores e componentes, cada um exercendo uma função bem definida, da qual depende o perfeito funcionamento de todo o conjunto.

Sabe também o técnico que, para que cada componente possa cumprir sua função, uma condição fundamental deve ser obedecida: o estabelecimento de uma diferença de potencial em seus terminais.

Qualquer variação fora do previsto terá como consequência o mau ou o não funcionamento.

Ora, se uma simples variação na tensão de um único componente pode comprometer um equipamento na sua totalidade, deve o projetista dar especial importância aos circuitos que determinam essas tensões, ou seja, deve dar especial atenção ao projeto da fonte de alimentação.

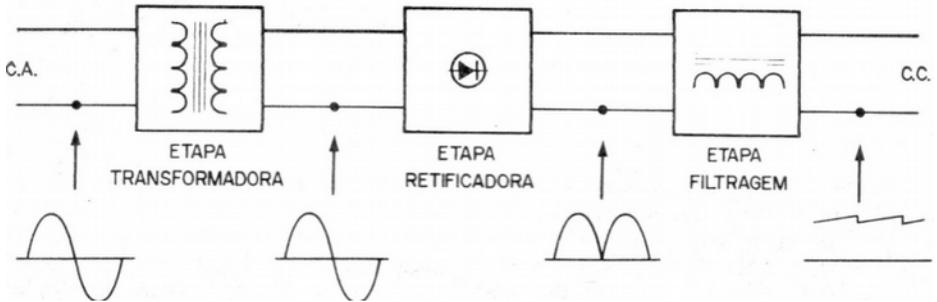
Por outro lado, da sua perfeita escolha, do correto cálculo de seus componentes e da exata disposição de suas partes na hora da montagem, pode depender totalmente um projeto; por isso a ela dedicamos um estudo cuidadoso, procurando levar ao leitor suas principais técnicas, familiarizando-o com essa importante etapa de qualquer equipamento eletrônico.

A maioria dos componentes eletrônicos exige, para sua operação, uma alimentação feita a partir de uma tensão contínua, de valor determinado para sua função.

Deste modo, sempre que pretendermos alimentar um equipamento eletrônico a partir da tensão alternada existente na rede, deveremos dispor de circuitos que sejam capazes de realizar as funções necessárias a isso: convertera tensão alternada em tensão contínua.

### A FONTE DE CORRENTE CONTINUA

Três funções básicas são necessárias para a obtenção de uma tensão contínua a partir de uma fonte de alimentação (fig. 1):



a) a exercida pelo transformador, o qual abaixa ou eleva a tensão disponível na rede, levando-a a um valor que, compensando-se as perdas e modificações de seu valor nos estágios seguintes, venha a resultar na tensão contínua exigida pelo circuito de carga. Na saída do transformador ainda temos uma tensão alternada;

b) a exercida pelo retificador que, permitindo a passagem de corrente somente num sentido, faz com que assim resulte uma corrente contínua, ainda que pulsante. São utilizados comumente nesta função os diodos semicondutores;

c) a exercida pelo filtro que, tomando a corrente contínua pulsante disponível na saída do retificador, a leva a uma corrente contínua quase pura, eliminando ao máximo suas ondulações e variações. Essa função é exercida pela associação de diversos componentes, normalmente capacitores, resistores e indutores.

### **OBSERVAÇÕES**

1) Uma quarta função pode ser agregada às fontes de alimentação quando se deseja uma tensão de saída muito estável, invariável com a corrente solicitada pela carga ou as alterações de tensão alternada alimentadora, dentro de certos limites. Este estágio, chamado "regulador", é frequentemente empregado em equipamentos em que a corrente drenada da fonte pode variar entre limites amplos durante seu funcionamento. Os reguladores operam, em regra, baseados nas propriedades semicondutoras dos diodos zener.

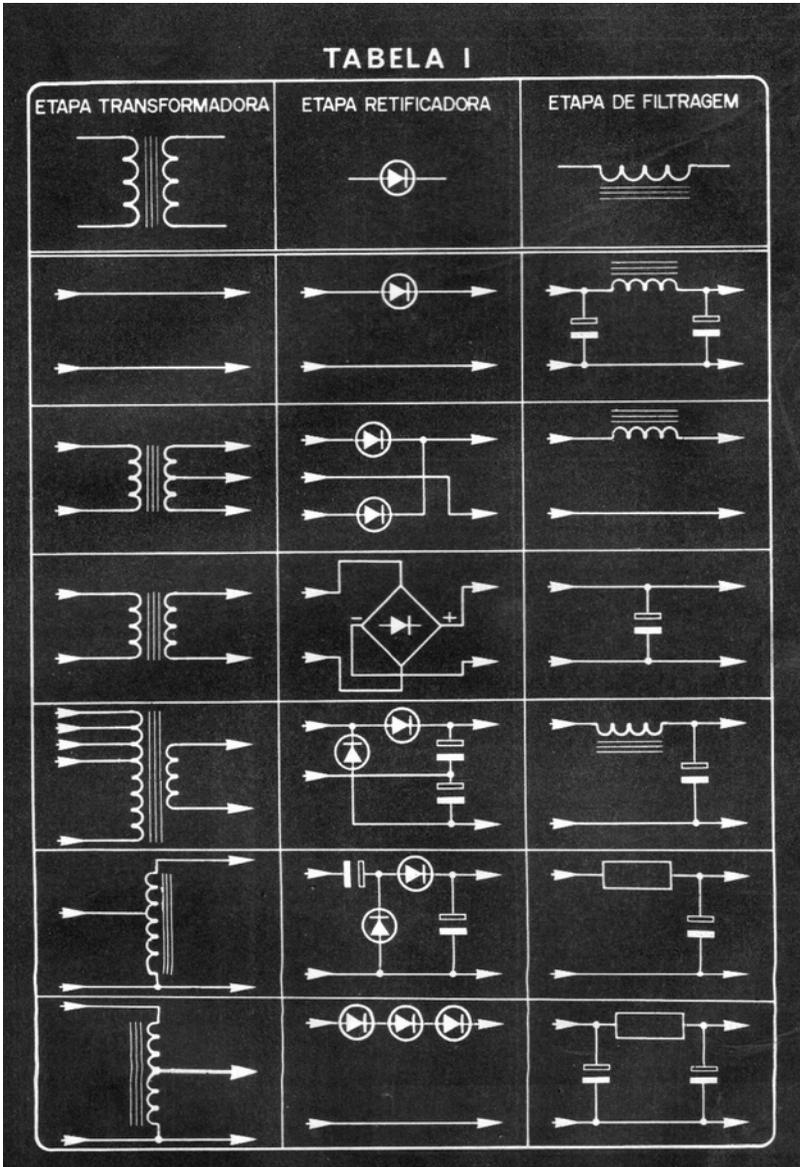
2) Em fontes de alimentação mais simples, ou de baixo custo, o transformador é eliminado ou substituído por um "abaixador" de tensão a base de divisores com resistores e outros componentes.

3) Em circuitos que operam com cargas que não respondem à frequência de ondulação resultante da corrente contínua pulsante (inércia muito grande), tais como motores elétricos de CC, a filtragem pode ser eliminada.

4) O retificador, conforme a maneira pela qual é utilizado, pode também atuar como função modificadora de tensão, elevando-a a um valor sempre múltiplo do fornecida pelo estágio anterior. São os dobradores e os triplicadores de tensão, muito usados quando se necessitam tensões elevadas.

Para cada função, muitas são as possibilidades de utilização de circuitos e componentes diferentes e, conforme o caso, também poderão variar os resultados obtidos em relação às grandezas envolvidas, mas não em relação à função básica.

Analisaremos, então, as principais funções, levando em conta sua eficiência, seu comportamento elétrico assim como seu custo. A Tabela I dará ao leitor uma ideia de algumas configurações possíveis para cada função. Outras, não apresentadas, não têm grande interesse, pela pouca frequência com que são utilizadas em equipamentos eletrônicos comuns.



## ***A Escolha do Transformador***

A escolha de um transformador (de força ou alimentação) para uma fonte de alimentação está condicionada a muitos fatores, inclusive havendo o caso em que esse componente pode ser dispensado, por medida de economia, ou por permissão do projeto.

Dentre os principais fatores que levaremos em conta quando formos escolher um transformador, destacamos os seguintes:

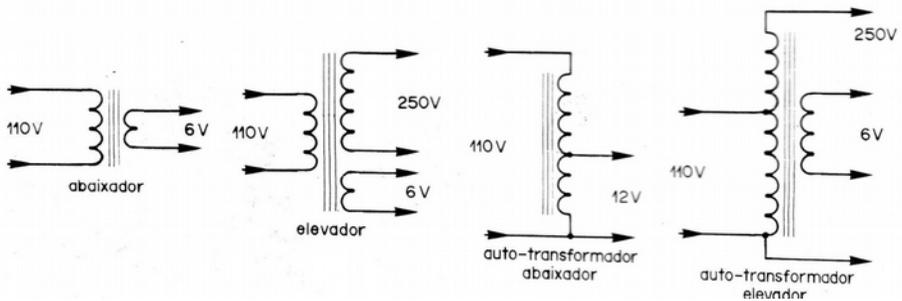
1) Tensão disponível na rede de alimentação em função das tensões desejadas nos circuitos eletrônicos a serem alimentados.

Podemos dizer que o principal fator que influi na escolha de um transformador (ou determina sua utilização numa fonte) é uma eventual diferença de valores entre a tensão que poderia resultar da retificação direta da tensão da rede e a tensão contínua necessária à alimentação do circuito.

Outro fator que também deve ser levado em conta é que um transformador pode atuar como elemento isolante entre o circuito de carga e a rede de alimentação, podendo, portanto, ser utilizado apenas como medida de segurança, sem alterar a tensão da rede para retificação. Analisemos os pormenores em dois casos:

No primeiro caso, o transformador torna-se obrigatório, desde que a tensão necessária não seja múltipla da obtida pela retificação direta, o que permitiria – em alguns casos a utilização em seu lugar de multiplicadores de tensão. Aqui podemos classificar os transformadores em dois grupos:

a) os abaixadores de tensão, que abaixam a tensão a um valor que, após a retificação e filtragem, venha a resultar na tensão necessária à alimentação do circuito eletrônico. São comumente encontrados nos circuitos transistorizados, onde as tensões de alimentação são normalmente inferiores à da rede (fig. 2);

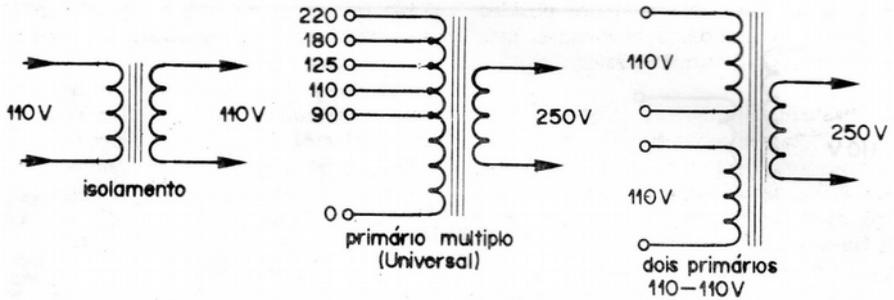


b) elevadores de tensão, cuja função é elevar a tensão a valores, que após a retificação e filtragem venham originar tensões contínuas de valores que não poderiam ser obtidos pela retificação direta. São utilizados normalmente em equipamentos a válvulas que operam com tensões algo elevadas. Nestes também encontramos secundários de baixa tensão para a alimentação dos filamentos de todas as válvulas.

Quando um isolamento da rede não é necessário ou pode ser sacrificado em função do custo ou da compacidade da montagem, autotransformadores, tanto abaixadores quanto elevadores podem ser usados. (Os autotransformadores utilizam uma única bobina comum ao primário e secundário).

Relacionado ao segundo caso está o fato de eventualmente a tensão da rede não precisar ser modificada para ser retificada, mas exigir-se um completo isolamento do equipamento a ser alimentado da rede de energia. Neste caso são utilizados transformadores de isolamento. Tais transformadores não alteram o valor da tensão, pois sua relação de espiras entre o primário e o secundário é de 1:1. Alguns tipos são providos de uma blindagem eletrostática.

Pode também ocorrer que um equipamento tenha de ser utilizado em locais em que a tensão da rede seja anormalmente alta ou baixa, ou sofra flutuações de grande amplitude, ou que, ainda, tenha de ser ligado ora na rede de 110 Volts, ora na de 220 Volts. Para estes casos, as fontes podem ser montadas com transformadores providos de diversas tomadas comutáveis em seus enrolamentos primários que, associados em série, permitem sua utilização na rede de 220 Volts e, em paralelo, na de 110 Volts.



A comutação série/paralelo geralmente é feita por uma chave.

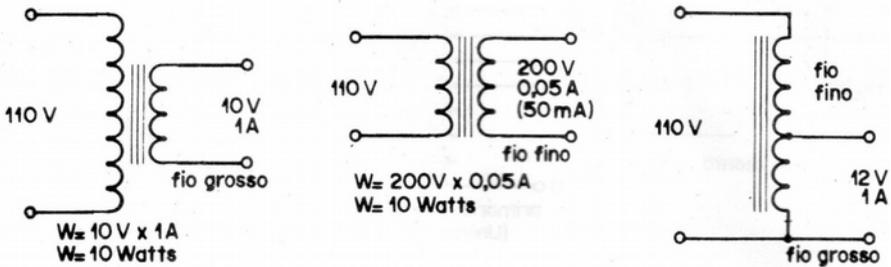
2) A corrente necessária à carga determinará também a potência do transformador quando levada em conta com a tensão.

A espessura do fio e o próprio tamanho dos transformadores são determinados pelas necessidades de energia do equipamento. Notamos que, mesmo parecendo iguais, dois transformadores de mesma potência podem diferir na maneira como são construídos, isso em função da forma em que a energia deve ser levada aos seus circuitos.

Quando o transformador é um abaixador, para um equipamento transistorizado, por exemplo, como a energia deve ser fornecida sob a forma de baixa tensão, a corrente em potências moderadas já é algo elevada e seu enrolamento secundário deve ser construído a partir de fio grosso ( $W = V \times I$ ).

Quando o transformador é um elevador de tensão ou um transformador de isolamento, dada a alta tensão disponível, para uma potência moderada não são necessárias correntes elevadas e seu secundário pode ser enrolado com fio fino. Num caso temos poucas espiras de fio grosso e, no outro, muitas espiras de fio fino: o resultado é o mesmo volume de enrolamento para a mesma potência.

Nos autotransformadores pode então ocorrer que um mesmo enrolamento tenha parte feita com fio fino e parte com fio mais grosso (fig. 4).



3) Tipo de retificação. Neste caso, como já tivemos oportunidade de comentar, a etapa retificadora pode, eventualmente, atuar como elevadora de tensão (configuração dobradora ou triplicadora) de modo que, se o projetista desejar, poderá dividir o trabalho de aumentar a tensão entre o transformador e aquela etapa.

Na escolha do transformador deverá o projetista fixar o sistema de retificação, considerando uma eventual influência dobradora ou triplicadora de tensão.

Conforme o tipo de retificação deverá ainda o transformador dispor de uma tomada central em seu enrolamento secundário (fig. 5).

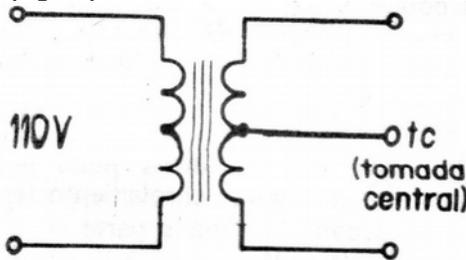


Figura 5

Notem os projetistas que, estando a escolha do transformador condicionada à retificação usada e está ao tipo de filtragem, a determinação de todos os componentes de uma fonte é interdependente.

4) Tamanho relativo da fonte, função da potência necessária à alimentação do equipamento, ou ainda da disponibilidade de espaço.

Dado que, normalmente, os transformadores usados nas fontes de alimentação de grandes potências são pesados e

volumosos, nos equipamentos compactos, sempre que possível, procura-se eliminar tal componente. Quando, entretanto, isso não é possível, deverá o projetista prever um bom espaço para a instalação do transformador de força.

O que ocorre é que, quando o espaço é de fundamental importância num projeto, os técnicos devem fazer com que os circuitos possam operar com tensões que possam ser obtidas diretamente da retificação da tensão da rede, sem necessidade de transformadores ou abaixadores por divisores de tensão.

Para fontes de pequena potência existem transformadores bastante compactos; são transformadores deste tipo que são usados em fontes de pequenos gravadores, receptores portáteis, conversores de bateria, carregadores de pilhas etc.

5) Custo da fonte, também é um fator de extrema importância na escolha do transformador, por ser esse componente, em geral, o mais caro da montagem. Se a fonte tiver de ser do tipo econômico, procura-se aliviar seu custo não utilizando transformadores em sua construção.

Quando a qualidade da tensão contínua obtida estiver em jogo, raramente poderá o projetista eliminar o transformador, pois além de podermos obter com o auxílio destes componentes tensões contínuas mais estáveis, a filtragem será mais eficiente, e os componentes reguladores poderão ser usados. Nos equipamentos de alta-fidelidade, quase sempre encontramos transformadores de força nas fontes de alimentação, frequentemente providos de blindagens que impedem a irradiação de zumbidos através de seu campo magnético.

## ***Como Escolher um Transformador para uma Fonte***

Em função do que há de básico na escolha dos transformadores, elaboramos um quadro que poderá auxiliar o leitor na escolha do transformador para seu projeto. Naturalmente, não deverá o leitor levar a sugestão como única solução possível para um projeto. Trata-se, antes de tudo, de uma orientação que lhe permitirá chegar ao que achamos ser o melhor para cada caso (quadro 3).

**QUADRO 3**

			Economia de custo e espaço	dois primários: 110/220	diversas tensões de primário	isolamento (segurança)	secundário com tensões incomuns	qualquer tipo de retificação
Transformador de Isolamento	primário simples					●		
	com primário para 110 e 220 Volts ou diversas tensões			●	●	●		
	com tomada central no secundário					●		●
Auto-transformador	primário simples		●				●	
	com primário para 110 e 220 Volts ou diversas tensões		●	●	●		●	
	com tomada central no secundário		●				●	●
Transformador elevador ou abaixador de tensão	primário simples	um enrolamento secundário				●	●	
		com tomada central no secundário				●	●	●
	com primário para 110/220 ou diversas tensões	um enrolamento secundário		●	●	●	●	
		com tomada central no secundário		●	●	●	●	●
transformador elevador ou abaixador com diversos secundários						●	●	
retificação direta				●	●			

## Como os Fabricantes Especificam os Transformadores

Para escolher um transformador, deverá o projetista levar em consideração tanto suas características elétricas, que importarão na determinação dos valores dos componentes utilizados em todos os estágios, como também suas características mecânicas, que importarão na reserva de espaço para a instalação deste componente.

Em função disso, nos catálogos de transformadores encontramos tanto as principais características elétricas destes componentes, como também suas dimensões, e eventualmente seu peso.

## As Características Elétricas

a) Tensão de rede, tensão de linha, ou tensão de primário, é a tensão que deve ser aplicada no enrolamento primário do transformador para sua alimentação.

Vem especificada sob a forma de tensão eficaz. Essa tensão diz em que tipo, ou em que tipos de rede poderá ser ligado o transformador.

b) Tensão de placa ou tensão de secundário (ainda especificada como tensão de filamento em alguns transformadores para fontes transistorizadas). Essa tensão deve ser sempre especificada num transformador, pois é através dela que fixamos este componente para uma fonte.

A tensão de secundário é a tensão que, uma vez retificada e filtrada nos dará a tensão contínua que desejamos nos circuitos eletrônicos. Seu valor é calculado levando-se em conta a retificação e filtragem utilizadas.

Lembramos ao leitor, que a tensão eficaz em que é especificada não é a tensão que será obtida numa fonte após sua retificação e filtragem. Isso quer dizer que um transformador de 250 Volts de placas não fornecerá obrigatoriamente 250 Volts de tensão contínua a uma carga quando utilizado numa fonte de alimentação.

Quanto exatamente ele poderá fornecer, estudaremos na hora oportuna. (veja outros artigos do site ou nosso livro Fontes de Alimentação – Vol 1 e 2)

c) Corrente de secundário: é a corrente máxima que o enrolamento secundário poderá fornecer à fonte. Através dessa corrente, e da tensão do secundário e determinada a potência do transformador, e conseqüentemente seu tamanho físico.

