

Como Projetar, Construir e Entender uma Fonte Linear Ajustável

• Tensão Alternada	3
Diagrama de Blocos de uma Fonte Linear	5
Funcionamento dos Blocos	5
Diagrama Esquemático de uma Fonte Linear	7
Função e Funcionamento dos Componentes	8
• Como Funciona uma fonte	11
Explicações dos Principais Componentes	11
• O Regulador LM 317	16
• Transistores Bipolares	20
Polarizações e Configurações Básicas	21
• Como Calcular os Componentes	24
Escolha do Trafo, Fusível F_1 e Chave L/D	25
Escolha dos Diodos	26
Cálculo do Capacitor C_1	27
Cálculo de T	27
Cálculo de V	28
Cálculo de R	32
Cálculo de C_2 e C_3	32
Cálculo de $D5$	33
Cálculo do Estágio Final - Tr_1 , Tr_2 , R_2 e R_3	33
Cálculo da Proteção	35
• Análise da Fonte	35
Simulação e Análise de 2 Defeitos	35
• Apêndice A - Cálculo do Capacitor C	36
• Apêndice B - Retificação Meia Onda e Onda Completa ..	37
• Apêndice C – Escolha do Dissipador	38
• Pontes Retificadoras	39
Dissipadores 208 - Brasele	43

TENSÃO ALTERNADA

A tensão elétrica presente em nossa rede elétrica (*tomadas, soquetes de lâmpadas etc.*) é alternada, isto quer dizer que a sua polaridade se alterna durante o tempo.

A forma de onda da tensão alternada é a de uma senóide, veja a figura a seguir:

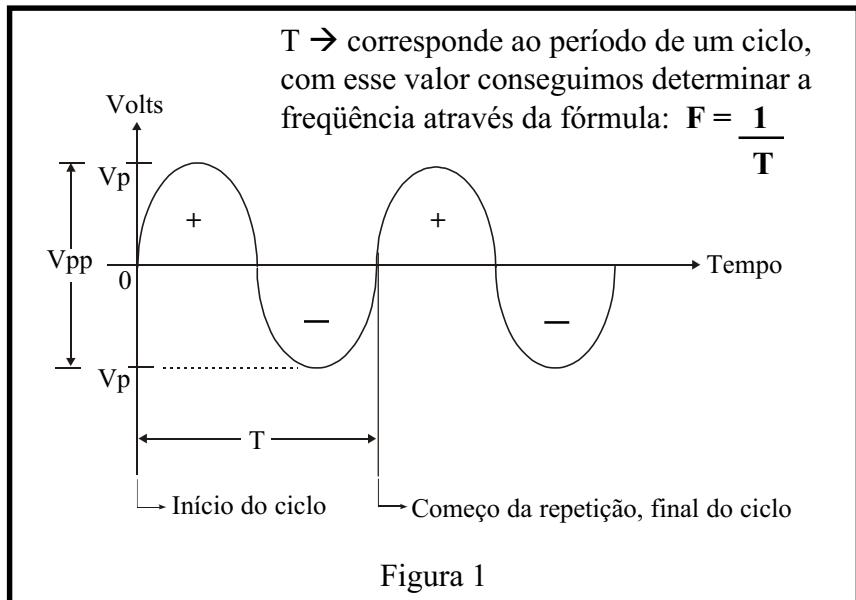


Figura 1

Para definir um ciclo, basta determinarmos onde ele começa a se repetir.

A máxima tensão que a senóide alcança é chamada de tensão de pico (**V_p**), e o máximo valor entre os picos (*positivos e negativos*) será chamado de tensão pico a pico (**V_{pp}**).

Se olharmos uma tomada monofásica, encontraremos o seguinte:

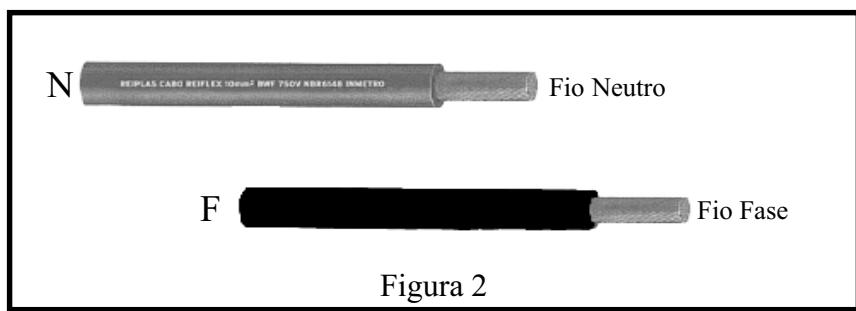


Figura 2

A tensão alternada estará presente no fio fase, é nele que teremos a senóide.

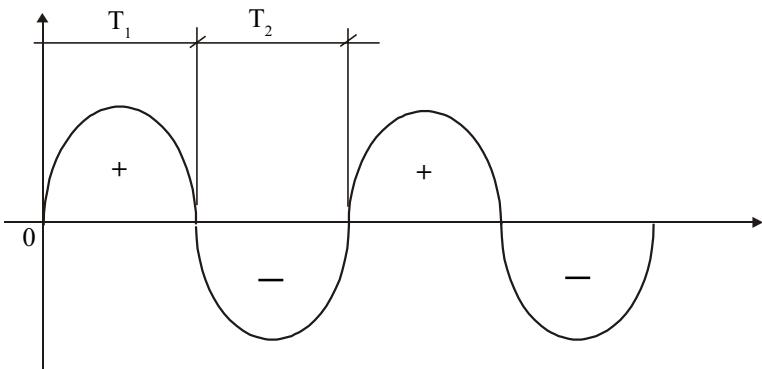


Figura 3

No período T_1 o fio fase (**F**) será positivo em relação ao neutro, no período T_2 o fio fase será negativo em relação ao fio neutro (**N**).

Cada período corresponde a um semiciclo, então:

$T_1 = 1$ semiciclo ou meio ciclo

$T_2 = 1$ semiciclo ou meio ciclo

A soma dos dois corresponde a um período completo, chamado de **T**.

A freqüência da rede elétrica no Brasil é de **60 Hertz**, ou **60 Hz**, isto corresponde que teremos **60 ciclos em 1 segundo**.

Quando falamos que a tensão em uma tomada é de **127 Volts** ou a tensão no secundário de um trafo é de **15 Volts**, estamos nos referindo ao seu valor eficaz. Para encontrarmos o seu valor de pico, precisamos dividi-lo por **0,707**.

$$V_p = \frac{V_{eficaz}}{0,707}$$

O valor eficaz é chamado de *rms*, portanto:

Veficaz = Vrms

Exemplos:

$$V_p = \frac{127}{0,707} \cong 179V$$

$$V_p = \frac{15}{0,707} \cong 21,2V$$

O valor pico a pico é igual a $2V_p$, por exemplo:

$$V_{pp} = 2V_p = 2 \times 179 = 358 V_{pp}$$

Diagrama de blocos de uma fonte Linear

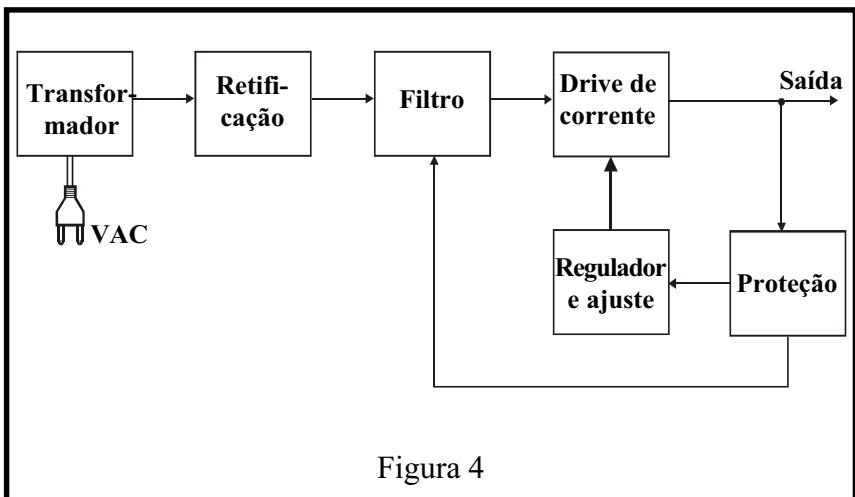


Figura 4

Funcionamento dos blocos

Transformador:

É o componente responsável para baixar a tensão da rede até um valor próximo ao valor máximo da tensão de saída da fonte. Ele funciona através do efeito da indução eletromagnética, e a tensão em sua saída ou enrolamento secundário dependerá da relação de espiras entre o enrolamento primário e secundário.

Retificação:

É o estágio responsável por transformar a tensão alternada em contínua. Seu componente principal é o diodo.

Filtro:

Elimina as variações no valor da tensão retificada pelos diodos. Os componentes principais desse bloco são os capacitores eletrolíticos.

Drive de corrente:

É o estágio responsável pelo fornecimento de corrente e tensões corretas na saída da fonte. Normalmente esse estágio regula a tensão, e a corrente é difundida pela carga. Seus componentes principais são os transistores de potência.

Regulador e ajuste:

É o estágio que regula a tensão de saída, pode ser formado por diversos componentes. Hoje em dia normalmente um **CI** (*circuito integrado*) faz essa função.

Proteção:

Limita a máxima tensão de saída e a máxima corrente, protegendo assim, tanto a fonte quanto a carga. Seus componentes principais podem ir desde um fusível até um **SCRs** e amplificadores operacionais.

