**ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ENERGIA E AUTOMAÇÃO ELÉTRICAS

# Dispositivo carregador de baterias para uso em equipamentos de geração e suprimento de energia em comunidades isoladas.

## *RELATÓRIO FINAL*

Humberto Di Giorgio Fonseca
Marcelo Minoru Oda

Professor Coordenador : Marco Antonio Saidel
Professor Orientador : Ivan Chabú

# 1-Sumário

**2. RESUMO** ..... **4**

**3. ABSTRACT** ..... **4**

**5.JUSTIFICATIVA** ..... **5**

**6.OBJETIVO** ..... **6**

**7.METODOLOGIA** ..... **7**

**8. BLOCOS FUNCIONAIS** ..... **7**

**9. PESQUISA DOS RETIFICADORES (CONVERSORES CA-CC)** ..... **7**

9.1.1 RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS ..... 8

9.1.2 RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS COM CARGA TRIFÁSICA ..... 11

9.2 RETIFICADORES CONTROLADOS ..... 11

**10. CONCLUSÃO SOBRE OS RETIFICADORES** ..... 12

**11. PESQUISA DOS CONVERSORES CC-CC** ..... **15**

11.1 CONVERSORES ABAIXADORES DE TENSÃO (STEP-DOWN OU BUCK – VO ≤ E) ..... 15

11.2 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO (STEP-UP OU BOOST – VO ≥ E ) ..... 17

11.3 CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR (BUCK-BOOST) ..... 18

11.4 CONVERSOR CUK ..... 19

11.6 CONVERSOR ZETA ..... 22

**12. CONCLUSÃO SOBRE OS CONVERSORES** ..... 22

**13. PROJETO DOS COMPONENTES DO CONVERSOR** ..... 26

**14. VISÃO GERAL DO DIAGRAMA DE BLOCOS DO PROJETO:** ..... **29**

**15. PROJETO DO CONVERSOR CC-CC DE ALIMENTAÇÃO DO SENSOR DE HISTERESE** ..... **29**

**16. PROJETO DO COMPARADOR(SENSOR) DE HISTERESE** ..... **30**

**17. BATERIA UTILIZADA E SUAS CARACTERÍSTICAS** ..... **32**

18.1-DIAGRAMA DE BLOCOS ..... 34

18.2- ESPECIFICAÇÕES DO INTEGRADO SG324 ..... 35

**19. PRINCIPIO DE FUNCIONAMENTO DE MODULADORES PWM** ..... 35

**20. PROJETO DO CI CONTROLADOR SG3424** ..... 36

**21. PINAGEM DO CI SG3424** ..... 38

**22. ESQUEMA DE LIGAÇÃO DO INTEGRADO** ..... 39

**23. CARGA** ..... **39**

**24. BIBLIOGRAFIA** ..... **40**

**25.SITES CONSULTADOS** ..... **40**

**26. AGRADECIMENTOS** ..... **41**

## 2. Resumo

O projeto basicamente consiste na implementação de um sistema para condicionamento de energia que recebe potência de um gerador de indução trifásico previamente projetado.A tensão e frequência são variáveis,pois o gerador não possui controle de velocidade.O sistema faz adequação dos níveis de tensão e corrente recebidos pela máquina CA para iluminação em comunidades isoladas num nível de tensão de 12V.Concomitantemente com o fornecimento de energia o sistema realiza a carga de uma bateria quando há disponibilidade energética,.Em caso de falta de enegia disponível o sistema possui um controle para realizar o back-up de bateria,ou seja,se não houver energia disponível na unidade geradora CA a bateria começa o processo de descarga,dando continuidade ao fornecimento enquanto houver energia armazenada.Basicamente temos um retificador com filtro capacitivo que recebe a tensão variável da máquina CA e realiza a retificação da tensão.Posteriormente utilizamos um conversor CC-CC abaixador(BUCK) para reduzirmos esse sinal retificado de 20 a 40VDC ao nivel de 14V,através de um circuito integrado PWM que controla o chaveamento do transistor de potência. A lógica de controle direciona o fluxo de energia entre bateria e carga,fornecendo proteção contra sobrecarga na bateria e controlando tanto a corrente de carga quanto descarga,levando a uma utilização otimizada.

## 3. Abstract

The project basically consists in implementation of a system for power conditioning that receive power of a trifasic CA induction Generator previously projected.The voltage and frequency are variable,the Generator has not own speed controlThe system suit the levels of voltage and current received by CA Generator,for lightning in isolated communities at level of 12VDC.Simultaneously with the putting up of

energy the system charges the battery when there is available energy In case of lack of available energy in CA Generator,the system active the back-up energy of the battery,keeping the putting up until the energy of the battery fall at low levels,when the discharge is stopped,upholding the delivery of energy to the load continuous,as long as there is energy in the basttery Basically we use a trifasic rectfier that pick the output signal of generator and convert them for a level between 20 and 40VDC.Afterwards this variable CC signal pass by a CC-CC buck converter that turn these levels to an aproximated level of 14VDC,through a PWM integrated circuit that control the switching of the power transistor.The control logic manager the flux of energy between the load and the battery,giving protection against over voltage in the battery and monitoring the charging and discharging current,looking up the working of the system.

## 4.Introdução

Neste projeto pretende-se definir um equipamento para que possa posteriormente ser projetado para recarregar baterias e fornecer suprimento de energia em comunidades isoladas.

## 5.Justificativa

A geração de energia elétrica em comunidades isoladas tem sido um desafio constante. Soluções como Geradores a Diesel, Micro Centrais Hidroelétricas ou térmicas a biomassa, Eólica e Solar vem sendo aplicadas.

Em comunidades isoladas da Amazônia, observa-se que: Devido a baixa renda da população, iniciativas que acarretem em gasto de combustível ou alto custo de equipamentos são pouco viáveis (Diesel pelo combustível e solar pelo custo). A inexistência de quedas d'água inviabiliza as Micro Centrais comuns. Nem sempre há vento disponível superior a 5m/s para viabilização de energia

eólica. As térmicas a biomassa, exigem investimento e manutenção especializada, além de não serem convenientes onde não há sobra de biomassa.

O Problema de energia elétrica persiste mas observamos que há grande quantidade de água em movimento nos leitos dos rios. Se existe água e movimento, temos energia, o que precisamos é a concepção de um dispositivo que seja capaz de captar esta energia.

A idéia de se utilizar um hélice acoplado a um gerador já foi utilizada algumas vezes, mas sem a preocupação da proposição de um modelo com grande eficiência e confiabilidade que possa ser construído e copiado,juntamente com o dispositivo conversor para que coloque essa energia em níveis apropriados para consumo armazenamento.

## 6.Objetivo

Desenvolver um dispositivo para carregamento de baterias para uso em equipamentos de geração e suprimento,dando continuidade ao trabalho desenvolvido por Tadeu R.Azevedo em seu projeto de formatura do ano de 2000.Neste trabalho projetou-se um gerador de energia que funciona em gerador de rios sem queda dágua fazendo-se valer da correnteza dos mesmos.Máquina CA trata-se de uma máquina trifásica sincrona CA com 48 polos ,300W 15V de tensão nominal a 45rpm.Como previa-se o uso em cargas CC,será desenvolvido um dispositivo conversor CA/CC com a escolha de um banco de baterias apropriado para armazenar energia que será usada em períodos de maior demanda ou quando não houver energia fornecida suficiente pela máquina.De modo geral,nosso conversor é formador por um retificador trifásico de dois caminhos,acoplado a um conversor CC-CC controlado por uma eletrônica de controle que realizará o controle da potência transferida e manutenção de um nível adequado para carga da bateria concomitantemente com o suprimento. A referida eletrônica de controle realizará o apropriado chaveamento do transistor a fim de controlar o nível de tensão na saída do conversor. Utilizaremos um circuito

integrado regulador PWM UC3535A apropriado aos níveis de tensão do nosso projeto.

## 7.Metodologia

Para o projeto do dispositivo será realizada a consulta bibliográfica e à profissionais da área,especialmente a professores ligados à área de controle e à profissionais da área de fabricação de circuitos eletrônicos.Foi feita também extensa pesquisa na internet e estudo de datasheets de circuitos integrados.

## 8. Blocos Funcionais

Só a título de maior informação e explicação ao leitor,é importante ressaltar que o projeto constitui-se basicamente em 6 blocos,que são:

- Retificador 3F2C
- Conversor CC-CC buck (Abaixador)
- Conversor CC-CC de alimentação do comparador de histerese
- Comparador de histerese
- Bateria
- Eletrônica de controle

## 9. Pesquisa dos Retificadores (Conversores CA-CC)

O fornecimento de energia elétrica é feito, geralmente, por fontes de correntes alternadas, devido, principalmente, à facilidade de adaptação do nível de tensão por meio de transformadores.

No entanto, em muitas aplicações é necessário que a carga seja alimentada com tensão contínua, para isso necessitamos de uma conversão AC/CC que é feita através dos conversores chamados retificadores.

Os retificadores podem ser classificados segundo a sua capacidade de ajustar o valor da tensão de saída (controlados X não-controlados); de acordo

com o número de fases da tensão alternada de entrada (monofásico, trifásico, hexafásico, etc.); em função do tipo de conexão dos elementos retificadores (meia-ponte X ponte completa).

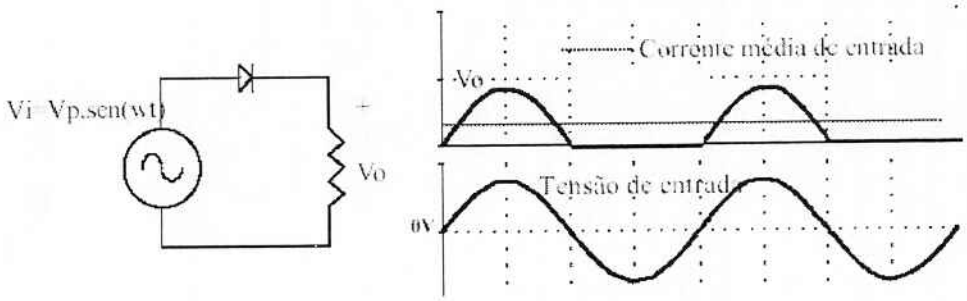



**Figura 9.0-Exemplo de retificador de meia-ponte**

9.1.1 RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS

Os retificadores não-controlados são os que usamos diodos na retificação da tensão de entrada. Neste caso, não temos condição de controlar a tensão de saída devido à ausência de interruptores controláveis.