Essa corrente em geral, é especificada em miliampères nos transformadores de alta tensão (placa), para circuitos à válvulas, e em ampères ou miliampères nos transformadores para transistores já que, como vimos, nos circuitos à válvulas as tensões são maiores e as correntes menores.

TRANSFORMADORES DE FORÇA – VALORES MAIS COMUNS

Primários	tensões de secundário	correntes disponíveis nos secundários.	tensões e correntes de filamentos
Universal 110-220 V 110 V	2 x 275 2 x 350 2 x 300	60 mA	5 V - 2 A 6,3 V - 2 A
		80 mA	5 V - 2 A 6,3 V - 2 A
		100 mA	5 V - 3 A 6,3 V - 3 A
		120 mA	5 V - 3 A 6,3 V - 3 A
		150 mA	5 V - 3 A 6,3 V - 4 A
Universal 110-220 V 110 V	2 x 200 2 x 250 2 x 275 2 x 300 2 x 350	50 mA	6,3 V - 2 A ou 6,3 V - 1 A 6,3 V - 1,5 A
		80 mA	6,3 V - 1 A      5 V - 2 A 6,3 V ct 2,5 A      6,3 V ct 3 A
		120 mA	6,3 V - 1 A      5 V - 3 A 6,3 V ct 3,6 A      6,3 V ct 4 A
		150 mA	6,3 V - 1 A      5 V - 3 A 6,3 V - 4,5 A      6,3 V ct 4 A
Universal 110-110 V	2 x 350 2 x 300 2 x 400 2 x 440	200 mA	5 V - 3 A 6,3 V ct 5 A
		250 mA	5 V - 3 A 6,3 V - 5 A
Universal 110-110 V	2 x 450 2 x 475 2 x 525	300 mA	5 V - 6 A 6,3 V - 6 A
Universal 110-110 V	117	50 mA	6,3 V - 2 A
	150 250	25 mA	6,3 V ct 1 A
		45 mA	6,3 V - 2 A
		70 mA	6,3 V - 2 A

## **Como Entender as Especificações Elétricas dos Transformadores:**

Os transformadores utilizados nas fontes de alimentação, tanto de alta tensão, para válvulas, como de baixa tensão, para transistores são especificados em função de suas tensões de primário, tensões de secundário, e correntes de secundário, como vimos.

Entretanto, a maneira como vêm essas especificações nos manuais, varia de um fabricante para outro. Poderemos assim ter casos como:

a) Primário: 110-110 (ou 2 x 110) Volts. Secundários: 250 - ) - 250 (ou 2 x 250) Volts x 40 mA 6,3 Volts x 3 Ampères

Trata-se de um transformador que possui dois enrolamentos primários, podendo ser alimentado por redes de 110 Volts (enrolamentos em série).

Observação: não confunda o leitor essa especificação com a especificação 110-220 Volts que é dada aos transformadores que possuem apenas um primário com tomadas para 110 e 220 Volts. Esse transformador tem um enrolamento secundário com tomada central (0), e 250 Volts em cada metade desse enrolamento.

Se medirmos a tensão desse secundário de extremo a extremo encontraremos 500 Volts. Sua corrente é de 40mA. Um segundo secundário de 6,3 Volts x SA é usado para alimentação dos filamentos da válvula do equipamento.

b) Primário: 115 - 125 - 220 Volts Secundário: 18 Volts (ct) x 500 mA (ou 0,5A)

Trata-se de um transformador para fontes de baixa tensão (transistores) que pode ser ligada a redes de 115, 125, e 220 Volts e que tem um secundário que fornece uma tensão de 18 Volts, sob uma corrente de 500 mA. O ct entre parênteses indica que o enrolamento secundário possui uma tomada central (center tape).

Em outros manuais poderíamos encontrar para o mesmo transformador a seguinte especificação: 9 - 0 - 9 Volts.

TRANSFORMADORES ABAIXADORES PARA TRANSISTORES

Primário	tensões de secundário	correntes
110 V 110-110 V	2 x 8,5 2 x 9,0 2 x 10 2 x 11 2 x 12,6 2 x 14,5	300 mA
110 V 110-120	2 x 7,2 2 x 7,5 2 x 9,0 2 x 15 2 x 18	500 mA
110 V 110-120	2 x 12,6	2,0 A
	2 x 17,0	1,0 A
	2 x 20,0	2,0 A
	2 x 25,0	0,25 A
	2 x 30,0	1,2 A ou 2,5 A
	2 x 58,0	1,6 A

**Observação:** As tabelas foram confeccionadas a partir de dados obtidos de catálogos das principais indústrias de transformadores.

(Wilkason, Watson, Tranchan, etc.)

Nota: Além de muitos artigos sobre fontes no site, recomendamos aos leitores que desejam saber mais sobre fontes de alimentação nosso livro Fontes de Alimentação - Vol 1 e 2. Nele também tratamos de fontes chaveadas.

---

## **Como Funcionam as Fontes Chaveadas ou Comutadas**

---

Pelo seu rendimento, não necessidade de transformadores volumosos e pesados, são as preferidas para os equipamentos de consumo. De fato, o uso de transformadores com núcleos de ferrite, operação em frequência fixa e não isolamento da rede de parte de seu circuito limita seu uso a este tipo de aplicação.

Nas bancadas dos laboratórios de desenvolvimento, para o montador amador ou que está desenvolvendo um projeto, as fontes lineares ainda são as preferidas. Neste artigo de nosso livro *Fontes de Alimentação*, vamos tratar dessas fontes, mostrando quais são suas vantagens e onde são utilizadas. Também teremos alguns projetos práticos.

Para que o leitor entenda melhor seu funcionamento, iniciaremos com uma breve revisão do funcionamento das fontes lineares para que elas possam ser comparadas com as fontes digitais.

### ***Fontes Lineares***

Os aparelhos mais antigos como televisores e outros utilizavam fontes do tipo linear.

Nestas fontes, cujo circuito básico é mostrado na figura 1 temos uma etapa retificadora, de filtragem e um circuito regulador linear que se comporta como um resistor variável ou reostato.

Neste circuito o transistor Q1 controla a corrente na saída.

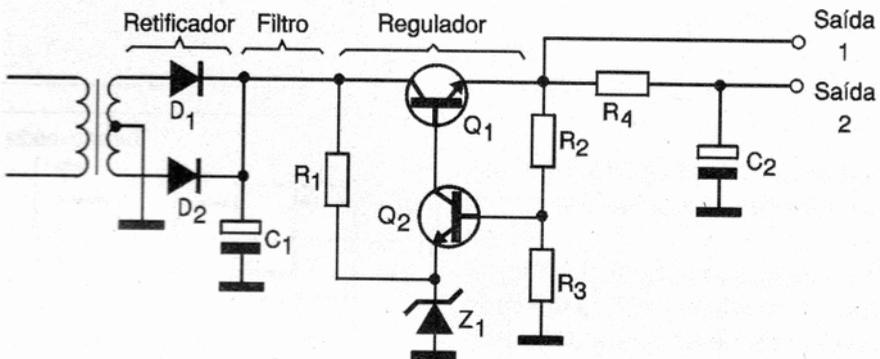


Figura 1 – Fonte linear ou analógica típica

De acordo com as variações da tensão de saída, um circuito sensor "diz" ao regulador como sua resistência deve variar, aumentando ou diminuindo de modo a agir sobre o circuito de carga compensando as variações de tensão.

Desta forma, a tensão no circuito de carga pode ser mantida com boa precisão. Se bem que este tipo de circuito funcione bem e ainda seja usado em muitas aplicações práticas, ele possui algumas limitações importantes.

Um deles é que a tensão do circuito é dividida entre o elemento regulador, normalmente um transistor de potência e a carga. Isso significa que o transistor regulador estará sempre sendo percorrido por uma corrente intensa e submetido a uma tensão que varia, dissipando assim muita potência na forma de calor.

O rendimento deste tipo de regulador é, portanto, baixo, com perdas que podem se tornar grandes em circuitos que exigem altas correntes.

O segundo problema está no próprio custo do circuito que exige a utilização de transistores de potência com altas capacidades de dissipação e ainda utilizando grandes dissipadores de calor.

O próprio uso de grandes dissipadores de calor traz ainda outro problema adicional: o circuito deve ocupar muito espaço e ser bem ventilado.

Para superar estes problemas, os equipamentos de consumo que exigem potências elevadas passaram a utilizar um

outro tipo de fonte de alimentação que se mostra muito mais eficiente.

## **Chaveadas ou Comutadas**

As fontes chaveadas, comutadas ou do inglês SMPS (Switched Mode Power Supply) são fontes que controlam a tensão numa carga abrindo e fechando um circuito comutador de modo a manter pelo tempo de abertura e fechamento deste circuito a tensão desejada.

Para entender como isso é possível partimos do diagrama de blocos da figura 2.

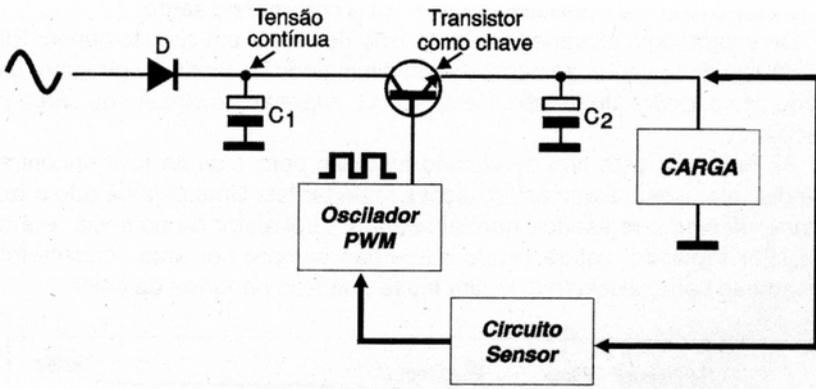


Figura 2 – Fonte chaveada ou comutada em blocos

Nele temos um transistor que funciona como uma chave controlando a tensão aplicada no circuito de carga. Este circuito é ligado a um oscilador que gera um sinal retangular, mas cuja largura do pulso pode ser controlada por um circuito sensor.

Se o tempo de condução do transistor for igual ao tempo em que ele permanece desligado, ou seja, se ele operar com um ciclo ativo de 50%, na média a tensão aplicada na carga será de 50% da tensão dos pulsos conforme mostra a figura 3.

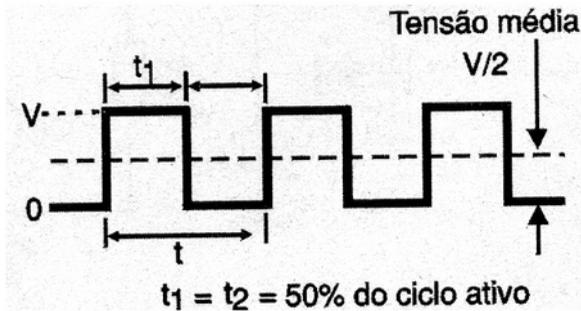


Figura 3 – A tensão média depende do ciclo ativo

Se a tensão na carga cair, por um aumento de consumo, por exemplo, isso é percebido pelo circuito sensor que atuando sobre o oscilador faz com que seu ciclo ativo aumente. Nestas condições, a tensão aplicada aumenta para compensar a queda.

Podemos, portanto, controlar a tensão carga variando a largura do pulso que comanda o transistor comutador. Este processo de controle é denominado PWM (Pulse Width Modulation) ou Modulação Por Largura de pulso e tem várias vantagens quando o usamos numa fonte deste tipo.

A mais importante é que o transistor que controla a corrente na carga funciona como uma chave e portando ou está desligado (corrente nula) ou está ligado (corrente máxima). Ocorre que, quando o transistor está desligado a corrente sendo nula não há dissipação de calor e quando ele está ligado sua resistência é mínima, quase zero, e da mesma forma, não há dissipação de calor.

Se o transistor fosse um comutador ideal apresentando resistência nula quando ligado, e infinita quando aberto, e ainda comutasse instantaneamente, a dissipação de calor nele seria nula, ou seja, não haveria nenhuma perda de energia ou geração de calor na fonte.

No entanto, isso não ocorre na prática: além de não ter uma resistência nula ao conduzir, o transistor demora certo tempo para comutar com um comportamento que é dado pela forma de onda da figura 4.

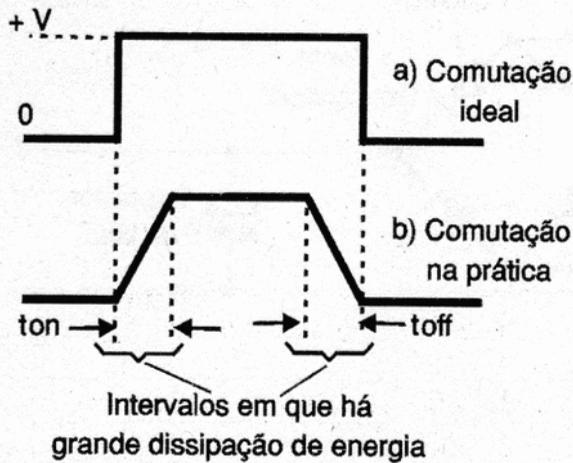


Figura 4 – Momentos em que a dissipação de calor é maior

Temos então que durante o tempo em que a corrente demora para ir de zero até o máximo e vice-versa, o transistor passa por um estado "intermediário" em que energia é transformada em calor. Isso significa que mesmo as fontes comutadas geram calor, mas ele é muitas vezes menor que as fontes comuns lineares.

Nos equipamentos de consumo como televisores, monitores de vídeo etc., as fontes comutadas podem usar tanto transistores bipolares de potência como Power FETs e até mesmo SCRs.

Estas fontes se caracterizam pelo seu alto rendimento, não necessitando de grandes dissipadores de calor e podendo fornecer toda energia que os circuitos de um monitor precisam para o funcionamento normal.

## Como Funcionam

Para que o leitor entenda seu princípio de funcionamento, vamos analisar um circuito prático, inicialmente dado em blocos na figura 5.

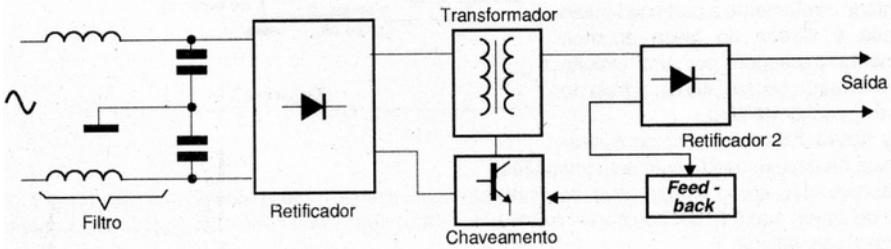


Figura 5 – Diagrama de blocos para análise do funcionamento

Esses blocos correspondem a uma fonte comum, com os mínimos elementos. Fontes mais sofisticadas com blocos adicionais podem ser encontradas na prática.

O bloco de entrada, ligado à rede de energia possui um retificador e um filtro contra EMI.

O filtro, normalmente é formado por um par de bobinas e capacitores numa configuração típica como a mostrada na figura 6.

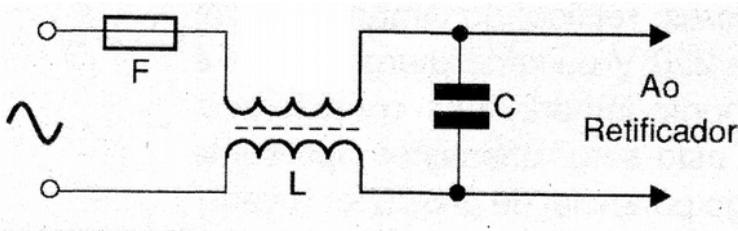


Figura 6 – Filtro de entrada

O filtro é importante porque uma fonte chaveada ou comutada, como também é chamada, produz variações de corrente muito grandes quando em funcionamento.

O chaveamento corresponde praticamente a uma carga que drena um sinal quadrado da rede de energia, gerando assim uma enorme quantidade de harmônicas que podem causar interferências em aparelhos próximos.

Essas interferências, que consistem em componentes de frequências que vão desde a própria frequência da rede até vários megahertz devem ser evitadas.

As bobinas, na configuração indicada, mais os capacitores funcionam como um filtro passa-baixas que só deixa passar a

frequência da rede, bloqueando tudo que estiver acima, em qualquer sentido.

Na maioria das fontes, a retificação é feita por diodos comuns de silício que podem estar ou não ligados em ponte, em configurações típicas como a mostrada na figura 7.

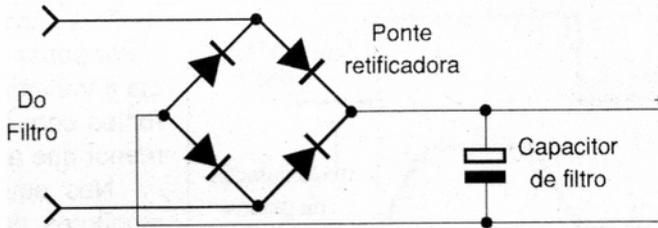


Figura 7 – O retificador de entrada

Mesmo as fontes que devem fornecer baixas tensões de saída, como as usadas em computadores, videocassetes, monitores etc., não usam transformadores, retificando diretamente os 110 V ou 220 V da rede de energia. Esse é um ponto importante a ser considerado, pois este setor dessas fontes apresenta perigo potencial de choque se for tocado.

Os fusíveis de proteção são colocados nesta etapa.

Temos a seguir o bloco oscilador que produz o chaveamento da fonte, normalmente sendo formado por circuitos integrados especificamente projetados para esta função.

Esse bloco é alimentado diretamente a partir da tensão retificada e filtrada do bloco anterior, normalmente passando por um circuito redutor, formado por resistores, um diodo zener e capacitor de filtro.

Na figura 8 temos uma configuração típica de circuito usado com esta finalidade.

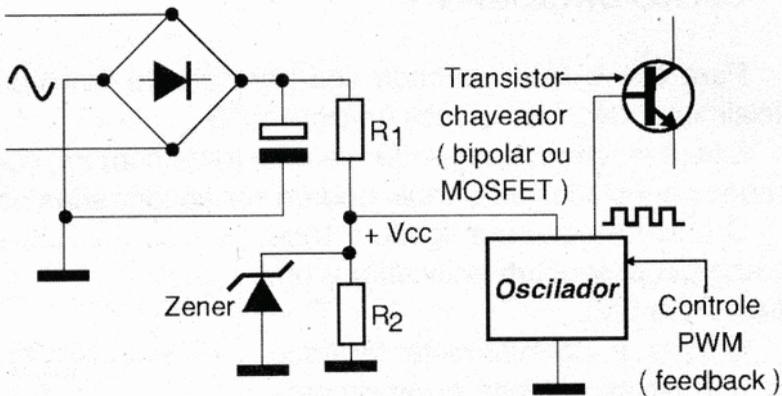


Figura 8 – Configuração básica de fonte

Observe que, como o ciclo ativo do sinal que esse circuito produz deve variar em função da tensão de saída, mantendo-a constante, existe uma entrada para sensoriamento, que veremos mais adiante como funciona.

O sinal obtido neste circuito oscilador serve para chavear uma etapa de potência que funciona normalmente com transistores de alta potência, tanto bipolares como de efeito de campo, conforme mostra a figura 9.

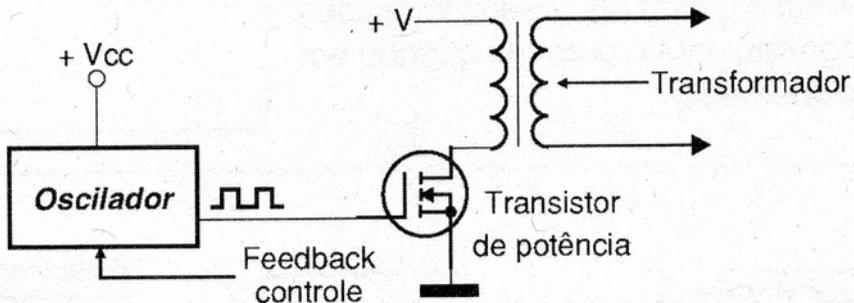


Figura 9 – Chaveamento da etapa de potência

Os transistores possuem como carga o enrolamento primário de um transformador com núcleo de ferrite.