Diagrama Esquemático de uma Fonte Linear

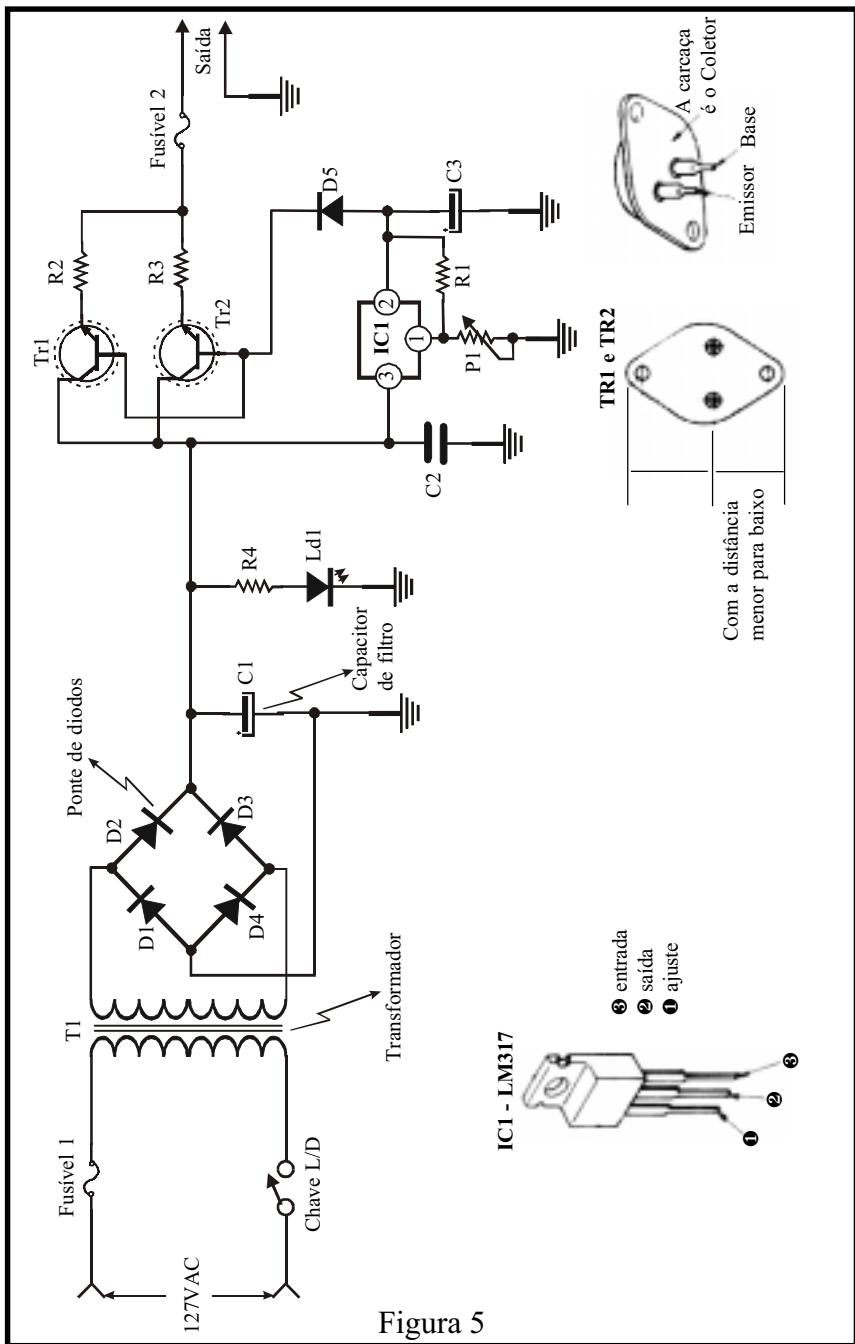


Figura 5

Função e Funcionamento dos Componentes

Fusível 1:

Um fusível é um elemento usado para proteção, ele deve ser dimensionado para suportar certa corrente. Caso passe por ele uma corrente maior do que a especificada, ele abrirá interrompendo o fluxo de corrente.

Chave L/D:

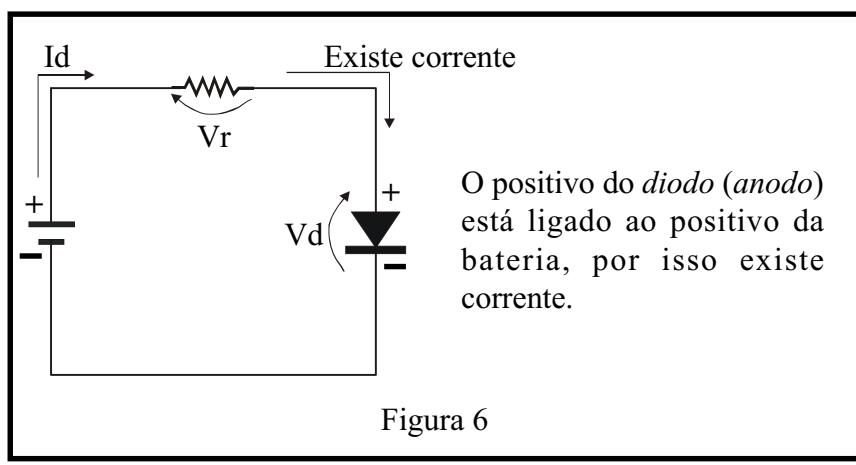
Normalmente é uma chave de **1 polo x 2 posições**, usada para ligar e desligar a fonte.

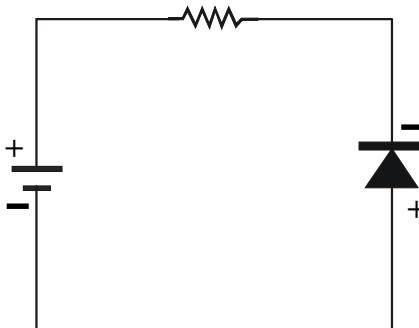
T₁:

É o *trafo* responsável para baixar a tensão para um valor desejado. Ele também deve ser capaz de fornecer a corrente de saída da fonte.

Diodos D₁ a D₄:

São os responsáveis pela transformação da tensão alternada em tensão contínua pulsante. Seu funcionamento básico consiste no seguinte: o diodo só conduz quando estiver diretamente polarizado.





Não existe corrente, pois o diodo está reversamente polarizado, ou seja, o positivo da bateria está ligado ao *negativo (catodo)* do diodo.

Figura 7

Capacitor C_1 :

Transforma a corrente contínua pulsante em corrente contínua. Caso o seu valor seja mal dimensionado, a fonte terá *ripple* e ouviremos um *zumbido* em equipamentos de áudio, ligados a ela (*um ronco grave*).

Resistor R_4 :

Este resistor é dimensionado para limitar a corrente de *Led*.

Ld_1 :

É um *Led* que indica, através da emissão da luz, que a fonte está ligada.

C_2 :

Capacitor definido pelo fabricante do \mathbf{IC}_1 para evitar oscilações deste \mathbf{IC} .

\mathbf{IC}_1 :

Circuito integrado regulador que irá definir a tensão na saída da fonte.

P₁:

Ajuste da tensão de saída, pode ser um *trimpot* ou um *potenciômetro*.

R₁:

Resistor que com o P₁ define a tensão e a saída da fonte.

C₃:

Capacitor indicado pelo fabricante do IC₁, para um melhor funcionamento do mesmo. Também auxilia na eliminação de *ripple* ou flutuações da tensão na saída da fonte.

D₅:

Díodo de proteção, caso o Tr₁ ou Tr₂ entre em curto, o IC₁ ficará protegido.

Tr₁ e Tr₂:

São transistores bipolares responsáveis pela regulação da tensão e funcionamento da corrente da fonte.

R₂ e R₃:

Resistores responsáveis pelo equilíbrio da corrente entre os transistores.

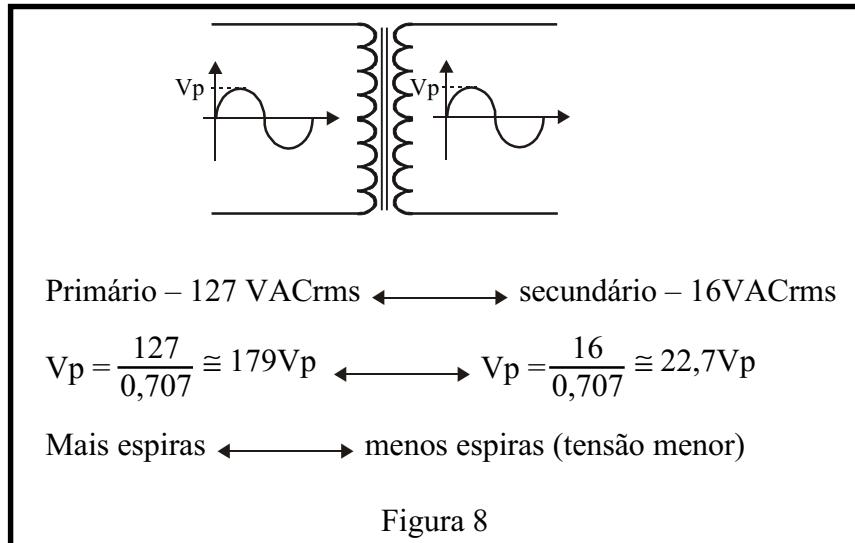
Fusível 2:

Proteção de saída da fonte. Deve ter um valor de acordo com o valor máximo de saída da fonte.

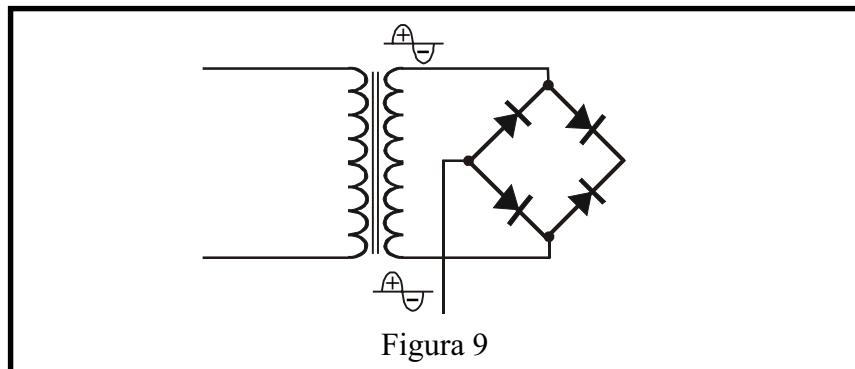
COMO FUNCIONA UMA FONTE

Explicações dos principais componentes

O trafo T_1 irá baixar a tensão da entrada para um valor desejado. É importante lembrar que na saída do *trafo*, ainda teremos tensão alternada.



Os diodos irão funcionar da seguinte maneira, veja as **Figuras 9** e **10**:



Quando um lado do enrolamento do *trafo* estiver positivo, o outro lado estará negativo, veja a página seguinte:

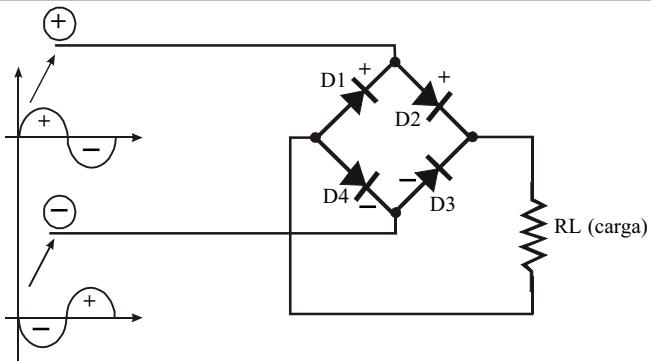
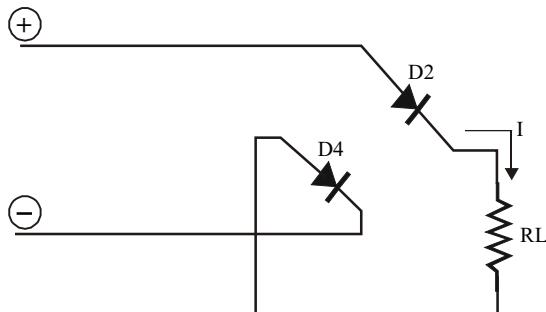


Figura 10

Podemos perceber que D_2 e D_4 estarão diretamente polarizados [(+) com anodo e (-) com catodo respectivamente], a corrente circulará assim:



Poderíamos desenhar assim:

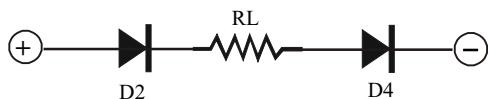


Figura 11

No outro semiciclo, a tensão se inverte na saída da saída do trafo:

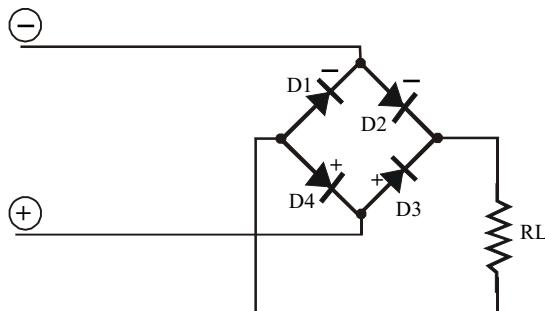
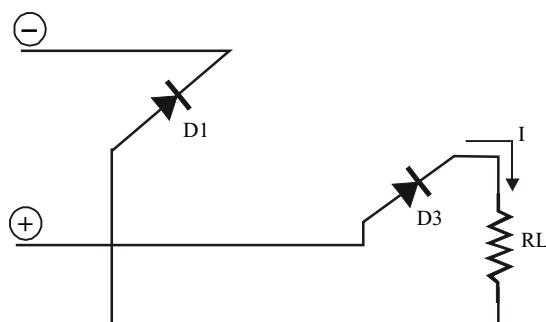


Figura 12

Nestas condições D_1 e D_3 estão polarizados diretamente e a corrente circulará assim:



Poderíamos desenhar assim:

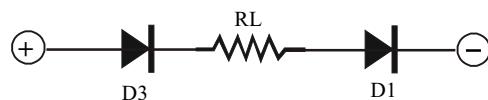


Figura 13

A tensão sobre a carga **RL** seria assim:

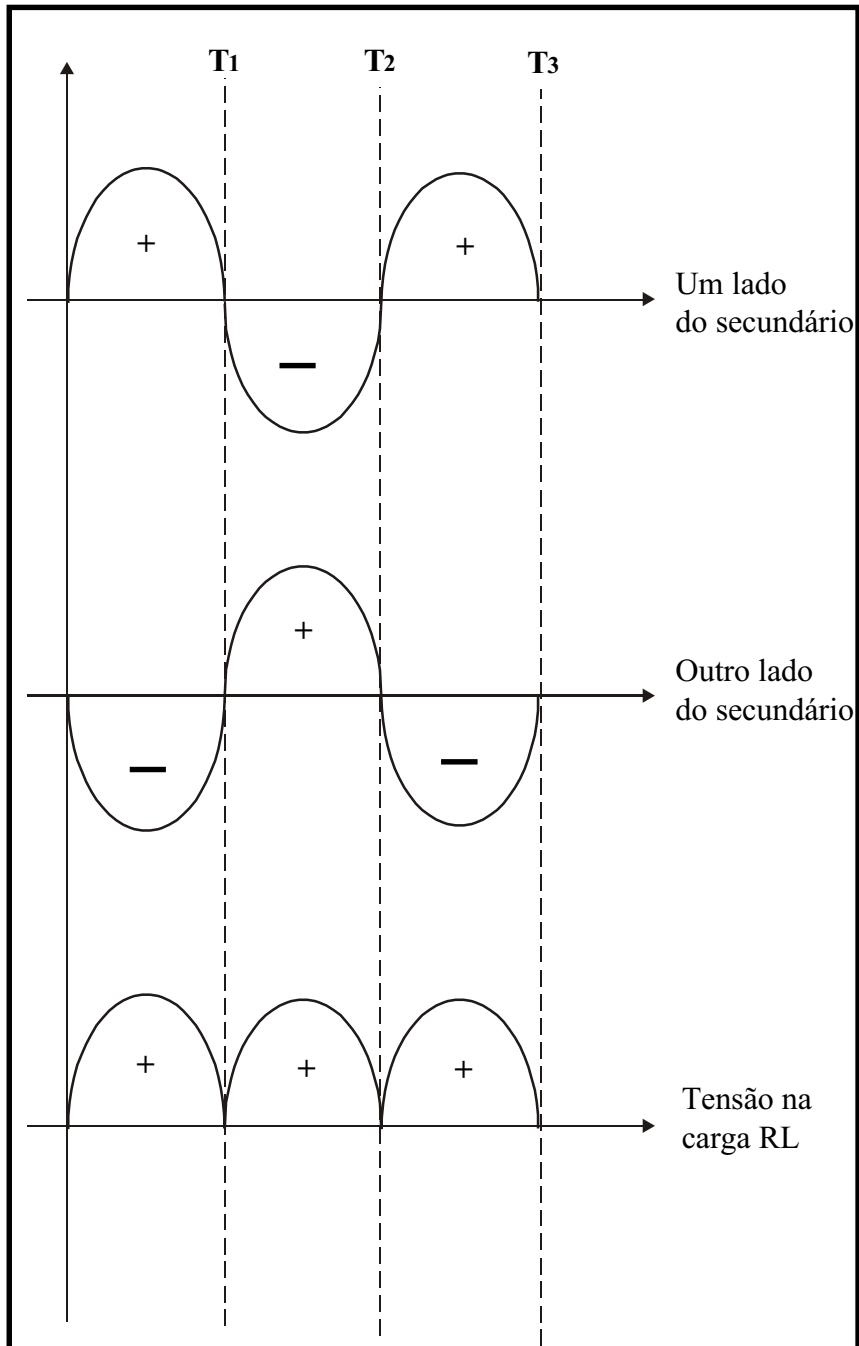


Figura 14

Caso substituirmos **RL** pelo *capacitor C₁*, ela irá se carregar com o valor de pico veja:

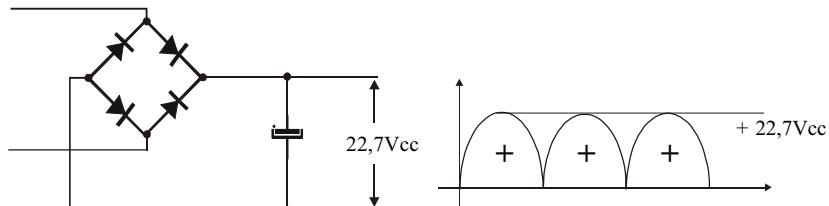


Figura 15

Se colocarmos uma carga em paralelo com o capacitor, ocorrerá o seguinte:

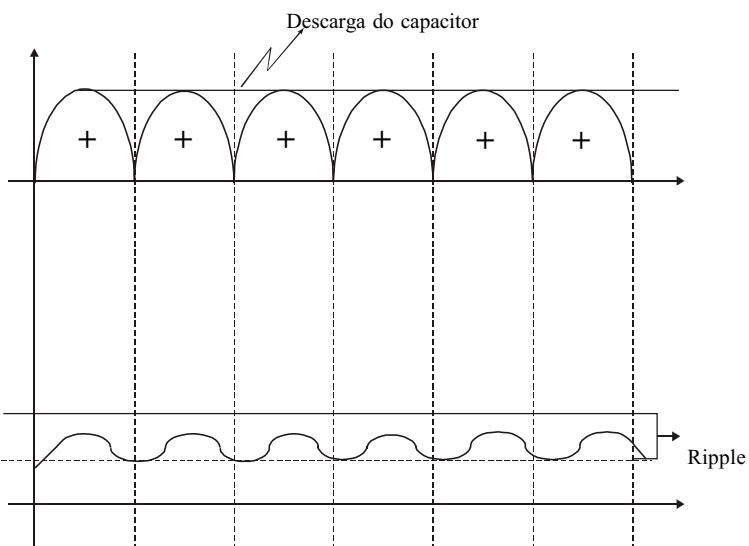
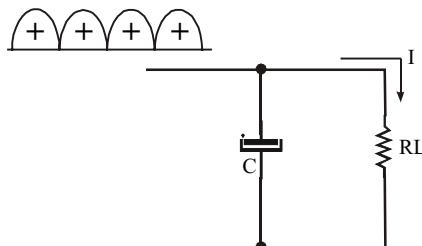


Figura 16

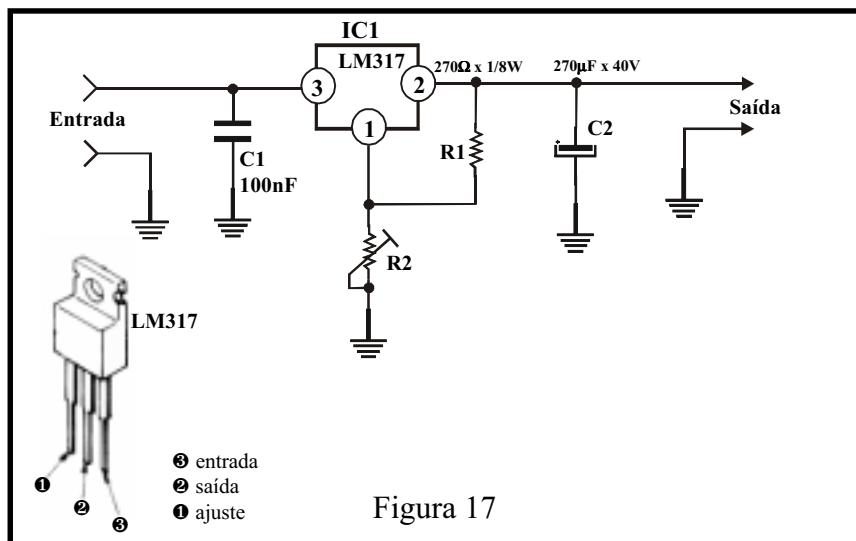
O capacitor se descarregará de acordo com o valor da *corrente I* consumida pela carga. A essa ondulação resultante da carga e descarga do capacitor damos o nome de *ripple*, e se ligarmos um equipamento de áudio nessa fonte, escutaremos um ronco com o áudio. Para sanar esse problema, podemos aumentar o valor do capacitor ou estabilizar a tensão.

Normalmente quanto maior o valor do capacitor, menor o *ripple*. Também é importante usar capacitores com tensão de isolação maior do que V_p .

Regulador LM 317

A regulagem dessa fonte é feita por um **CI de 3 terminais**, o **LM 317**. Com apenas alguns pequenos cálculos poderemos polarizá-lo corretamente.

O fabricante exemplifica algumas montagens ou ligações, vamos ver uma que servirá para uso na nossa fonte.



C_1 e C_2 , são indicados pelo fabricante para evitarem oscilações e um melhor funcionamento do **IC₁**.

R_1 deve ser sempre um resistor de **270 Ω x 1/8W**.

R_2 deve ser calculado para a tensão de saída desejada. Se a tensão de saída for fixa, esse *trimpot* (P_1) pode ser substituído por um resistor fixo.