Com carga resistiva as formas de onda de tensão e de corrente na saída do retificador e na carga são as mesmas (figura a). A corrente de entrada apresenta-se com a mesma forma e fase da tensão.

Um retificador com carga capacitiva (figura b) faz com que a tensão de saída apresente-se alisada, elevando o seu valor médio em relação à carga resistiva. O capacitor carrega-se com a tensão de pico da entrada. Quando a tensão de entrada se torna menor do que a tensão no capacitor, os diodos não conduzem e a corrente de saída é fornecida exclusivamente pelo capacitor, o qual vai se descarregando até que a tensão de entrada fique maior, recarregando o capacitor.

Para o retificador com carga indutiva (figura c), a carga se comporta como uma fonte de corrente. Dependendo da indutância, a corrente de entrada pode apresentar-se quase como uma corrente quadrada.

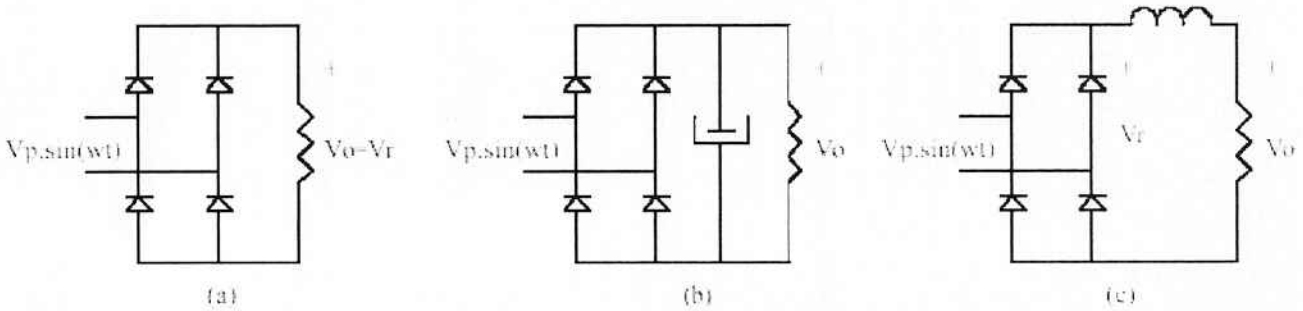



**Figura 9.1.1-Retificadores monofásicos não-controlados, de onda completa**

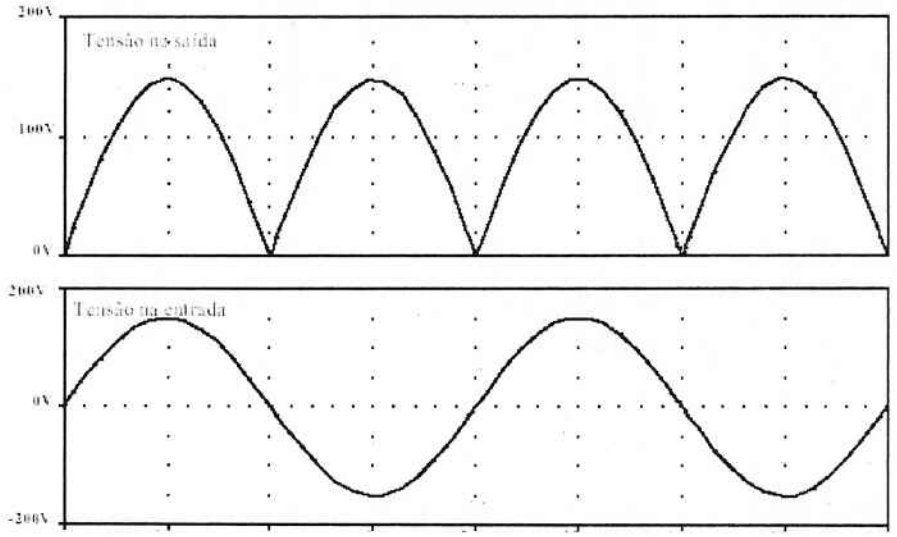
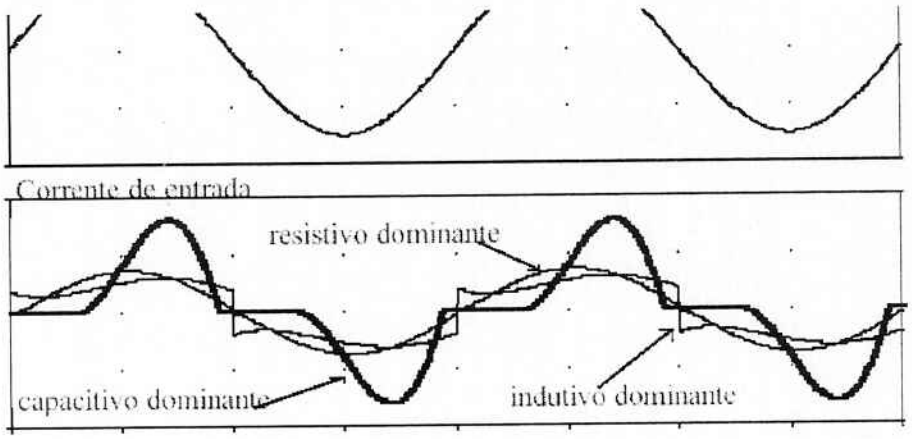



**Figura 9.1.2-Formas de onda para retificador com carga resistiva**

**Figura 9.1.3-Formas de onda no lado CA, para retificador monofásico, onda-completa, não-controlado, alimentando carga indutiva**



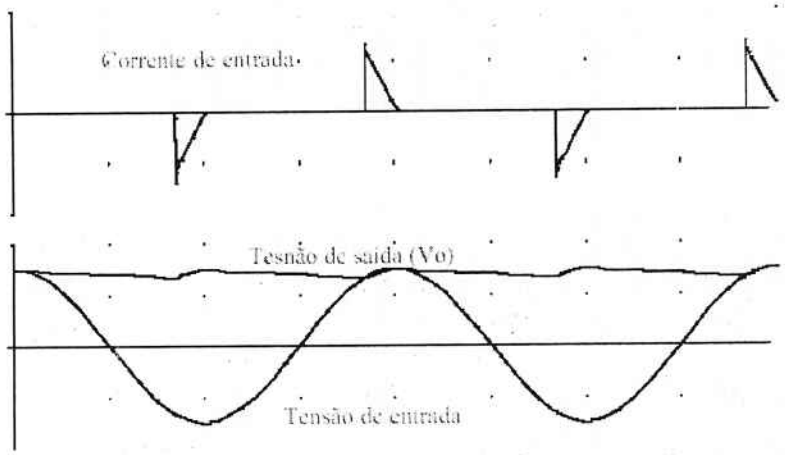




**Figura 9.1.4-Formas de onda de tensão na saída, para retificador monofásico, onda-completa, não-controlado e corrente na entrada**

### 9.1.2 RETIFICADORES NÃO-CONTROLADOS COM CARGA TRIFÁSICA

Quando a potência da carga alimentada se eleva, via de regra são utilizados retificadores trifásicos (figura 2.1) a fim de, distribuindo a corrente entre as 3 fases, evitar desequilibrios que poderiam ocorrer caso a corrente fosse consumida de apenas 1 ou 2 fases.

Neste caso, poderão conduzir aquelas fases que tiverem, em módulo, as 2 maiores tensões, ou seja, a fase que for mais positiva poderá levar o diodo a ela conectado, na semi-ponte superior, à condução. Na semi-ponte inferior poderá conduzir o diodo conectado à fase com tensão mais negativa.

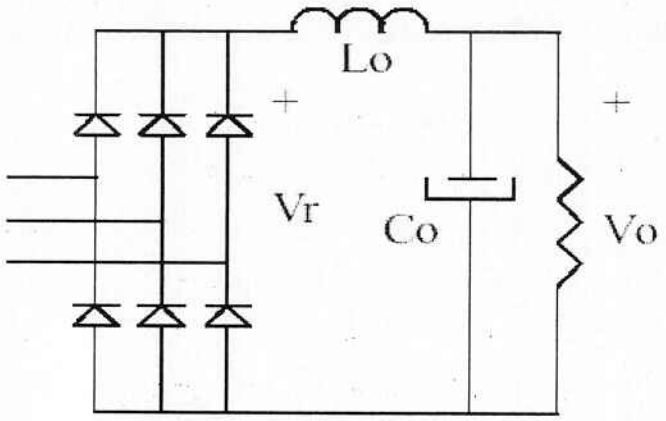



**Figura 9.1.2 Retificador trifásico, onda completa, não - controlado**

## 9.2 RETIFICADORES CONTROLADOS

Os circuitos retificadores controlados possuem vasta aplicação industrial, no acionamento de motores de corrente contínua, em estações retificadoras para alimentação de redes de transmissão CC, etc.

Basicamente, os circuitos retificadores controlados possuem tiristores no lugar dos diodos dos não - controlados, ou seja, há a possibilidade de controlarmos a tensão de saída.