Como este circuito de chaveamento funciona diretamente com a tensão retificada e filtrada da rede de energia são usados transistores de alta potência, capazes de manusear altas correntes sob tensões que podem ultrapassar os 400 V de pico.

O transistor chaveador é o componente mais crítico dessas fontes, pois, trabalhando em condições limites facilmente queima.

Existem variações para esta configuração como fontes encontradas em monitores de vídeo e televisores que, em lugar do circuito oscilador com um CI e um transistor de potência empregam unicamente um SCR como oscilador de relaxação.

Esse SCR, ligado numa configuração conforme mostra a figura 10, chaveia a tensão contínua de um capacitor que se carrega, numa velocidade que pode ser alterada por um sinal de sensoramento.

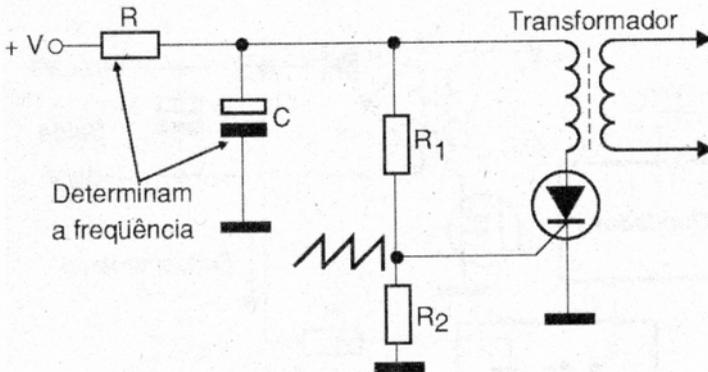


Figura 10 – Etapa de chaveamento com SCR

Assim, controlando o ponto de chaveamento pode-se regular a tensão de saída da fonte.

O bloco seguinte da nossa fonte é o circuito secundário do transformador com núcleo de ferrite. Esse transformador pode ter um ou mais secundário, conforme o número de tensões necessárias a alimentação do aparelho.

Normalmente os secundários podem ser elaborados com fios muito grossos, fornecendo correntes de dezenas de ampères, como no caso das fontes de computadores. Na figura 11 temos uma configuração típica para os secundários de uma fonte chaveada de duas tensões.

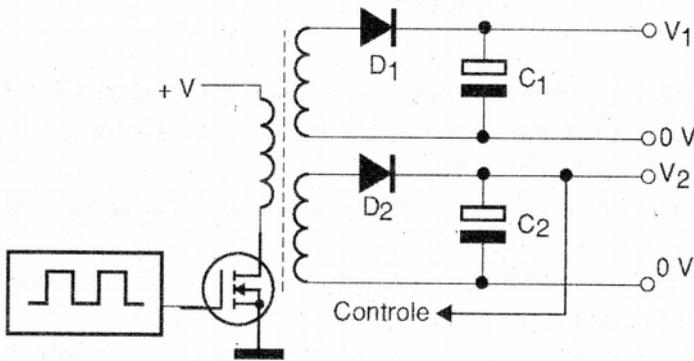


Figura 11 – Secundários de baixa tensão de uma fonte chaveada

Nesses secundários normalmente a retificação é simples como uma excelente filtragem garantida por um capacitor eletrolítico de valor muito elevado.

Reguladores de tensão comuns, como os de 3 terminais raramente são usados neste ponto, pois a regulação da tensão é feita a partir do chaveamento do próprio transistor no primário do transformador. Essa regulação é feita por um bloco sensor que pode ter as mais diversas configurações. O modo mais simples de se fazer a regulação consiste em se derivar essa tensão para o circuito oscilador diretamente, usando para essa finalidade um transistor, conforme mostra a figura 12.

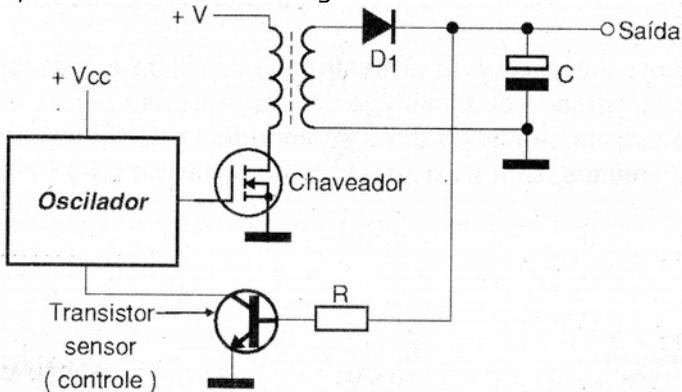


Figura 12 – Circuito regulador de tensão direto

As variações da tensão de saída são "sentidas" pelo CI que as corrige mudando o ciclo ativo do sinal gerado.

No entanto, existem casos em que o isolamento da saída deve ser total, caso em que não deve haver uma conexão entre o circuito sensor dessa saída e o oscilador, diretamente ligado à rede de energia. Para essa finalidade, a solução mais adotada é a que faz uso de um acoplador óptico, conforme mostra a figura 13.

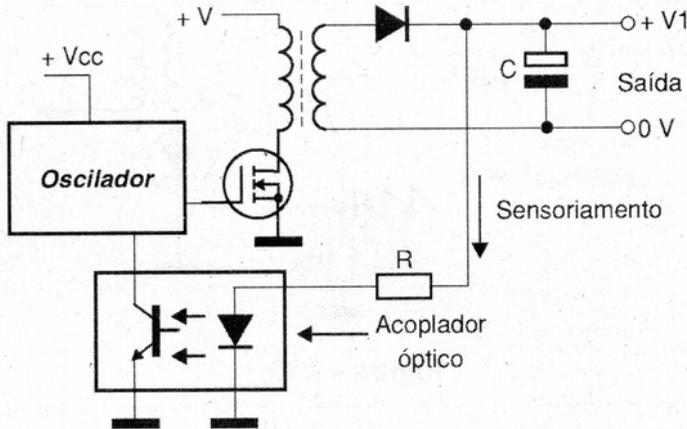


Figura 13 – Controle de tensão usando acoplador óptico

O brilho do LED emissor do acoplador depende da tensão de saída, e esse brilho é sensorado pelo fototransistor do acoplador. Alterações desse brilho e, portanto, da tensão de saída, alteram a condução do transistor sensor, modificando assim o ciclo ativo do circuito integrado oscilador.

Variações em torno desta configuração existem, mas como regra geral, os blocos funcionais são os mesmos.

---

## O PLL

---

PLL é a abreviação de Phase Locked Loop cuja tradução para o português é motivo de muitas controvérsias.

Na verdade, não existe uma boa tradução para o termo e coisas como "elo por realimentação de fase" ou ainda, "circuito com realimentação travado por fase" e semelhantes têm sido encontradas em muitos documentos. Assim, deixamos por conta do leitor dar o nome que desejar, depois de explicarmos como ele funciona.

Para nós e para uma grande maioria, o melhor mesmo é continuar a chamá-lo simplesmente de PLL. Se bem que existam diversas configurações possíveis para o PLL, muitas das quais disponíveis na forma de circuitos integrados, em nossas explicações partiremos de um tipo básico.

As variações com recursos adicionais disponíveis em cada circuito integrado específico devem ser estudadas a partir dos próprios manuais.

### ***Como Funciona***

Na figura 1 temos a estrutura em blocos de um PLL, que consiste basicamente num sistema de realimentação com quatro elementos funcionais: detector ou comparador de fase, filtro passa-baixas, um amplificador de erro e um oscilador controlado por tensão (VCO ou Voltage Controlled Oscillator).

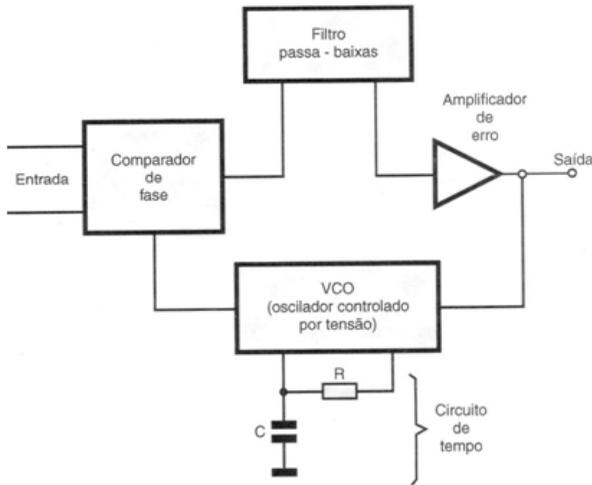


Figura 1 – Diagrama de blocos de um PLL

Analisemos como funciona este circuito.

Sem sinal de entrada, a tensão de erro é nula e o oscilador controlado por tensão (VCO) opera numa frequência fixa determinada pelos componentes externos destinados a esta finalidade.

Esta é denominada "frequência livre de oscilação". Quando aplicamos um sinal na entrada do circuito, o comparador de fase recebe este sinal e compara sua fase com a do sinal que está sendo gerado pelo oscilador controlado por tensão (VCO), gerando uma tensão de erro.

Esta tensão de erro ( $V_e$ ) será proporcional à diferença que existe entre a fase e a frequência dos dois sinais. Em outras palavras, a tensão será tanto maior quanto mais afastados em frequência e fase estiverem os sinais.

Esta tensão, depois de filtrada e amplificada é levada ao terminal de controle do oscilador controlado por tensão (VCO). O resultado é que esta tensão força o oscilador a alterar sua frequência de tal forma a se aproximar da frequência do sinal de entrada, ou seja, no sentido de reduzir o erro.

Na verdade, o comparador funciona como um misturador onde os sinais de entrada e do VCO são combinados de modo a ser obtido o sinal soma e o sinal diferença.

O filtro passa-baixas se encarrega de impedir que o sinal soma apareça, de modo que a tensão de erro gerada na saída depende apenas do sinal diferença. Assim, se as frequências dos sinais se igualam, temos na saída uma tensão contínua, já que a diferença entre as frequências é nula. A tensão contínua não é levada em conta pelo circuito.

Com o deslocamento da frequência do VCO em determinado momento consegue-se a sincronização dos circuitos, ou seja, o VCO passa a operar sincronizado com o circuito externo. Mesmo que o sinal de entrada volte a variar, o circuito gera novo sinal de erro e o VCO consegue corrigir sua frequência de modo a obter uma nova sincronização.

É claro que existe um limite para a faixa de frequências em que o VCO pode acompanhar os sinais externos. Temos então uma "faixa de retenção" ou "lock range" dentro da qual podemos fazer com que o VCO acompanhe qualquer variação de frequência e fase do sinal de entrada, figura 2.

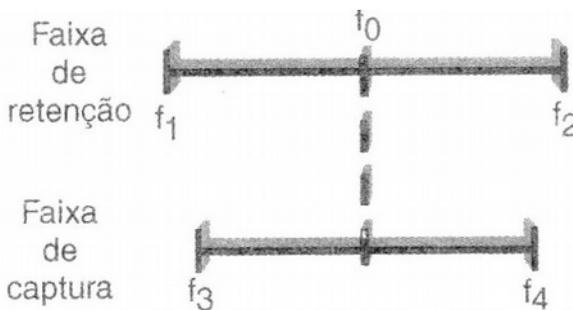


Figura 2 – A faixa de retenção e captura

Outra faixa importante de operação do PLL é a de frequências que podem ser aplicadas na sua entrada e ser obtido o sincronismo do VCO. Esta faixa é denominada "faixa de captura" ou "capture range". É evidente que a faixa de captura não pode ser mais ampla que a faixa de retenção para qualquer PLL.

Veja que a faixa de captura pode ser definida como aquela que tem por centro a frequência livre de oscilação do VCO e dentro da qual o PLL pode entrar em sincronismo com o sinal de entrada. Esta faixa está dentro da faixa de retenção que é diferente.

Ela pode ser definida como a faixa com centro na frequência livre de oscilação do VCO em que o circuito pode acompanhar a frequência de entrada.

O filtro passa-baixas é um elemento muito importante deste tipo de circuito. Se ele for muito seletivo, restringirá a faixa de captura e reduzirá a velocidade de operação do circuito, tornando muito difícil para o PLL reter o sinal. Por outro lado, ele não deve ser pouco seletivo, pois isso reduziria sua imunidade aos ruídos. O circuito precisa de alguns ciclos do sinal de entrada para poder "reconhecê-lo".

Com pouca seletividade, uns poucos pulsos de ruído poderiam ser "confundidos" com o sinal, levando o PLL a tentar sincronizar-se com eles.

## ***Características Principais***

Os PLLs possuem diversas características que levam a possibilidades e limitações que devem ser consideradas quando pretendemos fazer uso deste tipo de circuito em projetos.

### **a) Frequência central**

Na maioria dos casos, a fixação de frequência livre de oscilação ou frequência central é conseguida com a ligação de um ou mais componentes externos de valores apropriados, normalmente um capacitor e um resistor, figura 3.

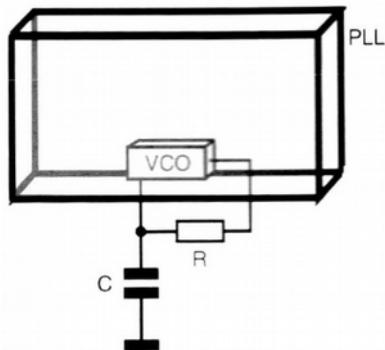


Figura 3 – Circuito RC externo que determina a frequência central

Um desses componentes pode ser do tipo ajustável para permitir a escolha de modo simples da frequência de operação do circuito, ou seja, do sinal que deve ser reconhecido.

O uso de componentes RC na determinação desta frequência normalmente limita a faixa de operação dos principais tipos a algumas centenas de quilohertz, mas existem tipos que usam circuitos LC e que podem ser usados em frequências muito mais altas.

Os valores típicos para os PLLs comuns de frequências máximas de retenção são:

560 = 15 MHz

561 = 15 MHz

562 = 15 MHz

565 = 500 kHz

567 = 100 kHz

### **b) Faixa de Retenção**

Em qualquer projeto que use um PLL é muito importante saber a largura da faixa de retenção, ou seja, quais são os limites da faixa de frequência que podem ser aplicados à entrada do circuito, resultando na sua sincronização.

Esta faixa é determinada pela capacidade do VCO em variar sua frequência de oscilação. Com frequências fora deste limite, o VCO não consegue acompanhar as variações e o sincronismo não é alcançado.

Nos manuais de circuitos integrados PLL esta faixa normalmente é especificada por uma porcentagem em relação à frequência central de oscilação do VCO, podendo ficar tipicamente entre 10% e 60%.

Assim, para o 565, que possui uma faixa de 60%, isso significa que o VCO acompanha variações de frequência do sinal de entrada entre 30% a mais e a menos em relação à frequência central de oscilação.

Na figura 4 mostramos uma curva característica de transferência tensão x frequência de um PLL.

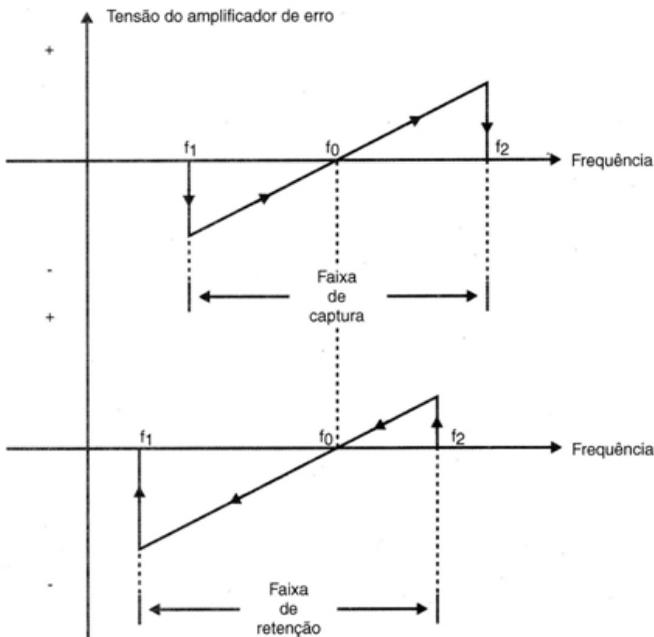


Figura 4 – Curva de transferência de um PLL

É importante observar que para a retenção, os sinais de entrada devem ter uma intensidade mínima. Esta intensidade é dada pela amplitude pico a pico ou de pico do sinal de entrada e pode variar entre 100  $\mu\text{V}$  até 20 mV.

Para o conhecido 567, a entrada mínima para que ocorra a retenção é uma tensão de 20 mV. Tipos mais sensíveis como o

560 podem operar com sinais de 120  $\mu\text{V}$  de intensidade mínima de entrada.

### **c) Faixa de captura**

A faixa de captura está diretamente relacionada com a seletividade do filtro passa-baixas usado no circuito de um PLL.

Se o filtro passa-baixas tiver uma constante de tempo muito grande, o "efeito memória" do PLL aumenta, ou seja, o circuito demora mais para reconhecer o sinal de entrada. São necessários mais ciclos do sinal de entrada até que a tensão de erro do comparador que corresponda à diferença entre este sinal e o gerado pelo VCO apareça na saída.

Por outro lado, uma constante de tempo maior para o filtro passa-baixas significa uma imunidade maior a transientes e ruídos. Normalmente os ruídos e transientes têm um ou poucos pulsos que podem "enganar" o circuito, não havendo tempo, portanto, para que a tensão de erro que leve o VCO a mudar sua frequência seja gerada.

Outro problema causado por uma constante de tempo maior é que a faixa de captura fica reduzida, o que pode significar uma limitação no uso do PLL.

O projetista deve encontrar uma constante de tempo para o filtro passa-baixas que lhe dê o melhor compromisso entre a faixa de captura conveniente e a imunidade aos ruídos.

## **Os PLLs da Família 56x, e Outros**

Diversos fabricantes de componentes eletrônicos possuem na sua linha de produtos PLLs de uso geral que podem ser empregados numa infinidade de aplicações práticas, muitas das quais usadas em nossos projetos.

A família 56X é uma das mais conhecidas, encontrando no 567 o componente mais popular para projetos simples. Por outro lado, temos PLLs da família CMOS como o 4046 que, entretanto, têm custo mais elevado, sendo usado apenas em projetos mais específicos. Já abordamos o funcionamento destes circuitos integrados em artigos de nosso site que podem ser consultados pelos leitores.

Os PLLs da família 56X, conforme tabela deste mesmo artigo podem ser usados em frequências que vão desde 100 kHz até mais de 15 MHz.

Se bem que os tipos indicados para frequências até 15 MHz possam chegar em alguns momentos até 30 MHz, isto não é recomendável, pois eles se tornam extremamente instáveis. As faixas de tensões de alimentação desses circuitos com suas faixas de retenção são as seguintes:

560 - 15% - 16-26 V

561 - 15% - 16-26 V

562 - 15% - 16-26 V

565 - 60% - 10-26 V

567 - 12% - 4-10 V

## **Aplicações**

### **a) Demodulação de FM**

Uma aplicação importante dos PLLs é como demodulador de sinais modulados em frequência. Na figura 5 temos uma aplicação deste circuito usando o conhecido 567.

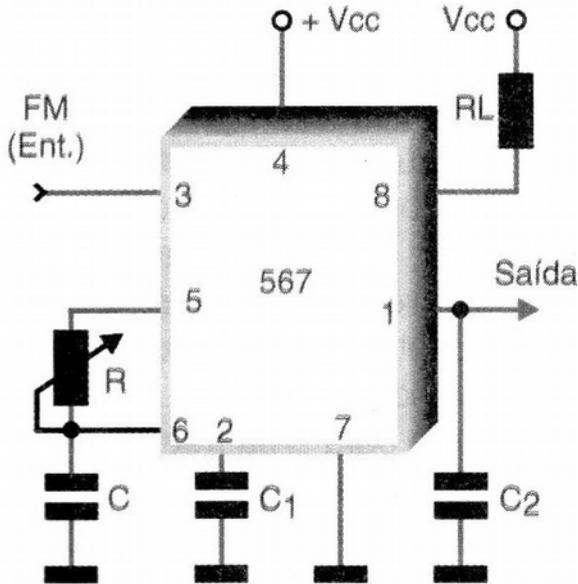


Figura 5 – PLL como demodulador

Neste circuito, o PLL é sintonizado através do VCO para a frequência central do sinal modulado em frequência. Isso é feito pelo ajuste de um trimpot, já que no caso do PLL 567, a frequência livre de oscilação é determinada por um circuito RC.