A tensão da saída pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$V_{\text{saída}} = 1,25 \left(\frac{1 + R_2}{R_1} \right)$$

Como normalmente a tensão de saída é um valor que definimos, o melhor é calcular R_2 , portanto:

$$R_2 = R_1 \times \left(\frac{V_{\text{saída}} - 1,25}{1,25} \right)$$

Exemplos:

Calcule R_2 para uma tensão de saída de 5V:

$$R_2 = R_1 \times \left(\frac{V_{\text{saída}} - 1,25}{1,25} \right)$$

$$R_2 = 270 \times \left(\frac{5 - 1,25}{1,25} \right)$$

$$R_2 = 270 \times \left(\frac{3,75}{1,25} \right)$$

$$R_2 = 270 \times 3$$

$$R_2 = 810 \Omega$$

O circuito ficaria assim:

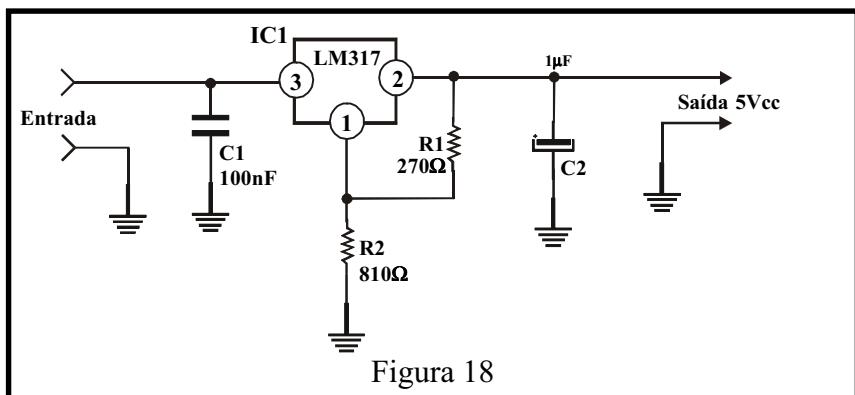
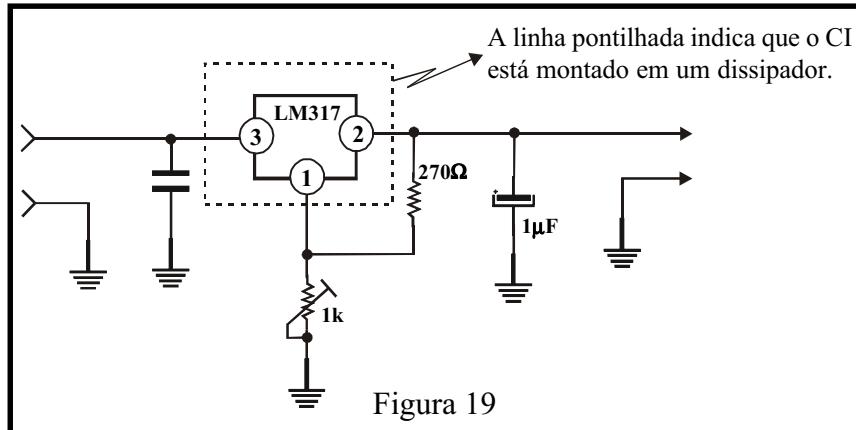


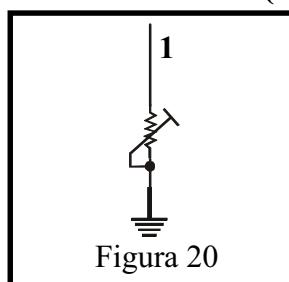
Figura 18

Mas como é difícil encontrar um resistor de **810Ω**, podemos substituí-lo por um *trimpot* de **1k**.



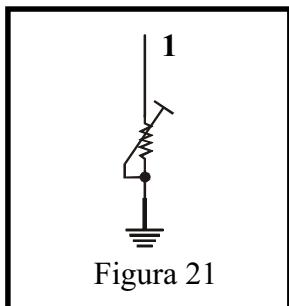
Com esse circuito conseguiremos regular a tensão no *trimpot* para termos **5 Volts** na saída. Quando o *trimpot* estiver com o seu cursor no terra, a resistência entre o pino 1 e o terra será a *máxima* (**1k**), e teremos na saída a tensão de:

$$V_{\text{saída}} = 1,25 \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$



$$V_{\text{saída}} = 1,25 (1 + 3,07) - V_{\text{saída}} = 1,25 \times 4,07 = 5,87V$$

Com o cursor ligando o pino 1 diretamente ao terra teremos **1,25V** na saída:



A máxima tensão de saída tem de ser de **3 Volts**, menor do que a tensão de entrada, para que esse **CI** funcione corretamente. A máxima corrente de saída é de **1A**, e para isto devemos usar um bom dissipador de calor junto ao **CI**. Para correntes maiores, devemos usar transistores como drives de correntes, que é o próximo estágio a ser estudado. O **CI LM 317**, como todo componente eletrônico, tem algumas limitações técnicas, vamos agora ver as máximas condições em que ele pode trabalhar.

$I_s = \text{corrente máxima de saída} = 1 \text{ A}$ \triangle

$V_e = \text{tensão máxima de entrada} = 40\text{V}^*$

$V_{s_{\max}} = \text{tensão máxima de saída} = 37\text{V}^*$

$V_{s_{\min}} = \text{tensão mínima de saída} = 1,25\text{V}$

$V_{es_{\min}} = \text{tensão mínima entre a entrada e a saída} = 3\text{V}^*o$

$V_{e_{\min}} = \text{tensão mínima de entrada} = 4,5\text{V}$

\triangle – acima de 0,3A ou 300mA, usar dissipador de calor

***-** na realidade, o que importa é a máxima tensão entre a entrada e a saída, se tiverem na entrada 70V e na saída 50V a diferença será de 20V e em determinados casos, tudo bem.

***o-** com uma tensão entre a entrada e a saída, menor do que 3 Volts, o regulador não conseguirá estabilizar a tensão de saída.

TRANSISTOR BIPOLAR

Um *transistor bipolar* recebe esse nome devido ao fato de ser construído com semicondutores com duas polaridades diferentes. Teremos então um material semicondutor com polaridade **P** (*positiva*) e um material semicondutor com polaridade **N** (*negativa*). Para conseguirmos essas polaridades, devemos “dopar” ou misturar outros materiais como, o material semicondutor.

Temos dois tipos básicos ou duas construções básicas de transistores bipolares. Temos os *transistores PNP* e **NPN**. As figuras a seguir darão uma noção melhor sobre isto:

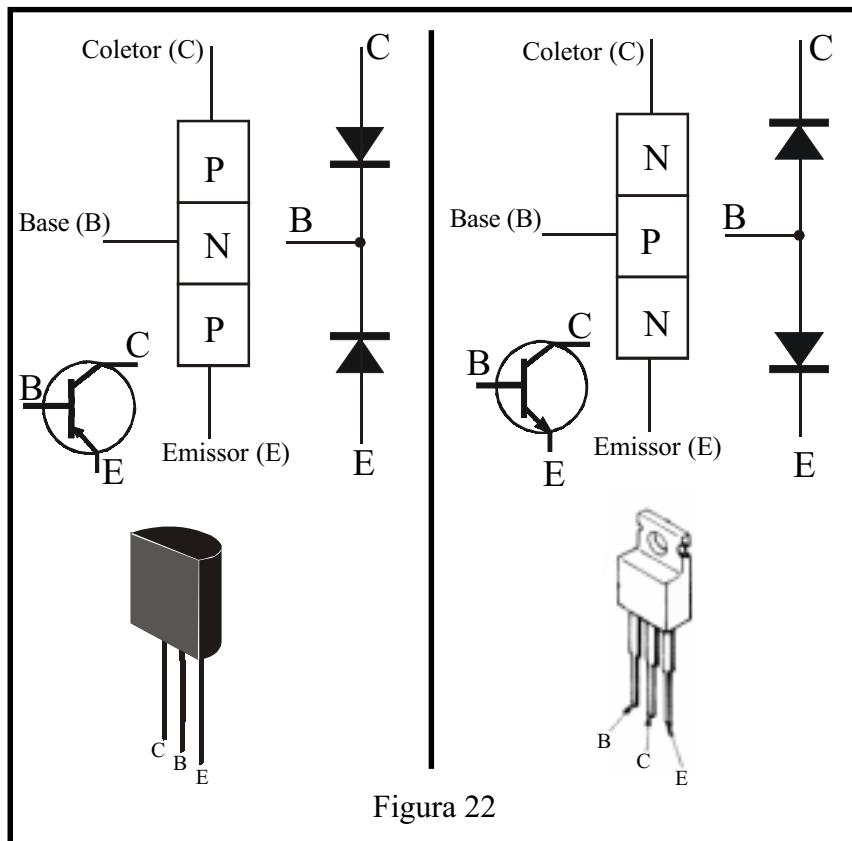


Figura 22

Teremos em um transistor um fluxo de corrente entre coletor e emissor. Esse fluxo poderá ser comandado através da corrente que aplicarmos em sua base. A grande maioria de circuitos eletrônicos usa *transistores NPN*, mas o que significa **NPN** ou **PNP** na prática?

Significa que um **transistor NPN** tem os seus terminais no coletor e emissor ligados a um semicondutor negativo e a base a um semicondutor positivo.

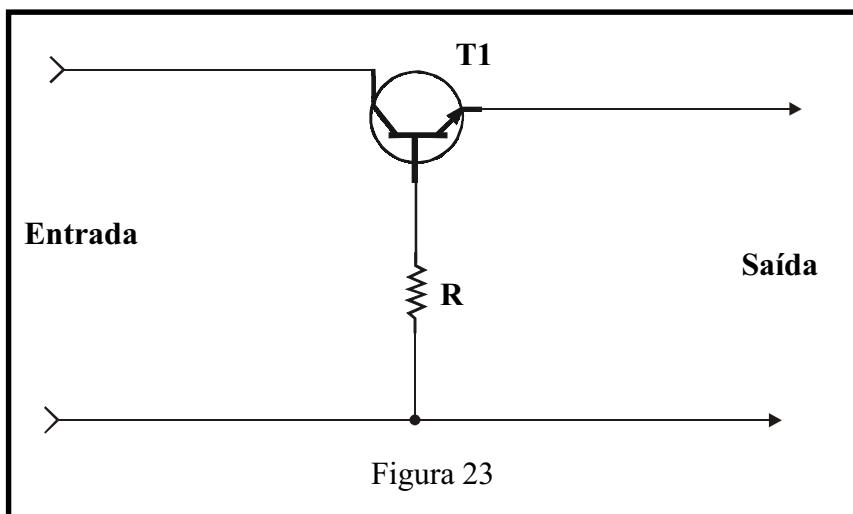
Um **transistor PNP** terá o coletor e os emissores ligados a um semicondutor positivo e a base ligada a um semicondutor negativo.

Polarizações e Configurações Básicas

Polarização:

Entendemos o ato de ligarmos um transistor com as tensões necessárias para que ele funcione corretamente. Existem algumas configurações básicas de montagem, tanto para **transistores NPN** quanto para **PNP**, que exemplificam como ligá-los. É importante que um transistor sempre trabalhe com outros componentes e que na grande maioria das vezes, deve ser polarizado com tensão contínua.

Nesta literatura técnica, estaremos explicando o uso de transistores como amplificadores ou drives de corrente, normalmente eles são montados em uma configuração chamada de base comum, pois a base está tanto ligada à entrada quanto está ligada à saída, ou seja, ela é comum à entrada e à saída. Algo similar à figura seguinte:



Para entendermos como um transistor se comporta polarizando, precisamos conhecer algumas equações matemáticas que envolvem as tensões e correntes em um transistor. Para tanto, vamos usar um **transistor NPN**:

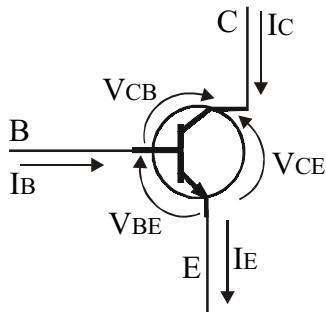


Figura 24

Vemos na **Figura 24** a posição do coletor, emissor e base, as setas curvadas indicam a distribuição da tensão (*a ponta da seta indica o ponto de maior potencial*), e as setas retas indicam a direção da corrente.

$$V_{CE} = \text{tensão entre coletor e emissor}$$

$$V_{BE} = \text{tensão entre base e emissor (0,7V para transistores de silício
e 0,3V para transistores de germânio).}$$

$$V_{CB} = \text{tensão entre coletor e base}$$

A relação entre essas tensões demonstra que:

$$V_{CE} = V_{BE} + V_{CB}$$

Ou seja, em um transistor polarizado corretamente (*na grande maioria das vezes*), a tensão entre coletor e emissor será a soma da tensão entre base e emissor e da tensão entre coletor e base.