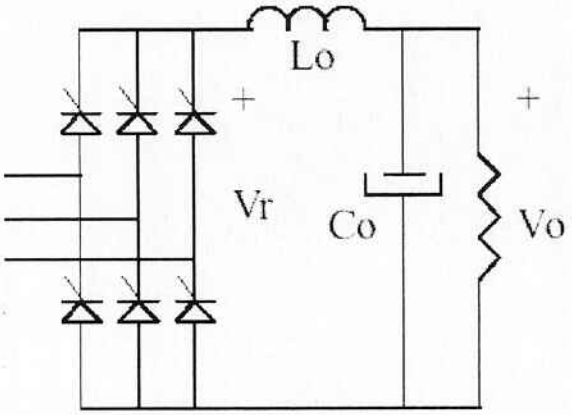
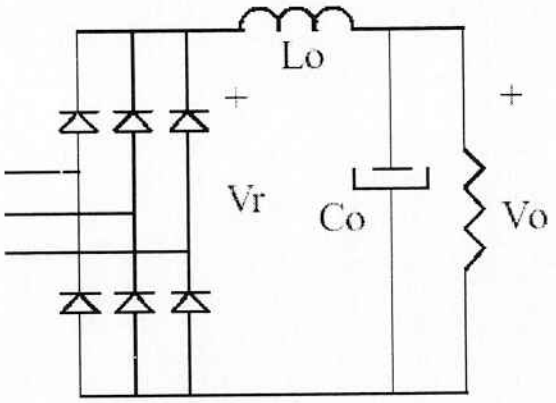



**Figura 9.2.1-Retificador controlado, onda completa**

## 10. CONCLUSÃO SOBRE OS RETIFICADORES

Como o controle da tensão de saída se dará pelo nosso circuito de controle ,não temos a necessidade de usarmos retificadores controlados,que variam a tensão de saída.Esta função se dará pela utilização do circuito de controle PWM, detalhado mais a frente.Optamos pela escolha também do retificador trifásico de dois caminhos, visto que este circuito permite menor ondulação de tensão na saída se comparado ao retificador trifásico de um caminho.Este também permite um maior valor DC de tensão na saída se comparado ao 3F1C.Abaixo ilustra-se a figura do retificador a ser usado:




Projeto dos diodos:

Como o valor de fase da tensão de entrada na pior rotação é 8,6V,temo que o valor médio da tensão na saída do retificador se calcula por:

$$E0 = Emáxlinhax\frac{p}{\pi}\,Sin\frac{\pi}{p}$$

No caso do retificador 3F2C p=6 e a fórmula pode ser simplificada por:

$$E0 = 2{,}34xU$$

Onde U é o valor eficaz de fase na máquina CA.Como temos uma tensão de 8,6V fase,garantiremos 20VDC na saída do retificador.

$$Vrev\max diodo = \sqrt{6}xU$$

Como poderemos obter uma tensão máxima em vazio a 90rpm na máquina CA de 17,2V teremos:

$$Vrevmaxdiodo = 42V$$

Idiodo máx=I/3

Como a corrente máxima prevista é de aproximadamente 15 A teremos I diodo máxima de 5A.

Para as características solicitadas acima utilizaremos o diodo Schottky Mbr2060CT da Fairchield, que atende a todos os requisitos de projeto.

Projeto do indutor de filtro para um retificador 2F2C:

Hipóteses:

1.Ondulação de corrente não muito elevada
2.Assume-se tensão constante na carga =E médio.

$$L = \frac{2}{W\Delta I}(\sqrt{2}.U.sin\theta - Emedio.sin\theta)$$

$$\theta = a\cos(\frac{1{,}35Vl}{\sqrt{2}Vl})$$

Onde Vl=Tensão eficaz de linha

Como w=113$^{rd}$/s para 45rpm, a variação de corrente para o projeto é de 5% que nos fornece 0.75 A,temos:

Para Vl=15V θ=0,91 rad, logo:

**L=4,6mH**

Cálculo aproximado da eficiência do retificador na condição crítica de operação:

1.Calculo das perdas :

$$Perdasdiodos = 6x[Vdiodo.Idmed + rt.Idef^2]$$

Onde :

**Vd:** tensão de condução direta no diodo
**Idmed:** corrente média em cada diodo
**Rt:** parâmetro do diodo

Para rt=0.0012, Vd= 0,9V e Idmed de 5 A temos:

$Perdasdiodos = 30W$

2.Estimativa da eficiência do retificador:

$$\eta = \frac{Psaída}{Pentrada} = \frac{Pentrada - Perdasdiodos}{Pentrada} = \frac{300-30}{300} = 90\%$$

Portanto temos um bom rendimento no retificador, o que não implicará em ineficiência energética no projeto.

## 11. Pesquisa dos CONVERSORES CC-CC

Com a tensão de entrada contínua, estes conversores têm a função de fornecer uma tensão de saída também contínua de maior ou menor valor, dependendo dos componentes utilizados no conversor e da disposição dos mesmos.

### 11.1 CONVERSORES ABAIXADORES DE TENSÃO (STEP-DOWN OU BUCK – Vo ≤E)

Esta configuração de conversor é mostrada na figura 1 a seguir :

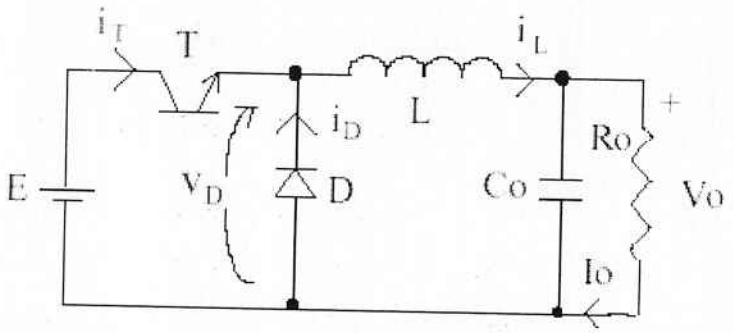



**Figura 8-2.1.1-Conversor abaixador de tensão (step-down ou buck)**

A tensão de entrada (E) é recortada pela chave T. Considere-se Vo constante.

Com o transistor conduzindo (diodo cortado), transfere-se energia da fonte para o indutor (aumento de $i_L$ ) e para o capacitor (quando $i_L$ > Vo/R).

Quanto T desliga, o diodo conduz, dando continuidade à corrente do indutor. A energia armazenada em L é entregue ao capacitor e à carga. Enquanto o valor instantâneo da corrente pelo indutor for maior do que a corrente da carga, a diferença carrega o capacitor. Quando a corrente for menor, o capacitor se descarrega, suprindo a diferença a fim de manter constante a corrente da carga (já que estamos supondo constante a tensão Vo).

Se a corrente pelo indutor não vai à zero, durante a condução do diodo, diz-se que o circuito opera no modo de condução contínua. Caso contrário tem-se o modo descontínuo. As formas de onda das correntes nesses modos de operação estão explicitadas na figura 2:

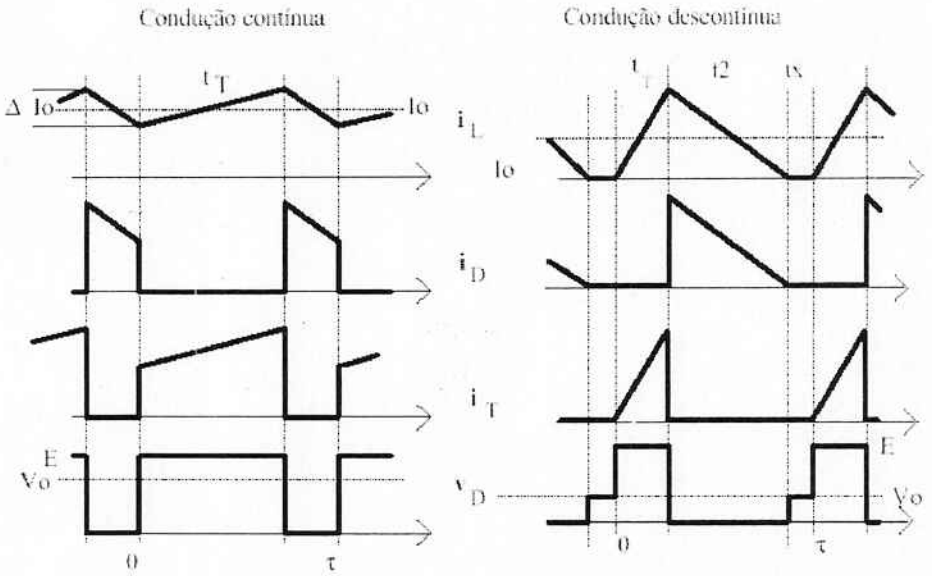



**Figura 8-2.1.2-Formas de ondas típicas nos modos de condução contínua e descontínua**

## 11.2 CONVERSOR ELEVADOR DE TENSÃO (STEP-UP OU BOOST – Vo ≥E )

Esta configuração de conversor é mostrada na figura 3 abaixo

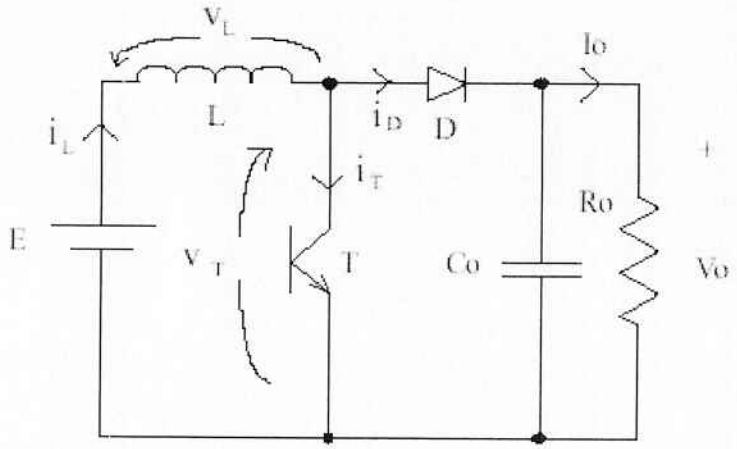



**Figura 3-Conversor elevador de tensão (step - up ou boost)**

Quanto T é ligado, a tensão E é aplicada ao indutor. O diodo fica reversamente polarizado (pois Vo > E). Acumula-se energia em L, a qual será enviada ao capacitor e à carga quando T desligar. A corrente de saída, $i_D$, é sempre descontínua, enquanto a corrente de entrada, $i_L$, pode ser contínua ou descontínua. Também neste caso tem-se a operação no modo de condução contínua ou descontínua. As formas de onda são mostradas na figura 4.

