



20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

Introdução

Este projeto consiste em dois conversores CC-CC montados em uma única placa. Um é o conversor tipo buck, chamado Black Regulator e o outro é um conversor tipo flyback que chamei de Bilé elétrico. O objetivo converter os 9V ou 12V de uma fonte padrão, dessas que você tem em casa as toneladas, nas tensões necessárias para pedais valvulados.

Princípio de funcionamento

Inércia

Inicialmente vamos entender melhor como funcionam esses conversores. Todo mundo que frequentou o ensino médio conhece o princípio da inércia. Quando uma massa é posta em movimento, é necessário aplicar uma força para que este estado de movimento mude.

Em termos práticos, se um carro está parado, o motor deve aplicar uma força para que ele entre em movimento. Se está andando, é preciso aplicar uma força nos freios para que ele pare. E quanto mais rápido você precisar frear, mais força precisa ser aplicada.

Uma aplicação cotidiana deste princípio é o martelo! Imagine que você quer cravar um prego na madeira. Você pode usar uma prensa para fazer isso. Vai ver que a força necessária para cravar o prego com a prensa é algo como 200kgf. É uma força muito grande para uma pessoa fazer com as mãos. Por isso, muita gente prefere usar um martelo para pregar!

Pela lei da inércia, sabemos que a velocidade de uma massa não pode ser alterada abruptamente. Uma alteração abrupta de velocidade significa uma aceleração infinita! E como a força é igual a massa vezes a aceleração, para haver uma aceleração infinita, é preciso haver uma força infinita! Este é o segredo do martelo! Você acelera a massa do martelo com uma força pequena num percurso de 50cm e quando ele atinge a cabeça do prego faz ele afundar na madeira meio centímetro. Se ele foi acelerado por 50cm e desacelerado em 0,5cm, quer dizer que a aceleração produzida pelo prego foi 100 vezes a produzida pelo seu braço! Se a aceleração é 100 vezes maior, então a força é 100 vezes maior também! Por isso, com uma força de 2kgf, você consegue cravar um prego que precisaria de 200kgf!

O conversor Flyback

Agora vamos falar da mesma coisa, mas com eletricidade. Um indutor é apenas um monte de fio enrolado em um núcleo de material magnético. Este material pode ser qualquer coisa que grude em um ímã, mas alguns materiais se dão melhor em certas aplicações que outros. Por isso você encontra indutores com núcleo de ferro, ferrite, ligas de AlNiCo, etc.

A mágica começa quando a gente faz uma corrente circular pelo indutor. Uma propriedade dos indutores é que a corrente que passa por eles não pode variar de forma abrupta. Ela varia ao longo do tempo, como a velocidade de um corpo! A corrente que passa por um indutor é igual a voltagem vezes o tempo sobre a indutância, ou seja:

$$I = \frac{V \cdot t}{L}$$

Então o conversor flyback funciona assim; uma chave é ligada (normalmente um transistor



Bilé Nervoso

20/05/2012 - Rev. 1

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

cumprir esta função) e uma corrente começa a fluir pelo indutor. No início não ocorre curto circuito, porque no tempo zero a corrente é zero! Depois de um tempo haverá uma corrente bem alta no indutor e neste instante a chave desliga (Figura 1B). Como a corrente não pode parar de repente, aparece uma voltagem muito alta na ponta aberta do indutor. Essa tensão pode ser conduzida por um diodo e acumulada em um capacitor. A corrente então se reduz devido a essa voltagem alta e a chave pode ser ligada novamente reiniciando o processo.