Podemos perceber na **Figura 24** também que as relações entre as correntes nos transistores são as seguintes:

$$\boxed{I_E = I_C + I_B}$$

Ou seja, a corrente de *emissor* (**I_E**), será igual à corrente de *coletor* (**I_C**) mais a corrente da *base* (**I_B**). Outra relação importante entre as correntes em um transistor é o seu ganho, indicado por **β (beta)** ou **H_{FE}**.

$$\boxed{I_B = \frac{I_C}{\beta}}$$

Vamos supor que um transistor com um ganho de **100** e no qual circula uma **I_C** de **100mA**, qual será a corrente de base e a corrente de emissor?

$$I_B = \frac{0,1 \text{ A}}{100} = 0,001 \text{ A} = 1 \text{ mA}$$

$$I_E = I_C + I_B \Rightarrow I_E = 0,1 \text{ A} + 0,001 \text{ A} = 0,101 \text{ A} = 101 \text{ mA}$$

Podemos, na prática, dizer que **I_E** é igual a **I_C**, sempre que o ganho (**β**) for maior do que **100**.

O ganho de um transistor irá depender de outros fatores além de sua construção interna. Por exemplo, da temperatura em que ele trabalha da máxima freqüência que ele amplifica e de como está polarizado.

COMO CALCULAR OS COMPONENTES

Os cálculos serão dados aqui de forma rápida, só usaremos o mínimo de conceitos teóricos quando necessário. A finalidade é fornecer conhecimentos sólidos e rápidos de modo que você consiga calcular uma fonte eficiente. Sempre que citarmos alguma coisa ou características ainda não conhecida ou explicada, haverá uma pequena explanação sobre o assunto. Com os circuitos a seguir vamos aos cálculos.

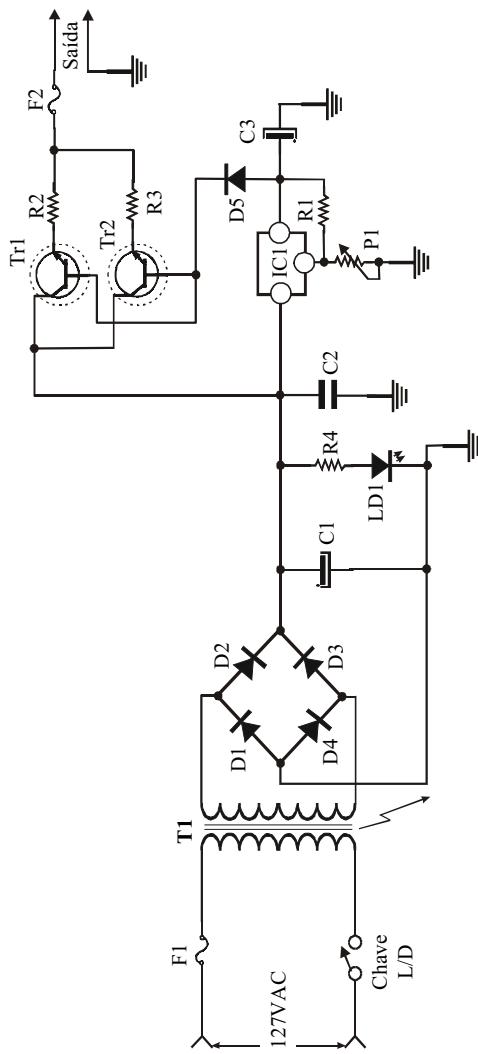


Figura 25

Calcule os componentes da fonte citada anteriormente para uma tensão de saída de **13,8 Volts** e **5A** de corrente de saída.

Podemos começar a calcular nossa fonte a partir da escolha do *trafo*, ele deve atender as características da saída da fonte.

Sua tensão do secundário, valor eficaz, deve ser maior do que a tensão de saída da fonte e sua capacidade de fornecer corrente deve ser, no mínimo igual à corrente de saída da fonte. É interessante que a tensão no secundário do *trafo* não caia mais do que **2 Volts** ao se “puxar” a corrente máxima desejada. Um *trafo* desses pode operar com temperatura até **60°C** ou **80°C**. Portanto, não se assuste caso ele esquente.

Escolha do Trafo, Fusível F₁ e Chave L/D

Trafo 15V x 5A – 127 VAC

Cálculo da potência do secundário:

$$Ps = Vs \times Is \quad \Rightarrow$$

Sabemos que a potência é o produto da tensão pela corrente

$$Ps = 15 \times 5$$

$$P = V \times I \qquad \text{ou da} \quad P = \frac{V^2}{R}$$

$$Ps = 75W$$

$$\text{ou da: } P = R \times I^2$$

Mas para que calcular a potência no secundário do *trafo*?

– Para podermos calcular o valor de F₁ e as características da *chave L/D*.

“Teoricamente”, a potência no primário de um *trafo* é próxima à potência no secundário. Para dimensionarmos F₁, precisamos saber a corrente de entrada, se:

$$Ps = Pp \quad \text{onde: } Ps = \text{potência no secundário}$$
$$Pp = \text{potência no primário}$$

Temos:

$$P_p = 75W$$

$$P_p = V_p \times I_p$$

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} = \frac{75}{127} = 0,59 \text{ A}$$

Na prática adotaremos um valor imediatamente superior e comercial.

– Fusível $F_1 = 1 \text{ A}$

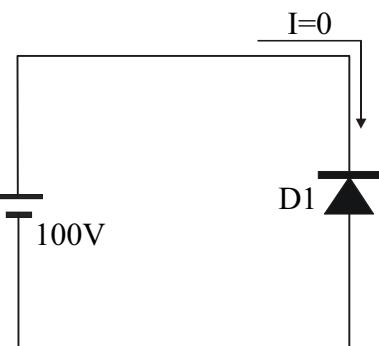
Com esses dados devemos escolher uma *chave L/D* que, quando ligada a **127V** suporte com folga (*uma corrente 5 vezes maior*), uma corrente de **1A**.

– Chave L/D – 127V x 10 A

Escolha dos Diodos

Independente de usarmos **4 diodos** separados, ou uma ponte de diodos, as mesmas deverão suportar uma corrente superior a **5A** e uma tensão reversa superior à tensão de *pico* (**VP**).

Tensão reversa é a tensão em que um diodo suporta quando polarizado reversamente, exemplo:



Esse diodo está polarizado reversamente, não conduz corrente, e sua tensão reversa deve ser maior do que **100V**, caso contrário ele poderá abrir, ou como ocorre geralmente, entrar em curto.

Figura 26

- Vamos usar a ponte retificadora **SKB 30/02 S1** que suporta uma corrente de **30A** e uma tensão reversa repetitiva de **200V**.
- Tensão reversa ou inversa repetitiva de pico é a tensão aplicada sobre o diodo pelos semiciclos da senóide.

Cálculo do Capacitor C

Para calcularmos esse capacitor, iremos utilizar uma equação que será explicada com mais detalhes em um apêndice desta literatura. A equação é a seguinte:

$$C = \frac{T \times I}{0,7 \times V}$$

em que:

C = valor do capacitor em Farads

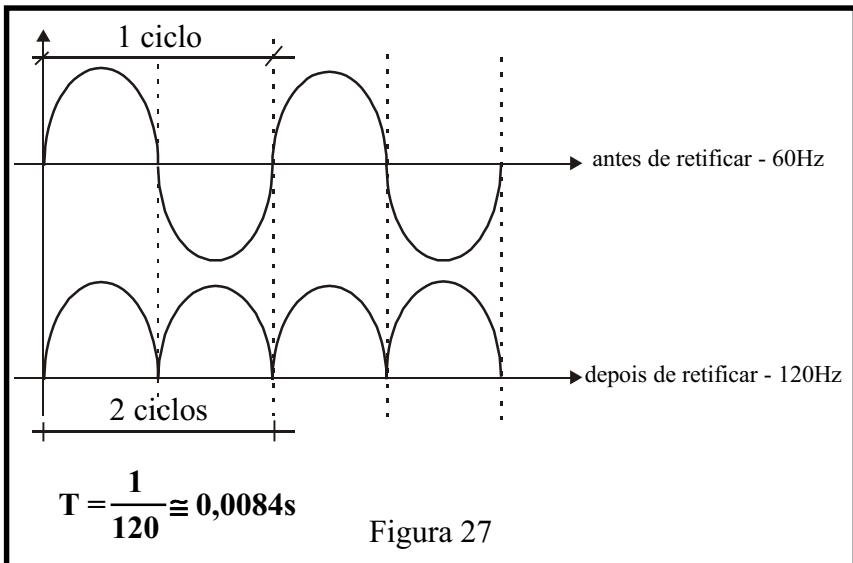
T = período da freqüência $\rightarrow T = \frac{1}{F}$ \rightarrow dado em segundos

I = corrente de consumo máximo, dado em ampère

V = Vpico do secundário – Vmínima na entrada do regulador

Cálculo de T

Como a retificação é onda completa e em parte teremos uma freqüência de **120Hz**, veja:



Cálculo de V

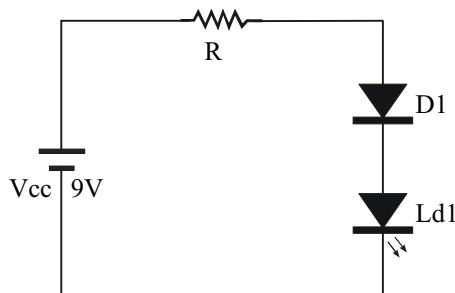
$$V = V_{\text{pico}} - V_{\text{emin}}$$

$$V_{\text{pico}} = 15 \cong \frac{21,2V}{0,707}$$

Agora, antes de definirmos V_{emin} , vamos aprender pouco sobre equação de malhas fechadas. Isto nada mais é do que dividirmos as tensões entre os componentes de um circuito. Este raciocínio nos ajudará, em muito, a consertarmos e desenvolvermos circuitos eletrônicos. Veja alguns exemplos:

Exemplo 1:

D_1 – diodo-queda de tensão de 0,7V
 Ld_1 – Led-queda de tensão de 1,7V



→ Isto é uma malha fechada

Por queda de tensão podemos definir o valor de tensão que ficará sobre o componente para que ele funcione corretamente.

Figura 28

Vamos agora colocar as flechas indicando as tensões e correntes.

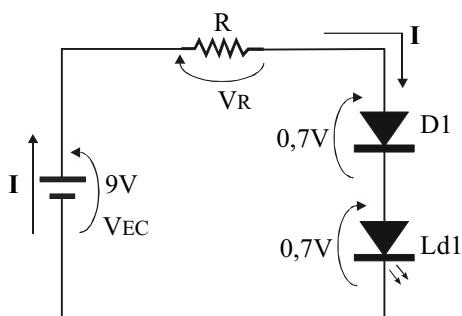


Figura 29

Qual a tensão sobre **R**?

- Para descobrirmos isto, basta isolarmos o V_R e criamos uma equação da seguinte forma: todas as tensões, cujas setas indicarem o mesmo sentido da corrente, terão o sinal positivo e todas as tensões que tiverem as setas com o sentido contrário receberão o sinal negativo. Também devemos lembrar que a soma de todas as tensões em uma malha fechada é zero. Vejamos:

$$- \mathbf{V_r} = - \mathbf{Vd}_1 + \mathbf{VLd}_1 + \mathbf{Vcc}$$

$$- \mathbf{Vr} = \mathbf{Vcc} - \mathbf{Vd}_1 - \mathbf{VLd}_1$$

$$- \mathbf{Vr} = \mathbf{Vcc} - 0,7 - 1,7$$

$$- \mathbf{Vr} = 9 - 0,7 - 1,7$$

$$- \mathbf{Vr} = 6,6\mathbf{V}$$

Esse \mathbf{Vr} tem o *sinal (-)* antes, pois essa tensão tem o sentido contrário ao da fonte, mas podemos ignorar o sinal e ter $\mathbf{Vr} = 6,6\mathbf{V}$.

Mas como provar que a soma das tensões é **zero**?

- Basta somar (usando o sentidos das setas).

$$\mathbf{Vtotal} = + 9 - \mathbf{Vr} - \mathbf{Vd}_1 - \mathbf{VLd}_1$$

$$\mathbf{Vtotal} = 9 - 6,6 - 0,7 - 1,7$$

$$\mathbf{Vtotal} = 0\mathbf{V}$$

Mas para que serve isto?

- Serve para sabermos qual deveria ser a tensão sobre **R**, ao medirmos com um multímetro a tensão sobre ele.

Exemplo 2:

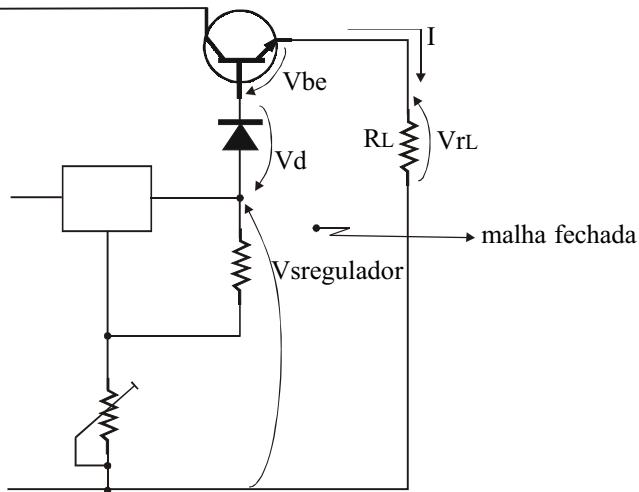


Figura 30

Sabemos que queremos uma fonte de **13,8V**, portanto:

$$V_{RL} = 13,8V$$

$$\text{Sabemos que } V_{BE} = 0,7V$$

$$\text{Sabemos que } V_d = 0,7V$$

Qual o valor que devemos ter em *V_{sregulador}*?

$$V_{sregulador} = -V_d - V_{BE} - V_{RL}$$

$$V_{sregulador} = -0,7 - 0,7 - 13,8$$

$$V_{sregulador} = -15,2$$

Podemos tirar o sinal de menos, pois ele indica somente que a tensão dos outros componentes está contrária, portanto:

$$V_{sregulador} = 15,2V.$$

Quer ter certeza?

– É só somar todas as tensões e ver se dá zero.

$$V_{total} = V_{sregulador} - V_d - V_{BE} - V_{RL}$$

$$V_{total} = 15,2 - 0,7 - 0,7 - 13,8$$

$$V_{total} = 0V$$

Agora já sabemos que para termos **13,8V** na saída da fonte, precisamos de uma tensão maior na saída do regulador, pois há queda de tensão nos outros componentes.

Podemos agora continuar com os cálculos de **V**:

$$V = V_{\text{pico}} - V_{\text{emin}}$$

$$V_{\text{pico}} = \frac{15}{0,707} \cong 21,2V$$

Vemin = **Vsregulador** + 3V → veja teoria do LM 317 explicada anteriormente.

$$V_{\text{emin}} = 15,2 + 3$$

$$V_{\text{emin}} = 18,2V$$

Portanto:

$$V = V_{\text{pico}} - V_{\text{emin}} = 21,2 - 18,2 = 3V$$

Podemos, finalmente, calcular o *valor* de **C**.

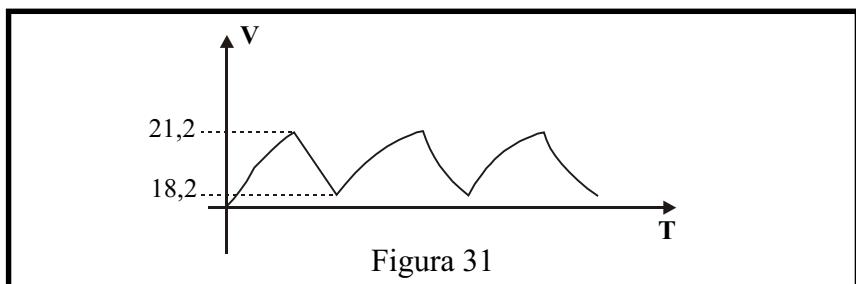
$$C = \frac{T \times I}{0,7 \times V}$$

$$C = \frac{0,0084 \times 5}{0,7 \times 3} = \frac{0,042}{2,1}$$

C = 0,02 F = 20.000μF x 40V → a tensão de isolamento, deve ser maior que **Vp**.

Na prática, “**C**” pode ser: **2 capacitores de 12.000μF x 40V (24.000μF)** ou **5 capacitores de 4700μF x 40V (23.500μF)**.

A forma de onda sobre “**C**” será assim, quando for consumido 5 Ampéres:



Cálculo de R₄:

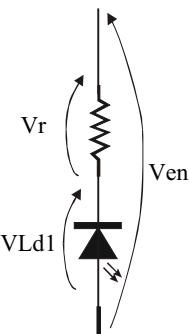


Figura 32

$$R = \frac{V_{en} - V_{Ld1}}{I}$$

$R = 21,2 - 1,7 \rightarrow$ usar a máxima tensão por segurança.

$0,01 \rightarrow 10\text{mA}$ é uma corrente capaz de acender um Led.

$$R = \frac{19,5}{0,01} = 1950\Omega = \text{valor comercial } 1k8 \text{ ou } 2k2$$

$$P_R = \frac{V^2}{R} = \frac{(19,5)^2}{1800} = \frac{380,25}{1800} = 0,21\text{W}$$

Na prática, usaremos um resistor de $1k8 \times 1/4\text{W}$ ($1/4\text{W} = 0,25\text{W}$).

Cálculo de C₂ e C₃:

C₂ e C₃ são indicados pelo fabricante da LM 317.

C₂ deve ter um valor de **100nF** e,

C₃ deve ter um valor de **1μF x 25V**.

Cálculo de P₁

A fórmula para *calcular P₁* é a usada pelo LM 317.

$$P_1 = R_1 \left(\frac{V_{saída} - 1,25}{1,25} \right)$$

$$P_1 = 270 \left(\frac{15,2 - 1,25}{1,25} \right)$$

$$P_1 = 270 \times 11,16$$

$$P_1 \cong 3k\Omega$$

Como **3k** não é um valor comercial, podemos colocar um *trimpot* de **3k3** e ajustar a saída para a tensão desejada.

Na próxima página veremos qual a máxima tensão que conseguiremos com **3k3**.

$$V_{saída} = 1,25 \left(1 + \frac{P_1}{R_1} \right)$$

$$V_{saída} = 1,25 \left(1 + \frac{3300}{270} \right) \rightarrow V_{saída} = 1,25 (1 + 12,23)$$

$$V_{saída} = 1,25 \times 13,23 = 16,53$$

Lembre-se, o valor de R_1 é adotado e deve ser de $270\Omega \times 1/8W$.

Perceba que quanto maior o valor de P_1 , maior será a tensão na saída.

Cálculo de D5:

D5 pode ser um diodo retificador de uso geral (**1N4007** etc.). Sua função é evitar que haja um curto no coletor e base de Tr_1 ou Tr_2 , e que não jogue muita tensão na saída do **IC₁**. Para sabermos qual a corrente que passará por **D5**, basta usarmos a equação:

$$I_b = \frac{I_c}{\beta}$$

$$I_{btr_1} = \frac{I_{Ctr_1}}{\beta}$$

$$I_{btr_1} = 2,5$$

$10 \rightarrow$ consideramos um β (**ganho**), pequeno para uma maior segurança.

$$I_{btr_1} = 250mA$$

A corrente I_{btr_2} será igual ou muito próxima a **250mA**, percebemos então que a corrente total no *diodo D5* será **0,5A**. Podemos usar um **1N4007** que suporta **1A** de corrente, e que exigem **1000Volts** de tensão reversa.

Cálculo do estágio final – Tr_1 , Tr_2 , R_2 e R_3

Podemos perceber na **Figura 33**, que os dois transistores estão ligados em paralelo. Isto é feito para dividir a corrente entre os dois.

Os resistores R_2 e R_3 servem para “equilibrar” essa divisão e, geralmente, têm um valor menor do que **1 Ohm**.

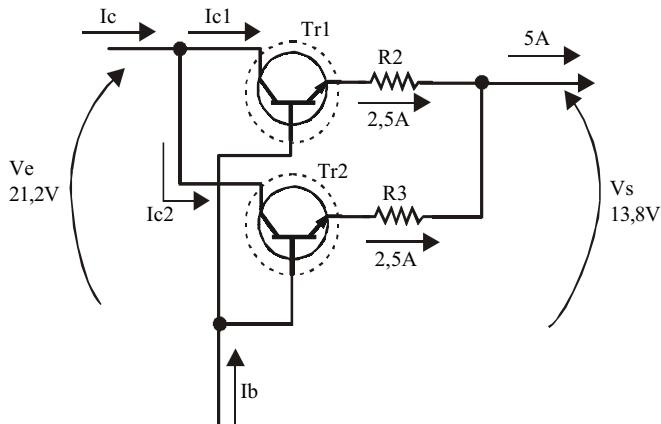


Figura 33

Os transistores devem ser escolhidos de forma que suportem a corrente necessária e suportem a potência dissipada em seu coletor. Para calcular a potência sobre o transistor, basta sabermos a tensão na entrada e saída da fonte.

$$Pctr_1 = (Ve - Vs) \times Ic_1$$

Pctr₁ = Pctr₂ = potência sobre o transistor

Ic₁ = corrente no coletor de Tr₁

$$Pctr_1 = (21,2 - 13,8) \times 2,5 \rightarrow \text{como a fonte é de } 5\text{A, passará } 2,5\text{A em cada transistor no pior caso}$$

$$Pctr_1 = 18,5\text{W}$$

$$Pctr_2 = 18,5\text{W}$$

Podemos usar transistores **2N3055** ou **2N3773**, pois eles suportam essas condições.

É interessante que todo transistor que dissipar mais de **1W** esteja montado em um dissipador.

R₂ e R₃ devem ser calculados com a seguinte equação:

$$R_2 = R_3 = \frac{0,5}{IR}$$

Temos então:

$$R_2 = \frac{0,5}{2,5} = 0,2\Omega \rightarrow P_{R_2} = \frac{V^2}{R_2} = \frac{(0,5)^2}{0,2} = 1,25W \rightarrow 0,22R \times 2W - \text{na prática}$$

$$R_3 = \frac{0,5}{2,5} = 0,2\Omega \rightarrow P_{R_3} = \frac{V^2}{R_3} = \frac{(0,5)^2}{0,2} = 1,25W \rightarrow 0,22R \times 2W - \text{na prática}$$

Cálculo da Proteção

Como a nossa proteção é um fusível, devemos adotar um de **5A** (*na prática eles suportam mais corrente*).

ANÁLISE DA FONTE

O *trafo* baixa a tensão para um valor adequado, os diodos retificam a tensão alternada transformando-a em contínua.

O capacitor filtra essa tensão. O regulador estabiliza a tensão na saída e os transistores fornecem para a saída uma tensão estabilizada com uma corrente suficiente para o funcionamento da carga.

Simulação e Análise de 2 Defeitos

1º.) O primário do *trafo* está aberto, qual o sintoma?

Ao olharmos o esquema e sabermos que o primário do *trafo* está aberto, saberemos que não circulará corrente pelo enrolamento. Sem corrente e sem indução, não teremos tensão no secundário.

2º.) A tensão na saída não ajusta, só fica próxima a **21 Volts**?

Observe o esquema e perceba que, se um **Tr** entrar em curto (junção coletor-emissor), a tensão na saída será igual à da entrada.

APÊNDICE A - Cálculo do Capacitor C

A fórmula

$$C = \frac{T \times I}{0,7 \times V}$$

é originada das seguintes equações:

$$T = 0,7 \times R \times C \quad \text{e} \quad V = R \times I$$

igualando a R teremos: $R = \frac{T}{0,7 \times C}$ e $R = \frac{V}{I}$

$$\frac{T}{0,7 \times C} = \frac{V}{I}$$

$$0,7 \times C \times V = T \times I$$

$$C = \frac{T \times I}{0,7 \times V}$$

em que:

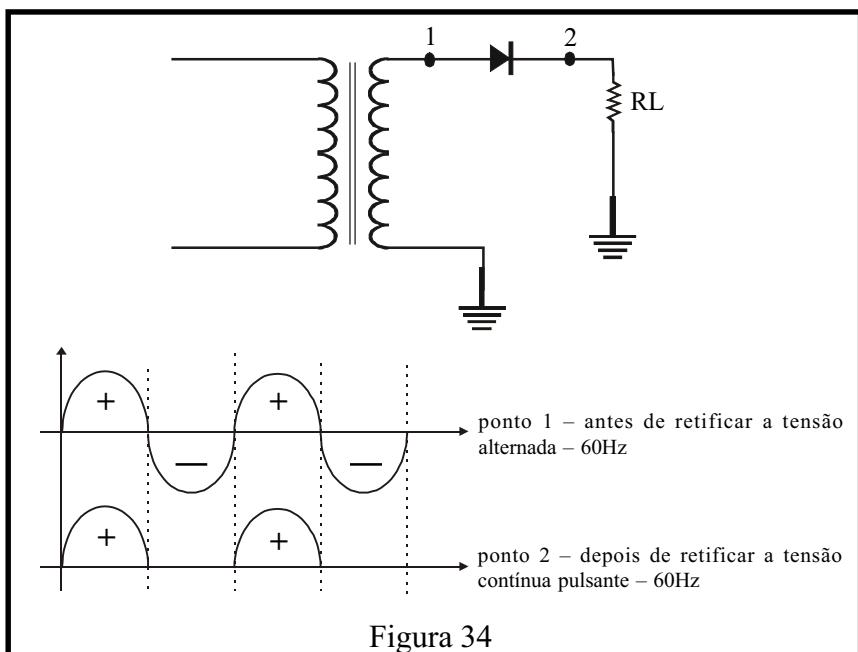
C é dado em Farads

I é dado em Ampére

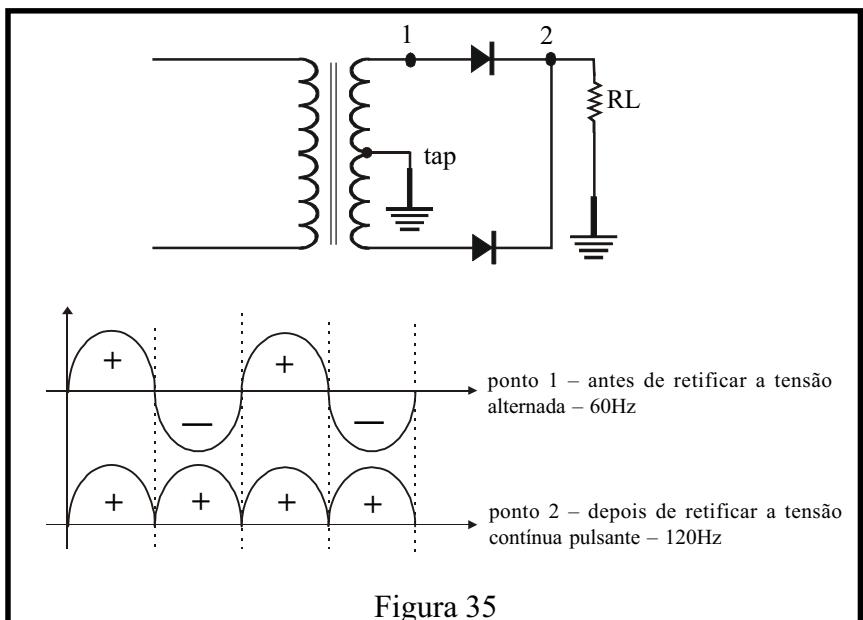
T é dado em Segundos

V é dado em Volts, que é a máxima variação desejada entre Vpico e Vmin, com a corrente máxima de saída.

APÊNDICE B - Retificação Meia Onda



Retificação de Onda Completa



APÊNDICE C

COMO DIMENSIONAR O DISSIPADOR

Uma forma bem prática é usarmos um dissipador que não permita que a temperatura na superfície do transistor ultrapasse mais de **35°C*** em relação à temperatura ambiente. Para isto precisamos saber a potência dissipada por todos os transistores montados nesse dissipador e de gráficos de fabricantes de dissipadores.

Vamos ver: → Lembre-se de que devemos calcular a

$$P_{cTr_1} = 18,5W \quad \text{potência no pior caso}$$

$$P_{cTr_2} = 18,5W$$

$$P_{\text{total}} = P_{cTr_1} + P_{cTr_2} = 18,5 + 18,5 = 37W \cong 40W$$

Vamos usar os dissipadores da **Brasele (11) 3726-3422**.

Olhando os gráficos, podemos perceber que: no gráfico da **Figura 38 H** encontramos um dissipador que, com uma potência de **40W**, aumentará em **35°C**. Veja o gráfico da **Figura 38H** e veja que o dissipador é o **208**. Devemos comprar um dissipador com as medidas do **208**.

Observações:

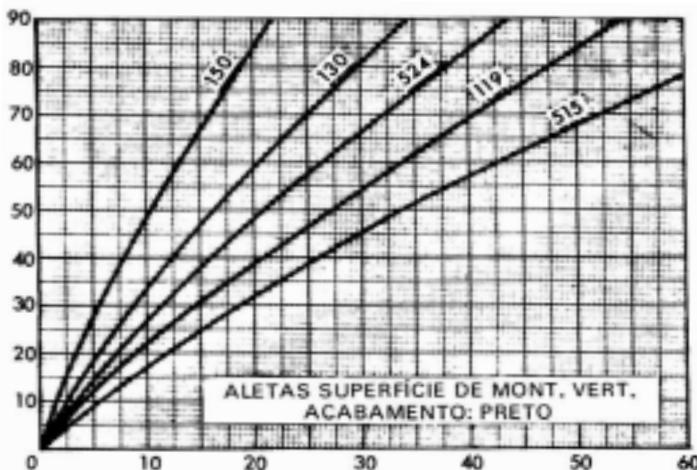
Quanto mais frio o transistor ficar, melhor, portanto, pense sempre que possível em um dissipador grande.

- O dissipador deve sempre ficar para fora do equipamento.
- * para esta fonte com esses transistores.

Dissipadores Brasele:

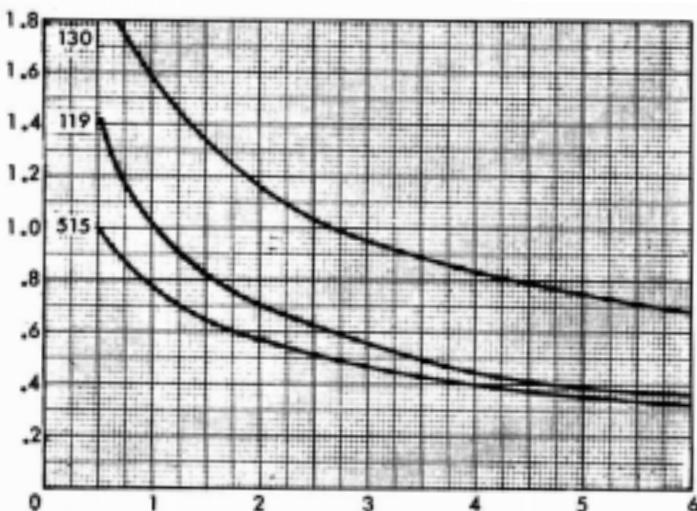
MATERIAL: Alumínio liga 6063-T5 pela ASTM.

ACABAMENTO: Anodizado preto



(Aumento da temperatura da superfície do Semicondutor acima do AR ambiente (°C)

Figura 36A - Potência Dissipada (Watts)



(Resistência térmica do dissipador não ambiente (°C/Watt)

Figura 36B - Velocidade do AR (m/s)

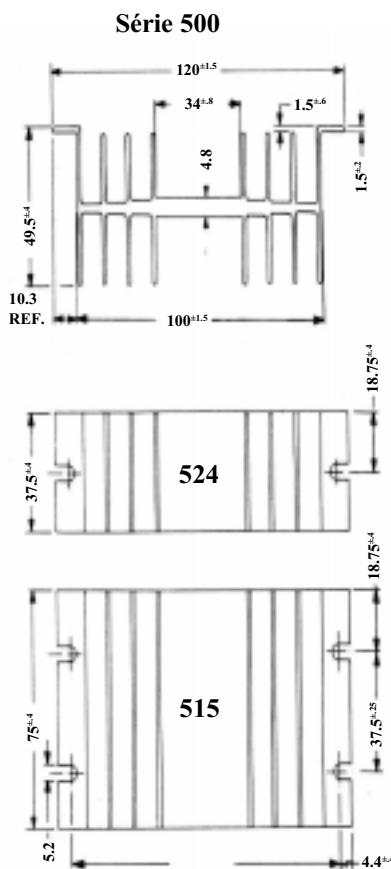


Figura 36C - Série 500

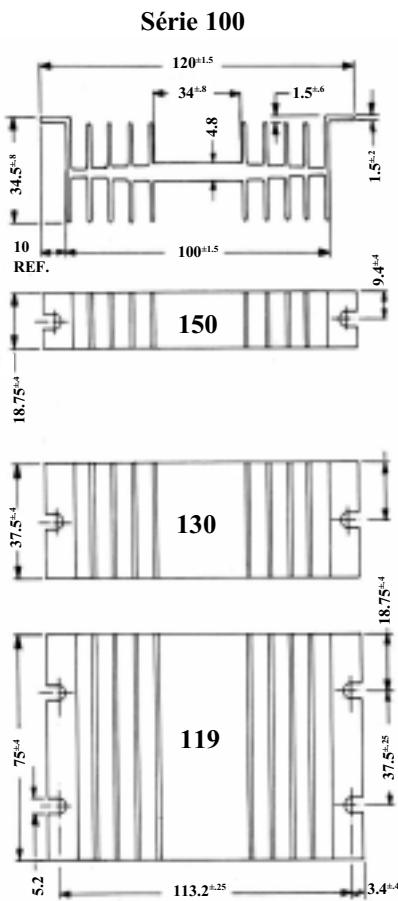


Figura 36D - Série 100

Figura 36

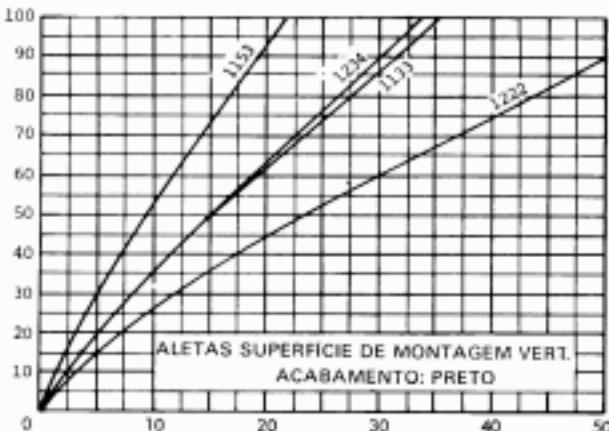


Figura 37E - Potência Dissipada (Watts)