A vantagem deste sistema é que os componentes não são críticos, pois a seletividade do circuito pode ser facilmente controlada por meio da escolha apropriada de outros componentes e, além disso, existe a possibilidade de ser realizado o ajuste fino de frequência pelo trimpot.

Os capacitores externos adicionais correspondem ao filtro passa-baixas que controla a faixa de captura ou seletividade do circuito. Os valores destes componentes dependem da aplicação e informações adicionais podem ser obtidas no próprio manual do componente.

Quando o sinal modulado em frequência é aplicado ao circuito, a tensão de erro corresponde justamente ao desvio da frequência do sinal que ocorre na modulação em frequência. Desta forma, a própria tensão de erro corresponde à modulação, sendo disponível num dos pinos do componente.

Este circuito pode ser usado, por exemplo, num intercomunicador via rede de energia. Um sinal modulado em frequência, em torno de 50 kHz é aplicado na própria tensão da rede de energia.

Este sinal chega até o receptor que contém na sua entrada um PLL como o 567.

Uma vez reconhecida a frequência deste sinal (portador), é feita a detecção, obtendo-se na sua saída o sinal de áudio que corresponde à modulação, conforme sugere a figura 6.

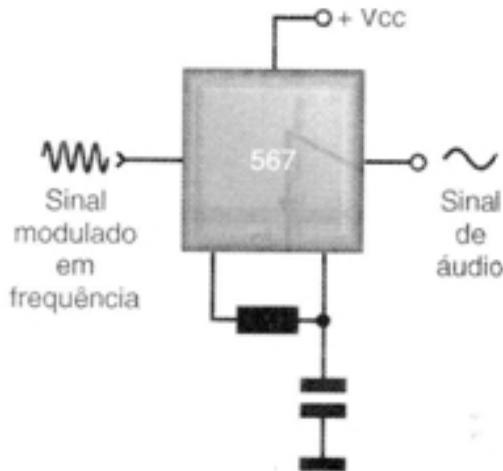


Figura 6 – PLL como demodulador de FM

No site pode ser encontrado um projeto completo de intercomunicador via rede de energia usando exatamente esta configuração como base. A saída do circuito, que é o indicador de captura, pode também ser usada para acionar um LED indicador de que a sintonia do circuito ocorreu.

Urna outra aplicação para um circuito deste tipo é mostrada na figura 7 e consiste num demodulador de FM usado num receptor comum, operando, portanto, numa frequência muito mais alta.

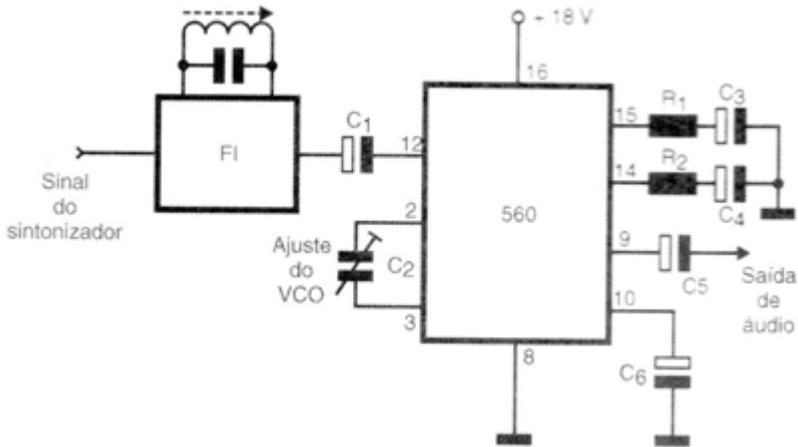


Figura 7 – Demodulador de FM com o 560

Este circuito usa um PLL 560 e a sintonia é feita por um trimmer, já que a faixa de frequências aqui é bem mais alta. Ele trabalha com o sinal de frequência intermediária de um receptor de FM, sendo mostrada esta etapa no próprio circuito.

### b) Acionador Seletivo

O fato de um circuito PLL reconhecer um sinal de determinada frequência, “travando” em sua presença, permite que ele seja usado como acionador seletivo. Na figura 8 temos um exemplo de um circuito encontrado em muitos controles remotos.

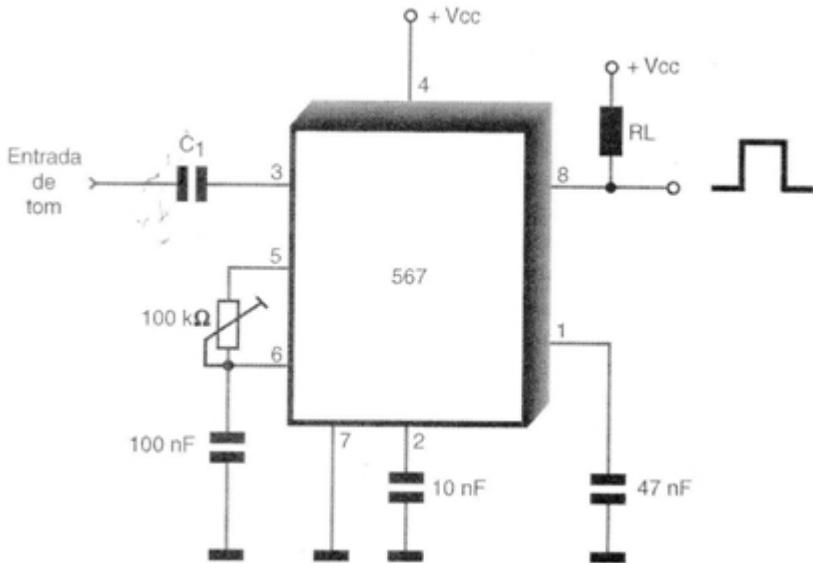


Figura 8 – Acionador seletivo

O PLL é sintonizado de modo a reconhecer a frequência de um determinado tom que será gerado no transmissor e que pode ser enviado tanto modulando uma portadora de alta frequência, como modulando um feixe de infravermelhos de um LED.

O receptor recebe este tom e aplica-o a um conjunto de PLLs, cada qual sintonizado para uma frequência diferente, conforme a figura 9.

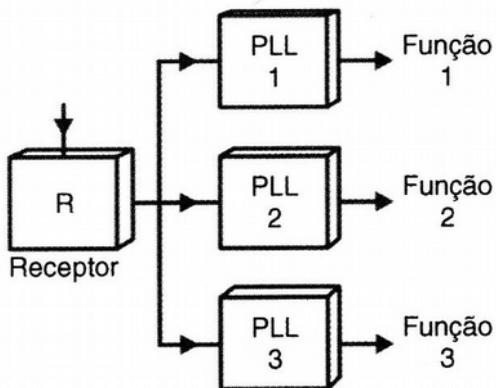


Figura 9 – Controle remoto multi-canal com PLLs, modulador por tom

Somente o PLL sintonizado para o tom enviado é que o reconhece, "travando" e com isso fornecendo um sinal na sua saída. Este sinal de saída pode ser usado para acionar um relé ou outro dispositivo de potência que controle a função desejada.

Um conjunto de 2 ou mais PLLs pode ser usado num circuito mais elaborado capaz de reconhecer uma sequência de tons. Desta forma, como nos sistemas de rádio-chamada (bip) é possível combinar três tons numa grande quantidade de frequências, o que possibilita a utilização de um único canal para acessar uma grande quantidade de aparelhos de modo seletivo.

Em outras palavras, somente o receptor que tiver seus três PLLs sintonizados em sequência para os três tons enviados é que responderá ao sinal e receberá a mensagem a ser transmitida ao usuário, veja a figura 10 como isso funciona.

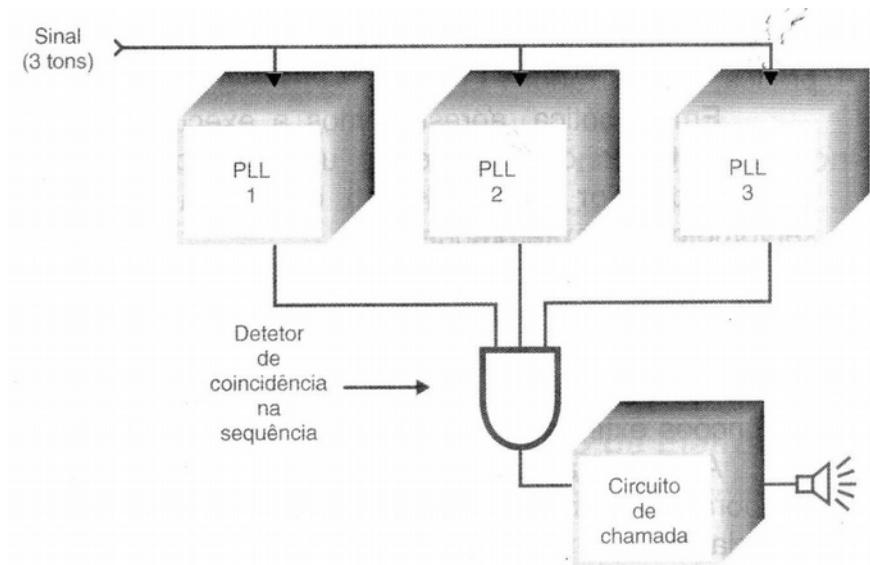


Figura 10 – Acionamento sequencial e um pager

Em artigo focalizando os usos do PLL 567, no site, apresentamos o modo de fazer sua ligação em circuitos reconhecedores de tons em sequência para este tipo de aplicação.

### c) Receptor AM

Os PLLs como o NE561 também podem ser usados como base do circuito de sintonia de um receptor AM, conforme mostra a figura 11.

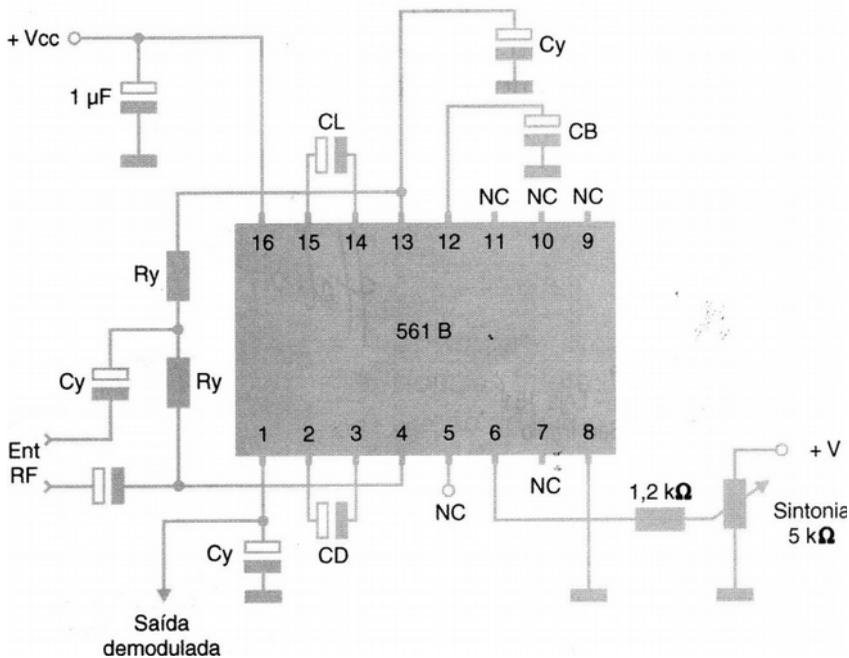


Figura 11 – Receptor AM com PLL

Os capacitores deste circuito devem ser selecionados de acordo com a frequência do sinal de modo a apresentarem o mínimo de impedância.

O receptor mostrado na figura 11 é para a faixa de ondas médias, sintonizando frequências entre 550 kHz e 1600 kHz.

Veja que a grande vantagem deste tipo de circuito é o não uso de bobinas, já que a sintonia é feita por um potenciômetro comum. O sinal obtido na saída demoduladora deve ser aplicado a um amplificador de áudio com potência de acordo com o uso pretendido.

#### d) Outros usos

Além dos usos indicados, os PLLs também são muito utilizados nos circuitos sintetizadores de frequências de equipamentos de comunicações. Usando divisores de frequências digitais e PLLs, é possível sintetizar qualquer frequência a partir de um oscilador de frequência fixa.

---

## O Rádio

---

Houve época em que toda a eletrônica se traduzia numa palavra: "rádio. De fato, naqueles tempos, o único aparelho que podia ser denominado eletrônico, e de uso comum, era o rádio. Presente em muitos lares permitia o "milagre" de se ouvir vozes de pessoas distantes.

Com a evolução da eletrônica, novos equipamentos surgiram como os amplificadores para fonógrafos, gravadores, a TV e depois tudo que hoje conhecemos, uma infinidade de aplicativos a nossa disposição.

Assim, se quisermos ter uma visão da história da eletrônica, nada melhor do que usar o rádio como referência. A história do rádio está intimamente ligada a história da evolução de novas tecnologias.

Neste artigo tratamos um pouco do rádio, explicando sua origem, os diversos tipos de circuitos e algumas características importantes para projetos. Daremos até alguns circuitos práticos simples para os que desejarem fazer experimentos, ou demonstrações com finalidades didáticas.



Rudolf Hertz (desenho de Dyrce Braga)

## **O Início**

Maxwell, através de equações matemáticas, previu a existência de ondas eletromagnéticas, da mesma natureza que as ondas de luz, que podiam se propagar no espaço com a velocidade próxima de 300 000 km/s, mas de frequência muito mais baixa. Lendo os trabalhos de Maxwell, um cientista alemão chamado H. R. Hertz, em 1887, realizou as primeiras experiências práticas que provaram a existência de tais ondas.

A prova foi simples, consistindo na montagem do primeiro transmissor do primeiro receptor de rádio. Produzindo faíscas elétricas num canto do laboratório, estas faíscas geravam ondas eletromagnéticas que, provocavam o aparecimento de outras num dispositivo colocado do outro lado do laboratório.

Esta experiência também serviu para a elaboração da primeira antena que consistia em placas de metal.

Guglielmo Marconi, lendo os trabalhos publicados por Hertz, relatando suas experiências, percebeu que estas ondas poderiam, ser usadas para levar mensagens, trabalhando a partir de então no aperfeiçoamento da descoberta.

Marconi desenvolveu então dispositivos capazes de gerar e receber ondas eletromagnéticas.

A partir de 1895, com apenas 21 anos de idade, Marconi deu início a uma série de experiências que culminaram com a transmissão com êxito de mensagens a navios situados a 20 km de distância da costa.

Depois, Marconi criou um sistema capaz de transmitir direcionalmente os sinais eletromagnéticos e, finalmente em 1901, um sistema capaz de transmitir sinais entre a Inglaterra e a Terra Nova, sendo essa a primeira transmissão através do Atlântico.

A primeira transmissão de radiodifusão documentada ocorreu em 1906, tendo sido realizada por R. Fessenden nos Estados Unidos. Na véspera de natal de 1906, usando um alternador de radiofrequência, que operava em 50 kHz, construído pela General Electric, foi realizada a primeira transmissão de radiodifusão.

O microfone usado para modular este primeiro transmissor era ligado diretamente à antena, controlando assim toda a potência aplicada. O resultado era que o microfone precisava ser refrigerado a água, tal o calor desenvolvido.

## **Landel de Moura**

Da mesma forma que existe uma grande controvérsia em relação à invenção do avião, caso em que os americanos defendem os irmãos Wright e nós Santos Dumont, podemos dizer que para o rádio existe também uma boa discussão sobre o assunto.

Os russos defendem Popov enquanto que “oficialmente”, Marconi é o inventor do rádio. No entanto, existem provas de que muitos pesquisadores transmitiram e receberam ondas de rádio antes de Marconi.

É o caso do padre brasileiro Roberto Landel de Moura que enviou sinais de rádio entre pontos diferentes da cidade de São Paulo, antes de Marconi e também teria transmitido a voz e imagens na mesma época sem o devido reconhecimento.



Roberto Landel de Moura – Inventor do rádio

Somente agora suas descobertas estão sendo revistas com a atribuição do devido valor que possuem. Sugerimos aos leitores interessados que visitem o site de Luiz Netto sobre Landel de Moura em <http://www.rLandel.hpg.ig.com.br/> ou ainda que leiam o livro de Hamilton Almeida, Padre Landel de Moura: um herói sem glória. O brasileiro que inventou o rádio, a TV, o teletipo..." (Editora Record).

## **Os Circuitos Receptores**

A partir do primeiro receptor de Hertz, que consistia simplesmente numa espira com duas esferas separadas por uma distância muito pequena, onde era possível observar as faíscas, foi criado um dispositivo denominado "coesor". O coesor era um tubinho cheio de limalha de metal, onde a presença de sinais de rádio fazia saltar faíscas, tornando-o condutor.

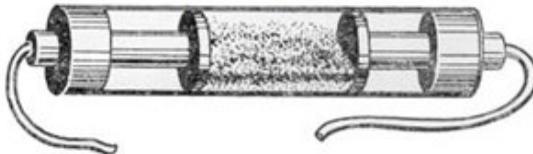


Figura 1 – o coesor de Branley, primeiro detector de sinais de rádio

Depois disso, diversos dispositivos foram criados para detectar as ondas de rádio, chegando às técnicas avançadas que hoje são utilizadas.

## **Rádio de Galena**

Um dos primeiros tipos de rádio que existiu não utilizada nenhum dos modernos dispositivos eletrônicos que conhecemos como transistores ou circuitos integrados. Estes rádios tinham uma estrutura bastante simples, conforme mostra a figura 2.

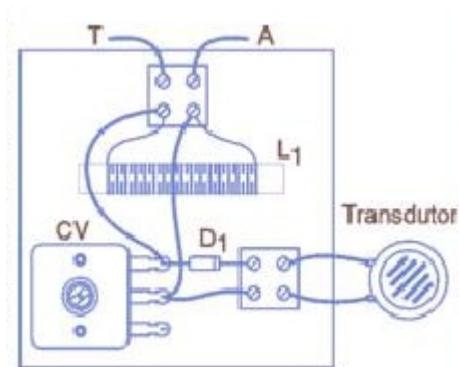


Figura 2 – Rádio de galena simples usando um diodo (D1) em lugar do cristal de galena.

Nota: no site do autor existem diversos projetos de rádios de galena ou cristal de montagem simples.

Uma enorme antena (A), consistindo em fio estendido com comprimento de 10 a 50 metros de comprimento, captava o máximo de energia das ondas eletromagnéticas emitidas pela estação.

Estas ondas induziam na antena correntes de altas frequências que então eram levadas a um circuito seletor. O seletor mais simples que podemos descrever consiste numa bobina e num capacitor variável, ligados em paralelo, conforme mostra a figura 3.

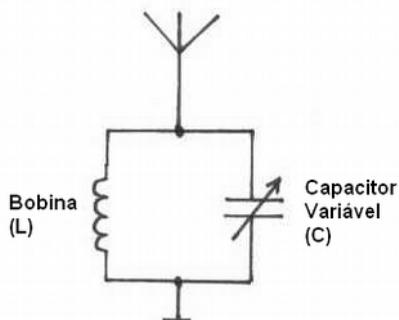


Figura 3 – Circuito de sintonia formado por uma bobina e um capacitor

Este circuito até hoje é usado na maioria dos receptores de rádio. O número de voltas de fio da bobina e a quantidade de placas do capacitor determinam a faixa de frequências das estações que podem ser selecionadas.

Para o caso das estações de AM (amplitude modulada) de ondas médias onde as estações têm frequência entre 530 e 1605 kHz usando capacitores variáveis entre 270 e 465 pF, o número de voltas da bobina estará tipicamente entre 80 e 120.

Este circuito tem a propriedade de deixar passar para a terra as correntes de todas as frequências captadas, exceto as da frequência da estação que desejamos ouvir.

O sinal separado, da estação selecionada, é então levado a um detector de envoltória ou simplesmente detector. O detector nada mais é do que um retificador que conduz a corrente num único sentido de modo que, através de uma filtragem (filtro passa baixas), possamos separar a corrente de baixa frequência da modulação (som) da corrente de alta frequência que a transporta (portadora).

Isso ocorre porque o som do microfone na emissora é aplicado à "onda" que lhe transporta. A onda eletromagnética é, portanto apenas um meio de transporte para os sinais de frequências menores que correspondem aos sons, conforme mostra a figura 4.