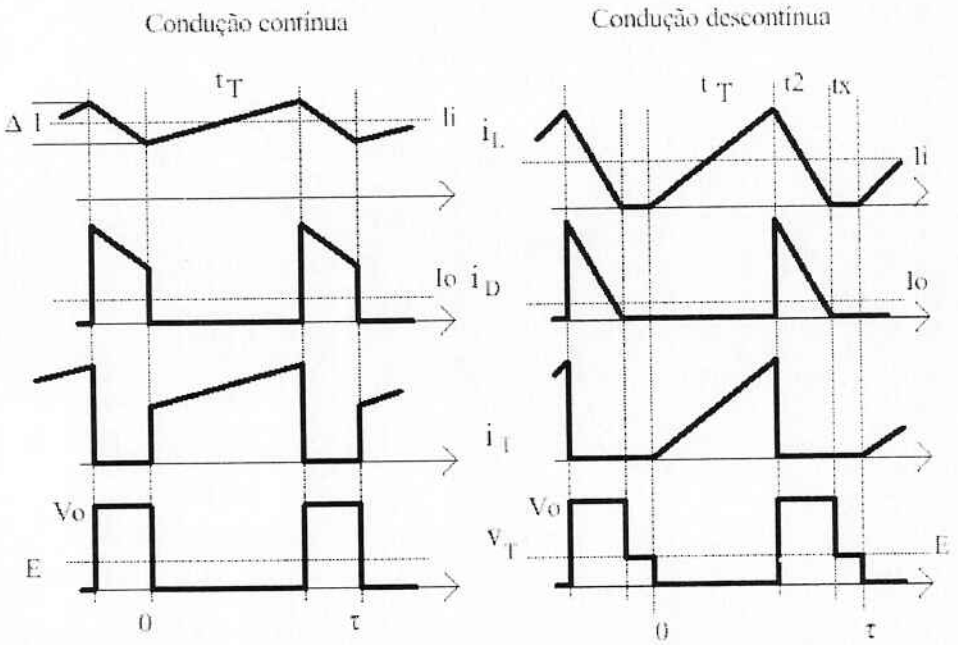



**Figura 4-Formas de onda típicas de conversor elevador de tensão**

## 11.3 CONVERSOR ABAIXADOR-ELEVADOR (BUCK-BOOST)

Neste conversor, a tensão de saída tem polaridade oposta à tensão de entrada. A figura 5 mostra o circuito :

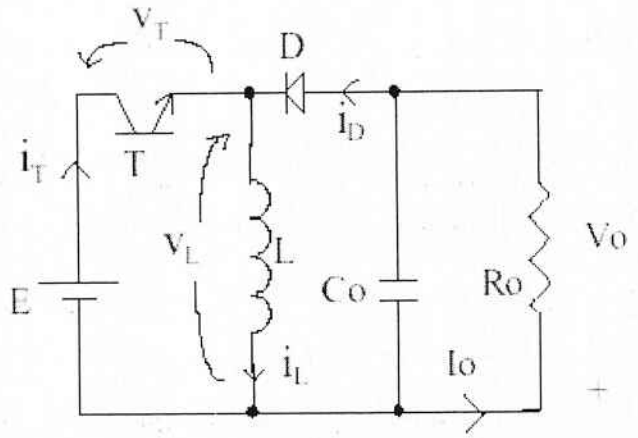



**Figura 5- Conversor abaixador-elevador de tensão**

Quando T é ligado transfere-se energia da fonte para o indutor. O diodo não conduz e o capacitor alimenta a carga. Quando T desliga, a continuidade da corrente do indutor se faz pela condução do diodo. A energia armazenada em L é entregue ao capacitor e à carga. Tanto a corrente de entrada quanto à de saída são descontínuas. A figura 6 mostra as formas de onda nos modos de condução contínua e descontínua (no indutor).

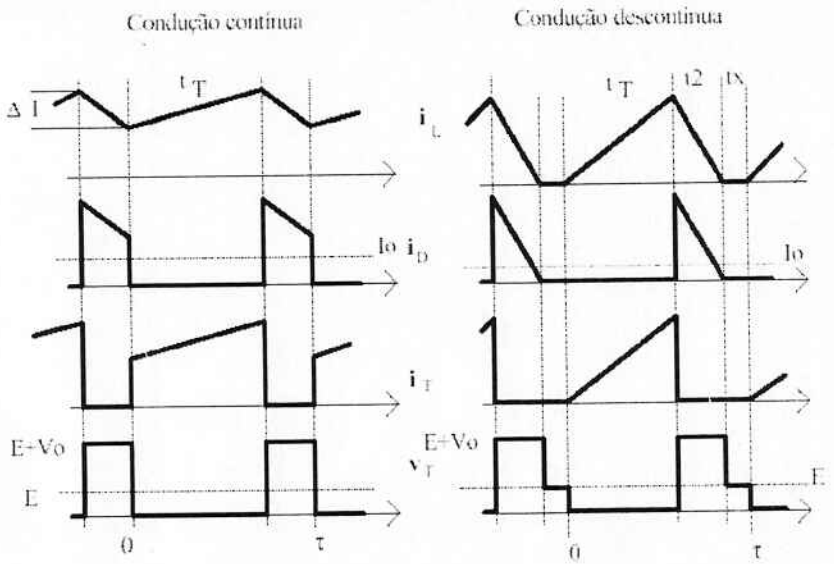



**Figura 6- Formas de onda do conversor abaixador-elevador de tensão operando em condução contínua e descontínua**

## 11.4 CONVERSOR CUK

Neste tipo de conversor a transferência de energia da fonte para a carga é feita por meio de um capacitor, diferente dos modelos anteriormente descritos.

Como vantagem, existe o fato de que tanto a corrente de entrada quanto a de saída podem ser contínuas, devido à presença de indutores. Além disso, ambos os indutores estão sujeitos ao mesmo valor instantâneo de tensão, de modo que é possível construí-los num mesmo núcleo. Este eventual acoplamento magnético permite, com projeto adequado, eliminar a ondulação de corrente em um dos enrolamentos.

A tensão de saída apresenta-se com polaridade invertida à tensão de entrada.

Este modelo é mostrado na figura 7.

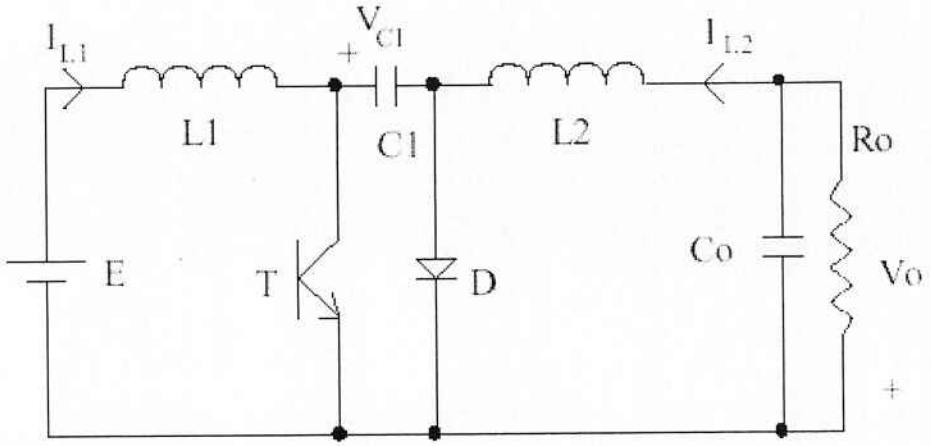



**Figura 7-Conversor `Cuk**

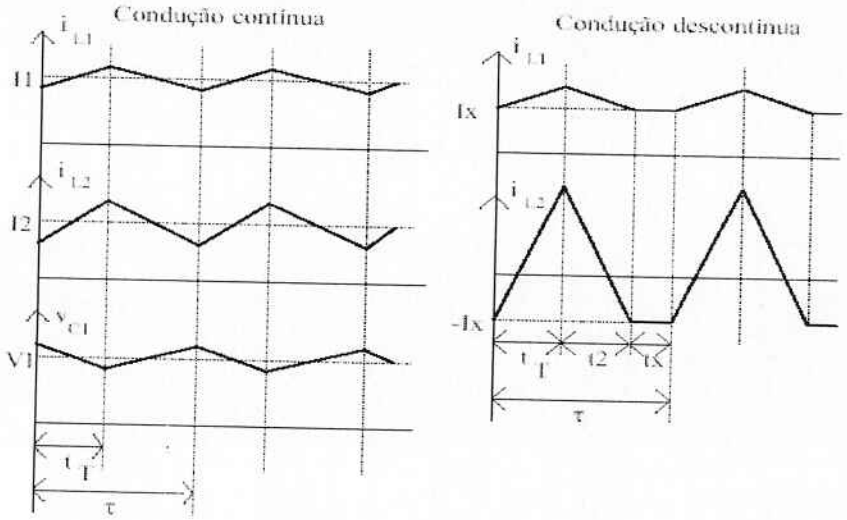
Em regime, como as tensões médias sobre os indutores são nulas, tem - se : $V_{C1}$ = E+Vo

Com o transistor desligado, $i_{L1}$ e $i_{L2}$ fluem pelo diodo. C1 se carrega, recebendo energia de L1. A energia armazenada em L2 é enviada à saída.

Quando o transistor é ligado, D desliga e por T. Como $V_{C1}$ >Vo, C1 se descarrega, transferindo energia para L2 e para a saída. L1 acumula energia retirada da fonte.