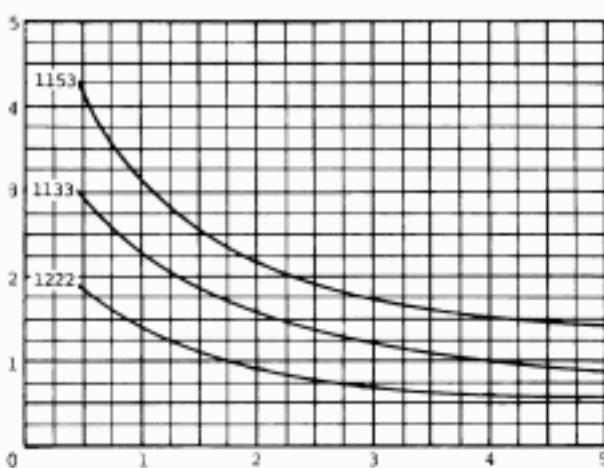


Figura 37F - Velocidade do AR (m/s)

As características térmicas dos dissipadores *séries 1100 e 1200* foram determinadas montando um sensor diretamente embaixo do semicondutor, atingindo desse modo o ponto mais quente do mesmo. As características com ventilação forçada foram obtidas montando o dissipador contra uma placa de plástico, assim a ventilação forçada na parte inferior estava bloqueada. Quando o dissipador está montado a mais de 6mm do circuito. Impressionante, podemos esperar uma resistência térmica de 10% a 15% menor.

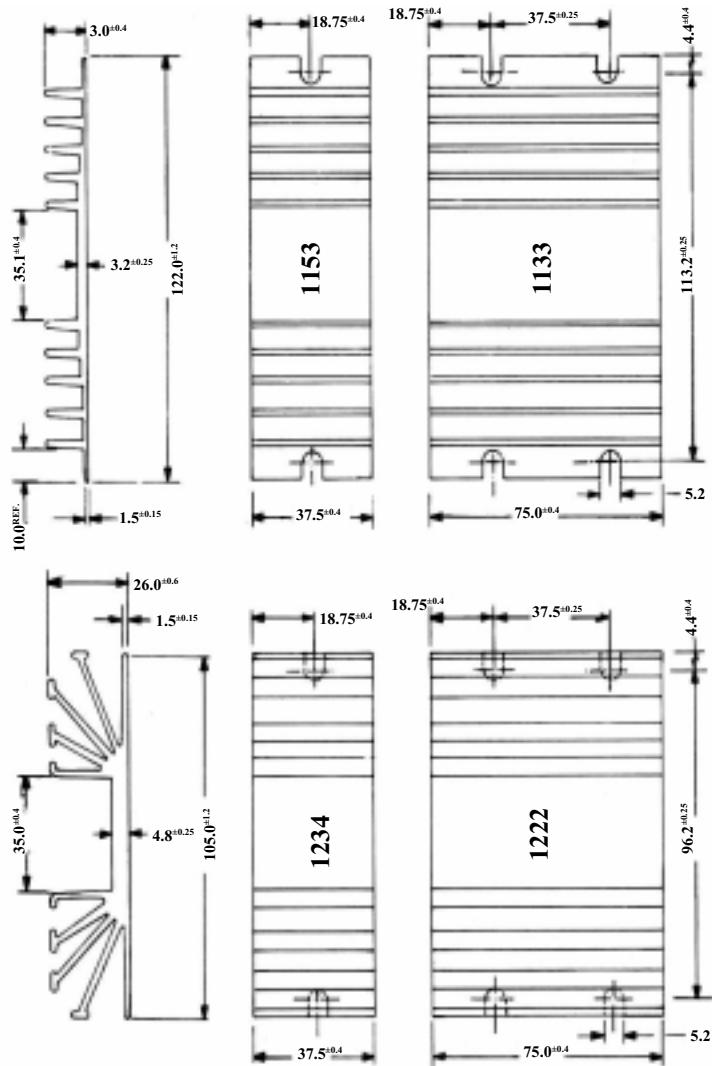
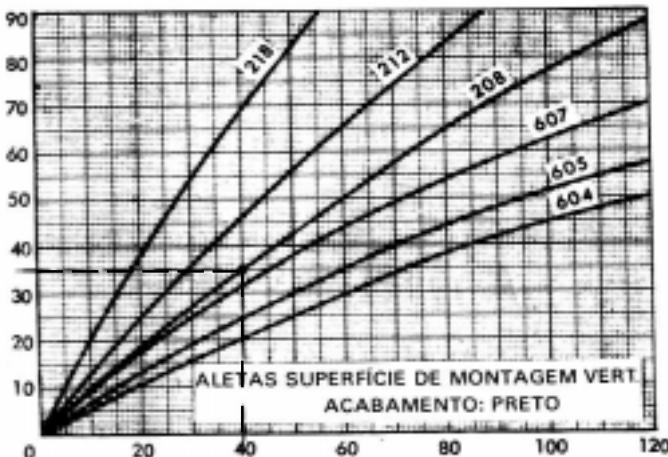


Figura 37G

Dissipadores 208 - Brascle

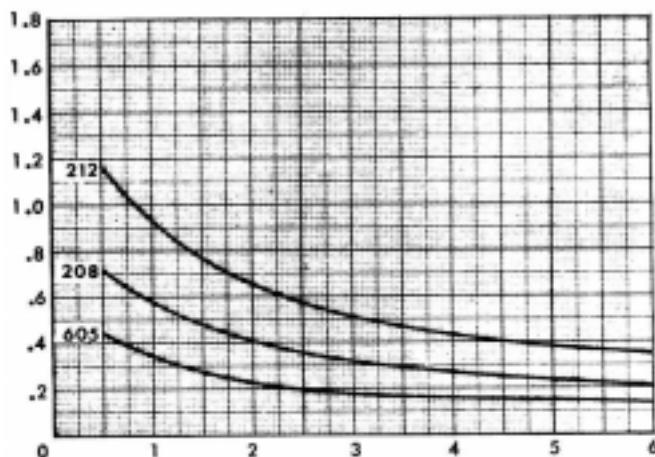
MATERIAL: Alumínio Liga 6063-T5 pela ASTM

ACABAMENTO: Anodizado preto



Aumento da temperatura da superfície do Semicondutor acima do AR ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

Figura 38H - Potência Dissipada (Watts)



Resistência térmica do dissipador não ambiente ($^{\circ}\text{C}/\text{Watt}$)

Figura 38I - Velocidade do AR(m/s)

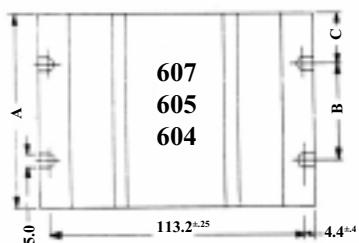
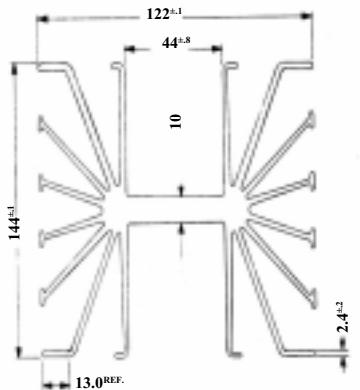


Figura 38J - Série 600

Modelo	A	B	C
607	75	37.5	18.75
605	150	75	37.5
604	240	120	60

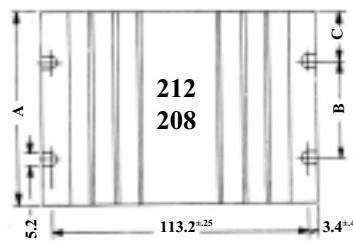
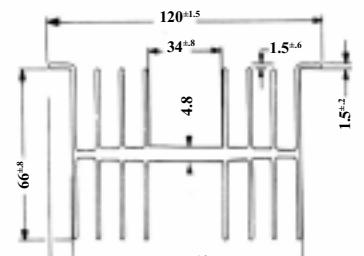


Figura 38L - Série 200

Modelo	A	B	C
212	75	37.5	18.75
208	150	75	37.5

Figura 38

Outras Publicações do Autor Publicadas pela Eltec Editora



*Cod. 576
108 Circuitos
Eletrônicos*



*Cod. 591
Círculo Fechado
de Televisão
CFTV/CCTV
Apostila Básica*



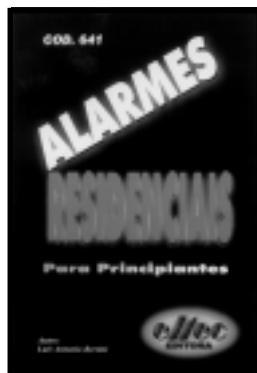
*Cod. 600
Eletrociadade e
Instalações Elétricas e
Residenciais*



*Cod. 608
270 Dicas de Consertos
em TV e Som
(Para Principiantes)*



*Cod. 632
Economizando
Energia Elétrico*



*Cod. 641
Alarmes Residenciais
(Para Principiantes)*



*Cod. 658
Dicas de Consertos em
Equipamentos de Som*

Título:

**Como Projetar, Construir e Entender
uma Fonte Linear Ajustável**

Autor:

Luiz Antonio Bertini

Copyright©2003 - **Eltec Editora**

ELTEC EDITORA LTDA.

Av. Cel. Sezefredo Fagundes, 452 - Tucuruvi
Cep 02306-001 - São Paulo - SP.

Fone/Fax: (11) 6263-3367
E-mail:eltec@eltec.com.br
Site:www.eltec.com.br

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta edição pode ser utilizada ou reproduzida, por qualquer meio ou forma, seja mecânico, eletrônico, fotocópia, gravação, etc., nem apropriada ou estocada em sistema de banco de dados, sem expressa autorização do editor e do Autor.