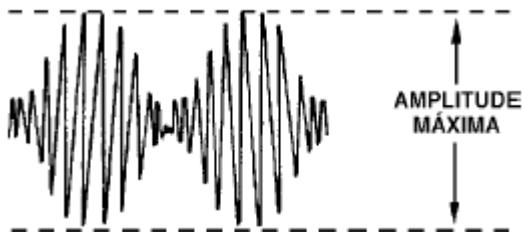


Figura 4 – Sinal de alta frequência transportando sinal de áudio (AM)

Atualmente temos componentes próprios que podem ser usados como detectores, como os diodos semicondutores. No entanto, antigamente, as coisas eram mais difíceis.

O detector tinha de ser fabricado com um cristal de galena, uma espécie de óxido de chumbo, que era montado numa base de material condutor. Um fio extremamente fino, chamado

“bigode de gato”, era usado para encontrar os pontos sensíveis do cristal.

O operador do rádio deveria, com muita calma e habilidade, encostar o bigode de gato em diversos pontos do cristal, até encontrar o “ponto sensível” que possibilitaria de detecção dos sinais de rádio. Sem dúvida, ouvir rádio exigia habilidade naqueles tempos!

A corrente que temos depois do diodo já é de baixa frequência, devendo ser filtrada antes de ser levada a um fone. O fone nada mais é do que um reproduzidor de som.

Formado por uma bobina de fio fino, com a passagem da corrente é criado um campo magnético que, atuando sobre uma placa de metal chamada diafragma, a faz vibrar. Estas vibrações são transferidas para o ar na forma do som originalmente enviado a partir da estação, conforme mostra a figura 5.

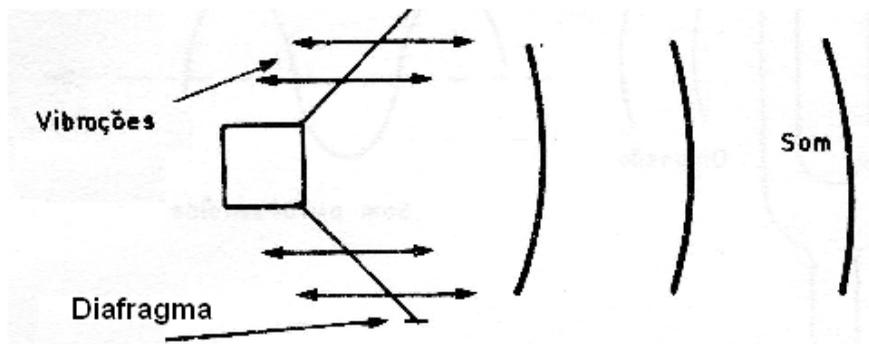


Figura 5 – Princípio de funcionamento do fone de ouvido

Veja que o princípio de funcionamento desse receptor é muito simples, mas apresenta muitos inconvenientes: toda a energia que vai para o fone deve ser captada pela antena. Assim, o volume do som depende da eficiência a antena na captação dos sinais.

Mesmo estações fortes ou próximas só podem ser ouvidas com o fone muito próximo do ouvido. O uso de um alto-falante é praticamente inviável com esse tipo de receptor.

Para os leitores que desejam experimentar com esse tipo de receptor, damos um circuito prático, onde a única

modernização é a troca do cristal de galena (difícil de obter) por um diodo de germânio de qualquer tipo.

Esse tipo de componente já tem um "bigode de gato" interno soldado no ponto de máxima sensibilidade, evitando assim o inconveniente de se precisar encontrar o ponto sensível. O circuito é mostrado na figura 6.

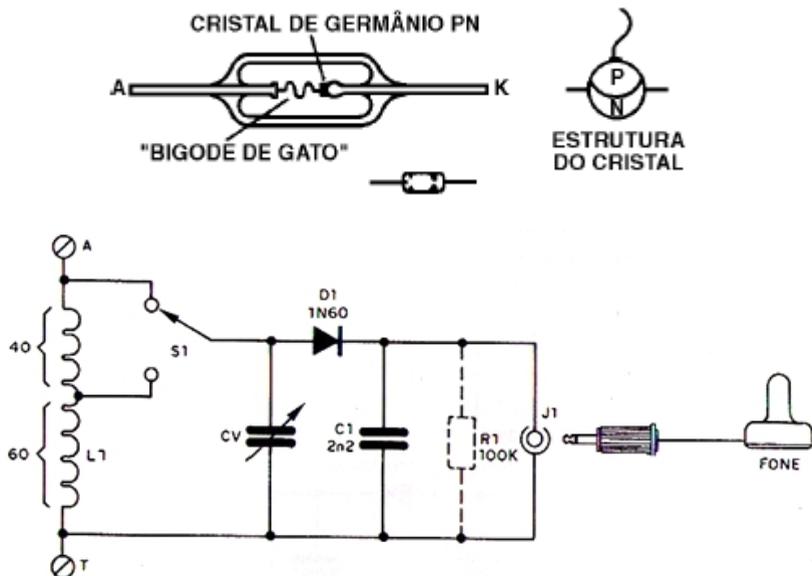


Figura 6 – O diodo de germânio e um rádio de galena (veja mais no site em ART031)

A bobina é enrolada num cabo de vassoura ou tubo de PVC de aproximadamente 2,5 cm de diâmetro. Ela consta de 100 voltas de fio esmaltado 28 ou 26 (40 + 60). O capacitor variável CV é aproveitado de qualquer rádio antigo fora de uso e o fone deve ser de cristal ou magnético de alta impedância.

Sugerimos o uso de uma cápsula piezoelétrica. Não devem ser usados fones de walkman ou radinhos modernos que são de baixa impedância.

A antena deve ter pelo menos 10 metros de comprimento, consistindo num fio comum encapado. A ligação à terra pode ser feita num cano de água ou qualquer objeto de metal acessível de grande tamanho como a esquadria de uma janela.

## ***A Válvula, o Transistor e a Amplificação Direta***

Thomas Alva Edison havia descoberto um importante efeito em suas lâmpadas: quando uma placa adicional era colocada no interior da lâmpada, uma corrente podia ser detectada nesse elemento. Essa corrente, conforme se verificou posteriormente, era formada por elétrons que deixavam o filamento aquecido, conforme mostra a figura 7.

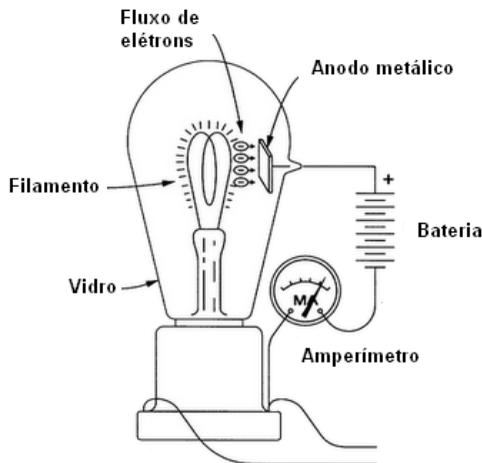


Figura 7 – A válvula diodo

J. A. Fleming, um inglês que visitava Edison justamente quando ele fez essa descoberta, observou que o dispositivo em questão funcionava como um diodo, deixando a corrente circular apenas num sentido.

Posteriormente, trabalhando nessa mesma válvula, o americano Lee de Forest, em 1906, colocou uma espécie de grade entre o filamento aquecido e a placa. Aplicando tensões nesta grade ele podia controlar a corrente que circulava entre o filamento e a placa, conforme mostra a figura 8.

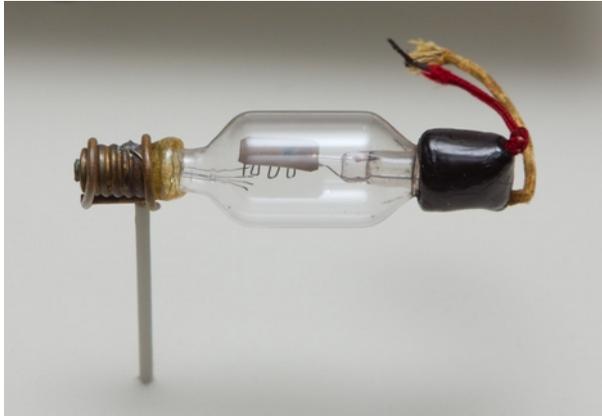


Figura 8 – Uma válvula triodo de 1906

Essa configuração, denominada válvula triodo, poderia ser usada num circuito conforme mostra a figura 9, para amplificar um sinal de rádio detectado e dessa forma obter muito maior volume num fone de ouvido. Um rádio de maior sensibilidade poderia ser obtido com essa configuração.

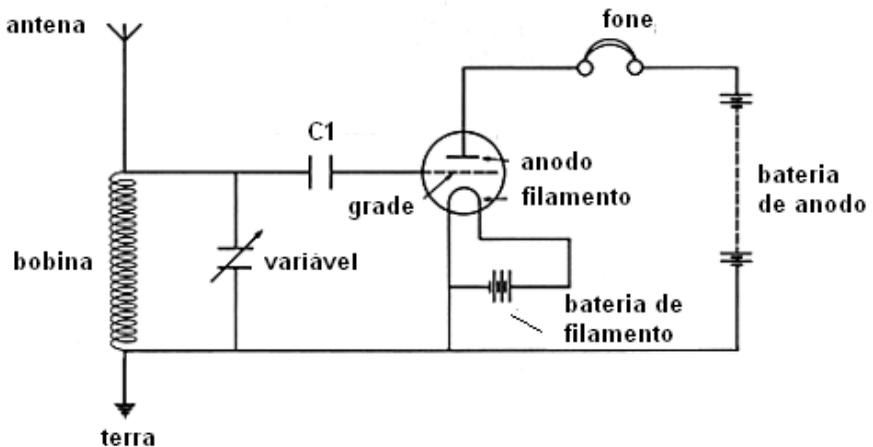


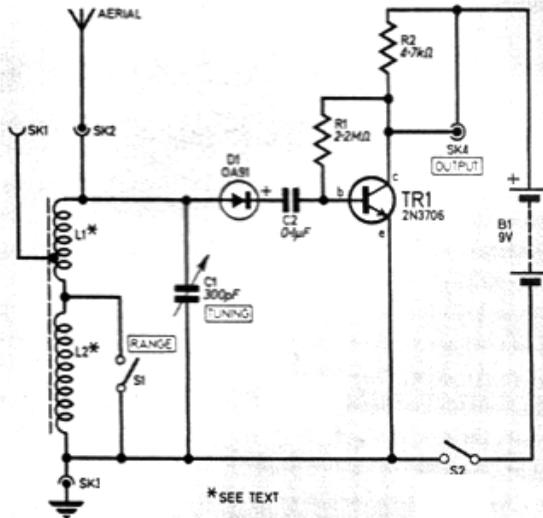
Figura 9 – Rádio com válvula triodo (audion)

Esse tipo de rádio, em que o sinal detectado (retirado do diodo) era aplicado diretamente a uma válvula amplificadora, recebeu o nome de receptor de "amplificação direta".

O transistor, que foi inventado somente em 1948, na verdade funciona como um amplificador de sinais semelhante a válvula triodo, com a vantagem de que não usa um filamento.

Pelo fato de as correntes circularem num transistor através de um meio sólido (o material semicondutor) dizemos que se trata de um dispositivo de estado sólido, que substituem as válvulas com vantagens, quer seja pelo seu tamanho diminuto, quer seja pela pouca energia que precisam para funcionar.

Na figura 10 temos um receptor de amplificação direta, equivalente à configuração valvulada que mostramos na figura 9, mas que usa um transistor.



Se o leitor quiser montá-lo, a bobina é formada por 80 espiras de fio esmaltado 28 ou mais fino, com tomada na 30ª espira, e o variável pode ser aproveitado de qualquer rádio antigo.

O diodo é de germânio e o fone deve ser de alta impedância ou de cristal com um resistor em paralelo. A antena deve ter pelo menos 5 metros de comprimento.

Entretanto, já nos tempos das válvulas verificou-se que a recepção dos sinais poderia ser melhorada através do uso de diversos artifícios, que também podem ser usados em circuitos transistorizados (com finalidades experimentais).

No caso dos transistores, o que ocorre é que quando eles surgiram, as técnicas de recepção já estavam suficientemente desenvolvidas para se adotar a melhor. Assim, as outras ficaram apenas como curiosidades históricas.

## Receptores Reflex

Verifica-se que uma válvula triodo tanto podem amplificar os sinais detectados como os próprios sinais de alta frequência captados pela antena. Num receptor reflex utiliza-se a mesma válvula para amplificar duas vezes o sinal: na primeira vez o sinal amplificado é o de alta frequência, vindo do circuito de sintonia.

Logo depois da amplificação, este sinal é detectado, voltando então a componente de baixa frequência à mesma válvula, onde recebe nova amplificação. Daí ele pode então ser aplicado ao fone de ouvido. Na figura 11 temos um circuito de um receptor desse tipo.

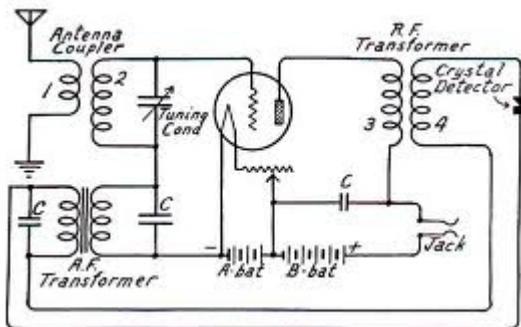


Figura 11 – Receptor reflex valvulado

O mesmo circuito na versão transistorizada é mostrado na figura 12.

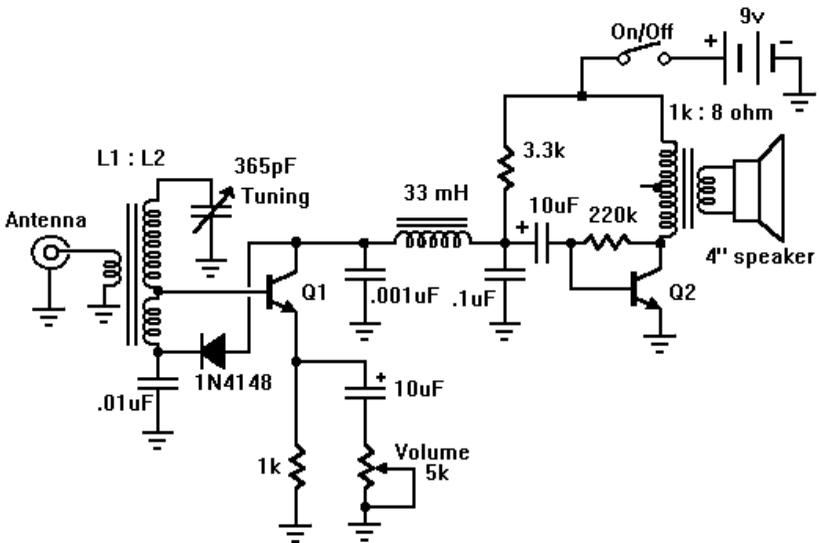


Figura 12 – Um receptor reflex transistorizado.

## Receptores Regenerativos

Outra técnica interessante usada na recepção de sinais de rádio consiste na regeneração. O que se faz é amplificar o sinal uma vez e depois “jogá-lo” de volta à entrada do mesmo amplificador, para que ele receba nova amplificação. Uma mesma válvula (ou transistor) tem então sua capacidade de amplificação multiplicada, com resultados bastante interessantes. Na figura 13 temos um rádio desse tipo usando uma válvula.



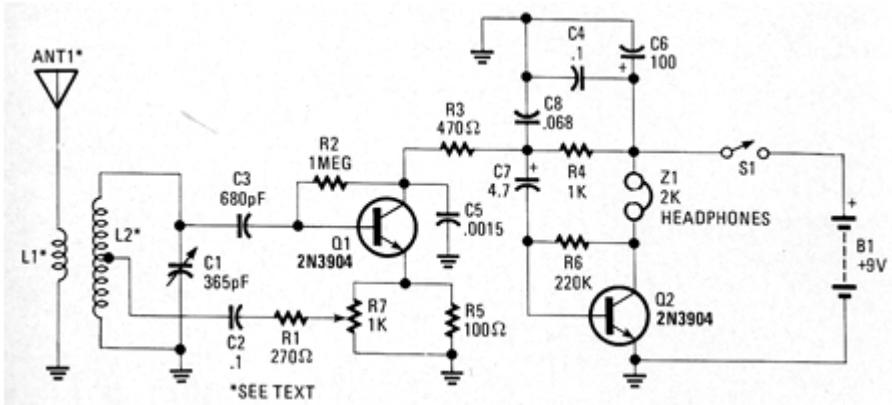


Figura 14 – R7 controla a regeneração

A bobina L2 consiste em 20 + 80 espiras de fio 28 num bastão de ferrite e L1 20 espiras sobre L2. Os transistores podem ser os BC548

## ***Diversas Etapas***

É claro que, em lugar de se usar apenas uma válvula ou transistor para amplificar o sinal, é possível usar diversos. O sinal passa de um para o outro sendo amplificado, até atingir a intensidade desejada.

Com um número suficiente de válvulas ou transistores pode-se chegar a intensidade suficiente para excitar um alto-falante. Na figura 15 temos circuitos de rádios com diversas etapas, usando transistores. Evidentemente são circuitos que têm apenas finalidade didática.

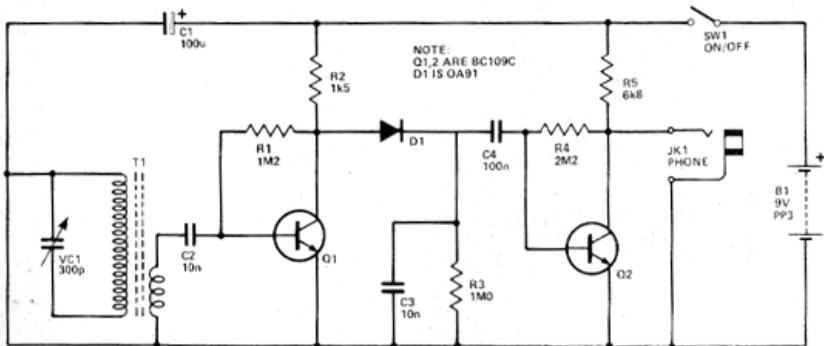
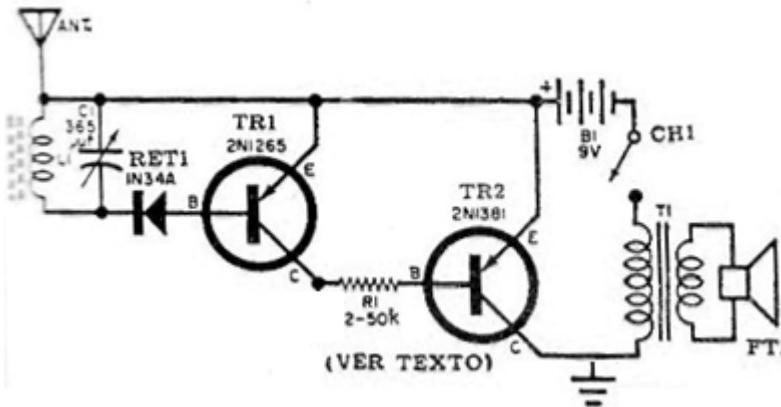


Figura 15 – Rádios de mais de uma etapa

Tente montar o circuito transistorizado. A bobina tem 80 voltas de fio esmaltado 28 com tomada na 30ª espira e o capacitor variável é do tipo usado em rádios AM. O diodo é 1N34 e os transistores BC548. O alto-falante é de 4 ou 8 ohms com 5 cm e B1 é formada por 4 pilhas pequenas.

A antena pode ser um pedaço de fio estendido de 3 a 5 metros de comprimento, já que temos muito maior sensibilidade do que nos receptores dados anteriormente.

Mas, mesmo com diversas etapas, os rádios ainda não podem ser considerados ideais, pois apresentam problemas como:

- a) **Instabilidade:** muitas etapas tendem a gerar oscilações por sinais que voltam às etapas de entrada. Apitos e ruídos podem ocorrer.
- b) **Falta de seletividade:** o rádio não consegue separar estações que transmitem em frequências próximas.