A figura 8 mostra as formas de onda de corrente nos modos de condução contínua e descontínua.

**Figura 8- Formas de onda do conversor Cuk em condução contínua e descontínua**




## 11.5 CONVERSOR SEPIC

O conversor SEPIC (Single Ended Primary Inductance Converter) é mostrado na figura 9.

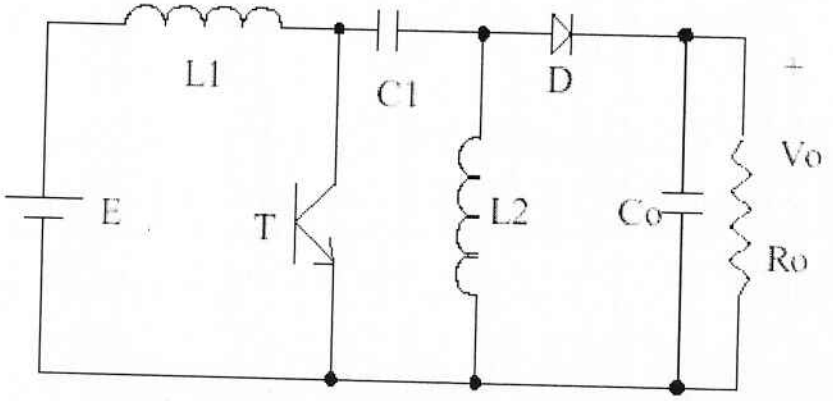



**Figura 9- Topologia do Conversor SEPIC**

Possui uma característica de transferência do tipo abaixadora - elevadora de tensão. Diferentemente do conversor Cuk, a corrente de saída é pulsada e não existe inversão na polaridade da tensão de saída. Sua principal vantagem é no circuito isolado quando a indutância L2 pode ser a própria indutância de magnetização do transformador.

### 11.6 CONVERSOR ZETA

O conversor Zeta cuja topologia está apresentada na figura 5.2.6.1 também possui uma característica abaixadora - elevadora de tensão. Na verdade, a diferença entre este conversor, o Cuk e o SEPIC é apenas a posição relativa dos componentes.

Aqui a corrente de entrada é descontínua e a da saída é contínua. A transferência de energia se faz via capacitor.

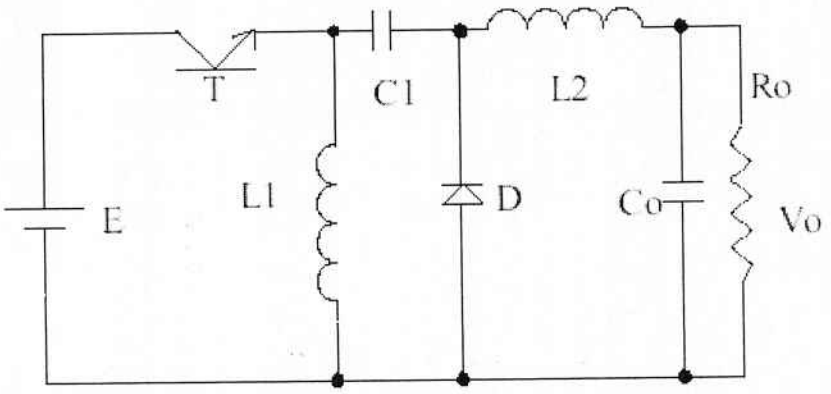



**Figura 10- Conversor Zeta**

## 12. CONCLUSÃO SOBRE OS CONVERSORES

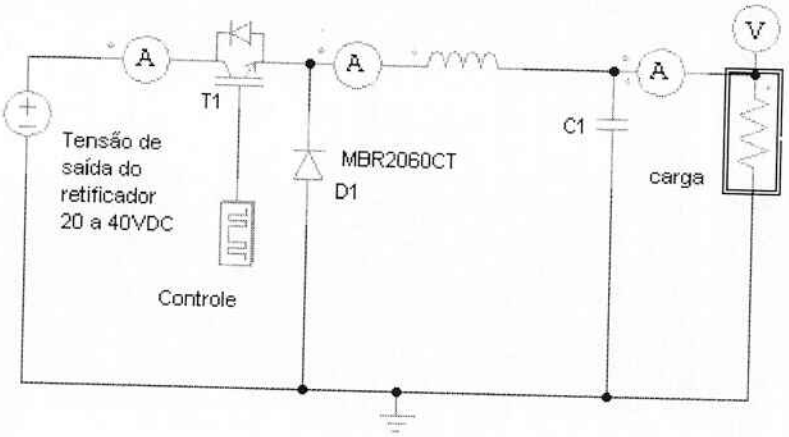
Dentre os conversores apropriados, fizemos a escolha do conversor BUCK (abaixador de tensão) por se enquadrar no nosso projeto.A tensão fornecida pela máquina variava entre 20 e 40VDC e necessitamos de uma tensão em torno de

14,5V na saída do conversor. O conversor CC-CC consiste num conversor de topologia BUCK,que recebe tensão contínua na entrada e reduz este valor a um nivel inferior ao da entrada,que se relaciona com a seguinte fórmula:

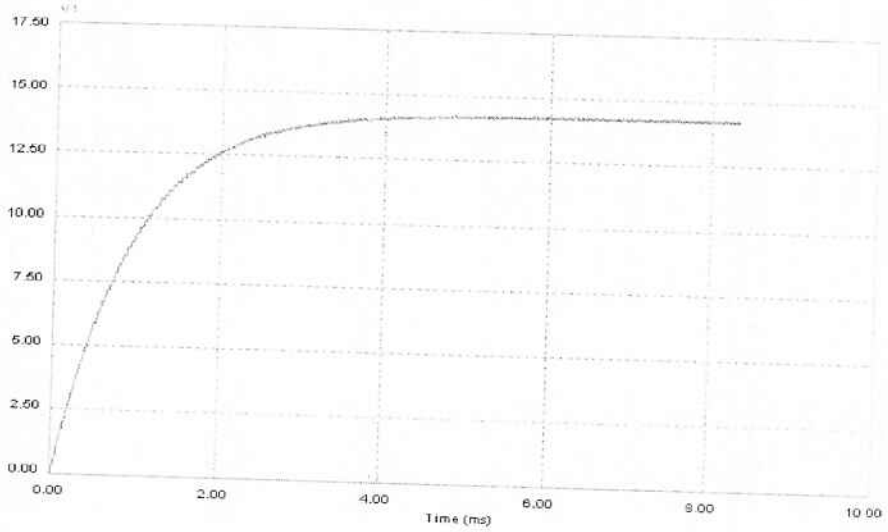
$$Vsaída = DxVentrada \quad (1)$$

Onde D é o ciclo de trabalho (Duty Cicle),ou seja, o tempo que o transistor permanece em estado saturado(ligado).Este valor está entre 0 e 100% e nunca temos uma tensão de saída igual ao valor da entrada,pois o sistema contém perdas dissipativas, além de haver limitações físicas.Quando o transistor está ligado a energia é armazenada no indutor e a corrente sobe linearmente.Quando o transistor está cortado a tensão do indutor inverte a polaridade e ocorre a descarga para a carga através do diodo D1.Ou seja mantêm -se a continuidade de corrente.Para que a corrente não caia a zero no indutor e consequentemente na carga, devemos operar nos limites do conversor, ou seja, a carga deve estar absorvendo um mínimo de corrente para que o limite de descontinuidade não seja atingido,que ocorre para uma carga com resistência maior que o valor de Rc (resistência crítica),que impossibilita a continuidade da corrente. Na figura seguinte temos o esboço do circuito do conversor com a simulação de algumas formas de onda importantes.A simulação foi realizada com os valores críticos de tensão de 20VDC e 40VDC na entrada, levando em conta as perdas devido às quedas de tensão no diodo de 0,8V e a queda de tensão entre coletor e emissor do transistor.Tomou-se uma carga de 1 Ohm para que garanta a operação no modo contínuo.

A carga que utilizaremos neste projeto foi definida como sendo de iluminação,consideramos que na condição máxima poderemos alimentar com uma potência de 200W,devido a perdas e auto-alimentação de outras partes do próprio circuito.Tomando como base lâmpadas de 12V e 8W, poderemos acender 10 lâmpadas,perfeito para iluminação residencial.



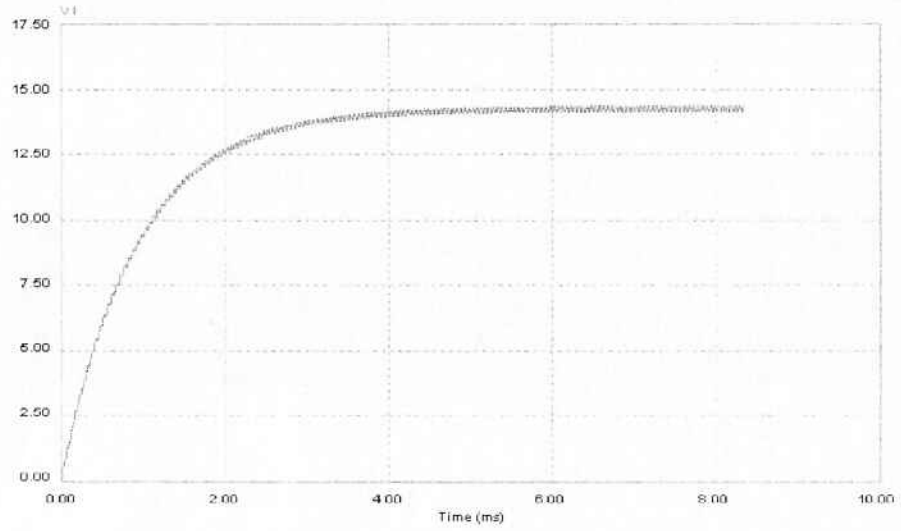

Conversor CC-CC abaixador




A simulação seguinte foi feita com um duty cicle de 75%,carga de 1 Ohm
Tensão na entrada de 20VDC.

Podemos notar uma ótima ondulação na entrada, sendo esta praticamente desprezível devido à frequência de chaveamento de 20KHz.

A próxima simulação foi feita com uma tensão na entrada de 40VDC,e ciclo de trabalho de 37,5%.Muito importante notar que a redução do ciclo de trabalho nos permitiu termos a mesma tensão na saída ,tanto em 40VDC quanto com 20VDC na entrada.Podemos concluir que o controle do ciclo de trabalho nos permite um perfeito controle na tensão de saída,respeitados os limites do conversor.




Podemos notar um aumento na ondulação devido aos valores fixo do indutor e do capacitor, o que não acarreta comprometimento no funcionamento do circuito,pois as cargas são de iluminação e o ondulação não sair da ordem de mili-volts.

## 13. PROJETO DOS COMPONENTES DO CONVERSOR

Devemos garantir que o conversor atue no modo de operação contínuo,para que não haja descontinuidade na corrente de saída que alimentará a carga e a bateria para que o conversor obedeça a relação:

$$Vsaida = DxVentrada$$

O valor de indutor não deve ser menor que o valor da indutância crítica,Como o nosso conversor tem uma variação de corrente de 0,2 A,temos que Ter pelo menos uma corrente de 0,1 A ,que é atendido proque mesmo na

ausência de carga utilizamos uma corrente de carga para a bateria de 0,5 A Temos tambem impor condicões para o ciclo de trabalho,considerando uma frequência mínima de chaveamento de 20KHz ,para que o conversor opere no modo contínuo.

**1.**Cálculo dos limites do ciclo de trabalho para operação no modo contínuo:

***legenda:***

***Dmáx e Dmin:*** *ciclo de trabalho máximo e mínimo respectivamente*
***Vimin e Vimax:****Tensão mínima e máxima respectivamente no conversor*
***Fsmin:****frequência mínma de chaveamento do projeto.*
***Vo :****tensão de saída do conversor*
***Ts:****Período de chaveamento*
***Δlo=****Variação de corrente na carga de projeto*
***ΔVo=****Ondulação de tensão pico a pico na carga definida no projeto*

*Para o projeto definimos uma ondulação de corrente na carga Δlo de 0,2 A e ΔVo=100mVpp para efeito de projeto do indutor e do capacitor.*

$$Dmáx = \frac{Vo}{Vimín.fsmín} = \frac{15}{20.20000} = 37{,}5\mu s$$

Que em porcentagem nos fornece:

Dmáx(%)=Dmáx/TS=37,5/50= 75%

O tempo de condução da chave deve ser mínimo quando a tensão de entrada for máximo,logo temos:

$$D\min = \frac{(Vimín - Vo)}{(Vi\max - Vo)}.D\max = \frac{(20-15)}{(40-15)}.37{,}5 = 7{,}5\mu s$$

Que em porcentagem nos fornece: Dmin(%)=7,5/50=15%

Como o nosso conversor tem um ciclo de trabalho que varia entre 37,5% e 75%,os ciclos de trabalho para projeto do indutor e o próprio valor do indutor calculados para o conversor nos garantirão a operação no modo contínuo.

2.Cálculo do indutor

$$L = \frac{(Vi\max - Vo)}{\Delta Io}.D\min = \frac{(40-15)}{0{,}2}.7{,}5\mu s = 937{,}5\mu H$$

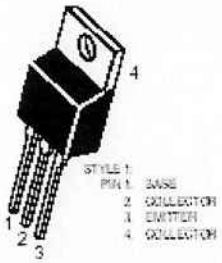
3.Cálculo do capacitor:

$$C = \frac{\Delta Io}{8.fs\min.\Delta Vo} = \frac{0{,}2}{8.20000.0{,}1} = 12{,}5\mu F$$

4.Projeto do transistor:

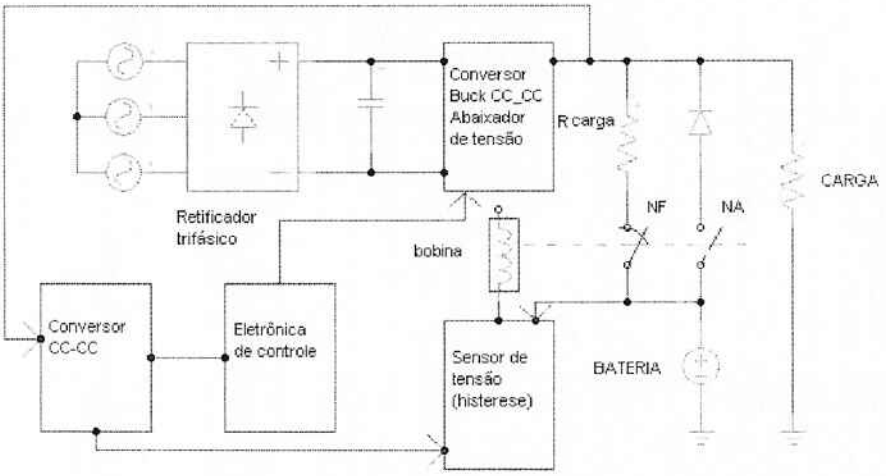
No projeto precisaríamos de um transistor de potência que fornecesse uma baixa queda de tensão entre coletor e emissor na saturação e fosse rápido, com baixo tempo de recuperação, da ordem de ns.Este transistor atendeu às características de projeto,com a seguinte especificação:

-Queda de 0,8V a 15A.
-Vbe Sat=1,2V
-Vce max 80Vdc
-Icmax=15Adc
-Icmaxpico repetitivo 20 A




Utilizamos o transistor de potência D44VH da ON semicondutor, a um preço de 0,64$,relativamente baixo.

## 14. Visão geral do diagrama de blocos do projeto:




## 15. Projeto do conversor CC-CC de alimentação do sensor de histerese

Devido ao nosso projeto ter uma variação de tensão sensível,entre interromper o processo de carga aos 14,5V e interromper a descarga em 10,5V para evitar a danificação e a formação de gases na bateria,não pudemos usar um

comparador através de um simples comparador,pois acarretaria problemas quanto ao reconhecimento desses níveis de tensão,o que levaria a uma oscilação instável e contínua entre a abertura e o fechamento dos contatores. Este ítem foi o que acarretou uma elevação substancial no custo do projeto, devido à complexidade de se conseguir uma fonte de tensão externa que nos fornecesse uma tensão de –15V e +15V para alimentação do amplificador operacional integrado, que pela dificuldade de se obter fontes externas praticamente nos obrigou a usar um dispositivo que nos fornecesse tal alimentação.O dispositivo é importado e seu custo é de 310$,que poderia ser solucionado ou sugerido como continuação deste projeto visto a complexidade de se projetar tal dispositivo.Para este **conversor CC-CC utilizamos o componente 201-MX4-1515-7** da **Melcher** que possui as seguintes especificações:

**Entrada:**8,4 a 36 VCC

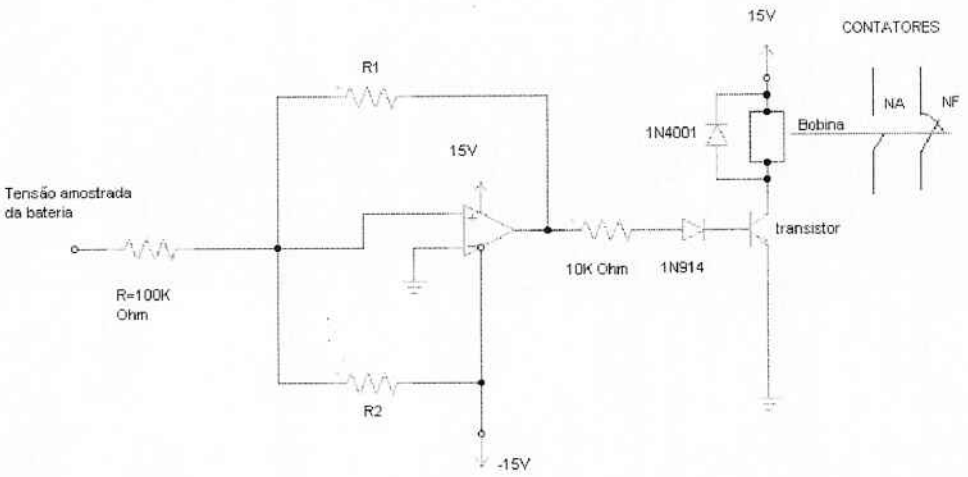
Esta entrada será a própria tensão de saída do retificador, que nos fornece níveis apropriados de tensão.

**Saída:** Nos fornece uma tensão de –15Vcc e +15Vcc, ideal para alimentar o amplificador operacional do comparador de histerese.

## 16. Projeto do comparador(sensor) de histerese

Este comparador amostra o sinal da bateria e faz o controle dos contatores NA e NF.Quando a tensão da bateria se encontra num valor baixo,aproximadamente 11,5V que pode ser prejudicial ao equipamento,este sensor interrompe o processo de descarga.Analogamente quando a tensão está alta devido ao processo de carga, ocorre a abertura do contator de carga da bateria,numa tensão de aproximadamente 14,5V.O comparador está ilustrado na figura abaixo:

## 1.Projeto de R1 e R2 do comparador de histerese:




Temos que **R1=n.R** e **R2=mR**,onde os parâmetros m e n podem ser calculados como se segue:

**Legenda:**

**Vref:**Tensão de referência do C integrado do amplificador operacional

**Vinferior:** Limite superior para parar a carga

**Vsuperior:**Limite superior para parar a descarga

**N e m:** Parâmetros para o cálculo de R1 e R2 respectivamente

$$Vcontrole = \frac{V\sup erior + v\inf erior}{2} = \frac{13{,}5V + 10{,}5V}{2} = 12V$$

$$m = -(\frac{Vref}{Vcontrole}) = -(\frac{(-15V)}{(+12V)}) = 1{,}25$$

$$Vhisterese = V\sup erior - V\inf erior = 13{,}5V - 10{,}5V$$

$$n = \frac{Vsat - (-Vsat)}{Vhisterese} = \frac{13V - (-13V)}{3V} = 8{,}66$$

$$R1 = n.R = 8.66.100kOhm = 866KOhm$$

$$R2 = m.R = 1{,}25.100kOhm = 125kOhm$$

## 17. Bateria utilizada e suas características

A bateria utilizada no projeto é a **YB2,5L-A,fabricada pela Lucas –Yuasa do Brasil**.

**Tensão nominal**-Uma bateria não apresenta em seus terminais uma tensão fixa. A tensão nominal, que para a nossa bateria é de 12 V, reprenta a média dos valores encontrados durante um processo normal de descarga.

**Capacidade Nominal**-A capacidade nominal, dada em Ampères-hora, se retirada da bateria a levaria a um estado de total descarregamento. A capacidadenominal da nossa bateria é de 2,5 Ah

**Profundidade de descarga** - Nunca devemos descarregar completamente uma bateria de chumbo-ácido. A profundidade de descarga, em torno de 20 % da capacidade nominal, informa que dos 2,5 Ah de nossa bateria só podemos usar 0,2 x 2,5 = 0,5 Ah sob pena de danificá-la irremediavelmente. Os acumuladores de

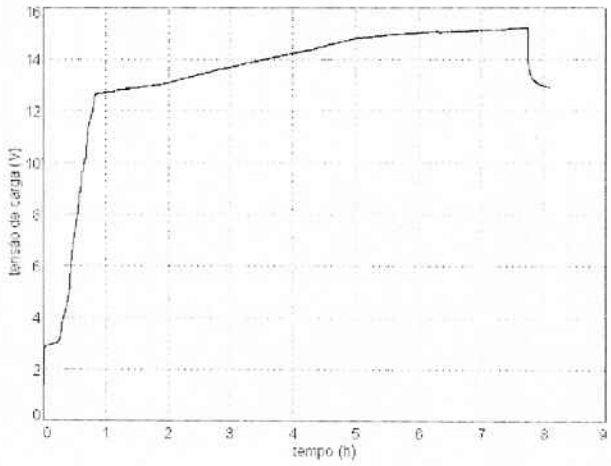
níquel-cádmio, ao contrário, devem trabalhar em ciclos de carga e descarga completas para evitar a redução da sua vida útil.

**Corrente de Carga** -Podemos usar uma fonte de corrente para carregar nossa bateria e o seu valor geralmente é encontrado dividindo por 10h a capacidade nominal. A corrente de carga será então de 0,25A. A corrente de descarga apresenta também esse mesmo valor.

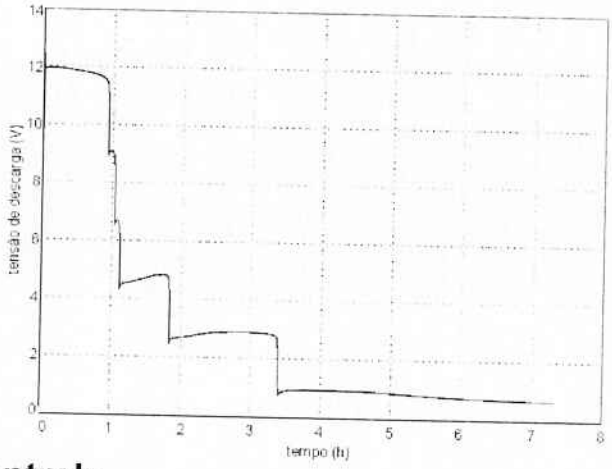
**Tensão de flutuação-**A bateria descarrega-se sozinha se abandonada em circuito aberto. É preciso então manter uma fonte de tensão ligada aos seus terminais para que ela permaneça em seu estado de plena carga. Em nosso caso a tensão de flutuação é de 12,9 V.

**Tensão de gaseificação -** Durante o processo de carga a tensão na bateria sobe lentamente, ultrapassando a tensão nominal e a de flutuação até atingir a tensão de gaseificação. A partir desse momento cessa a acumulação de energia e se insistirmos além desse ponto a bateria passa a consumir toda a corrente entregue realizando a eletrólise da água, o que pode ser visto com facilidade através da intensa formação de bolhas. A tensão de gaseificação da nossa bateria é de 15,15 V.

**Curva de Carga da bateria**



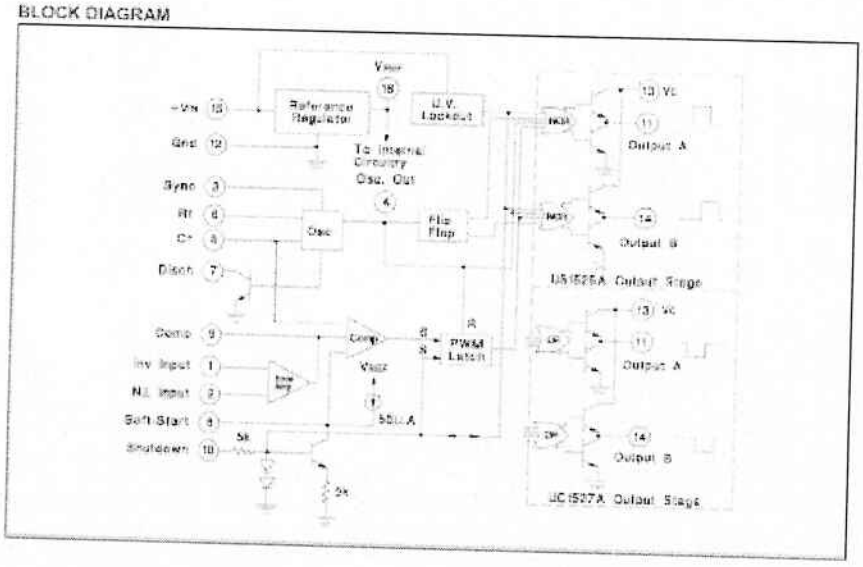
**Curva de descarga da bateria**



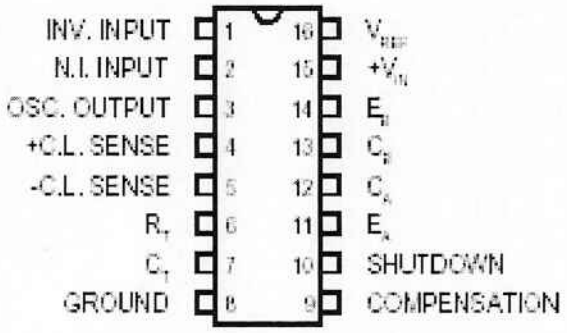

## 18. Lógica de Controle

Será utilizado o circuito integrado SG3524 da fairchield,que atende a todas as características do nosso projeto,como duty cicle variável e tensão de entrada de 8V a 40V.As especificações estão inclusas no anexo.

### 18.1-Diagrama de Blocos



## 18.2- Especificações do Integrado SG324




## 19. Principio de funcionamento de moduladores PWM

Em MLP opera-se com freqüência constante, variando-se o tempo em que a chave permanece ligada.O sinal de comando é obtido, geralmente, pela comparação de um sinal de controle ( modulante ) com uma onda periódica (portadora) como, por exemplo, uma " dente - de -serra".A figura 1 ilustra estas formas de onda. Para que a relação entre o sinal de controle e a tensão média de saída seja linear, como desejado, a freqüência da portadora deve ser, pelo menos 10 vezes maior do que a modulante, de modo que seja relativamente fácil filtrar o valor médio do sinal modulado(MLP), recuperando o sinal de controle.

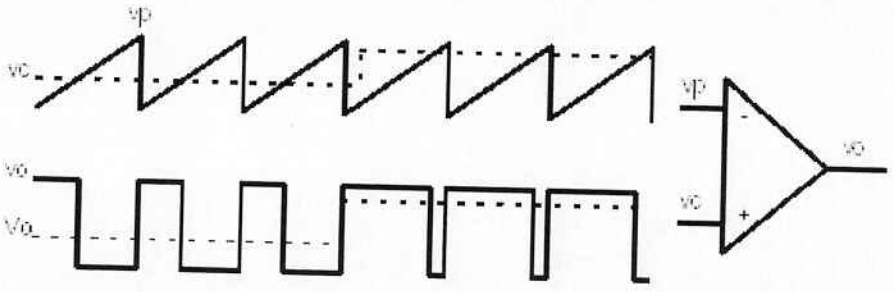
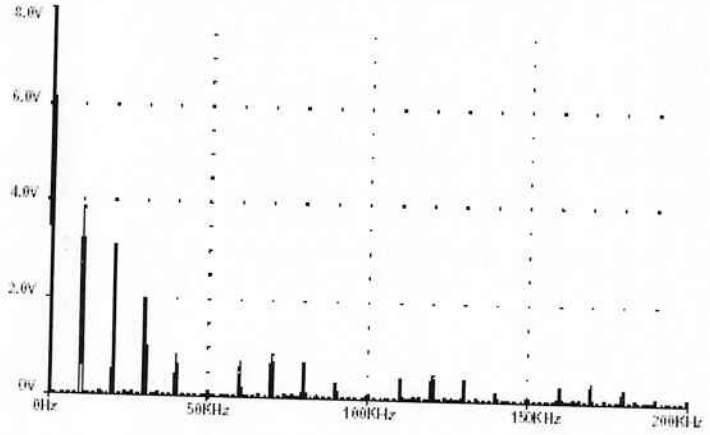



*Figura 1*

**A seguir é mostrado o espectro harmônico de um sinal modulado**




## 20. Projeto do CI controlador sg3424

### 1.Cálculo de Rt e Ct:

$$f = \frac{1}{Rt.Ct}$$

Como a frequência de chaveamento de projeto do transistor é de 20kHz,temos que devemos te uma frequência de chaveamento pelo menos 10 vezes maior,para que o sinal possa ser recuperado com o filtro passa baixas do conversor Buck.

Para Rt=2K Ohm e f=200kHz temos Ct=2,5nF

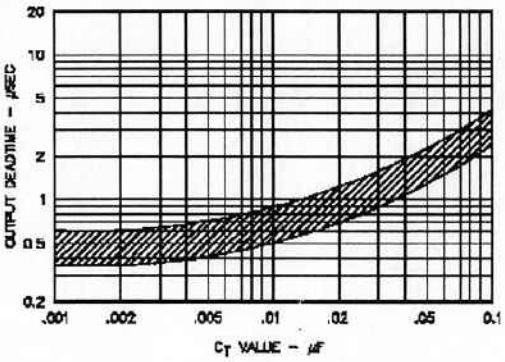



FIGURE 1 - OUTPUT STAGE DEADTIME VS. CT

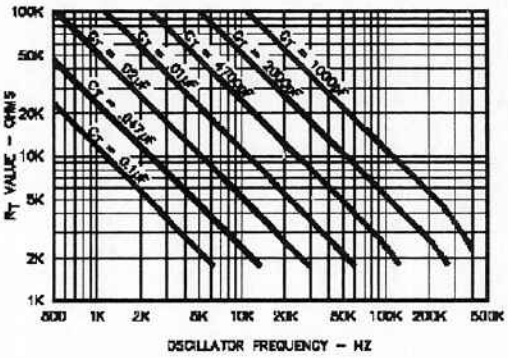



FIGURE 2 - OSCILLATOR FREQUENCY VS. RT AND CT

*SG1524/SG2524/SG3524*

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (continued)

| Parameter | Test Conditions | SG1524/2524 Min. | SG1524/2524 Typ. | SG1524/2524 Max. | SG3524 Min. | SG3524 Typ. | SG3524 Max. | Units |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Oscillator Section** (Note 4) | | | | | | | | |
| Initial Accuracy | $T_J = 25°C$ | 36 | 40 | 44 | 36 | 40 | 44 | KHz |
| | $MIN \le T_J \le MAX$ | 34 | | 46 | 34 | | 46 | KHz |
| Voltage Stability | $V_{IN} = 8V$ to 40V | | 0.1 | 1 | | 0.1 | 1 | % |
| Maximum Frequency | $R_T = 2kΩ$, $C_T = 1nF$ | 200 | 400 | | 200 | 400 | | KHz |
| Sawtooth Peak Voltage | $V_{IN} = 40V$ | 3 | | 3.6 | 3 | | 3.6 | V |
| Sawtooth Valley Voltage | $V_{IN} = 8V$ | 0.6 | 1 | 1.2 | 0.6 | 1 | 1.2 | V |
| Clock Amplitude | | 3.2 | | | 3.2 | | | V |
| Clock Pulse Width | | 0.3 | | 1.5 | 0.3 | | 1.5 | µs |
| **Error Amplifier Section** (Note 5) | | | | | | | | |
| Input Offset Voltage | $R_S = 2kΩ$ | | 0.5 | 5 | | 2 | 10 | mV |
| Input Bias Current | | | 1 | 10 | | 1 | 10 | µA |
| Input Offset Current | | | | 1 | | | 1 | µA |
| DC Open Loop Gain | $R_L = 10MΩ$, $T_J = 25°C$ | 72 | | | 60 | | | dB |
| Output Low Level | $V_{IN(-)} - V_{IN(+)} \ge 15mV$ | | 0.2 | 0.6 | | 0.2 | 0.6 | V |
| Output High Level | $V_{IN(-)} - V_{IN(+)} \ge 15mV$ | 3.8 | 4.2 | | 3.8 | 4.2 | | V |
| Common Mode Rejection | $V_{CM} = 1.8V$ to 3.4V | 70 | | | | | | dB |
| Supply Voltage Rejection | $V_{IN} = 8V$ to 40V | 58 | | | | | | dB |
| Gain Bandwidth Product (Note 6) | $T_J = 25°C$ | 1 | 2 | | 1 | 2 | | MHz |
| **P.W.M. Comparator** (Note 5) | | | | | | | | |
| Minimum Duty Cycle | $V_{COMP} = 0.5V$ | | | 0 | | | 0 | % |
| Maximum Duty Cycle | $V_{COMP} = 3.6V$ | 45 | 49 | | 45 | 49 | | % |
| **Current Limit Amplifier Section** (Note 5) | | | | | | | | |
| Sense Voltage | $T_J = 25°C$ | 190 | 200 | 210 | 190 | 200 | 210 | mV |
| Input Bias Current | | | | 200 | | | 200 | µA |
| **Shutdown Section** | | | | | | | | |
| Threshold Voltage | $T_J = 25°C$ | 0.5 | 0.8 | 1.2 | 0.5 | 0.8 | 1.2 | V |
| | $MIN \le T_J \le MAX$ | 0.2 | | 1.6 | 0.2 | | 1.6 | V |
| **Output Section** (each transistor) | | | | | | | | |
| Collector Leakage Current | $V_{CE} = 40V$ | | | 50 | | | 50 | µA |
| Collector Saturation Voltage | $I_C = 50mA$ | | | 2 | | | 2 | V |
| Emitter Output Voltage | $I_E = 50mA$ | 17 | | | 17 | | | V |
| Collector Voltage Rise Time | $R_C = 2kΩ$ | | | 0.4 | | | 0.4 | µs |
| Collector Voltage Fall Time | $R_C = 2kΩ$ | | | 0.2 | | | 0.2 | µs |
| **Power Consumption** | | | | | | | | |
| Standby Current | $V_{IN} = 40V$ | | 7 | 10 | | 7 | 10 | mA |

Note 4: $f_{OSC} = 40kHz$ ($R_T = 2kΩ$, $C_T = 10nF$)
Note 5: $V_{CM} = 2.5V$
Note 6: $V_{CM} = 5V$
Note 7: These parameters, although guaranteed over the recommended operating conditions, are not 100% tested in production.

## 21. Pinagem do CI SG3424

Pino1-Entrada inversora

Pino2-Entrada não inversora

Pino3-Para sincronismo externo

Pino 4- Dedicado ao limitador de corrente (N/C)

Pino 5- Dedicado ao limitador de corrente (N/C)

Pino 6- Rt :deifine a frequência da onda "dente-de serra"

Pino 7- Ct : deifine a frequência da onda "dente-de serra"

Pino 8- Terra

Pino 9-compensação

Pino 10-shutdown

Pino 11-Saída normal

Pino 12-Saída invertida

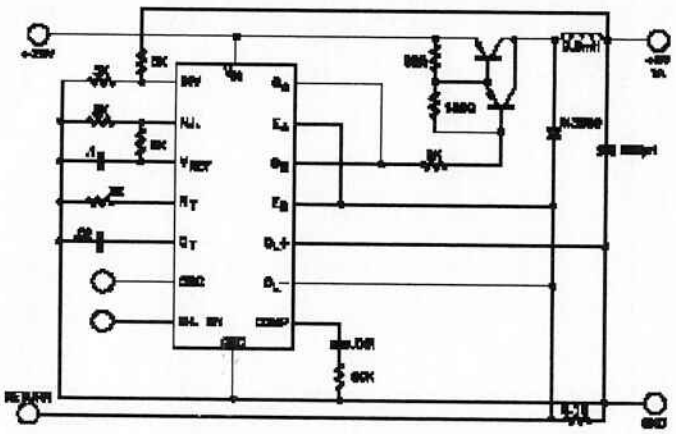
Pino 13-Saída invertida defasada

Pino 14-Saída defasada

Pino 15-Tensão de entrada

Pino 16-Tensão de referência

## 22. Esquema de ligação do integrado



**Obs:**

**1.** No nosso projeto devemos usar Rt=200k ohm e Ct-2,5nF.

**2.** As saídas devem ser ligadas em paralelo para fornecer um ciclo de trabalho de até 90%

## 23. Carga

A carga utilizada é basicamente para iluminação, foram utilizadas lâmpadas de 12V e 8W para definição da carga de projeto.De acordo com os cálculos aproximados do rendimento do retificador, que girou em torno de 90% e do conversor buck em torno de 94% e considerando-se perdas em componentes discretos e auto–alimentação do circuito, estimamos um rendimento de aproximadamente 65%.Considerando-se então que temos aproximadamente 200

W de potência na saída, poderemos fazer a alimentação de aproximadamente 25 lâmpadas, perfeito para iluminação residencial.

## 24. Bibliografia

1.Ang,Simon **S -Power Switching Converters**
Marcel Dekker

2.Pressman Abraaha I- **Switching power Supply Design**

3.Mohan,Underland,Robins-**Power Electronics-Converters,Application and design**

**4. Linear/Switchmode Voltage Regulator Handbook**
Motorola Inc.
4ª Ed., 1989, USA

**5. Product Catalog**
Gennum Corporation
Canada, 1989

6. Alberkrack, J.H.; Barrow, S.M.
**Power Factor Controller IC Minimizes External Components**
PCIM, Feb. 1993

## 25.Sites Consultados

**1.Google –** www.google.com.br

**2.Altavista-** www.altavista.com

**3.Poli -** www.poli.usp.br

## 26. Agradecimentos

Agradecemos os seguintes professores da EPUSP, os quais foram fundamentais para a realização deste projeto : Prof. Dr. Walter Kaiser, Prof. Dr. Wilson Komatsu, Prof. Dr. Clovis Goldemberg e por último, mas não menos importante, Prof. Dr. Ivan Chabú, nosso orientador.

Mencionamos os seguintes nomes como importante ajuda na conclusão deste trabalho : Eng. Mauro Sassazaki e Eng. Tadeu Rezende de Azevedo, ambos profissionais da Voith Siemens Hydro Power Generation Ltda., empresa atuante no ramo de geração de energia.