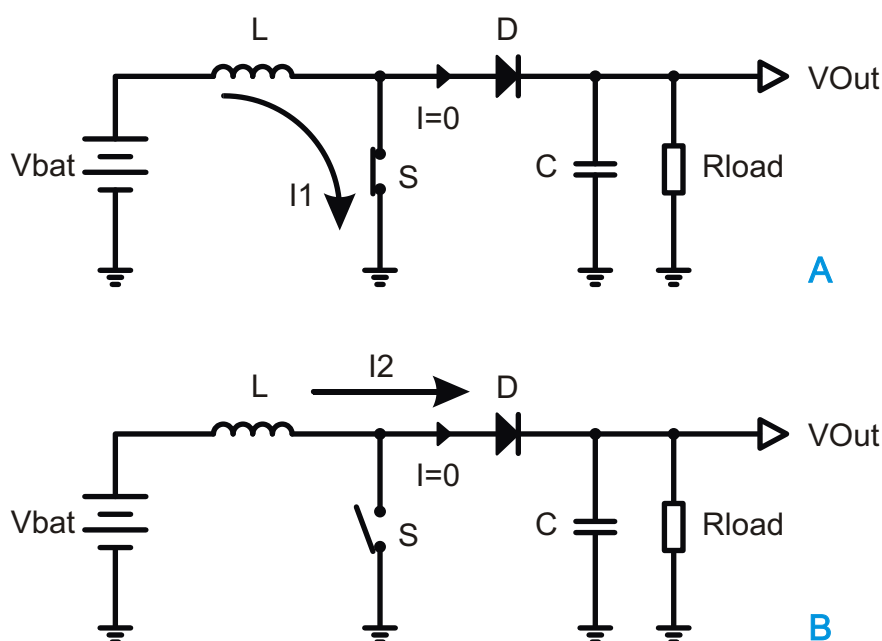


Figura 1 - Princípio Flyback

Com o martelo, usamos a inércia para criar uma força grande a partir de uma força pequena. Com o conversor flyback, usamos uma indutância para criar uma voltagem alta a partir de uma voltagem baixa! A elevação da tensão acontece em pulsos curtos, como marteladas num prego. Cada vez que a chave é desligada, é como se o martelo elétrico atingisse a cabeça de um prego. Essa pancada gera uma alta tensão, que é o análogo elétrico da força do martelo.

Outro exemplo de como o flyback funciona é um sistema de bombeamento de água que tem mais de cem anos de idade, chamado de “Carneiro Hidráulico”. Ele foi inventado na França pelos Irmãos Montgolfier, os mesmos que fizeram o primeiro vôo tripulado em um balão de ar quente.

No link <http://www.youtube.com/watch?v=qWqDurunnK8&feature=related> podemos visualizar como funciona este sistema de bombeamento de água.

A interrupção repentina do fluxo de água faz aparecer uma alta pressão que empurra a água para cima, da mesma forma que a interrupção repentina da corrente no indutor cria uma alta tensão.

A física não é linda?!?! Martelos, água e eletricidade são governados pelas mesmas leis!

O Circuito

No dialeto italiano que meus avós falavam, este tipo de bomba hidráulica era chamado de bilé, daí resolvi dar este nome ao circuito, pois o princípio de funcionamento é muito similar ao do carneiro hidráulico. O processo todo começa com o par Darlington formado por T1 e T2 conduzindo.



20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

A corrente em L2 aumenta gradativamente com o tempo, assim como a queda de tensão em R2. Quando a tensão em R2 atinge 0,7V, T3 e T4 saturam e a rede de capacitores formada por C8, C3 e C2 é carregada, fazendo T5 saturar. Com isso T1 e T2 entram em corte provocando a elevação da tensão. A corrente em alta tensão é capturada por D1, filtrada e armazenada em C4.

Após um tempo bem curto, o campo magnético de L1 que mantinha a corrente entra em colapso. Daí uma pequena carga de alta tensão, acumulada em C7 força a corrente em L1 a se inverter. Alguma energia é devolvida para C11, que será usada novamente no próximo ciclo, mas o importante da inversão é que a carga colocada na rede C8, C3 e C2 é drenada por D3, fazendo T5 entrar em corte. Com isso T1 e T2 saturam novamente e o processo recomeça.

A regulação da alta tensão é feita por T6. Os resistores R5 e R6 formam um divisor de tensão, de forma que o zener Z1 vê apenas fração da tensão total. Quando a tensão no divisor ultrapassa a tensão do zener, T6 conduz, saturando T5 e cortando T1 e T2. Assim, quando o “tanque” está cheio, a bomba é desligada. O par T1 e T2 só voltam a funcionar se a tensão na saída cair abaixo da tensão estabelecida. A tensão de saída do circuito é dada pela fórmula:

$$V_S = \frac{R_5}{R_6} \cdot (Z + 1.4)$$

O indutor L3 precisa ter um valor diferente de zero, e isso é um pouco difícil de engolir em um primeiro momento. Imagine que existam dois capacitores de 100uF, um com uma carga de 100V e o outro sem carga. Se forem ligados um no outro, a carga se divide e cada um fica com 50V. A energia acumulada no capacitor é dada por:

$$E = C \cdot \frac{V^2}{2}$$

Como a voltagem é elevada ao quadrado, se esta se reduz a metade, a energia cai para 1/4 da anterior. Então, se no início havia 100uF a 100V e terminou com 200uF a 50V, agora há metade da energia inicial. Isso parece ser um disparate matemático, mas ao realizar este experimento na prática, no instante que encostar um capacitor no outro será ouvido um estalo, uma faísca surgirá e tudo ficará quente. Metade da energia foi dissipada. No instante da ligação, a corrente é infinita!

Portanto, a carga de um capacitor por outro é dissipativa! Se um indutor for colocado no circuito, a corrente inicial não é mais infinita. Sai de zero, cresce até um valor de pico e então decresce. Depois inverte e a carga fica agora indo e voltando de um capacitor para outro como um pênculo. A cada iteração do booster, C6, de 100nF, recebe uma carga que precisa ser transferida para C4, de 4,7uF. Se for transferida diretamente, a eficiência do circuito cai muito. Então a carga é feita por meio do indutor. Mas isso faz com que o circuito passe a se portar como um pênculo, com a carga indo e voltando. Por isso existe o diodo D4. Assim a carga de cada iteração é transferida de C6 para C4 com perda mínima. Esta é a razão do indutor L3 estar presente no circuito!



20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

O Conversor Buck

Introdução

O conversor buck também usa o conceito de inércia, mas de uma forma um pouco diferente. A intenção aqui é reduzir a tensão. Para entender como ele funciona, vamos estudar o ferro de passar roupas. O ferro de passar é uma resistência elétrica que aquece um corpo metálico quando ligada. Se for conectada diretamente aos 127V da rede, vai produzir uma temperatura de 400 graus Celsius ou mais, o que vai sem dúvida queimar as roupas. Mas esta temperatura não aparece instantaneamente. Leva um tempo para que a massa se aqueça. Portanto, se quisermos uma temperatura de 100 graus, basta ligar, esperar que chegue nuns 105 graus e desligar. Usamos o ferro desligado até ele esfriar um pouco e ligamos novamente para recuperar a temperatura. É assim que é feito! Dentro do ferro de passar tem um dispositivo chamado termostato que se encarrega de ligar e desligar o ferro nos tempos apropriados para manter a temperatura constante.

No final, o efeito é o mesmo que se você tivesse ligado o ferro em uma tomada de tensão mais baixa! Usando a inércia térmica do corpo do ferro, produzimos uma temperatura mais baixa a partir de uma fonte de calor de temperatura alta.

Nos reguladores chaveados existe um capacitor na saída, que funcionará como o corpo do ferro. O objetivo é manter a tensão no capacitor em um certo valor, digamos 6V. Para que o chaveador funcione, é preciso que exista um retardo de tempo entre a ativação da corrente e resultado esperado. No caso do ferro, leva um tempo para a temperatura subir. Se o capacitor for ligado diretamente no chaveador, ele se carrega com a tensão de pico instantaneamente. Por isso deve se usar um circuito RC ou LC para carregar o capacitor, que usar respectivamente um resistor ou um indutor.

Usando um circuito RC, conseguimos um retardo no tempo de carga, mas o resistor queima energia! No LC existe o mesmo retardo sem que a energia seja convertida em calor. Ela é acumulada no campo magnético e pode ser liberada mais tarde enquanto o chaveador está desligado. Então, quando a tensão no capacitor está abaixo de 6V, o chaveador liga e o capacitor começa a carregar. Como existe um resistor ou um indutor no circuito, leva um tempo para a carga ficar completa. Quando chegou em 6V, chaveador desliga e o circuito a frente vê apenas os 6V do capacitor.

Dessa forma pode-se reduzir a tensão de 12V ou mais para 6V ou menos sem a necessidade de um transformador e sem dissipar muito calor.



Bilé Nervoso

20/05/2012 - Rev. 1

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

O circuito

O conversor buck que usei neste projeto foi aperfeiçoado por Roman Black. Os detalhes do funcionamento do conversor Black estão disponíveis no site:

<http://www.romanblack.com/smps/smps.htm>

Na versão deste projeto, o transistor chaveador foi trocado por um par Sziklai apenas para possibilitar o uso de um transistor chaveador mais rápido e potente.

Quando o capacitor C10 tem sua tensão menor que a do zener Z2, o transistor T7 conduz, levando o par Sziklai formado por T8 e T9 a saturação. A corrente em L2 começa a aumentar, C10 carrega-se lentamente até que sua tensão iguale a de Z2. Com isso T7 entra em corte, cortando também T8 e T9.

Como a corrente no indutor não pode ser interrompida abruptamente, o diodo D7 passa a conduzir e o capacitor C10 continua a receber carga devido a energia acumulada no campo magnético de L3.

A eficiência deste regulador é superior a 90%, o que torna o circuito uma alternativa bastante interessante se comparado aos populares reguladores lineares 78XX.

Para que o circuito tenha alta eficiência, é importante que D7 seja um diodo Schottky, mas qualquer diodo rápido, como o 1N4148, pode ser usado sem prejuízo ao funcionamento.

A limitação de corrente do circuito está fundamentalmente ligada ao indutor. Indutores extraídos de lâmpada fluorescente compacta normalmente usam fio 28 no enrolamento. Por isso uma corrente superior a 700 ma pode prejudicar o componente. No entanto, nada impede que se enrole um indutor maior, com fio mais grosso ou com vários fios em paralelo para aumentar a capacidade de corrente.

Nota sobre os indutores

Os indutores utilizados nas montagens e representados no layout aqui mostrados foram retirados de lâmpadas econômicas da marca FLC, sendo o de 1.8mH (mili Henry) da lâmpada FLC modelo Day Mini Classic de 15W, e o de 2.2mH (mili Henry) da lâmpada FLC modelo Day Ecoline de 9W.

O valor dos indutores não é crítico, podendo ser usado qualquer indutor com valor acima de 1mH (mili Henry). Entretanto, caso sejam usados outros indutores, o layout deverá ser modificado para acomodá-los.

O indutor de saída deve ser construído com um toróide pequeno, retirado das mesmas lâmpadas econômicas, e enrolando-se tantas voltas de fio comum quanto couberem. O valor aqui também não é crítico, e se o montador desejar, pode usar um indutor comercial de 100μH (aqui é micro Henry).



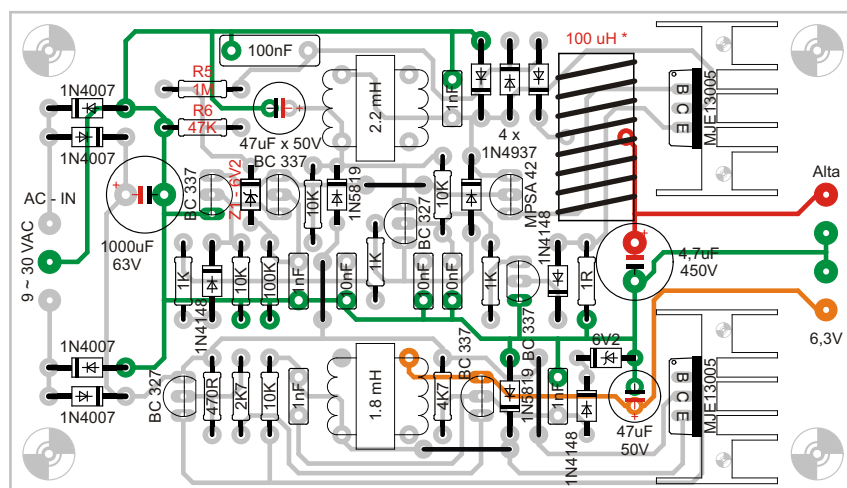
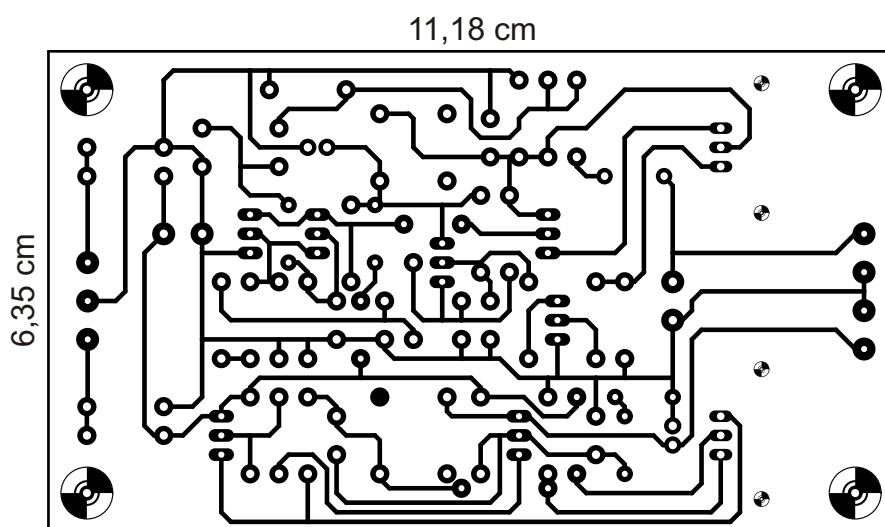
20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

Visão Geral



Escala 1:1

Componentes em vermelho: verificar lista de peças

Bilé Nervoso



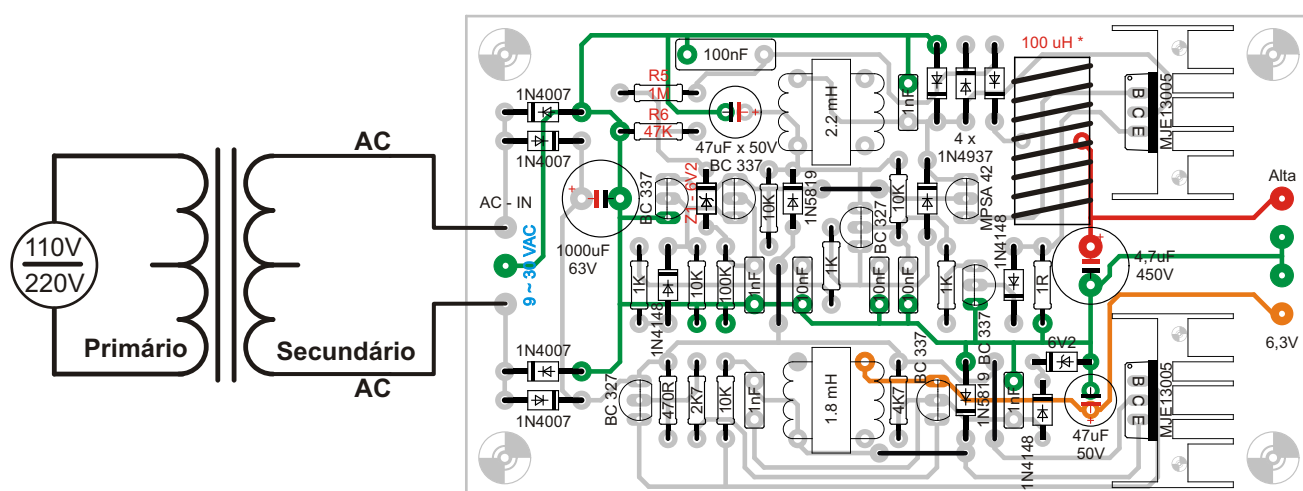
20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

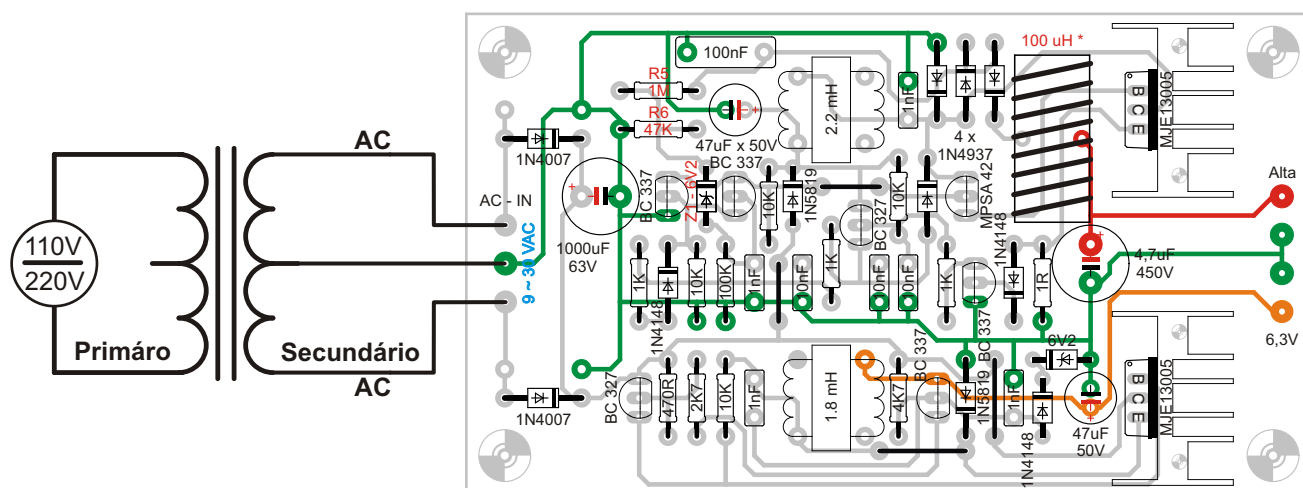
Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

Montagens de Acordo com o secundário do usado
(A diferença está em quantos diodos são usados na retificação)



Secundário Simples



Secundário com Center Tap

Escala 1:1



Bilé Nervoso

20/05/2012 - Rev. 1
Projeto: Eduardo Foltran
Layout: Plautz (Versão 1.0)

Lista de Material

Semicondutores

- 02 - MJE13005 (T1, T9) - Atenção aos terminais, pois dependendo do fabricante a disposição muda.
- 01 - MPSA42 (T2) - Não usar equivalentes
- 02 - BC327 (T4, T8) - Não usar equivalentes
- 04 - BC337 (T3, T5, T6, T7) - Não usar equivalentes
- 04 - 1N4007 (D10, D11, D12, D13)
- 03 - 1N4148 (D5, D6, D8)
- 04 - 1N4937 (D1, D2, D3, D4) - Diodo de retificação Rápida - Não usar outro tipo
- 02 - 1N5819 (D7, D9) - Diodo Schottky - Não usar outro tipo
- 02 - Zeners de 6V2 x 0,5W - (Z1, Z2) - Ex.: 1N5234

* Z1, juntamente com R5 e R6, faz parte da cadeia responsável pelo valor final da alta tensão

Resistores (todos para 1/4W)

- 01 - 1R (R2) - Marrom, Preto, Dourado
- 01 - 470R (R12) - Amarelo, Violeta, Marrom
- 03 - 1k (R3, R4, R9) - Marrom, Preto, Vermelho
- 01 - 2K7 (R13) - Vermelho, Violeta, Vermelho
- 01 - 4K7 (R11) - Amarelo, Violeta, Vermelho
- 04 - 10k (R1, R8, R10, R14) - Marrom, Preto, Laranja
- 01 - 47K (R6) - Amarelo, Violeta, Laranja
- 01 - 100k (R7) - Marrom, Preto, Amarelo
- 01 - 1M (R5) - Marrom, Preto, Verde

* R5 e R6, juntamente com Z1, fazem parte da cadeia responsável pelo valor final da alta tensão

Capacitores

- 04 - 1nF x 400V (C1, C5, C7, C9) - Poliéster, encapsulamento Epcos B32529
- 03 - 10nF x 400V (C2, C3, C8) - Poliéster, encapsulamento Epcos B32529
- 01 - 100nF x 400V (C6) - Poliéster
- 01 - 4,7uF x 450V (C4) - Eletrolítico
- 02 - 47uF x 50V (C10, C11) - Eletrolítico
- 01 - 1000uF x 63V (C12) - Eletrolítico

Indutores

- 01 - 1.8 mH (L1) - Nota 1
- 01 - 2.2 mH (L2) - Nota 2
- 01 - 100 uH (L3) - Nota 3

Nota 1: Indutor retirado da lâmpada econômica FLC Day Mini Classic 15W

Nota 2: Indutor retirado da lâmpada econômica FLC Day Ecoline 9W

Nota 3: Indutor caseiro. Retirar um pequeno toróide da lâmpada econômica e enrolar quantas voltas couberem de fio. Não importa o valor final do indutor caseiro. Este valor apenas não pode ser zero.



20/05/2012 - Rev. 1

Bilé Nervoso

Projeto: Eduardo Foltran

Layout: Plautz (Versão 1.0)

Placas para Transferência Térmica