Para solucionar estes problemas existem outras técnicas que apareceram com o tempo, algumas das quais muito engenhosas.

## ***Neutrodinos, Sincrodinos e Outros***

Nesta fase da história do rádio, passou-se a ter uma preocupação maior com a estabilidade dos circuitos. Assim, um primeiro passo foi o que levou aos receptores denominados neutrodinos. Um processo de neutralização evitava que ocorressem oscilações por realimentação entre as diversas etapas do circuito.

No receptor sincrodino, o circuito gerava um sinal sincronizado com o da estação, dando assim maior estabilidade ao circuito. No entanto, esses rádios logo foram superados por uma categoria de circuito que existe até hoje: o super-heteródino.

## ***O Super-heteródino***

Como conseguir aliar alta sensibilidade a uma ótima seletividade e tudo isso num circuito de grande estabilidade? A resposta para este problema está no circuito super-heteródino.

Rádios de todos os tipos e até mesmo receptores de TV e telecomunicações modernos se baseiam nesta configuração que se revela satisfatória para a maioria dos casos em que a recepção dos sinais deva ser feita de forma estável e sensível.

Na figura 16 temos a estrutura em blocos de um receptor super-heteródino, a partir da qual procuraremos explicar o funcionamento da maneira mais simples possível.

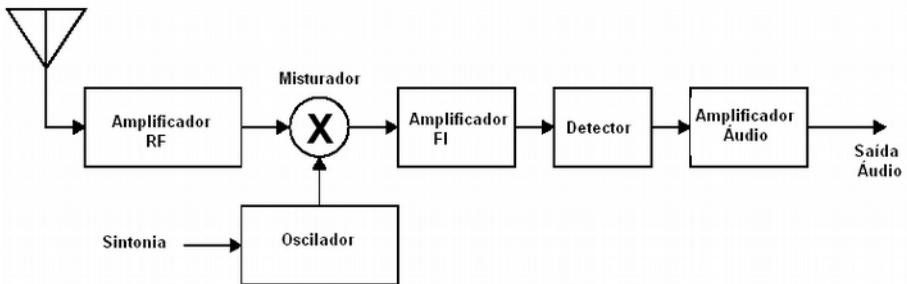


Figura 16 – Receptor super-heteródino em blocos

Os sinais são captados pela antena e levado a um circuito de sintonia, onde o sinal da estação que se deseja ouvir é separado. O primeiro passo desse sinal é ser processado por uma etapa chamada misturadora.

A função da etapa misturadora ou misturador é simplesmente combinar o sinal da estação selecionada com um sinal que é gerado no próprio receptor. Este sinal deve ter uma frequência, que no caso do AM, deve ser 455 kHz maior que o sinal captado e no caso do FM, 10,7 MHz maior.

A mistura dos dois sinais provoca um fenômeno denominado batimento ou heterodinagem: obtemos na saída da etapa dois sinais que correspondem à soma e diferença de suas frequências. Como a diferença é fixa, 455 kHz ou 10,7 MHz, as etapas seguintes podem perfeitamente trabalhar com frequências fixas, não se necessitando mais de circuitos de sintonia variável.

Nos receptores de AM temos então etapas amplificadoras seguintes operando em 455 kHz e nos de FM, operando em 10,7 MHz. Estas etapas são denominadas "de FI" ou "Frequência Intermediária".

O sinal de FI que leva então a informação do sinal original captado, tendo apenas uma frequência, pode ser amplificado por uma ou duas etapas adicionais até ficar suficientemente intenso para poder ser detectado.

A detecção é feita então da maneira convencional: nos rádios AM usamos um diodo que detecta a envolvente, ou seja, separa a modulação do sinal original de sua portadora, conforme mostra a figura 17.



Figura 17 – Detecção do sinal modulado em amplitude

Nos rádios de FM utiliza-se um circuito denominado discriminador, pois a modulação é feita de modo diferente. De qualquer forma, a partir dessa etapa temos no circuito apenas sinais de baixas frequências ou áudio que correspondem aos sons originais emitidos.

Podemos então amplificá-los ainda mais, mas agora usando um amplificador comum de áudio. O volume ou potência do som que obteremos na saída vai depender das características deste amplificador.

Nos rádios de FM estéreo, existe ainda um circuito adicional que é o decodificador (multiplex) que faz a separação dos sons dos dois canais que são enviados a dois amplificadores diferentes.

Assim, para rádios portáteis ou do tipo walkman, temos pequenos amplificadores com potências da ordem de milésimos de watt (mW), para os rádios maiores e de carro, as potências aumentam para vários watts e finalmente nos grandes sons, essa potência podem superar os 100 W. Na figura 18 temos um circuito típico de receptor super-heteródino.

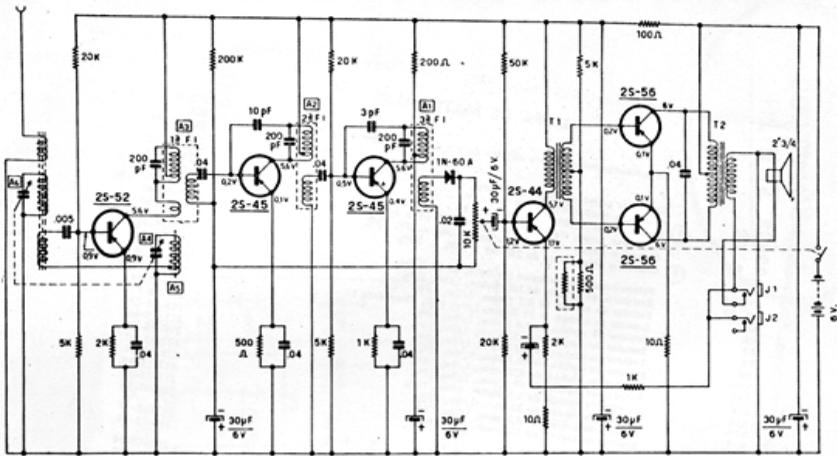


Figura 18 – Receptor Spica dos anos 50 e 60.

O leitor não deve tentar montar esse rádio. O que ocorre é que as técnicas industriais que levam à produção em massa fazem uso de circuitos integrados que unem todas as funções em chips (circuitos integrados) e eles são fabricados por máquinas automáticas que barateiam sua produção.

---

## Como Funcionam os Circuitos Ressonantes

---

Existem em eletrônica certas configurações básicas como os circuitos de tempo, filtros e naturalmente os circuitos ressonantes cujo conhecimento do princípio de funcionamento é essencial para a prática profissional.

Assim, neste artigo explicaremos de uma maneira bastante detalhada e, portanto, didática como funciona os circuitos ressonantes LC paralelos, que possuem a configuração mostrada na figura.

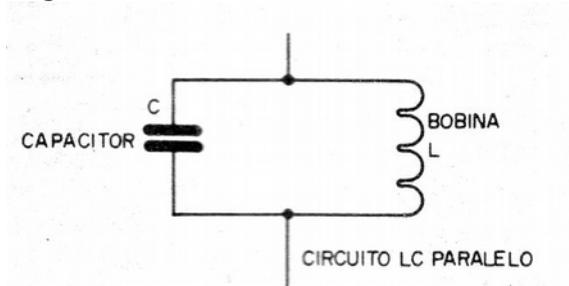


Figura 1 – O circuito ressonante LC paralelo

Antes de passarmos ao funcionamento do circuito completo, analisemos o funcionamento dos dois componentes que o formam.

Obs.: para os que desejam ir além, conhecendo outros circuitos e configurações, recomendamos nossos livros Curso de Eletrônica – Eletrônica Básica e Curso de Eletrônica – Eletrônica Analógica.

### O Capacitor

Um capacitor basicamente é formado por duas placas de material condutor, denominadas armaduras, separadas por um material isolante, denominado dielétrico, conforme mostra a figura 2.

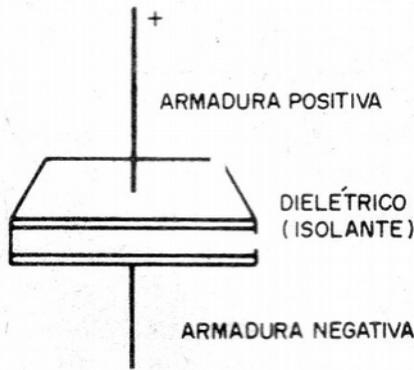


Figura 2 – O capacitor básico

Quando ligamos um capacitor a uma fonte de tensão contínua, um gerador, verificamos que as armaduras do capacitor ficam carregadas com cargas de sinais opostos.

Quando interligamos as armaduras do capacitor, através de um fio condutor que apresente certa resistência ocorre a descarga com a circulação de uma corrente.

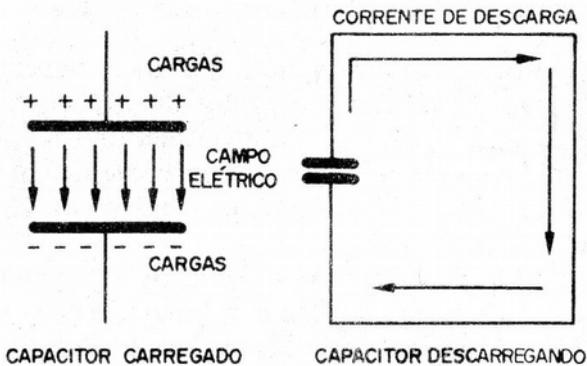


Figura 3 – A descarga do capacitor

A corrente perdura até que a descarga completa ocorra. Assim, durante a descarga a carga e a tensão nas armaduras diminui gradativamente, segundo uma curva de descarga conforme a mostrada na figura 4.

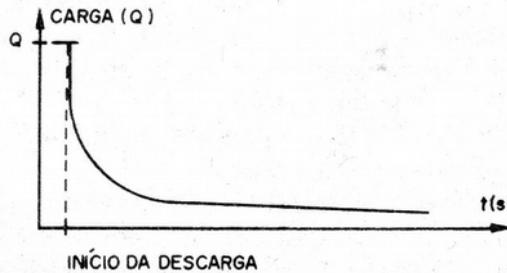


Figura 4 – A curva de descarga do capacitor

Ligando um capacitor a um circuito de corrente alternada, seu comportamento será diferente. Quando a tensão tem uma polaridade, as armaduras se carregam com cargas que correspondem a esta polaridade.

Quando a polaridade se inverte no semiciclo seguinte da corrente alternada, o capacitor se descarrega e carrega-se novamente agora com a polaridade invertida. Em outras palavras, num circuito de corrente alternada o capacitor estará se carregando e descarregando rapidamente acompanhando as inversões da polaridade da corrente.

Isso significa que num circuito de corrente alternada estará sempre circulando uma corrente pelo capacitor, indo e vindo nos ciclos de carga e descarga com inversão de polaridade. Se analisarmos então o capacitor num circuito de corrente alternada vemos que ele, de certo modo, permite que a corrente circule e isso numa proporção tanto maior quanto for a carga e descarga, ou seja, seu valor.

Essa corrente também depende da frequência, já que com frequência maior, a carga e descarga serão mais rápidas com uma corrente mais intensa fluindo.

Podemos então associar ao capacitor uma reatância, ou seja, a oposição que ele apresenta a corrente e que depende de seu valor e da frequência da corrente, conforme o gráfico da figura 5.

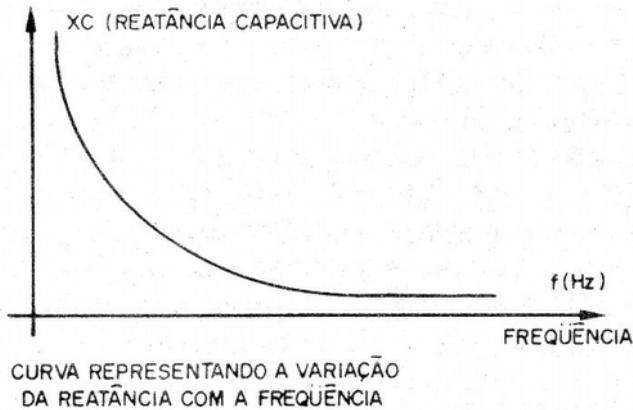


Figura 5 – A reatância capacitiva

Veja então, que quanto maior for a frequência, a corrente poderá fluir melhor pelo capacitor e com isso menor será a oposição que ele apresenta à sua circulação, ou seja, menor a reatância.

## **Os Indutores**

Os indutores, choques ou bobinas, como também são chamados são componentes formados por espiras de fio que podem ser enroladas em núcleos com material ferrosos ou deixadas sem núcleo (núcleo de ar). Estes componentes podem ter diversos aspectos, conforme mostra a figura 5.

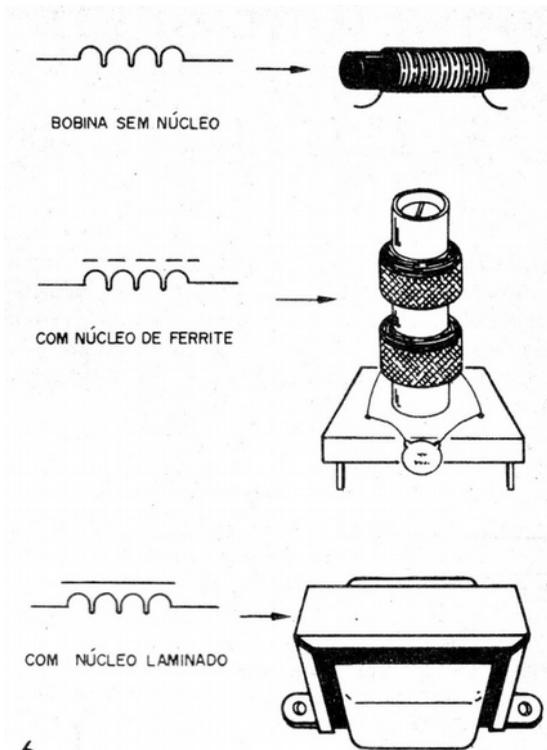


Figura 6- Os indutores

Para entender como funciona um indutor num circuito de corrente contínua, vamos tomar como exemplo o circuito da figura 7.

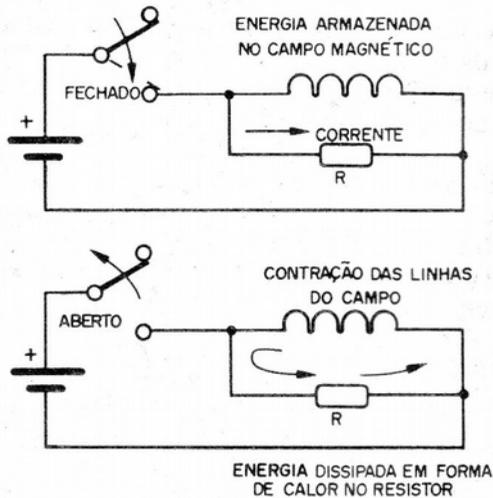


Figura 7 – Circuito com indutor

Supondo que a resistência do fio usado no indutor seja muito menor que a resistência do resistor em paralelo, quando fechamos o interruptor, a corrente circulante será muito maior no indutor.

Com isso, será criado um campo magnético por este componente, o qual tem suas linhas se expandindo pelo espaço.

A corrente aumenta gradativamente até se estabilizar quando o campo completa sua expansão. Quando abrimos o interruptor e a corrente cessa, as linhas do campo magnético não desaparecem de imediato. Elas contraem-se rapidamente induzindo no indutor uma tensão contrária àquela da corrente que as criou.

Em outras palavras, aparece nas extremidades do indutor uma tensão que faz uma corrente circular pelo resistor de carga. Esta corrente diminui rapidamente de intensidade até desaparecer quando todas as linhas de força do campo magnético se contraírem.

Um experimento interessante para mostrar este fato pode ser feito com um pequeno reator usado com lâmpadas fluorescentes, conforme mostra a figura 8.

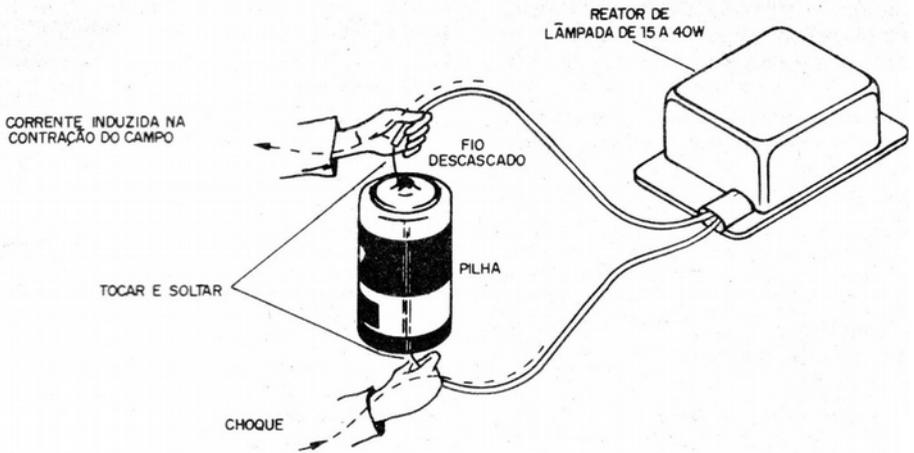
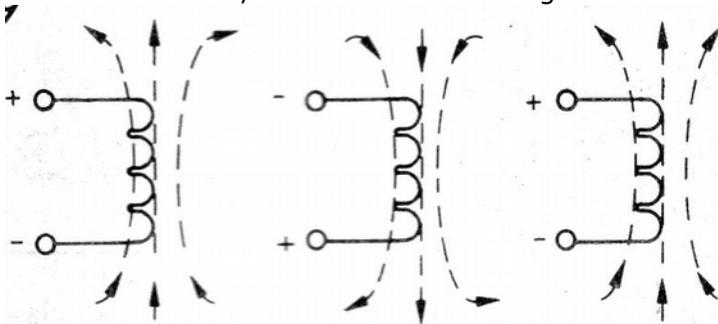


Figura 8 – Mostrando a indução

Quando encostamos os fios do reator na pilha a corrente circula e o campo é criado. Quando soltamos, o campo se contrai gerando uma tensão muito mais alta do que a que o criou, fazendo assim com que a pessoa que segura nos fios tome um choque.

Da mesma forma que o capacitor tem um comportamento diferente quando ligado à rede de corrente alternada, o indutor também. Quando aplicamos uma corrente alternada a um indutor as inversões da corrente fazem com que constantemente o campo criado se inverta, conforme mostra a figura 9.



O CAMPO INVERTE DE SENTIDO NA FREQUÊNCIA DA REDE

Figura 9 – O campo de um indutor em corrente alternada

Quando a tensão é aplicada ao indutor ele apresenta uma certa oposição à variações da corrente. Tanto maior é essa oposição quanto mais rápida é a variação.

Assim, o indutor apresenta uma oposição a circulação de uma corrente alternada que aumenta com a frequência. Essa oposição é denominada reatância indutiva, medida em ohms e aumenta com a frequência conforme mostra o gráfico da figura 10.

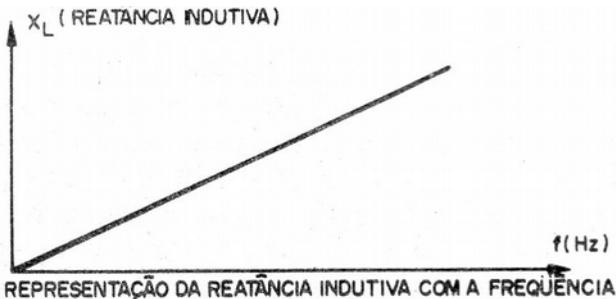


Figura 10 – A reatância indutiva

## O circuito Ressonante

Para entender como funciona um circuito ressonante, devemos começar por entender o que é a ressonância. Todos os corpos tendem a vibrar com maior intensidade numa frequência que depende de sua forma, da natureza do material de que é feito e de suas dimensões.

Quando batemos numa taça, num diapasão ou fazemos vibrar corda de um violão, esses corpos vibram numa frequência única que é a sua frequência de ressonância.

Esse fenômeno da ressonância também ocorre com circuitos elétricos e o formado por um capacitor em paralelo com um indutor é justamente um deles. Os dois componentes têm comportamento opostos, conforme vimos, um tem uma reatância que diminui com a frequência e o outro tem uma reatância que aumenta a frequência.

