

**ESCOLA SECUNDÁRIA ALFREDO DA SILVA - BARREIRO****CURSO PROFISSIONAL
DE
ELECTRÓNICA, AUTOMAÇÃO E COMPUTADORES****UNIDADE 1 - Fontes de Alimentação****Introdução**

As fontes de alimentação são um componente muito importante em quase todos os aparelhos electrónicos e do seu funcionamento depende em grande parte a qualidade desse equipamento.

Como exemplos mais evidentes de fontes de alimentação temos as fontes utilizadas nos laboratórios de electrónica, química, física, etc. e ainda as dos, hoje omnipresentes, computadores. É sobre as fontes destes últimos que nos deteremos mais afincadamente através de uma série de artigos que nos explicam como funcionam as fontes de computador (AT e ATX) e métodos práticos de resolução de avarias mais comuns.

Antes, porém, deter-nos-emos na teoria. Será apresentado um artigo baseado no capítulo 24 do Livro “Princípios de electrónica”, Vol. 2, Albert Malvino: Fontes de Alimentação Reguladas (solicitar capítulo [aqui](#)).

Fontes de Alimentação Reguladas

Objectivos a atingir:

- Descrever o funcionamento da regulação em paralelo;
- Descrever o funcionamento da regulação série;
- Explicar o funcionamento e características dos reguladores de tensão em circuito integrado;
- Explicar como funcionam os conversores de CC-CC, base das fontes de tensão comutadas (as que se usam, hoje em dia, em todos os computadores, e não só);
- Explicar a finalidade e o funcionamento do amplificador de corrente e do limitador de corrente;
- Descrever as três topologias básicas dos reguladores comutados.

Pode-se construir um regulador de tensão simplesmente com um díodo de zener. No entanto ele não atenderá as necessidades práticas dos componentes usados.

Avançaremos depois para o uso da realimentação negativa, como forma de melhorar a regulação de tensão. Começaremos pelos reguladores lineares e concluiremos com os hoje inelutáveis reguladores comutados.

1. Características das Fontes de Alimentação

A qualidade de uma fonte de alimentação depende da sua:

- Regulação na carga;
- Regulação de rede;
- Resistência de saída.

características estas sempre fornecidas nas folhas dos fornecedores.

Regulação na Carga

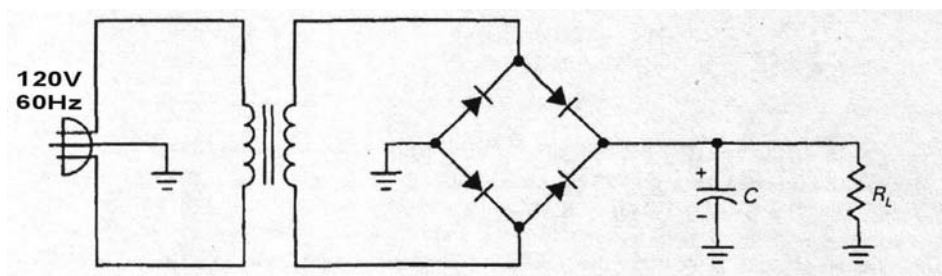


figura 1 - Fonte de alimentação com filtro de entrada com condensador

A figura 1 mostra uma ponte rectificadora com um filtro capacitivo de entrada. Se alterarmos a resistência de carga, a tensão na carga também muda (infelizmente).

A Regulação na Carga é um parâmetro que indica quanto se altera a tensão na carga quando mudamos a corrente na carga (através da alteração da resistência de carga)

$$\text{Regulação de Carga} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100\%$$

V_{NL} - Tensão na carga sem corrente na carga

V_{FL} - Tensão na carga com corrente e carga máxima

Por exemplo, se a fonte tiver os valores seguintes (dados do fabricante):

$$V_{NL} = 10.6 \text{ V para } I_L = 0$$

$$V_{FL} = 9.25 \text{ V para } I_L = 1 \text{ A}$$

$$\text{A Regulação na carga} = \frac{10.6 - 9.25}{9.25} \times 100\% = 14.6\%$$

De notar que quanto menor for a regulação na carga, melhor será a fonte, pois mesmo que a resistência de carga seja muito alterada, a tensão nos seus terminais variará menos, que é o que interessa.

Valor típico: menos de 1%

Regulação de Rede

A tensão da rede está sempre a sofrer alterações momentâneas. Este parâmetro mede a influência que essas alterações têm na nossa fonte. É evidente que quanto menor for este parâmetro melhor será a fonte, isto é, menos afectada será na sua tensão de carga, pelas variações de tensão na entrada.

$$\text{Regulação de Rede} = \frac{V_{HL} - V_{LL}}{V_{LL}} \times 100\%$$

V_{HL} - Tensão na carga para uma tensão de rede máxima

V_{LL} - Tensão na carga para uma tensão de rede mínima

Por exemplo, se a nossa fonte de alimentação tiver os valores seguintes:

V_{HL} - 9.2 V para uma tensão de rede mínima de 105 V rms

V_{LL} - 11.2 V para uma tensão de rede máxima de 125 rms

$$\text{Regulação de Rede} = \frac{11.2 - 9.2}{9.2} \times 100\% = 21.7\%$$

Valor típico: menos de 0.1%

Resistência de Saída (de Thevenin)

Se uma fonte tiver uma Resistência de Saída baixa, a sua regulação também será baixa, isto é, quanto mais baixa a Resistência de saída, pior a fonte.

$$R_{TH} = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{I_{FL}}$$

Por exemplo, se a (nossa) fonte tiver os valores seguintes (dados do fabricante):

$$V_{NL} = 10.6 \text{ V para } I_L = 0$$

$$V_{FL} = 9.25 \text{ V para } I_L = 1 \text{ A}$$

$$R_{TH} = \frac{10,6 - 9,25}{1} = 1,35 \Omega$$

Quanto mais horizontal for a curva do gráfico V_L em função de I_L , menor será a resistência de saída, logo melhor será a fonte, pois a tensão de saída variará menos para a mesma variação de corrente de carga (saída), por diminuição da resistência de carga.

Uma outra expressão para a Regulação na Carga é:

$$\text{Regulação na carga} = \frac{R_{TH}}{R_{L(\min)}} \times 100\%$$

por exemplo, para uma resistência de saída de $1,5 \Omega$ e uma resistência de carga mínima de 10Ω , obteríamos uma Regulação na carga de 15%.

2. Regulação em Paralelo

Os valores anteriormente obtidos são muito altos para as aplicações usuais, por isso temos de introduzir um regulador entre a fonte e a carga.

Iremos começar por um regulador de tensão linear que utiliza um dispositivo a funcionar na sua zona linear para manter a tensão na carga constante:

Regulador Zener

Usa-se um diodo de zener a funcionar na sua zona de ruptura, produzindo assim uma tensão de saída igual à tensão de zener

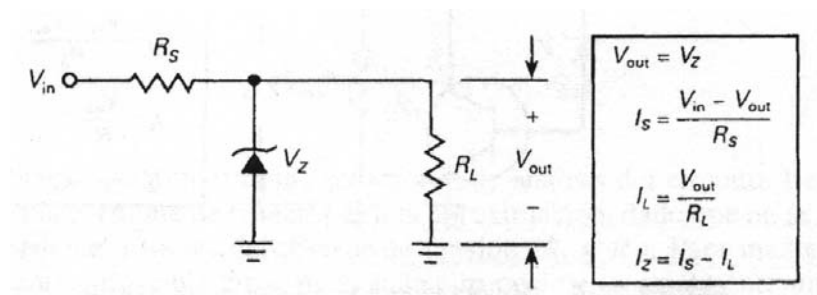


figura 2 - O regulador zener é um regulador em paralelo

Quando a corrente na carga varia (por força da variação da resistência de carga), aumenta ou diminui a corrente no zener, mantendo-se o valor da corrente em R_s .

Com qualquer regulador em paralelo, uma mudança na corrente de carga é compensado por uma mudança de sentido oposto no ramo do zener.

A corrente de entrada do regulador é:

$$I_s = \frac{V_{in} - V_{out}}{R_s}$$

Isto é válido até que a corrente na carga atinja o seu valor máximo, que se dá quando a corrente no zener diminui até quase zero, isto é, o zener começa a sair da sua zona de ruptura.

Tensão de Zener com um Transístor

Para grandes correntes de carga, em que a montagem anterior deixaria de funcionar devido à saída do zener da sua zona de ruptura, uma maneira de melhorar a regulação é acrescentar um transístor

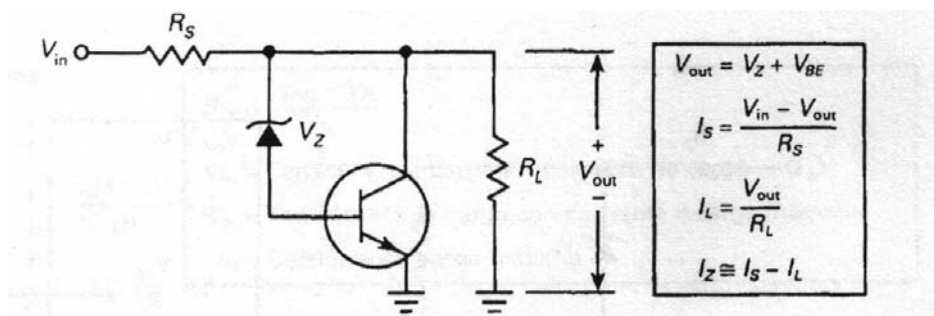


figura 3 - Melhorando um regulador em paralelo

Neste caso a tensão de saída será:

$$V_{out} = V_Z + V_{BE}$$

Vejamos como o circuito mantém a tensão de saída constante: se a tensão de saída tenta aumentar, este aumento é transmitido, através do díodo de zener, à base do transístor. Esta tensão elevada na base do transístor produz uma maior corrente de colector através do R_s . A tensão que cai em R_s fica maior compensando assim os aumentos de tensão na saída, isto é, fá-la baixar, em contraciclo com a tendência inicial. Uma alteração significativa corresponderá apenas a um pequeno aumento da tensão na carga.

Se a tensão na saída tender a baixar, o raciocínio é do mesmo tipo mas com tudo de forma inversa.

Tensão de Saída Maior

Mostramos de seguida outro regulador em paralelo, que apresenta a vantagem de ser capaz de usar o coeficiente para baixas temperaturas de tensão de zener (entre 5 e 6 volts), pelo que a tensão de saída terá o mesmo coeficiente de temperatura que o díodo de zener, mas a tensão será maior.

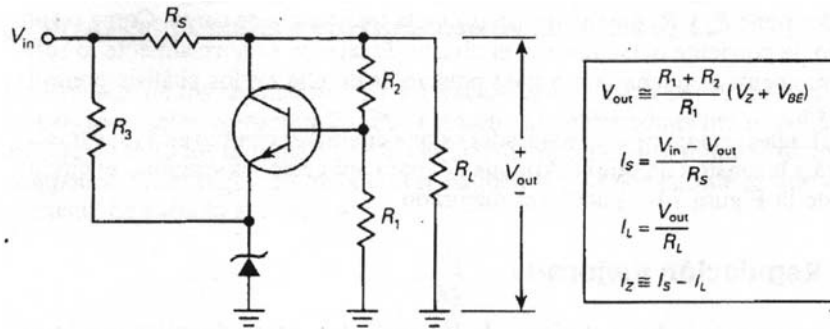


figura 4 - Regulador em paralelo com tensão de saída maior

O funcionamento, através da realimentação negativa também, será muito similar ao exposto no caso anterior.

A tensão na base virá: $V_B \cong \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{out}$

então $V_{out} \cong \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_B$

por outro lado $V_B = V_Z + V_{BE}$

pelo que virá $V_{out} \cong \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_Z + V_{BE})$ (equação 1)

Para que o rendimento do regulador seja o mais alto possível usa-se R_1 e R_2 muito maiores que a Resistência de carga, pelo que a corrente que passa no divisor de tensão é suficientemente pequena para a desprezarmos, como fizemos, aliás, na nossa análise precedente.

A desvantagem deste regulador é que qualquer mudança em V_{BE} se reflectirá na tensão de saída, pelo que este circuito pode ser usado em aplicações simples, mas poderá ser ainda melhorado.

Regulação Melhorada

Para reduzir o efeito de V_{BE} mencionado anteriormente, usamos o circuito seguinte:

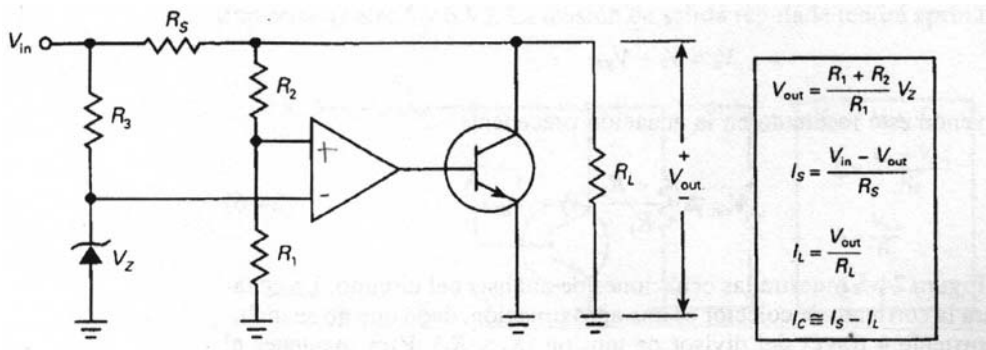


figura 5 - Regulador em paralelo com realimentação negativa alta

Se a tensão na carga tenta aumentar, o sinal de realimentação na entrada não inversora aumenta. A saída do amplificador operacional excita a base de uma forma mais forte aumentando a corrente de colector. O aumento de corrente de colector através da R_s produz uma grande tensão através de R_s , o que compensa a intenção de aumento da tensão de carga. No caso inverso (tendência da tensão de carga para diminuir) tudo se passa de forma similar mas inversa.

O grande ganho de tensão do amplificador operacional elimina o efeito do V_{BE} da equação 1.

Protecção Contra Curto-Circuitos

Uma vantagem dos reguladores em paralelo é que são construídos com protecção contra curto-circuito dos terminais de carga, não havendo componentes do regulador danificados. Tudo o que acontece é um aumento de I_s até:

$$I_s = \frac{V_{in}}{R_s}, \text{ que não é suficiente para danificar qualquer componente.}$$

Rendimento

O rendimento de um regulador é dado por:

$$\text{Rendimento} = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$$

$$\text{com } P_{out} = V_{out} \times I_L \quad \text{e} \quad P_{in} = V_{in} \times I_{in}$$

logo as “perdas” são $P_{reg} = P_{in} - P_{out}$, que constitui a potência consumida na R_s e no transístor.

Exercícios (solicitar resoluções [aqui](#))

1. Na figura 3 $V_{in}=15V$, $R_s=10\Omega$, $V_Z=9,1V$, $V_{BE}=0,8V$ e $R_L=40\Omega$.

Quais os valores da tensão de saída, a corrente de entrada, a corrente na carga e a corrente de colector?

2. O Regulador em paralelo da figura 4 tem os seguintes valores: $V_{in}=15V$, $R_s=10\Omega$, $V_Z=6,2V$, $V_{BE}=0,81V$ e $R_L=40\Omega$. Se $R_1=750\Omega$ e $R_2=250\Omega$, quais são os valores aproximados da tensão de saída, corrente de entrada, corrente na carga e corrente de colector?

3. Qual é o rendimento aproximado do exemplo anterior?

Qual a potência de dissipação do regulador?

4. O regulador em paralelo da figura 5 tem os seguintes valores para o circuito: $V_{in}=15V$, $R_s=10\Omega$, $V_Z=6,8V$ e $R_L=40\Omega$.

Se $R_1=7,5k\Omega$ e $R_2=2,5k\Omega$, quais são os valores aproximados da tensão de saída, corrente de entrada, corrente na carga e corrente de colector?

5. Calcular a máxima corrente de carga nos exemplos dos exercícios 1, 2 e 4.

6. Se se montar e experimentar o regulador paralelo da figura 4, obtêm-se as seguintes medições: $V_{NL}=9,91V$, $V_{FL}=9,81V$, $V_{HL}=9,94V$ e $V_{LL}=9,79V$.

Quanto vale a regulação de carga?

Quanto vale a regulação de rede?

3. REGULADORES SÉRIE

A desvantagem dos reguladores em paralelo é o seu baixo rendimento. Quando isso é importante, devem usar-se reguladores série (ou comutados: os de melhor rendimento), embora com perda de simplicidade do circuito.

Melhoria do Rendimento

Os comutados são os de melhor rendimento (75 a 90% em carga máxima), mas são ruidosos pois produzem interferências de rádio-frequência (RFI), para além de serem muito mais complexos.

Os série não são ruidosos, pois o transistor opera na zona linear e são mais simples, apresentando rendimentos entre 50 e 70%, suficiente para a maioria das aplicações em que a carga é inferior a 10W (não os PCs, portanto).

O Seguidor Zener

É o mais simples.

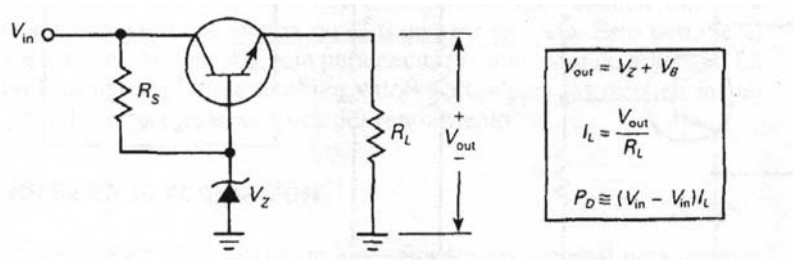


figura 6 - O seguidor zener é um regulador série

O díodo de zener funciona na zona de ruptura produzindo uma tensão na base do transistor igual à tensão de zener. O transístor está ligado como seguidor de emissor, portanto a tensão na carga é:

$$V_{out} = V_Z + V_{BE}$$

Se a tensão de rede ou na carga mudam, as tensões de zener e base-emissor variam apenas ligeiramente, pelo que a saída variará muito pouco.

A corrente de carga é aproximadamente igual à de entrada, pois a corrente em R_s é pequena (desprezável). O transistor neste caso chama-se *transístor de passagem*, já que toda a corrente de carga o atravessa.

O rendimento é maior já que as resistências série foram substituídas por um transistor de passagem.

Nos paralelo a corrente de entrada é constante, aqui varia com a de carga.

Regulação com 2 Transístores

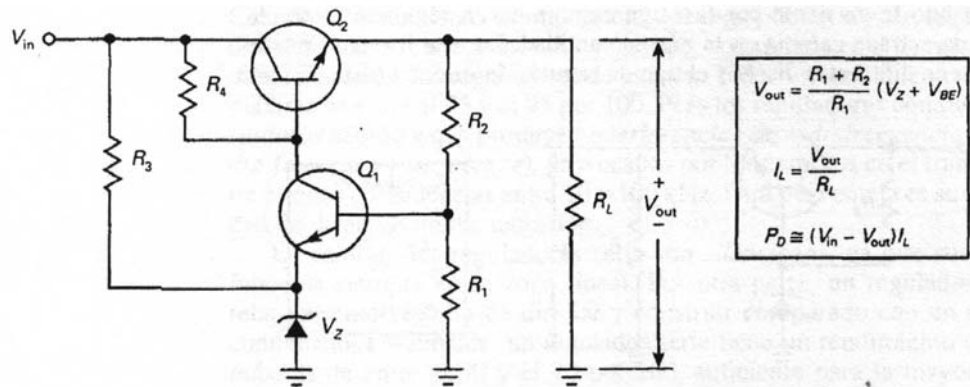


figura 7 - Regulador série diferente

Se o V_{out} tenta aumentar por aumento da tensão da rede ou da resistência de carga, a tensão de realimentação aumentará na base de Q_1 . Isso provoca um aumento da corrente de coletor em Q_1 que atravessa R_4 e a uma diminuição da tensão de base de Q_2 (seguidor de emissor) que quase compensa o aumento na tensão de saída.

Tensão de Saída

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (V_Z + V_{BE})$$

Tensão Diferencial entrada/saída, Dissipação de Potência e Rendimento

Tensão diferencial entrada/saída = $V_{in} - V_{out}$

A corrente através do transistor de passagem é igual a $I_C = I_L + I_2$

onde I_2 é a corrente que atravessa R_2 .

Para que o rendimento seja grande, há que fazer com que I_2 seja muito maior que a máxima corrente na carga, I_L , de modo a desprezar I_2

Para correntes de carga elevadas a dissipação de potência no transistor de passo é muito grande nos reguladores série, pelo que há que usar grandes dissipadores de calor, ou até ventilador.

$$P_D \approx (V_{in} - V_{out}) I_L$$

logo, Rendimento $\approx \frac{V_{out}}{V_{in}} \times 100\%$, pelo que se conclui que o rendimento será tanto maior

quanto mais próximo da entrada for a tensão de saída.

Melhorias na Regulação

Usa-se um amplificador operacional

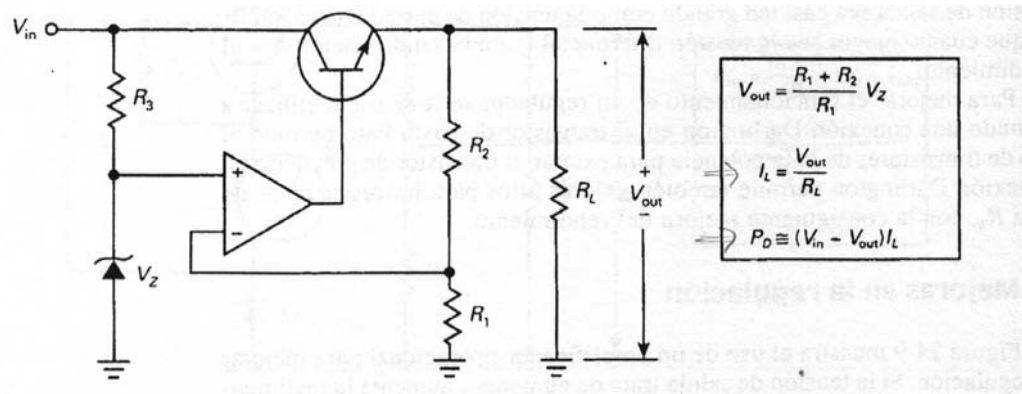


figura 8 - Regulador série com realimentação negativa alta

Se a tensão de saída tenta aumentar, aumenta a realimentação de tensão na entrada inversora do amplificador. Isso diminui a sua saída, a tensão na base do transistor de passagem e a intenção de aumento da tensão de saída.

Teremos:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_Z$$

O ganho da montagem não inversora em que se encontra o amplificador operacional é:

$$A_{CL} = \frac{R_2}{R_1} + 1$$

A tensão de entrada é a tensão de zener, pelo que:

$$V_{out} = A_{CL} \cdot V_Z$$

ex: se $A_{CL}=2$ e $V_Z=5,6V$, a tensão de saída será 11,2V

Limitação de Corrente

Ao contrário do regulador paralelo, o regulador série não tem protecção contra curto-circuitos, pelo que se corre o risco de danificar o transistor de passo e os díodos da fonte não regulada.

Para prevenir esta situação devemos usar uma forma qualquer de limitar a corrente na carga a valores seguros. Uma maneira é a seguinte:

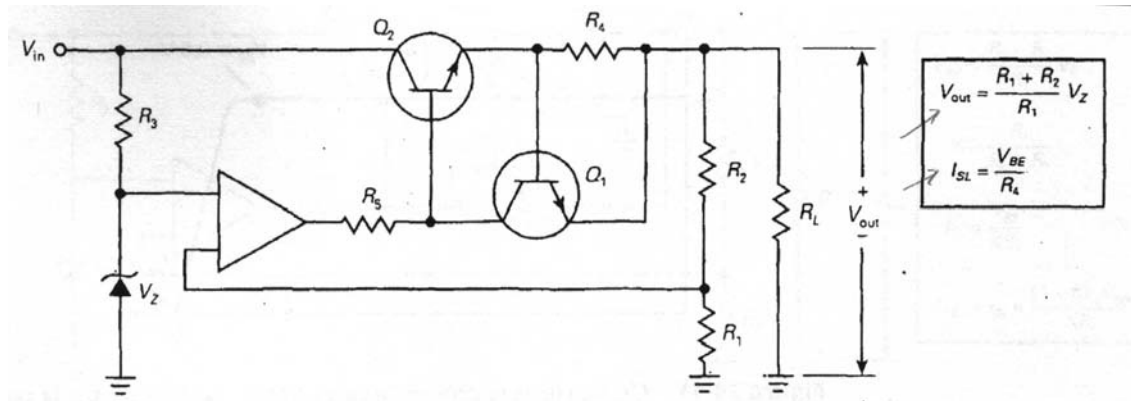


figura 9 - Regulador série com limitador de corrente

R_4 é uma pequena resistência (*resistência limitadora de corrente*), de 1Ω por exemplo. Como a corrente de carga tem que atravessar R_4 , esta produz a tensão base-emissor em Q_1 .

Quando a corrente de carga é menor que 600mA, a tensão em R_4 é menor que 0,6V e o Q_1 está ao corte e o regulador funciona normalmente, como descrito antes. Quando a corrente de carga está entre 600 e 700 mA, a tensão em R_4 está entre 0,6 e 0,7V, o que põe Q_1 em condução. A corrente de coletor circula por R_5 , o que diminui a tensão na base de Q_2 , o que reduz a tensão e corrente na carga.

Quando se curto-circuita a carga, Q_1 conduz fortemente e provoca uma queda na tensão na base de Q_2 a aproximadamente 1,4V (as tensões V_{BE} ligadas à terra). A corrente que atravessa o transistor de passagem está limitada a cerca 700mA, conforme a característica do transistor.

R_5 usa-se porquer a impedância de saída do amplificador operacional é muito baixa (aprox. 75Ω). Sem R_5 , o transistor para limitação de corrente não tem suficiente ganho de tensão para produzir limitação de corrente. Há que escolher R_5 suficientemente grande para produzir um ganho de tensão no transistor limitador de corrente e suficientemente pequeno para impedir que o amplificador operacional excite o transistor de passagem. Valores típicos vão de 100 a 1000Ω .

A corrente (na carga com os *terminais curto-circuitados*) é então limitada a $I_{SL} = \frac{V_{BE}}{R_4}$

Variando R_4 podemos obter a corrente limitada a outros valores convenientes.

Limitação Com Redução de Corrente

A desvantagem do método anterior é que há uma grande dissipação de potência no transístor de passagem. Com um curto-circuito na carga, quase toda a tensão de entrada chega ao transístor de passagem.

Para evitar isso podemos usar antes uma limitação com redução de corrente (foldback current limiting):

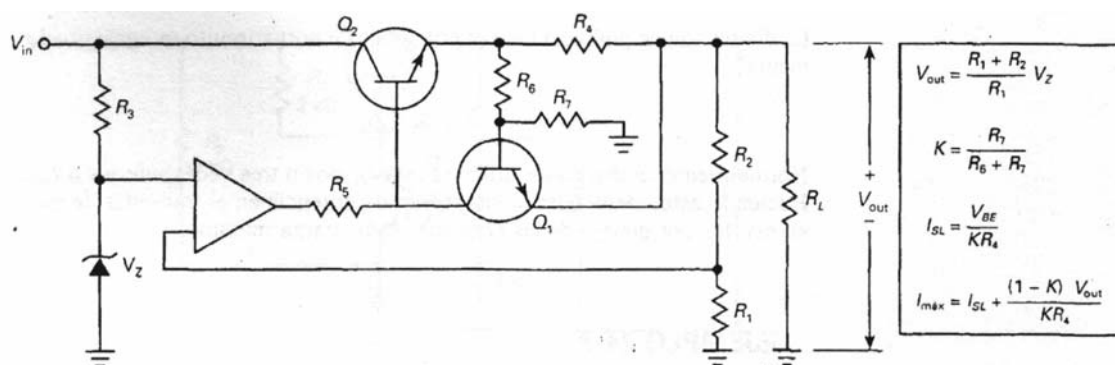


figura 10 - Regulador série com limitação com redução de corrente

A tensão em R_4 (resistência para a limitação de Corrente) alimenta um divisor de tensão (R_6 e R_7), o qual excita a base de Q_1 . Na maior parte da gama da corrente de carga, a tensão na base de Q_1 é menor que a tensão no emissor, e V_{BE} é negativa, mantendo Q_1 ao corte.

Quando a corrente na carga é suficientemente alta, não obstante, a tensão na base de Q_1 começa a ser maior que a tensão de emissor. Quando V_{BE} está entre 0,6 e 0,7V, começa a limitação de corrente. A partir deste ponto, qualquer diminuição na resistência de carga provoca que a corrente diminua. Como resultado, a corrente em curto-circuito é muito menor do que se tivéssemos o limitador com redução de corrente.

Exercícios (solicitar as resoluções [aqui](#))

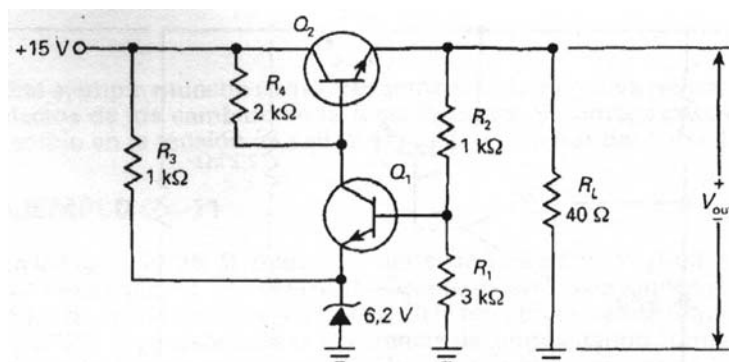


figura 11 - Exemplo

1. Calcular a tensão de saída aproximada da figura 11

Quanto vale a dissipação de potência no transistor de passagem ?

2. Qual é o rendimento aproximado no exemplo anterior ?

4. REGULADORES LINEARES INTEGRADOS

Há uma grande variedade. O número de pinos vai de 3 a 14. Todos são reguladores série, tendo pois melhor rendimento.

Os mais usados são os de 3 pinos: um para a tensão de entrada sem regulação, outro para a tensão de saída regulada e um terceiro de terra. São baratos e precisam apenas de condensadores de desacoplamento como componentes externos.

Modelos Básicos De Reguladores Integrados

A saída pode ser fixa positiva (5 a 24 V), fixa negativa ou ajustável (2 a mais de 40V).

Podem ser de baixa potência (correntes até 100mA) ou de baixa tensão diferencial.

Podem suportar correntes de mais de 1 A, com dissipadores de calor.

O dropout de um regulador integrado é a tensão diferencial entrada/saída mínima necessária para que o regulador regule.

Regulação Integrada Em Placa Face A Regulação Num Único Ponto

Para a *regulação num único ponto* é preciso uma fonte grande que distribua a tensão regulada por várias placas de circuito impresso, o que é difícil face à corrente necessária (soma) e ao ruído provocado pelas conexões.

Dado que os reguladores integrados são baratos, os sistemas electrónicos com várias placas costuma usar a *regulação integrada na placa*. Isto significa que cada placa tem o seu próprio regulador de 3 terminais.

Redefinição De Regulação De Carga E De Rede

Os fabricantes de circuitos integrados preferem especificar a mudança na tensão de carga para uma gama de condições de carga e rede:

Regulação de Carga = ΔV_{out} para uma gama de corrente de carga

Regulação de Rede = ΔV_{out} para uma gama de tensão de entrada

Por exemplo, no caso do LM7815, temos:

Regulação de carga = 12 mV para $I_L = 5\text{mA}$ a 1,5 A

Regulação de Rede = 4mV para $V_{in} = 17,5 \text{ V}$ a 30 V

A Série LM78XXX

O XXX pode ser 05, 06, 08, 10, 12, 15, 18 ou 24, sendo que o número da referência corresponde aos Volts

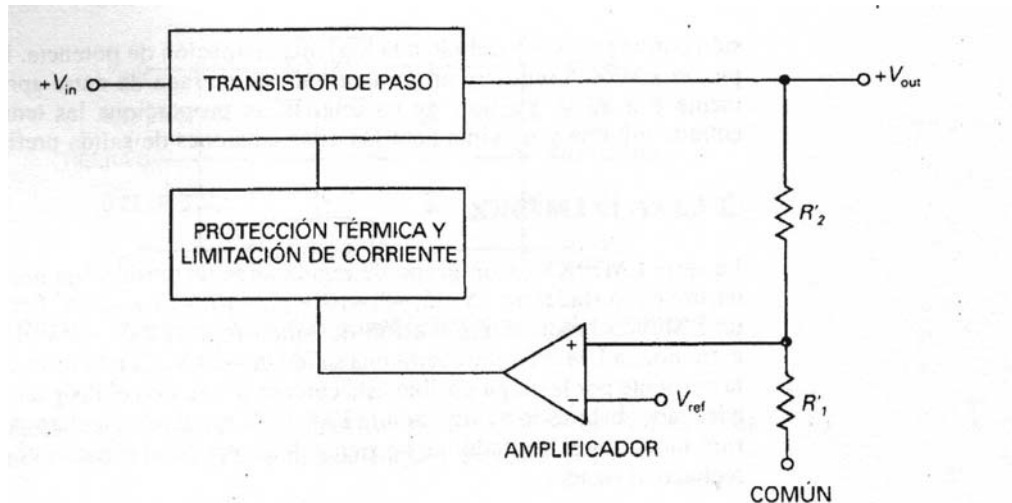


figura 12 - diagrama de blocos funcional de um regulador (em circuito) integrado de 3 terminais.

A regulação de tensão é parecida com a estudada anteriormente. A tensão de referência V_{REF} e o divisor de tensão são interiores ao circuito integrado.

$$V_{out} = \frac{R'_1 + R'_2}{R'_1} V_{REF}$$

A tolerância da tensão de saída é de 4%.

Os LM78XXX incluem um transístor de passagem que pode suportar correntes de carga de 1^A , com dissipador de calor adequado. Incluem também protecção térmica (a 175°) e limitação de corrente, o que faz estes integrados quase indestrutíveis.

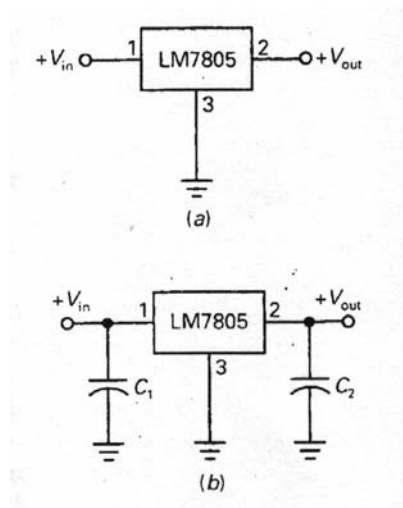
Regulador Fixo

figura 13 - a) Utilização de um 7805 para regular a tensão
 b) Um condensador na entrada evita oscilações e um condensador na saída melhora a resposta em frequência

A corrente de carga máxima é de 1 A. A regulação de carga típica é de 10mV para uma corrente de carga entre 5mA e 1,5 A. A regulação típica de rede é de 3mV para uma tensão de entrada entre 7 e 25V. A resistência de saída é de 0,01Ω.

Quando um circuito integrado está ligado a poucos centímetros do filtro capacitivo da fonte de alimentação não regulada, a indutância dos terminais de ligação pode produzir oscilações dentro do integrado. Por isso os fabricantes recomendam o uso de um condensador de desacoplamento, C_1 , de 0,22μF. Para melhorar a resposta transitória a tensão de saída regulada, usa-se também um condensador de desacoplamento C_2 , de 0,1μF.

A tensão de dropout dos Cis LM78XXX é de 2 a 3V.

A tensão máxima de entrada varia entre 8 e 20V.

A Série LM79XX

É um grupo de reguladores de tensão fixa negativa para tensões de -5, -6, -8, -10, -12, -15, -18 e -24V

A série é similar à anterior.

Fontes Reguladas Simétricas

Combinando um LM78XX e um LM79XX, como mostra a figura:

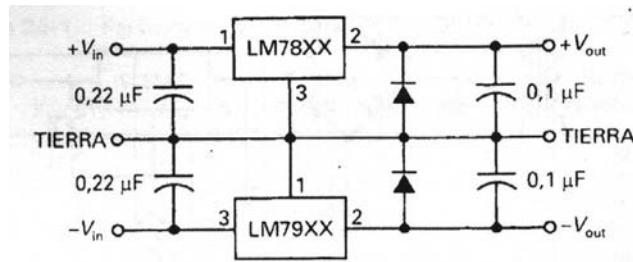


figura 14 - Utilização de um LM78XX e um LM79XX para saídas simétricas

pode regular-se a saída de uma fonte de alimentação simétrica.

As folhas e características dos fabricantes recomendam acrescentar-se dois díodos para assegurar que ambos os reguladores entrem em condução com qualquer condição de funcionamento.

Reguladores Ajustáveis

Alguns reguladores integrados (LM31, LM337, LM338 e LM350) são ajustáveis. Têm correntes de carga máximas que vão desde 1,5 a 5 A. Por exemplo, o LM317 é um regulador de tensão positiva de 3 terminais que pode proporcionar 1,5 A de corrente de carga sob uma gama de tensões de saída ajustáveis entre 1,25 e 37V.

A sua Regulação de carga = 0,3% para $I_L = 10\text{mA}$ a 1,5 A.

Regulação de Red = 0,2% por volt

A figura seguinte mostra uma fonte de alimentação sem regulação alimentando um LM317. A folha de características deste integrado dá-nos a seguinte equação para a tensão de saída:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{REF} + I_{ADJ} R_2$$

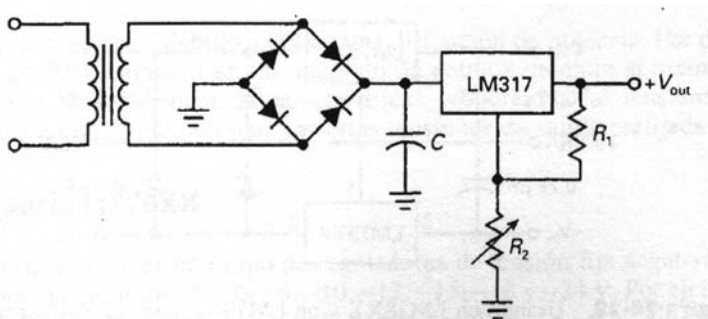


figura 15 - Utilização de um LM317 para regular a tnsão de saída

Nesta equação, V_{ref} tem um valor de 1,25V e I_{ADJ} um valor típico de 50 μ A. Esta corrente é a que atravessa o pino intermédio. O primeiro termo da equação é muito maior do que o segundo, que se pode desprezar.

Rejeição Do Ruído

Tem um valor de 65 a 80dB. Isso é uma vantagem dado que não são precisos, assim, volumosos filtros LC na fonte de alimentação para eliminar este ruído. Tudo o que é preciso é um filtro capacitivo de entrada par reduzir o ruído pico a pico para 10% do que se tem na saída da fonte antes da regulação.

Tabela De Regulação

Número	V_{out} (V)	$I_{máx}$ (A)	Reg carga (mV)	Reg red (mV)	Rechazo rizado (dB)	Dropout (V)	R_{out} (m Ω)	I_{SL} (A)
LM7805	5	1,5	10	3	80	2	8	2,1
LM7806	6	1,5	12	5	75	2	9	0,55
LM7808	8	1,5	12	6	72	2	16	0,45
LM7812	12	1,5	12	4	72	2	18	1,5
LM7815	15	1,5	12	4	70	2	19	1,2
LM7818	18	1,5	12	15	69	2	22	0,20
LM7824	24	1,5	12	18	66	2	28	0,15
LM78L05	5	100 mA	20	18	80	1,7	190	0,14
LM78L12	12	100 mA	30	30	80	1,7	190	0,14
LM2931	3 a 4	100 mA	14	4	80	0,3	200	0,14
LM7905	-5	1,5	10	3	80	2	8	2,1
LM7912	-12	1,5	12	4	72	2	18	1,5
LM7915	-15	1,5	12	4	70	2	19	1,2
LM317	1,2 a 37	1,5	0,3 %	0,02 %/V	80	2	10	2,2
LM337	-1,2 a -37	1,5	0,3 %	0,01 %/V	77	2	10	2,2
LM338	1,2 a 32	5	0,3 %	0,02 %/V	75	2,7	5	8

Tabela 1 - Parâmetros típicos para os reguladores de tensão integrados mais comuns, a 25°C

O LM78L05 e o LM78L12 são versões para baixa potência dos seus homólogos standard, LM7805 e LM7812. Os de baixa potência têm um encapsulamento TO-92, que não precisa de dissipadores de calor e podem produzir correntes de carga até 100mA.

O LM2931 é um exemplo de regulador com baixa tensão de dropout (0,3V).

Todos têm protecção térmica, isto é, todos põem ao corte o transistor de passagem e deixarão assim de funcionar, se a temperatura do chip começar a ser demasiado elevada.

Exercícios (solicitar resoluções [aqui](#))

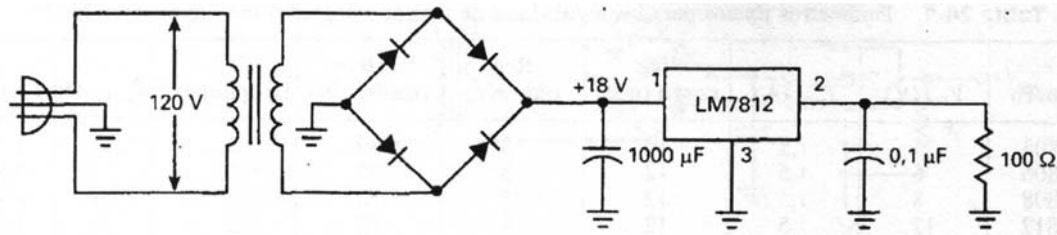


figura 16 - Exemplo

1. Qual é a corrente na carga na figura 16
Quanto vale o ruído na saída ?
2. Se $R_1=2k\Omega$ e $R_2=22k\Omega$ na figura 15, quanto vale a tensão de saída ? Se R_2 aumentar para $46k\Omega$, quanto valerá agora a tensão de saída ?
3. O LM7805 pode regular com valores de tensão na entrada que vão desde os 7,5V aos 20V. Quanto valem o rendimento máximo e mínimo ?

5. AMPLIFICAÇÃO DA CORRENTE DE SAÍDA

O Transistor Externo

Uma forma de conseguir uma corrente de carga maior que o 1 ou 1,5 A dos LM... é incluir um *amplificador de corrente* (current booster). A ideia é parecida à usada num amplificador operacional para aumentar a corrente de saída. Recorde-se que se usou esse amplificador para alimentar a corrente da base de um transistor externo, o que provoca um aumento considerável da corrente de saída.

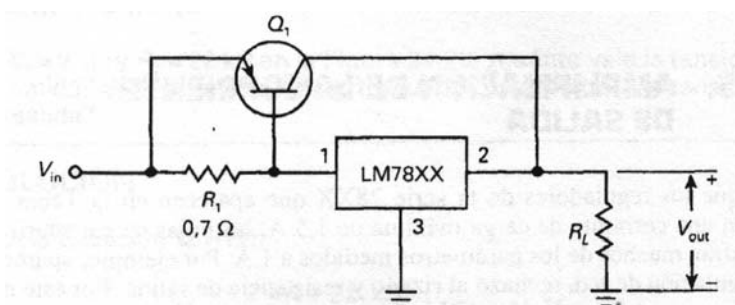


figura 17 - Um transistor externo aumenta a corrente de carga

O transistor exterior tem o nome de *transistor exterior de potência* (outboard transistor). R_1 é uma resistência detectora de corrente de $0,7 \Omega$.

Quando a corrente é menor que 1 A, a tensão que atravessa a resistência é menor que 0,7V e o transistor está ao corte. Quando a corrente supera esse valor, o transistor começará a conduzir e absorverá quase toda a corrente acima do 1 A. A razão é: quando a corrente e carga aumenta, a corrente no LM78XX aumenta ligeiramente, provocando mais tensão na resistência detectora de corrente, o que faz com que o transistor exterior de potência conduza fortemente.

Protecção Contra Curto-Circuito

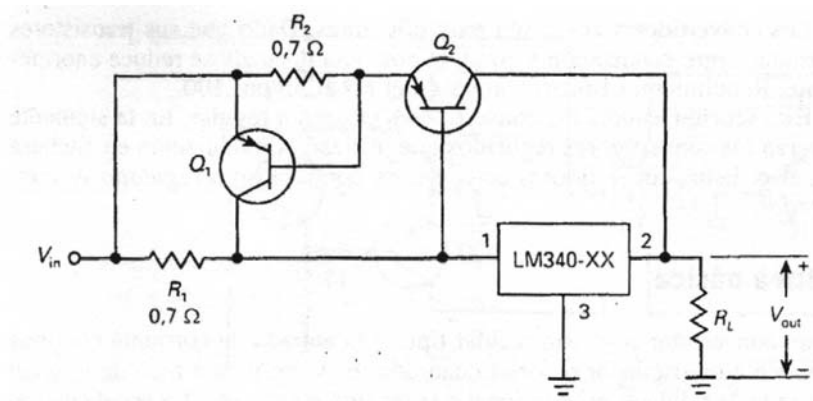


figura 18 - Transistor externo com limitação de corrente

Utilizam-se duas resistências de detecção de corrente, uma para alimentar o transistor de potência exterior Q_2 e a segunda para pôr em condução o Q_1 e proteger contra curto-circuito. Para a análise seguinte supor-se-à que a 1 A conduz o Q_2 e a 10 A o Q_1 proporciona a protecção contra curto-circuito.

Quando a corrente de carga é maior que 1 A, a tensão em R_1 é superior a 0,7V. Isso põe em condução o Q_2 , o qual alimenta a parte da corrente de carga acima de 1 A. A corrente exterior tem que passar através de R_2 . Como esta é só de 0,07Ω, a tensão nela é menor que 0,7V até que a corrente atinja os 10 A.

Quando isso acontece, a corrente que atravessa Q_2 ser:

$$V_2 = 10 \times 0,07 = 0,7V$$

Com isso, o transistor limitador de corrente Q_1 põe-se no limite para começar a conduzir. Quando se superam os 10 A, Q_1 estará fortemente saturado. Como a corrente de colector de Q_1 passa pelo 78XX, o dispositivo aquece em demasia e produz-se o desligar térmico.

Com tensões diferenciais entrada/saída típicas, o rendimento ronda os 40 a 50%.

6. CONVERSORES CC-CC

Exemplo, temos um sistema de +5V (usada nos circuitos digitais) e queremos produzir uma tensão de +15V (usada na alimentação dos amplificadores operacionais), ficando pois com 2 fontes de alimentação no nosso sistema.

Os conversores cc-cc são muito eficientes (elevado rendimento). Dado que os seus transístores comutam entre condução e corte, a potência dissipada reduz-se enormemente. Têm rendimentos típicos de 65 a 85 %.

Esta secção estuda os conversores cc-cc sem regulação. Na seguinte veremos os regulados que utilizam a modulação em largura de pulso (reguladores comutados).

Ideia Básica

Num conversor cc-cc sem regulação típico, a entrada de corrente contínua aplica-se a um oscilador de onda quadrada. O valor de pico a pico do sinal quadrado de saída é proporcional à tensão de entrada. O sinal quadrado excita a bobina primária de um transformador.

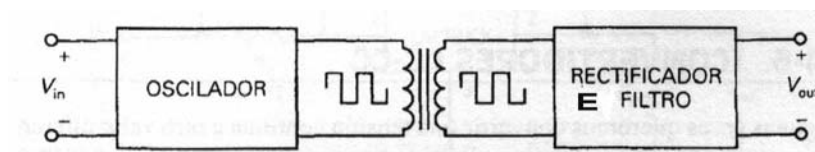


figura 19 - Diagrama de blocos funcional de um conversor cc-cc sem regulação

Quanto maior for a frequência, menores serão o transformador e os componentes do filtro. Para frequências muito altas é difícil produzir uma onda quadrada com os flancos verticais. Normalmente, a frequência da onda quadrada está entre os 10 e os 100 kHz.

Essa tensão pode depois ser rectificada e filtrada para obter uma tensão de saída contínua. Seleccionando diferentes raios de volta pode-se modificar para cima ou para baixo a tensão no secundário, pelo que podemos assim aumentar ou diminuir a tensão de entrada.

Uma conversão comum é de +5 para +15V, pois os +5V usam-se muito nos circuitos digitais e os +15V na alimentação dos amplificadores operacionais.

Um Desenho Possível

Há muitas formas de desenho, dependendo de usar transístores bipolares ou FET, da frequência de comutação, de a tensão de saída passe a ser maior ou menor que a de entrada, etc.

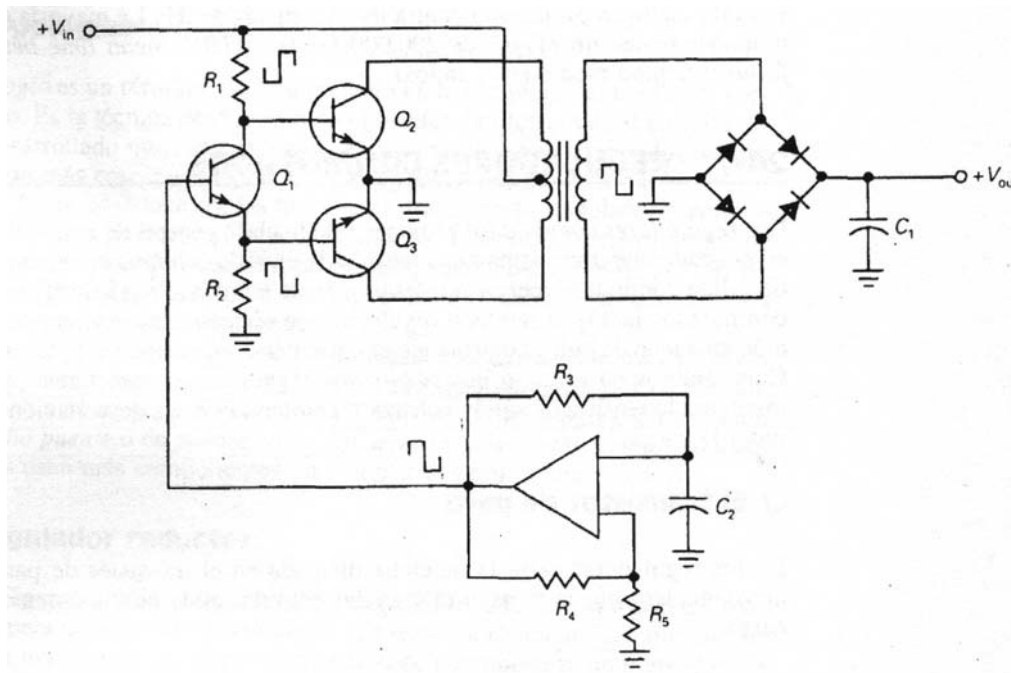


figura 20 - Um conversor cc-cc sem regulação

Esta funciona assim: Um oscilador de relaxação produz uma onda quadrada com frequência fixada por R_3 e C_2 .

A onda quadrada excita um *divisor de fase* Q_1 , circuito cuja saída são ondas iguais em magnitude e opostas em fase. Estas ondas são a entrada dos transistores de comutação Q_2 e Q_3 de classe B. O transistor Q_2 conduz durante um semiciclo e o Q_3 fá-lo durante o outro. A corrente do primário é, portanto, um sinal quadrado, que induzirá outra onda quadrada no secundário.

O sinal quadrado que sai do secundário alimenta uma ponte rectificador e um filtro capacitivo. Devido ao facto de se tratar de um sinal quadrado rectificado com uma frequência da ordem dos kHz, é fácil de filtrar. A saída é pois uma tensão contínua de um nível diferente da entrada.

Conversores CC-CC Comerciais

A saída do conversor estudado não está regulada, o que é típico em conversores económicos. Comercializam-se com rendimentos de 65 a 85%, por exemplo há os de +5 a $\pm 12V$ de 375mA; de +5 a +9V de 200mA; de +12 a $\pm 5V$ de 250mA, todos requerendo uma tensão de entrada fixa, já que não incluem regulação.

7. REGULADORES COMUTADOS

Incluem também regulação de tensão, tipicamente através da modulação de largura de pulso (PWM) que controla o corte e a condução de um transistor. Com mudanças no ciclo de trabalho, os reguladores comutados podem manter a tensão de saída constante debaixo de condições de variação da rede e da carga.

O Transistor De Passagem

Nos reguladores série a potência dissipada no transistor de passagem é:

$$P_D = (V_{in} - V_{out}) I_L$$

Se a tensão diferencial entrada/saída for igual à tensão de saída, o rendimento aproxima-se dos 50%.

Com potências de carga da ordem dos 10W, os dissipadores de calor começam a ser volumosos e a temperatura no interior dos equipamentos pode chegar a ser inaceitável.

Comutação Do Transistor De Passagem

A melhor solução para o problema do baixo rendimento e as altas temperaturas nos equipamentos, são os reguladores comutados. Com este tipo de regulador, o transistor de passagem está sempre a comutar entre a saturação e o corte. Quando está ao corte, a potência dissipada é virtualmente igual a zero. Quando satura, a potência dissipada permanece muito baixa, já que $V_{(CE\ sat)}$ é muito menor que a tensão diferencial entrada/saída dos reguladores série. Podem atingir rendimentos de 75 a 95%.

Devido ao seu grande rendimento e pequeno tamanho, começam a ser extensivamente usados.

Topologias

É a técnica de desenho ou composição fundamental do circuito. Há muitas, umas para umas aplicações, outras mais adequadas a outras aplicações.

Topología	Conversión	Choque	Trans-formador	Diodos	Transistores	Potencia (W)	Complejidad
Reductora	Reduce	Sí	No	1	1	0-150	Baja
Elevadora	Aumenta	Sí	No	1	1	0-150	Baja
Inversora	Ambas	Sí	No	1	1	0-150	Baja
Flyback	Ambas	No	Sí	1	1	0-150	Media
Half-forward	Ambas	Sí	Sí	1	1	0-150	Media
Contrafase	Ambas	Sí	Sí	2	2	100-1000	Alta
Medio puente	Ambas	Sí	Sí	4	2	100-500	Alta *
Puente completo	Ambas	Sí	Sí	4	4	400-2000	Muy alta

tabela 2 - Topologias dos reguladores comutados

A 3 primeiras são as mais básicas. Utilizam o menor número de componentes e podem suportar potências de carga da ordem dos 150W.

Quando é preferível o uso de um transformador de isolamento, usar-se-ão as topologias de flyback e de half-forward, que suportam até 150W. Quando a potência de carga está entre 150 a 2000W, as topologias usam-se as topologias de push-pull, de meia-ponte e de ponte completa, mais complexas.

Regulador Redutor

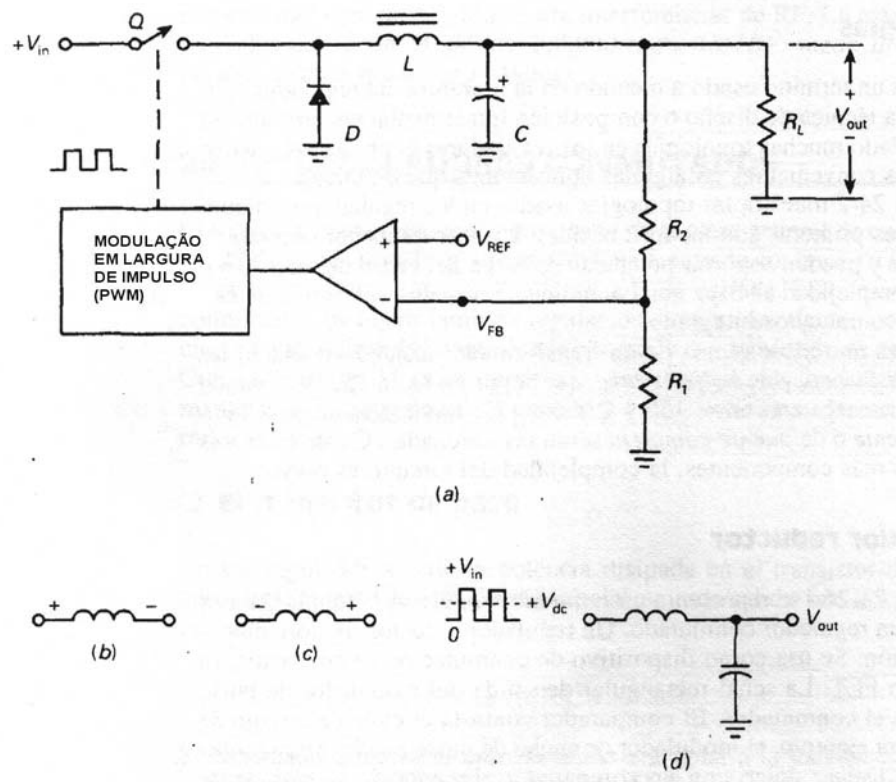


figura 21 - a) Regulador Redutor
 b) Polaridade com o comutador fechado
 c) Polaridade com o comutador aberto
 d) O filtro de choque passa um valor contínuo à saída

Um regulador redutor diminui sempre a tensão. usa-se como dispositivo de comutação, um transistor, bipolar ou FET. O sinal rectangular de saída do modulador de pulso abre e fecha o comutador. O comparador controla o ciclo de trabalho dos impulsos. Por exemplo, o modulador de largura de pulso pode ser um multivibrador de disparo único com um comparador alimentando a entrada de controlo. Com um temporizador 555, um aumento da tensão de controlo aumenta o ciclo de trabalho.

Quando o impulso está no nível alto, o comutador está fechado. Isso polariza inversamente o diodo, pelo que toda a corrente de entrada circula através da bobina de auto-indução. Essa corrente cria um campo magnético ao redor da dita autoindução. A quantidade de energia armazenada no campo magnético é:

$$\text{Energia} = 0,5 L i^2$$

A corrente que atravessa a autoindução também carrega o condensador e proporciona a corrente à carga. Enquanto o comutador está fechado, a tensão na bobina tem a polaridade como se vê na figura 21 b). Como a corrente na bobina aumenta, vai-se armazenando mais energia no campo magnético.

Quando o impulso cai, abre-se o comutador. Nesse instante, o campo magnético em torno da bobina começa a cair e induz uma tensão inversa na mesma, como se vê na figura 21 c). esta tensão inversa chama-se *golpe indutivo*. Devido a ele, o diodo polariza-se directamente e a corrente que circula na bobina continua fazendo-o no mesmo sentido. Neste momento, a bobina está a devolver ao circuito a energia armazenada. Por outras palavras, a bobina actua como uma fonte e continua a fornecer corrente à carga.

A corrente circulará pela bobina até que toda a energia esteja fornecida ao circuito (funcionamento descontínuo), ou até que o comutador se feche de novo (funcionamento contínuo), e voltará tudo ao princípio. Em qualquer dos casos, o condensador proporcionar também corrente à carga durante parte do tempo em que o comutador está aberto. Desta forma se minimiza o ruído na carga.

O comutador abre e fecha continuamente. A frequência de comutação vai dos 10 a mais de 100kHz (pode ir até aos 1MHz). A corrente circula pela bobina sempre no mesmo sentido, saindo do diodo ou do comutador em momentos diferentes do ciclo.

Com uma tensão de entrada fixa e um diodo ideal, chegará uma tensão de forma rectangular à entrada do *filtro de choque* (figura 21 d). A saída de um filtro de choque é igual à corrente contínua de valor médio da entrada. O valor médio está relacionado com o ciclo de trabalho da seguinte forma:

$$V_{out} = D V_{in}$$

Quanto maior é o ciclo de trabalho, maior será a tensão contínua de saída.

Quando a fonte se liga pela primeira vez, não há tensão na saída que realimente o divisor de tensão formado por R_1 e R_2 . Então, a saída do comparador é muito alta e o ciclo de trabalho aproxima-se de 100%. Como a tensão de saída aumenta, a tensão de realimentação V_{FB} diminui a saída do comparador, pelo que se reduz o ciclo de trabalho.

Será atingido um ponto de equilíbrio na tensão de saída, no qual a tensão de realimentação produz um ciclo de trabalho que tenha a mesma tensão que a saída.

Devido ao alto ganho do comparador, um curto-circuito virtual entre os terminais do mesmo significa que:

$$V_{FB} \approx V_{REF}$$

Daqui pode obter-se a seguinte equação para a tensão de saída:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} V_{REF}$$

Depois de estabelecido o equilíbrio, qualquer intenção de mudança na tensão de saída, seja devido a mudanças na rede ou na carga, será completamente compensado pela realimentação negativa. Por exemplo, se a tensão de saída tenta aumentar, a tensão de realimentação diminui a saída do comparador. Isso diminui o ciclo de trabalho e a tensão de saída. O efeito global é apenas um ligeiro aumento da tensão de saída, muito menor do que sem a tensão de realimentação.

Regulador Elevador

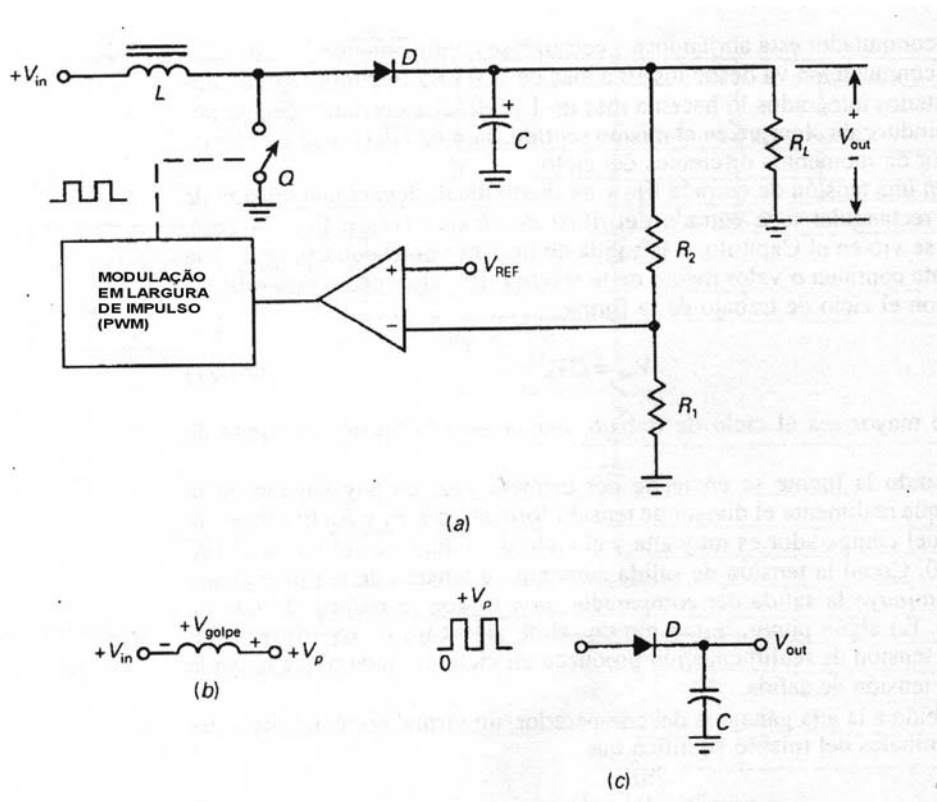


figura 22 - a) regulador elevador
 b) A tensão de corte soma-se à saída quando o comutador está aberto
 c) O filtro com condensador de entrada produz uma tensão de saída igual ao pico de entrada

Aumentam sempre a tensão. A teoria de funcionamento é similar ao anterior em alguns aspectos e muito diferente noutros. Por exemplo, quando o impulso está no nível alto, o comutador está fechado e a energia armazena-se no campo magnético, como anteriormente.

Quando vai ao nível baixo, abre-se o comutador. De novo, o campo magnético induzido na bobina começa a diminuir e provoca uma tensão inversa a esta (figura 22 b). Observe-se que a tensão de entrada soma-se agora ao golpe indutivo. Isso significa que o pico de tensão no extremo direito da bobina é:

$$V_P = V_{in} + V_{Golpe} \quad \text{(equação 2)}$$

O golpe indutivo depende da quantidade de energia que se armazenou no campo magnético. Dito de outra forma, V_{Golpe} é proporcional ao ciclo de trabalho.

Com uma tensão fixa de entrada, chegará uma tensão da forma rectangular à entrada do filtro com condensador (figura 22 c). desta forma, a tensão de saída regulada é aproximadamente igual ao pico de tensão dado pela equação 2

Como V_{golpe} é sempre maior que zero, V_P é sempre maior que V_{in} . É por isso que um regulador elevador aumenta sempre a tensão.

Aparte de usar um filtro com condensador em vez de um filtro choque, a regulação com topologia elevadora é similar à de topologia redutora.

Regulador Inversor

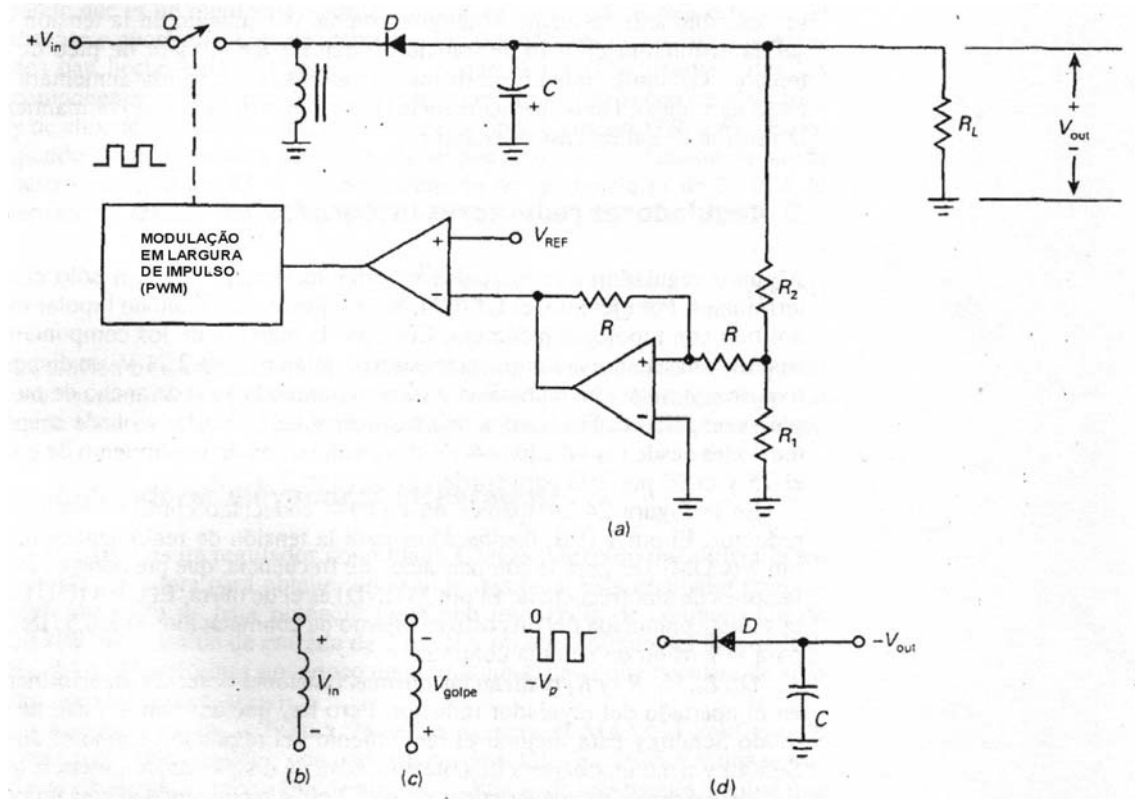


figura 23 - a) Regulador Inversor
 b) Polaridade com o comutador aberto
 c) Polaridade com o comutador fechado
 d) O filtro com condensador de entrada produz uma tensão de saída igual ao pico negativo

Produz sempre uma tensão negativa na saída quando é alimentado com uma tensão negativa.

Quando o modulador de largura de impulso tem a sua saída no nível alto, o comutador permanece fechado e armazena-se energia no campo magnético. Neste momento a tensão na bobina é igual a V_{in} com a polaridade que aparece na figura 23 b.

Quando o impulso passa ao nível baixo, abre-se o comutador. De novo, começa a diminuir o campo magnético na bobina e isso induz uma tensão de golpe no mesmo, como se kostra na figura 23 c. A tensão de golpe é proporcional à energia armazenada no campo magnético, a qual é controlada pelo ciclo de trabalho. Se o ciclo de trabalho é baixo, a tensão de golpe aproxima-se de zero. Se é alto, pode ser maior que V_{in} , dependendo da energia armazenada.

Na figura 23 d, o valor absoluto do pico de tensão pode ser maior ou menor que a tensão de entrada. O díodo e o filtro com condensador produzirão então uma tensão de saída -

V_P . Como o valor absoluto da tensão de saída pode ser maior ou menor que a tensão de entrada, chama-se a esta topologia *redutora-elevadora*.

Na figura 23 a. utiliza-se um amplificador na configuração inversora para inverter a tensão de realimentação antes de alcançar a entrada inversora do comparador.

A regulação de tensão funcionará como se descreveu anteriormente.

Reguladores Redutores Integrados

Alguns têm só 5 terminais. Por exemplo o LT1074 é um regulador comutado bipolar monolítico com topologia redutora. A tensão de referência é de 2,21V. Funciona a uma frequência de 100kHz, e pode aceitar tensões desde os 8 até aos 40V contínuos, com um rendimento entre 70 e 90% para correntes de carga de 1 a 5 A.

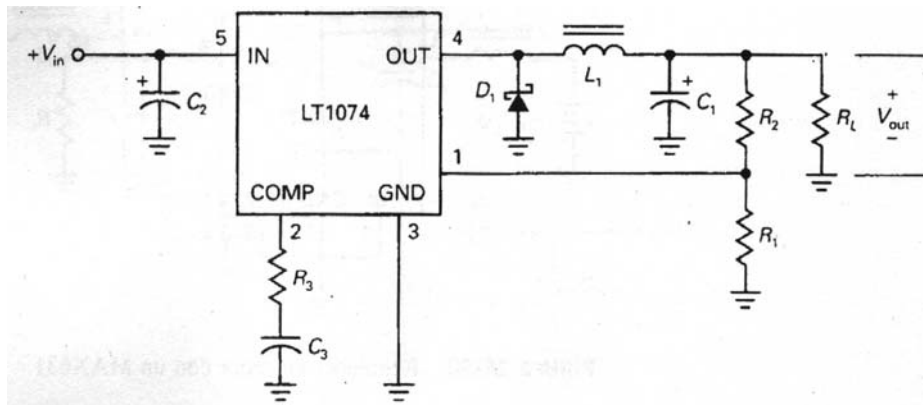


figura 24 - Regulador redutor com um LT1074

Na figura aparece um LT1074 ligado como regulador redutor. O pino 1 (FB, *feedback*) é para a tensão de realimentação. O pino 2 (COMP) é para a compensação de frequência que previne de oscilações de alta frequência. O pino 3 (GND) é o de terra. O pino 4 (OUT) é a saída comutada do dispositivo interno de comutação. O pino 5 (IN) para a tensão de entrada contínua.

D_1 , L_1 , C_1 , R_1 e R_2 fazem as mesmas funções descritas anteriormente na secção do regulador redutor. O díodo Schottky é para melhorar o rendimento do regulador. Como tem uma barreira de potencial baixa, a dissipação de potência será menor. A folha de características recomenda acrescentar um condensador C_2 de 200 a 470 μ F na entrada para filtrar o sinal de rede. Também recomenda uma resistência R_3 de 2,7K Ω e um condensador de 0,01 μ F para estabilizar a malha de realimentação (prevenir oscilações). O LT1074 usa-se muito e, dentro da complexidade dos reguladores comutados pode considerar-se simples. Os projectistas incluíram tudo no integrado à excepção dos

componentes que não se podem integrar (filtros com condensador e de choque) e aqueles que deixam à selecção do utilizador (R_1 e R_2).

Escolhendo valores distintos para R_1 e R_2 , pode-se regular a tensão de saída desde os 2,5V até aos 38V.

A tensão de saída virá:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} (2,1V)$$

A tensão diferencial entrada/saída deve ser de pelo menos 2V

Reguladores Elevadores Integrados

Temos como exemplo o MAX631 que usa tecnologia CMOS. É de baixa potência e usa uma frequência de comutação de 50kHz, uma tensão de entrada de 2 a 5V (pilha) e um rendimento de 80%. precisa apenas de 2 componentes externos. Usa-se muito em aparelhos portáteis.

A folha de características recomenda o uso de uma bobina de 330 μ H e um condensador de 100 μ F.

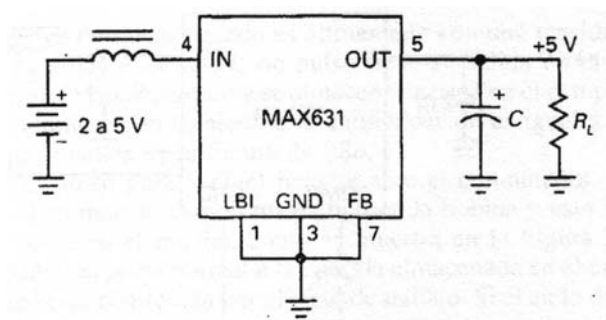


figura 25 - Regulador elevador com um MAX631

Tem 8 terminais, dos quais os que não se usam ou se deixam livres ou se ligam a terra.

O pino 1(LBI: Low Battery Indicator) pode-se utilizar para detectar quando a pilha está fraca. Normalmente usa-se como regulador de saída fixa mas pode usar-se com um divisor de tensão externo para fornecer uma tensão de realimentação através do pino 7(FB). Se o pino 7 está ligado à terra, a tensão de saída vem ajustada de fábrica para os 5V.

Há também o MAX632 e o MAX633 com tensões de saída de +12 e +15V. Todos incluem o pino 6 - bomba de carga - que é um buffer de baixa impedância que produz um sinal de saída rectangular. O sinal oscila entre 0 e V_{out} à frequência do oscilador e

pode-se juntar um inversor e um detector de pico para conseguir uma tensão de saída negativa.

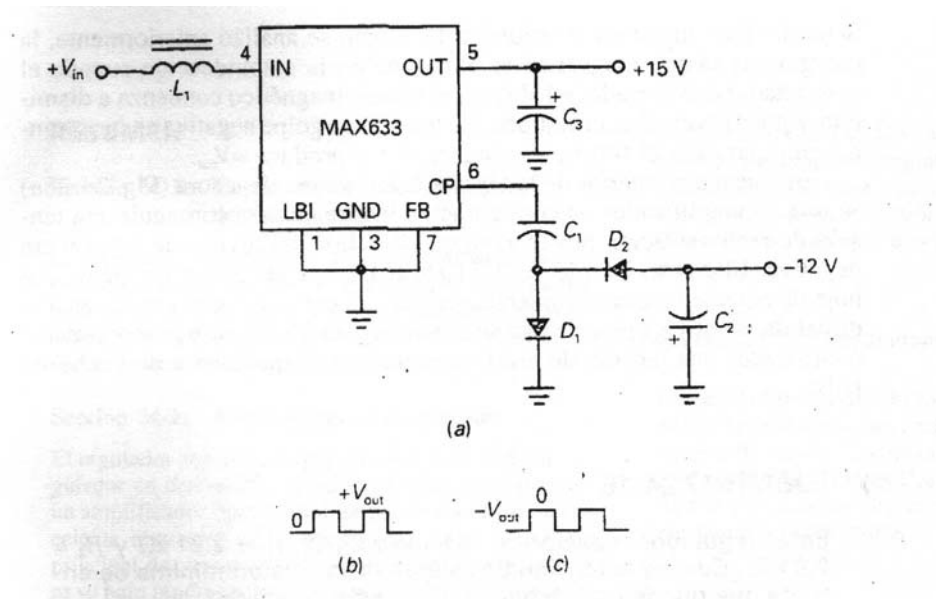


figura 26 - a) Usando a bomba de carga de um MAX633 para produzir tensões de saída negativas
b) A saída do pino 6 alimenta um inversor de nível negativo
c) Entrada do detector de pico

Por exemplo, na figura 26 a) mostra-se como configurar um MAX633 para obter uma saída de aproximadamente $-12V$. C_1 e D_1 são um inversor para negativo e C_2 e D_2 um detector de pico negativo.

Vejamos como funciona a bomba de carga: A figura 26 b) mostra a forma de onda ideal para a tensão saindo do pino 6. Devido ao inversor de nível negativo, a forma de onda ideal para a tensão em D_1 é o sinal recortado negativamente da figura 26 c). Este sinal entra no detector de pico negativo e produz uma saída de aproximadamente $-12V$ a $20mA$. O valor absoluto desta tensão é aproximadamente menos $3V$ que a tensão de saída devido à queda de tensão nos díodos (D_1 e D_2) na impedância do buffer (à volta de 30Ω).

Nos reguladores lineares a tensão de saída é sempre menor que a de entrada, nos comutados pode ser maior, o que lhes traz um grande uso nos sistemas alimentados por pilhas (e não só).

A tensão de referência é de $1,31V$ e, se usarmos um divisor de tensão, a tensão de saída é dada por:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} 1,31V$$

Reguladores Inversores Monolíticos

O LT1074 pode suportar uma ligação externa inversora:

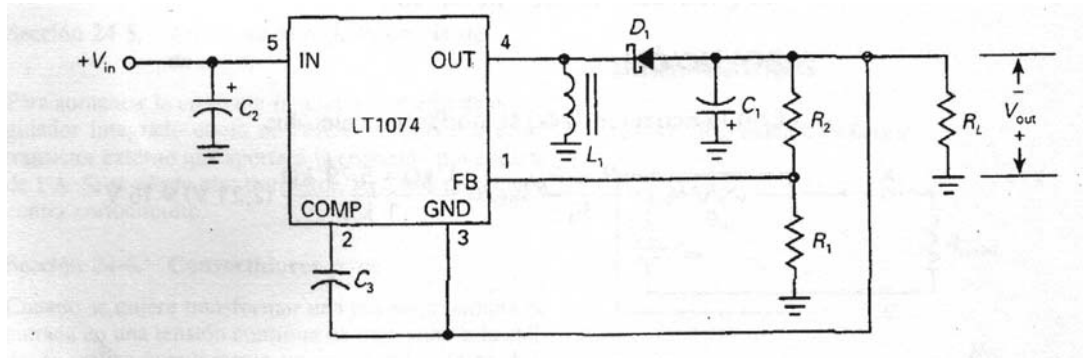


figura 27 - Utilização de um LT1074 como regulador inversor

Como se analisou anteriormente, a energia do campo magnético armazena-se na bobina quando o comutador está fechado. Ao abrir-se, o campo magnético começa a diminuir e polariza-se directamente o diodo. A tensão de golpe negativa na bobina passa pelo filtro com condensador e produz $-V_{out}$.

O pino 3 deve, aqui, ligar-se à terra, para produzir-se uma tensão de erro que controla o modulador de largura de impulso.

Exercícios (solicite as resoluções [aqui](#))

1. No regulador redutor da figura 24, $R_1=2,21k\Omega$ e $R_2=2,8k\Omega$.

Qual é a tensão de saída? E a tensão mínima de entrada que pode usar-se para esta tensão de saída ?

2. No regulador diferencial da figura 27, $R_1=1k\Omega$ e $R_2=5,79k\Omega$.

Qual é a tensão de saída ?

Temos disponíveis mais problemas, dos mais básicos até aos de maior dificuldade e de detecção de avarias. Solicite-os [aqui](#).

8. Questões (de escolha múltipla)

1. Os reguladores de tensão utilizam:
 - a) Realimentação negativa
 - b) Realimentação positiva
 - c) Realimentação nula
 - d) Limitador de fase

2. Durante a regulação, a dissipação de potência do transistor de saída é igual à tensão colector-emissor multiplicada por:
 - a) Corrente na base
 - b) Corrente na carga
 - c) corrente no zener
 - d) Corrente de realimentação

3. Sem limitação e corrente, uma carga em curto-circuito provavelmente:
 - a) Produzirá uma corrente de carga nula
 - b) Destruirá os díodos e os transístores
 - c) Terá uma tensão na carga igual à tensão de zener
 - d) Terá uma corrente de carga demasiado pequena

4. Uma resistência detectora de corrente é, em geral:
 - a) Nula
 - b) Pequena
 - c) Grande
 - d) Aberta

5. A limitação de corrente simples produz demasiado calor:
 - a) No díodo de zener
 - b) Na resistência de carga
 - c) No transistor de saída
 - d) No ambiente

6. Com limitação com redução de corrente, a tensão na carga aproxima-se de zero e a corrente de carga aproxima-se de:

- a) Um valor pequeno
- b) Infinito
- c) A corrente de zener
- d) Um nível destrutivo

7. Pode ser necessário um condensador num regulador de tensão discreto para evitar:

- a) A realimentação negativa
- b) Corrente de carga excessiva
- c) Oscilações
- d) Detecção de corrente

8. Se a saída de um regulador de tensão varia entre 15 e 14,7V para a corrente de carga máxima e mínima, a regulação de carga é:

- a) 0 %
- b) 1 %
- c) 2 %
- d) 5 %

9. Se a saída de um regulador de tensão varia entre 20 e 19,8V quando a tensão da rede o faz sobre o seu intervalo de funcionamento, a regulação de rede é:

- a) 0 %
- b) 1 %
- c) 2 %
- d) 5 %

10. A impedância de saída de um regulador de tensão é:

- a) Muito pequena
- b) Muito grande
- c) Igual à tensão de carga a dividir pela corrente de carga
- d) Igual à tensão de entrada a dividir pela corrente de saída

11. Comparado com o ruído que entra num regulador de tensão, o ruído à saída do regulador de tensão é:

- a) Igual em valor

- b) Muito maior
- c) Muito menor
- d) Impossível de determinar

12. Um regulador de tensão tem uma rejeição de ruído de -60dB. Se o ruído na entrada é de 1V, o ruído à saída é de:

- a) -60mV
- b) 1 mV
- c) 10 mV
- d) 1000 V

13. A protecção térmica dá-se num regulador integrado, se:

- a) A dissipação de potência é muito alta
- b) A temperatura interna é muito alta
- c) A corrente através do dispositivo é alta
- d) Ocorrem as três situações anteriores

14. Se um regulador integrado está afastado uns quantos centímetros do filtro capacitivo, podem ter-se oscilações dentro do circuito integrado a menos que se utilize:

- a) Limitação de corrente
- b) Um condensador de desacoplamento no terminal de entrada
- c) Um condensador de acoplagem no terminal de saída
- d) Uma tensão de entrada regulada

15. A série de reguladores de tensão 78XX produz uma tensão de saída:

- a) Positiva
- b) Negativa
- c) Qualquer das duas, positiva ou negativa
- d) Não regulada

16. O LM7812 produz uma tensão regulada de:

- a) 3V
- b) 4V
- c) 12V

d) 40V

17. Um transistor externo de potência é um transistor:

- a) Em série com o regulador integrado
- b) Em paralelo com o regulador integrado
- c) Qualquer dos dois, em série ou em paralelo
- d) Em paralelo com a carga

18. Para activar um transistor externo de potência, podemos excitar os seus terminais base-emissor com a tensão através de:

- a) Uma resistência carga
- b) Uma impedância de zener
- c) Outro transistor
- d) Uma resistência detectora de corrente

19. Um divisor de fase produz duas tensões de saída, que são:

- a) Iguais em fase
- b) Iguais em magnitude
- c) Opostas em amplitude
- d) Muito pequenas

20. Um regulador série é um exemplo de:

- a) Regulador linear
- b) Regulador comutado
- c) Regulador em paralelo
- d) Conversor cc-cc

21. Para ter mais tensão de saída num regulador comutado redutor, tem que se:

- a) Diminuir o ciclo de trabalho
- b) Diminuir a tensão de entrada
- c) Aumentar o ciclo de trabalho
- d) Aumentar a frequência de comutação

22. Um aumento na tensão de rede provoca normalmente numa fonte de alimentação:

- a) Uma diminuição na resistência de carga
- b) Uma diminuição na tensão de carga
- c) Uma diminuição de rendimento
- d) Menos potência dissipada nos díodos

23. Uma fonte de alimentação com uma saída de baixa impedância tem baixa:

- a) Regulação de carga
- b) Limitação de corrente
- c) Regulação de rede
- d) Rendimento

24. Um regulador de díodo zener é um:

- a) Regulador em paralelo
- b) Regulador série
- c) Regulador comutado
- d) Seguidor zener

25. A corrente de entrada de um regulador em paralelo é:

- a) Variável
- b) Constante
- c) Igual à corrente de carga
- d) Usada para armazenar energia num campo magnético

26. Uma vantagem dos reguladores em paralelo é:

- a) Que se constroem com protecção contra curto-circuito
- b) A baixa dissipação de potência no transistor de passagem
- c) O alto rendimento
- d) A pouca potência desperdiçada

27. O rendimento de um regulador de tensão é alto quando:

- a) A potência de entrada é baixa
- b) A potência de saída é alta
- c) Se desperdiça pouca potência
- d) A potência de entrada é alta

28. Um regulador em paralelo tem baixo rendimento devido a:

- a) Sua perda de potência
- b) Usar uma resistência série como transistor em paralelo
- c) A razão de potência entrada/saída ser baixa
- d) Tudo o que foi dito anteriormente

29. Um regulador comutado pode considerar-se:

- a) Estável
- b) Ruidos
- c) De baixo rendimento
- d) Linear

30. O seguidor zener é um exemplo de:

- a) Regulador elevador
- b) Regulador em paralelo
- c) Regulador redutor
- d) Regulador série

31. Um regulador série tem maior rendimento que um regulador e paralelo devido a:

- a) Ter uma resistência série
- b) Poder elevar a tensão
- c) O transistor de passagem substituir a resistência série
- d) Comutar o transistor de passo entre as situações de condução e de corte

32. O rendimento de um regulador linear é alto quando:

- a) A tensão diferencial entrada/saída é baixa
- b) O transistor de passagem tem uma potência de dissipação alta
- c) A tensão zener é baixa
- d) A tensão de saída é baixa

33. Se se curto-circuita a carga, o transistor de passagem tem a potência de dissipação menor quando o regulador tem:

- a) Limitação com redução de corrente

- b) Rendimento baixo
- c) Topologia redutora
- d) Um zener de tensão alta

34. A tensão de dropout de um regulador linear standard monolítico é aproximadamente:

- a) 0,3V
- b) 0,7V
- c) 2V
- d) 3,1V

35. Num regulador redutor, a tensão e saída filtra-se com um:

- a) Filtro de choque
- b) Filtro com condensador
- c) Díodo
- d) Divisor de tensão

36. O regulador com maior rendimento é:

- a) O regulador em paralelo
- b) O regulador série
- c) O regulador comutado
- d) O conversor cc-cc

37. Nos reguladores elevadores, a tensão de saída filtra-se com um:

- a) Filtro de choque
- b) Filtro com condensador
- c) Díodo
- d) Divisor de tensão

38. O regulador inversor é também:

- a) Regulador redutor
- b) Regulador redutor
- c) Regulador redutor-elevador
- d) Tudo o referido nas alíneas anteriores

Caso encontre algum erro, agradece-se [reporte](#).

É bem-vindo qualquer tipo de [feedback](#).

Obrigado.