Se levarmos em conta o cálculo das suas reatâncias, conforme mostram as fórmulas abaixo, existe um ponto

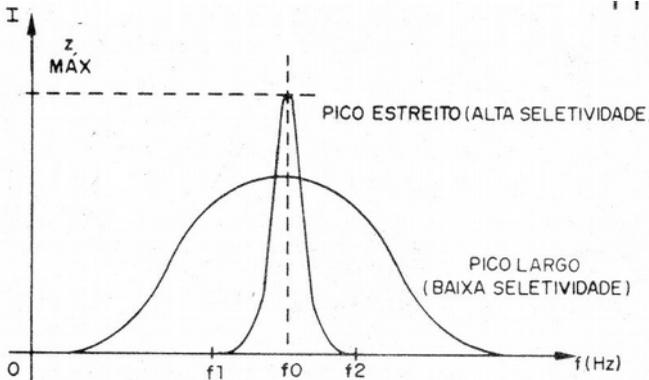
importante para os valores encontrados: os pontos em que as reatâncias se igualam.

$$\begin{aligned}
 X_C &= \frac{1}{2\pi fC} \\
 X_L &= 2\pi fL
 \end{aligned}
 \rightarrow X_C = X_L \rightarrow \frac{1}{2\pi fC} = 2\pi fL \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

Assim, para um determinado valor de capacitância e um determinado valor de indutância, existe uma frequência única em que as reatâncias se igualam.

Essa frequência é a frequência de ressonância do circuito e ele tende a oscilar com mais facilidade nela. Vemos então pela figura 11, se aplicarmos sinais de frequências que se deslocam rumo à ressonância, a reatância do circuito vai aumentando até atingir um máximo.



$f_0$  = FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA  
 $f_1, f_2$  = FREQUÊNCIAS QUE TAMBÉM PASSAM

Figura 11 – A curva de ressonância

Nesse ponto de máximo, a reatância do circuito é teoricamente máxima, ou seja, ele apresenta uma resistência infinita ao sinal. Na prática, isso não ocorre pois indutores e capacitores não são perfeitos e a curva pode ser mais alargada.

A partir do ponto de ressonância, aumentando ainda mais a frequência a reatância cai novamente conforme mostra a mesma figura.

Quando um circuito ressonante tem um pico estreito de resposta dizemos que ele tem grande seletividade, ou seja, consegue separar bem as frequências que não sejam a de ressonância. Um circuito com baixa seletividade, também deixa passar, mas com menor intensidade, as frequências próximas da ressonância.

Um fator que influi na seletividade de um circuito ressonante é o fato do fio do indutor apresentar uma certa resistência. A seletividade de um circuito é medida pelo fator  $Q$ .

## O fator $Q$

Se analisarmos os circuitos ressonantes, na condição ideal, eles deveriam responder apenas a uma determinada frequência, rejeitando as demais.

Na prática, entretanto, a presença de resistências parasitas no circuito faz com que ele tenda a ter curvas de respostas menos agudas, o que determina o fator de qualidade ou fator  $Q$ , que mede sua seletividade.

Assim, conforme mostra a figura 12, um circuito com um fator de qualidade mais elevado, tem uma seletividade maior, responde melhor a uma determinada frequência e rejeitando as demais.

Veja, entretanto que, na prática, não devemos ter um circuito de sintonia cuja seletividade seja máxima, pois isso também vai significar que, na modulação do sinal recebido, quando ele se desloca da sua frequência, teremos sua perda.

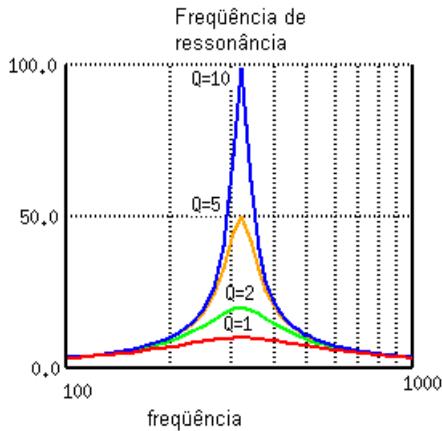


Figura 12 – Resposta de um circuito de sintonia LC

O fator Q é dado pela fórmula:

$$Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$

**Onde:**

Q é o fator Q

R é a resistência associada ao circuito em ohms

C é a capacitância em farads

L é a indutância em henry

## O Circuito de Sintonia

Uma primeira aplicação importante para os circuitos ressonantes LC é como circuito de sintonia de receptores de rádio, conforme mostra a figura 13.

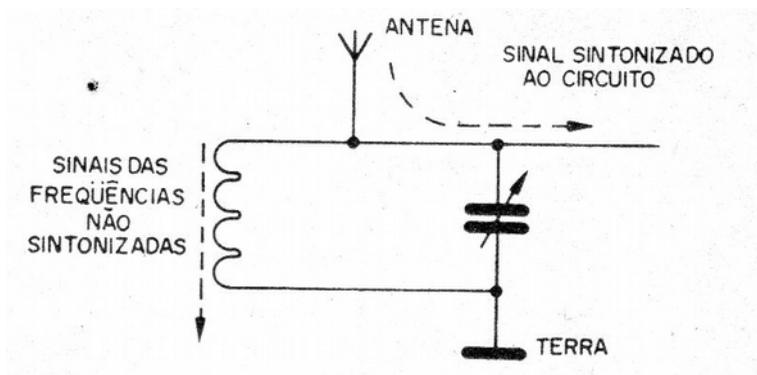


Figura 13 – O circuito de sintonia

Os sinais de todas as estações interceptam a antena induzindo correntes de altas frequências em suas frequências. Estes sinais são levados ao circuito de sintonia formado pela bobina e um capacitor variável.

Ajustamos então o capacitor variável para que o circuito ressoe apenas na frequência da estação que desejamos ouvir. Isso significa que o circuito ressonante apresentará uma baixa resistência (impedância) para os sinais de todas as estações que então irão para a terra, menos o da estação selecionada.

Este sinal, encontrando uma alta resistência (impedância) é desviado e levado aos circuitos de processamento do receptor, onde será demodulado e terá a informação correspondente aos sons extraída.

## O Circuito Oscilante

O circuito LC funciona exatamente como seus equivalentes mecânicos como o diapasão, a corda de um instrumento, ou ainda uma taça de cristal.

Quando excitado eletricamente ele tende a oscilar numa única frequência, e essa frequência é a frequência de ressonância. Para entender o que ocorre, vamos partir do circuito da figura 14.

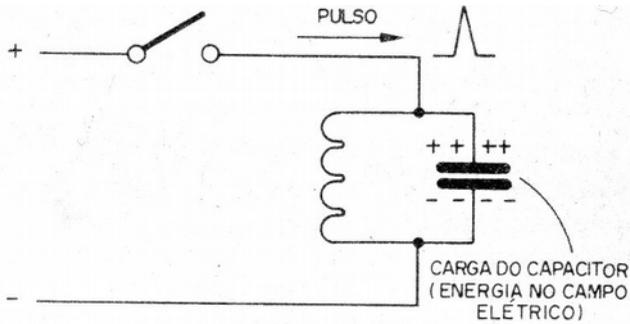


Figura 14- O circuito oscilante

Quando fechamos o interruptor e abrimos o interruptor rapidamente, a rápida variação da corrente impede sua circulação pelo indutor que se opõe a ela, mas com isso o capacitor se carrega.

Passamos a ter um campo elétrico entre as placas do circuito e a energia é armazenada no capacitor. Mas esta carga dura pouco, pois logo que a tensão se estabiliza no capacitor, ele inicia sua descarga rápida através do indutor.

Nestas condições, conforme mostra a figura 15, é criado um campo magnético e a energia armazenada no capacitor se transfere para ele.

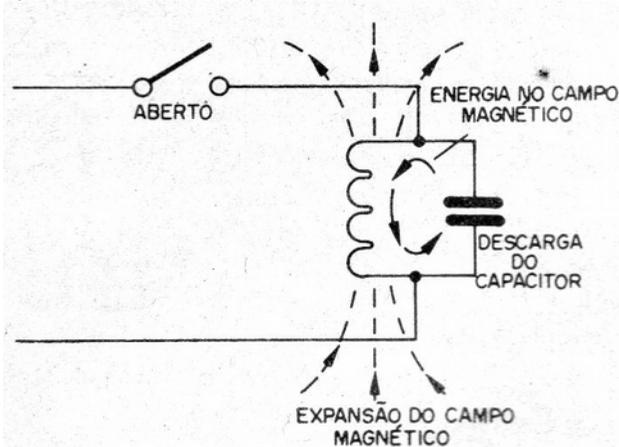


Figura 15 – A energia do capacitor se transfere para o indutor

Isso também não dura muito, pois logo que o capacitor se descarrega, e a energia está toda no campo do indutor, suas linhas de força começam a se contrair induzindo uma tensão invertida nos seus terminais, conforme mostra a figura 16.

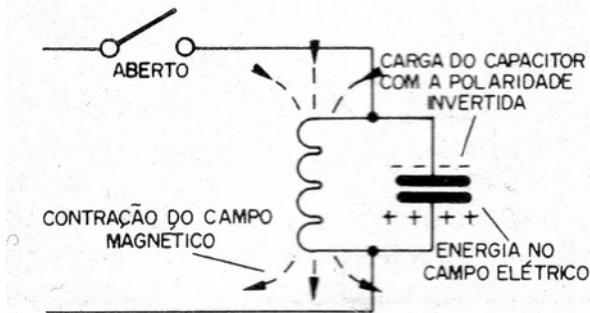


Figura 16 – O campo se contrai gerando tensão

Esta tensão carregará então o capacitor novamente, mas agora com a polaridade invertida. Temos então a transferência da energia do campo magnético do indutor se transformando em energia do campo elétrico do capacitor.

Novo ciclo de descarga do capacitor tem início então, com sua descarga pelo indutor. A velocidade com este processo ocorre é justamente dada pela ressonância do circuito e se ligarmos este circuito a uma antena teremos a produção de ondas eletromagnéticas.

Estas ondas, como o nome sugere consistem em alternâncias do campo elétrico e do campo magnético, conforme mostra a figura 17.

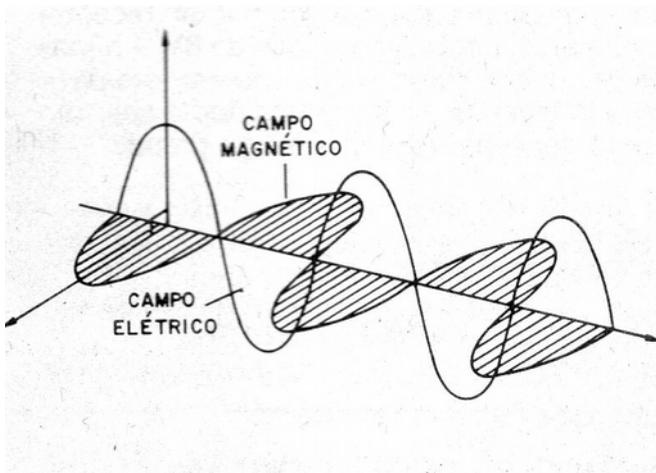


Figura 17 – O campo eletromagnético

Na prática, as oscilações não continuam para sempre. A resistência dos fios e outras perdas, fazem com que gradualmente a oscilação produzida vá perdendo sua intensidade, até desaparecer por completo.

Em outras palavras, o circuito desta forma simples produz uma oscilação amortecida. Para mantermos o circuito oscilando precisamos ter algum recurso que reponha a energia que vai sendo perdida ou utilizada para excitar um circuito externo, ou para ser transmitida por uma antena.

Podemos fazer isso através de um circuito de realimentação e um amplificador que tenha um certo ganho, como mostra a figura 18.

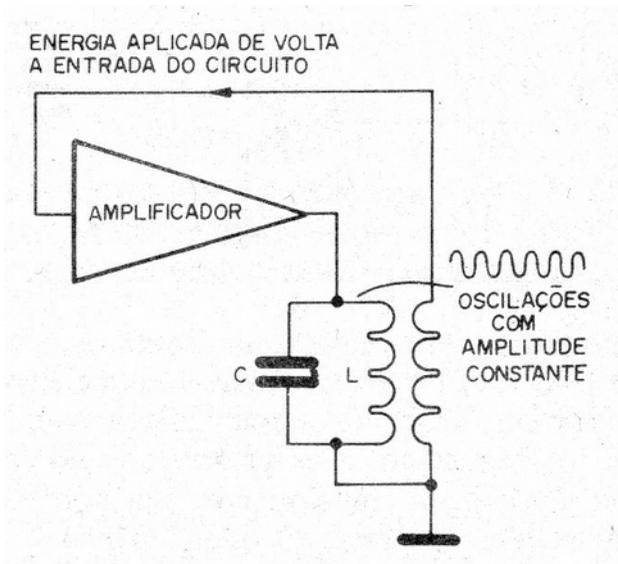


Figura 18 – Mantendo as oscilações

Com este circuito mantemos o circuito oscilando na sua frequência de ressonância. Podemos comparar as oscilações produzidas a oscilação de um pêndulo, conforme mostra a figura 19.

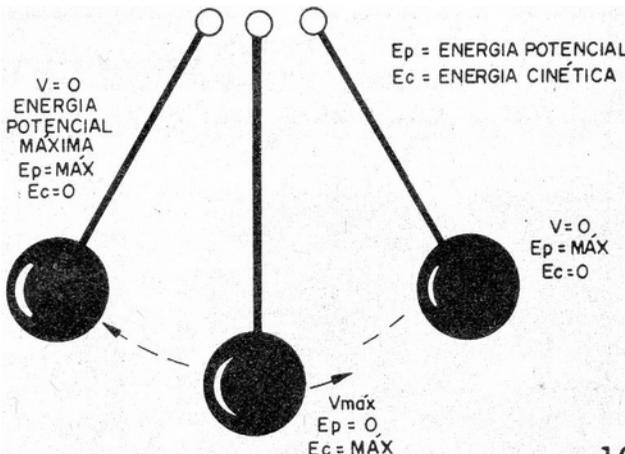


Figura 19 – O pêndulo

Quando o pêndulo está nas posições extrema, parando por instante, toda a energia que ele tem é potencial. Quando ele se movimenta e no ponto mais baixo da trajetória ele tem maior velocidade, toda a energia do sistema é cinética.

Estas energias se alternam constantemente, como no circuito elétrico em que temos energia no campo elétrico e energia o campo magnético.

## Acoplamentos

Para que uma pilha forneça energia a uma lâmpada acendendo-a, devemos acoplar estes dois dispositivos, o que em princípio é muito simples: basta usar dois pedaços de fio conforme verificamos na figura 1.

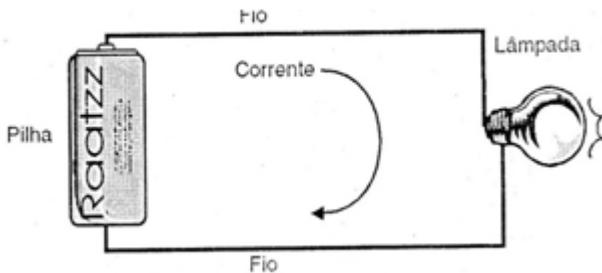


Figura 1 - Acoplamento entre uma lâmpada e uma pilha

Nesta operação simples, entretanto, entram em jogo alguns fatores que podem ser muito importantes para que a lâmpada acenda com o máximo de brilho e para que a pilha tenha máxima durabilidade e rendimento.

A pilha possui uma resistência interna, ou seja, uma característica própria que faz com que ela dissipe parte da energia que fornece na forma de calor. As pilhas esquentam quando fornecem correntes elevadas!

Se não observarmos esse fato, a energia dissipada na própria pilha pode ser maior do que a entregue à lâmpada, o que certamente não é conveniente.

Se a resistência interna da pilha, por exemplo, for igual a resistência do filamento da lâmpada, 50% da energia fornecida pela pilha se perde em seu interior e 50% vai para a lâmpada, o que certamente não será muito interessante para o usuário desta fonte de energia, figura 2.

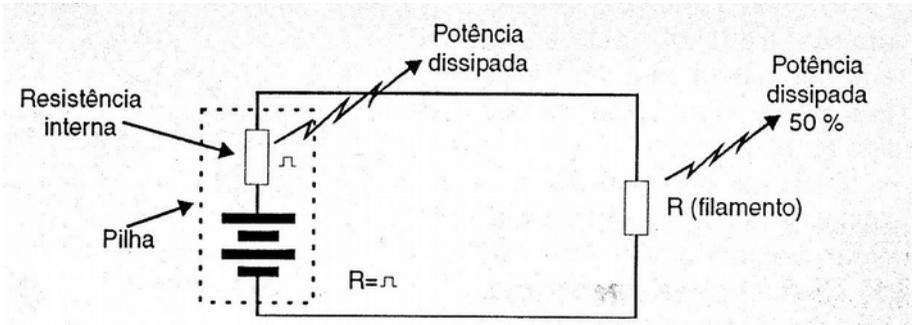


Figura 2 – O rendimento de um circuito depende de diversos fatores

Para que os circuitos de eletrônica funcionem satisfatoriamente é importante levar em conta o mesmo tipo de comportamento: cada circuito se comporta de uma maneira ao receber ou transferir sinais, ou seja, apresenta uma determinada impedância.

Se ligarmos um circuito a outro de modo a poder fazer uma transferência de sinal, essa transferência pode ocorrer com perdas maiores ou menores se as características destes circuitos não "cessarem", ou seja, não forem semelhantes.

Se tivermos uma "sobra" de energia a ser transferida, esse casamento pode não ser importante, pois podemos admitir perdas. É o caso de ligarmos um amplificador que tem uma boa saída de sinal à entrada de outro que só precisa de um pouco desse sinal para operar, figura 3.

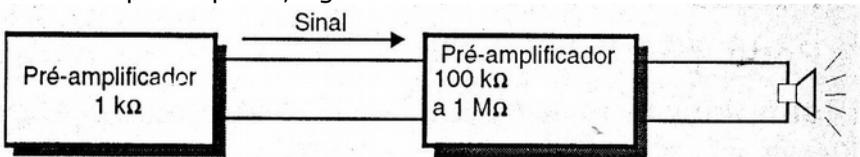


Figura 3 – Funcionamento normal, apesar das diferenças de impedâncias

Assim, se ligarmos um pré-amplificador que tenha uma impedância de saída de 1 K ohms à entrada de um amplificador de 1 M ohms de impedância, se o pré-amplificador fornecer um sinal com amplitude suficiente para excitar o amplificador, ele funcionará perfeitamente.

Isso não ocorre se ligarmos um transmissor que tenha certa impedância a uma antena de impedância diferente: os sinais que não conseguem passar para esta antena refletem, perdem-se e até podem causar danos ao transmissor, figura 4.

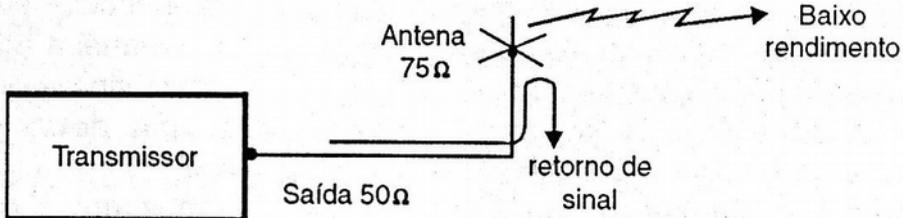


Figura 4 – Perdas causadas pela reflexão de sinais

As técnicas que visam casar as impedâncias dos circuitos de modo que os sinais possam passar sem perdas variam bastante. O leitor vai conhecer algumas delas no item seguinte.

## ***Acoplamento Entre Etapas***

Levando em conta que os sinais com que os aparelhos normalmente trabalham são correntes de baixas ou de altas frequências e que as etapas desses aparelhos são polarizadas por correntes contínuas, no acoplamento entre as etapas devemos levar em conta dois fatores:

- a passagem do sinal
- a retenção da polarização contínua

Entretanto, estes fatores não precisam ser sempre obedecidos, conforme veremos a seguir nos diversos tipos de acoplamento que existem.

## ***Acoplamento Rc***

O tipo mais comum de acoplamento nos circuitos de áudio e de RF até uma frequência relativamente elevada é o RC. O nome pode ser facilmente explicado se dermos uma olhada na figura 5.

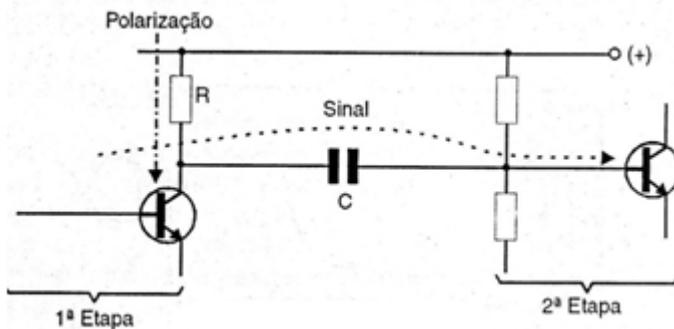


Figura 5 – Acoplamento RC

Temos um resistor que polariza o componente de saída da etapa anterior, de onde deve sair o sinal, deixando passar a corrente suficientemente alta para impedir a passagem do sinal.

O capacitor, entretanto, apresenta uma baixa impedância para o sinal que deve ser transferido (seu valor deve ser escolhido para que isso ocorra – um capacitor de picofarads se for um circuito de RF e de microfarads se for um circuito de áudio), enquanto que a corrente contínua de polarização da etapa anterior não passa para a seguinte.

O principal problema deste tipo de acoplamento é o seu baixo rendimento na transferência do sinal. Normalmente as impedâncias de saída das etapas transistorizadas em emissor comum são mais altas que as de entrada do mesmo tipo de etapa.

Assim, as impedâncias "não casam" e temos uma perda considerável no sinal transferido. Entretanto se, por exemplo, a etapa anterior amplificar 50 vezes um sinal e na transferência perdermos 30, ainda assim sobram 20 que justificam seu emprego.

Se o projetista não estiver muito interessado em aproveitar o máximo dos componentes, o que vai acontecer é que, um amplificador que poderia usar duas etapas, se o acoplamento entre elas tivesse maior rendimento, precisará de 3 etapas para compensar as perdas, se usar a técnica RC, figura 6.

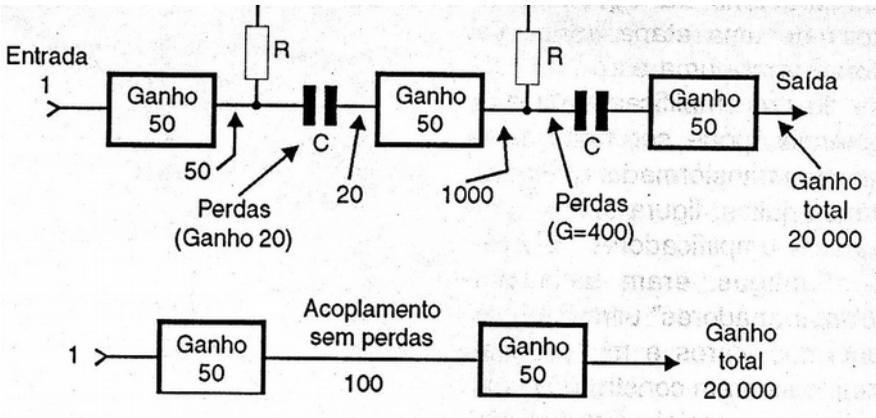


Figura 6 – Compensando as perdas com mais etapas

Se tivermos que apontar alguma vantagem, será simples: capacitores e resistores usados neste tipo de acoplamento são pequenos e custam barato.

## Acoplamento LC

Uma boa melhoria na transferência de sinais pode ser obtida se usarmos em lugar do resistor, um indutor ( $L$ ). Obteremos então o acoplamento LC que é mostrado na figura 7.

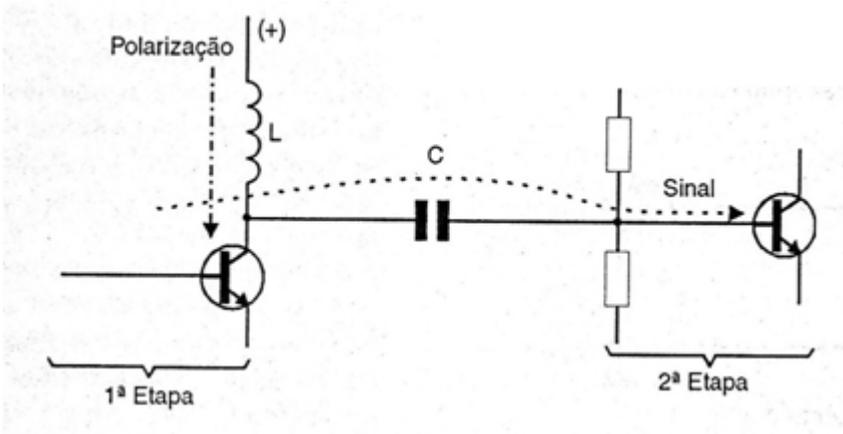


Figura 7 – O acoplamento LC

Neste caso o indutor apresenta uma resistência muito baixa (praticamente nula, se desprezarmos a resistência do fio usado na sua construção) para a polarização que é obtida por corrente contínua. No entanto, para os sinais, sua impedância será muito alta, impedindo assim que eles se percam passando para a fonte.

O capacitor pode então transferir com muito mais facilidade os sinais para a etapa seguinte, com um melhor rendimento em relação a configuração anterior.

A desvantagem principal deste tipo de acoplamento está no fato de que indutores para baixas frequências exigem milhares de espiras de fio em núcleos pesados e volumosos. Em outras palavras, em baixas frequências o uso dos indutores é inviável.

Nos circuitos de altas frequências, entretanto, os indutores são menores e mais simples, pois usam poucas espiras de fio, e por isso podem ser usados na prática. É o que ocorre: em boa quantidade de circuitos de RF onde os sinais são transferidos de uma etapa para outra por este tipo de acoplamento;

#### ACOPLAMENTO POR TRANSFORMADOR

Uma maneira simples de acoplar duas etapas de um circuito que permite casar de forma ideal suas impedâncias é a que faz uso de um transformador. Na figura 8 mostramos este tipo de acoplamento.

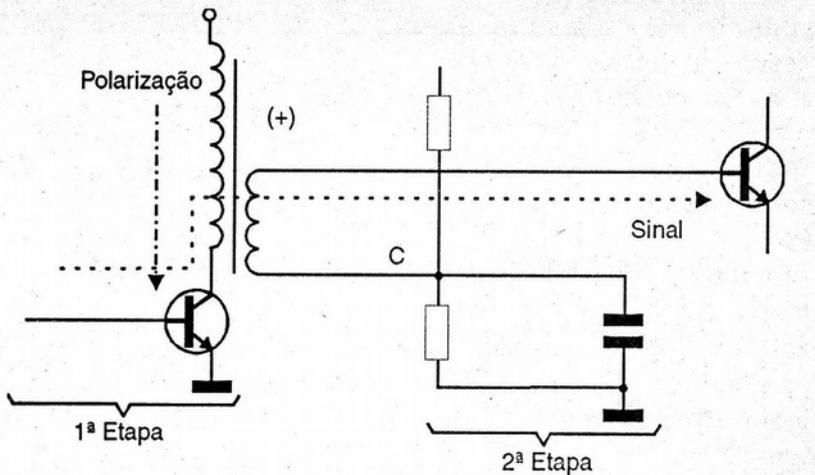


Figura 8 – Acoplamento por transformador

O transformador, além de isolar o componente de polarização (que é uma corrente contínua) entre as duas etapas, pois ela não passa neste componente, pode ser dimensionado de modo que cada enrolamento tenha a impedância ideal. Assim, o enrolamento primário terá a impedância da etapa que fornece o sinal e o enrolamento secundário terá a impedância da etapa que recebe o sinal.

O rendimento na transferência de um sinal usando este processo pode chegar a 90%, o que é muito bom se desejarmos obter o máximo de um circuito.

No entanto, ao lado das vantagens de uma transferência quase total do sinal, temos as desvantagens:

A desvantagem principal é a que ocorre em circuitos de áudio, ou seja, em baixas frequências. Neste caso, o transformador de acoplamento é caro, volumoso e ocupa bastante espaço no aparelho.

Para uma transferência de sinal de uma etapa impulsora (driver) para uma etapa de saída de um amplificador de alta potência, pode ser necessário usar um transformador que pesa vários quilos, figura 9.

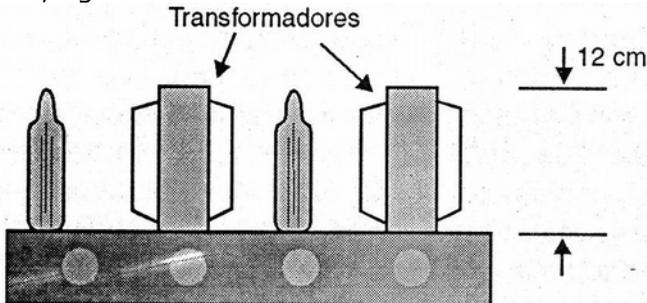


Figura 9 – Transformadores ultra-lineares de um amplificador

Nos amplificadores valvulados antigos, eram utilizados transformadores ultra lineares enormes, caros e muito pesados, pois eram construídos com técnicas especiais que permitiam a transferência dos sinais sem distorções.

Em alguns rádios transistorizados ainda encontramos transformadores drivers de pequenas dimensões, mas por serem

caros e de difícil fabricação estão desaparecendo do mercado, não sendo fácil encontrá-los até mesmo para reposição.

Nos circuitos de altas frequências, entretanto, o transformador é a melhor solução para o acoplamento: os transformadores usam poucas espiras de fio e às vezes nem necessitam de núcleos, figura 10.

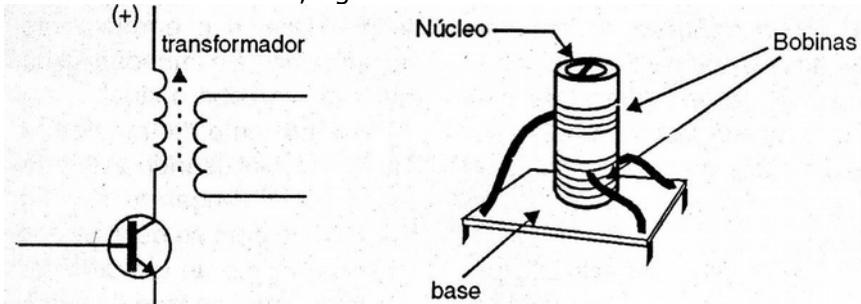


Figura 10 – Os transformadores de RF

### Acoplamento Direto

Em alguns casos podemos aproveitar a mesma polarização para duas etapas amplificadoras, quando se torna possível fazer o acoplamento direto, conforme mostra a figura 11.

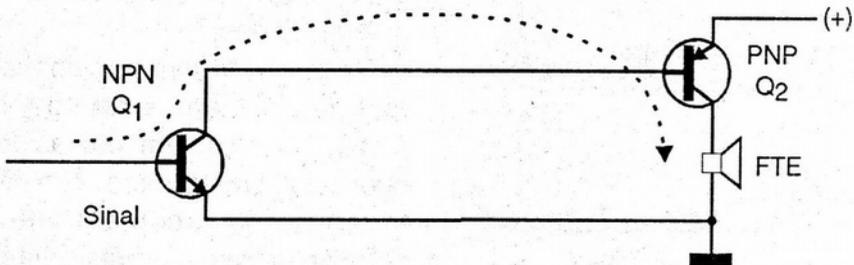


Figura 11 – Acoplamento direto

Nesta figura 11 temos um típico acoplamento direto que é possível com maior facilidade pelo fato de existirem transistores complementares. Com as válvulas, esta configuração não é possível da forma indicada, pois não existem válvulas NPN e PNP. Todas conduzem a corrente no mesmo sentido.

Na figura 12 temos uma outra forma de acoplamento direto entre transistores que permite uma grande multiplicação de ganho. Esta configuração é denominada "Darlington" e tem sido bastante usada em nossos projetos, graças ,as suas excelentes características.

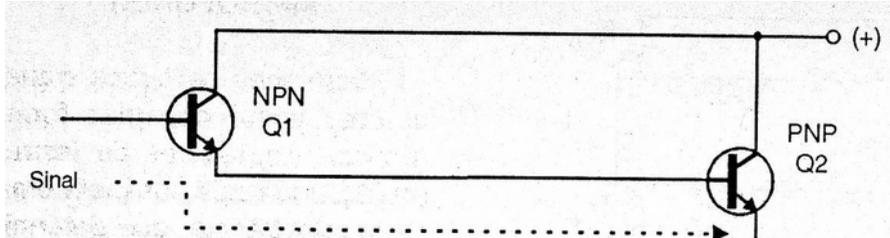


Figura 12 – Configuração ou acoplamento Darlington

Por exemplo, se ligarmos numa etapa Darlington, dois transistores de ganho 50 o resultado é um ganho final de 2 500 (50 vezes 50).

Esta etapa também permite multiplicar a impedância de entrada de um circuito amplificador. Se, conforme observamos na figura 13, ligarmos na sua saída de emissor (coletor comum), um resistor de 1 K ohms como carga e os transistores forem os mesmos de ganho 50 do exemplo anterior, a impedância da entrada ficará multiplicada por 2 500.

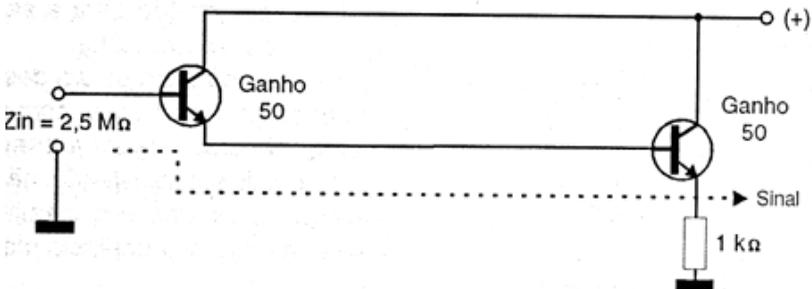


Figura 13 – Multiplicação da impedância.

O resultado é que a impedância de entrada será 1 000 ohms da saída, multiplicado por 2 500, ou seja, teremos 2 500

000 ohms de impedância de entrada neste circuito. Evidentemente, esta etapa tem suas desvantagens também:

Uma delas é o fato do equilíbrio da polarização entre os componentes ser algo crítico. A polarização do segundo transistor depende da polarização do primeiro. Assim, se algo acontecer num circuito, os dois transistores ou as duas etapas deixam de funcionar, algumas vezes com sérias conseqüências!

Num tipo de acoplamento direto, como o mostrado na figura 14 denominado simetria complementar, o desequilíbrio do transistor excitador pode facilmente levar os transistores de saída a queima, pela circulação de correntes excessivas, figura 14.

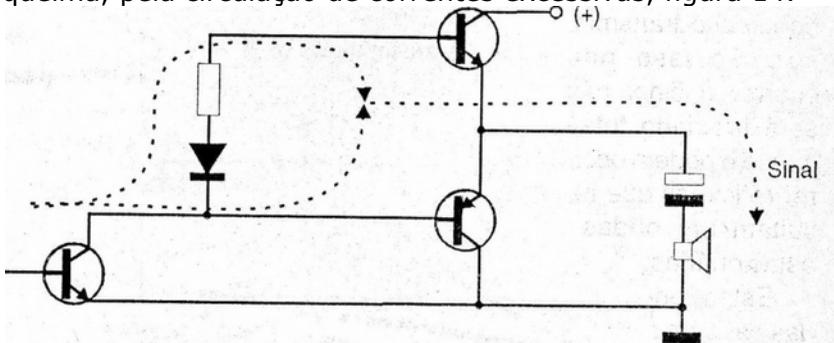


Figura 14 – Acoplamento em simetria complementar

Outra desvantagem deste tipo de acoplamento está no fato de que se torna difícil aproveitar todo o ganho dos transistores usados.

O sinal passa, mas nem sempre os transistores podem trabalhar perfeitamente com estes sinais e o rendimento tende a ser baixo.

## ***Acoplamento entre Aparelhos ou Dispositivos Externos***

O leitor já deve ter percebido como é importante observar cuidadosamente as características dos circuitos antes de ligarmos uns aos outros. Isso também é válido quando trabalhamos externamente a um circuito, ou seja, ligando aparelhos uns aos

outros ou mesmo dispositivos de entrada e de saída tais como alto-falantes, fones, microfones, etc.

Se as regras do acoplamento perfeito não forem obedecidas diversos problemas podem ocorrer. A seguir, vamos analisar alguns casos importantes:

## Alto-Falante

Os alto-falantes e fones são dispositivos de baixas impedâncias, portanto sua conexão deve ser feita a saídas de circuitos de baixas impedâncias.

Para os amplificadores, os alto-falantes ou fontes podem ter impedâncias maiores do que a saída, se bem que a potência fique reduzida, isso não causa sobrecargas. No entanto, se a impedância for menor, haverá sobrecarga com o perigo de danos para o amplificador, veja a figura 15.

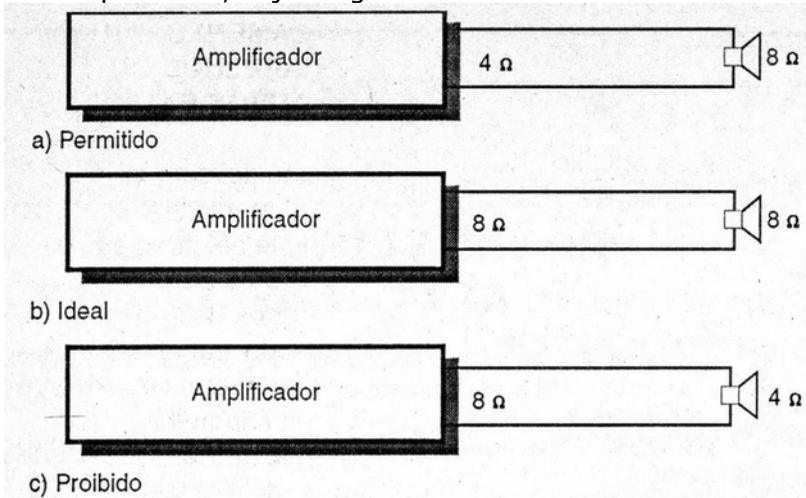


Figura 14 – Ligação de amplificadores aos alto-falantes

Podemos ligar um alto-falante de 8 ohms numa saída de 4 ohms, mas não um de 4 ohms numa de 8 ohms. Veja na figura 16 que, ligando em série os alto-falantes, suas impedâncias são somadas e se forem ligados em paralelo, a impedância fica reduzida.

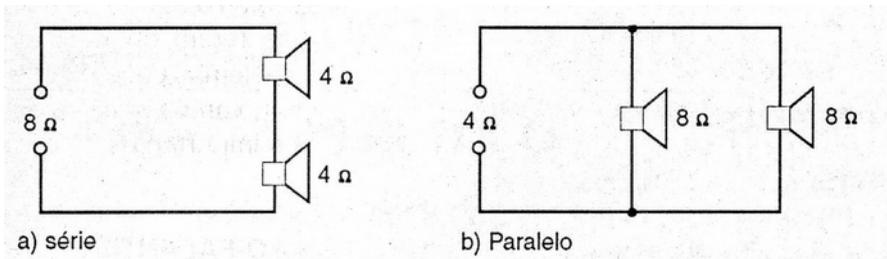


Figura 15 – A ligação dos alto-falantes

## Antenas

As antenas transmissoras possuem certa impedância que deve casar com a impedância de saída do circuito transmissor. Se isso não ocorrer o sinal não será irradiado totalmente e podem ocorrer reflexões que resultam em ondas estacionárias.

Estas ondas causam um "retorno" da energia que deve ser irradiada e acaba por se transformar em calor nos componentes de saída do circuito.

Os transistores de saída podem então sofrer uma sobrecarga com perigo de queima se isso acontecer.

## Microfones

Microfones e outros transdutores como cápsulas fonográficas, captadores de instrumentos musicais possuem certa impedância que determina a quantidade de energia e a maneira como essa energia pode ser transferida para a entrada de um amplificador.

Se a impedância de um desses dispositivos não casar com a entrada do amplificador a energia não pode ser transferida, não havendo excitação e o circuito não alcançará sua potência máxima.

---

## **Os outros mais de 160 livros de Eletrônica e Tecnologia do INCB**

---

Para você conhecer os outros livros sobre eletrônica do Instituto Newton C. Braga.

Acesse :

<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/livros-tecnicos>

Ou fotografe o QR abaixo:

