

## 1 Título

Prática 5 – Regulação de tensão

## 2 Fundamentos teóricos

Como comentado na Prática 4 (circuitos retificadores), a regulação de tensão consiste no uso de componentes eletrônicos que mantenham a tensão na carga praticamente constante, mesmo havendo variações na carga e/ou na tensão de entrada, desde que estas variações estejam dentro do previsto no projeto do regulador.

Foi observado na atividade anterior que, para circuitos retificadores com filtragem, a tensão média de saída do circuito irá variar de acordo com a carga. Uma etapa adicional, portanto, se faz necessária, se for requerida uma fonte de alimentação com tensão constante. Para tanto, será utilizado um circuito regulador de tensão, a ser posicionado no circuito da fonte conforme o diagrama da Figura 1, já mostrado na prática anterior.

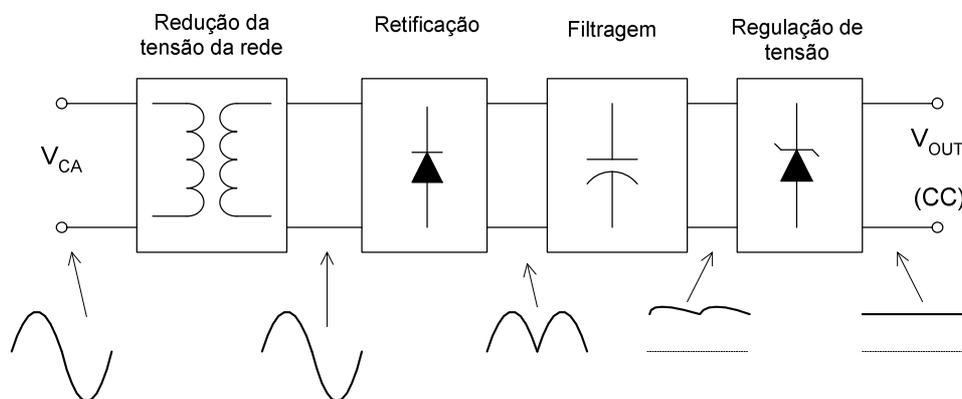


Figura 1 – Etapas de uma fonte de alimentação típica.

O regulador pode ser implementado de formas diferentes, existindo inclusive reguladores integrados específicos para a tensão de saída desejada (p. ex., o CI 7805, que fornece uma tensão regulada de saída de +5 V, para cargas que drenem uma corrente de até 1 A).

Nesta prática, utilizaremos o diodo zener para a montagem do regulador, de acordo com o circuito da Figura 2. O diodo zener é projetado tipicamente para operar reversamente polarizado, conforme mostra a curva da Figura 3b. Ao conduzir em sentido reverso, o diodo zener mantém em seus terminais (e nos terminais da carga  $R_L$ ) a tensão  $V_Z$ , sendo, portanto, o circuito da Figura 2 a forma mais simples de se construir um regulador de tensão.

Note que é necessário o resistor série  $R_S$ , para limitar a corrente do zener,  $I_Z$ . Esta não poderá ser maior que o valor máximo  $I_{Zmáx.}$  (dada na folha de dados do zener), para que não ocorra a queima do componente. Nem deverá ser inferior a  $I_{Zmín.}$ , para que o zener se mantenha ligado, ou seja, mantenha a tensão  $V_Z$  em seus terminais. Embora  $I_{Zmín.}$  possa ser encontrada na folha de dados (no gráfico da Figura 3b, é a corrente no “joelho” da curva), na prática é comum adotarmos  $I_{Zmín.} = 10\% \cdot I_{Zmáx.}$

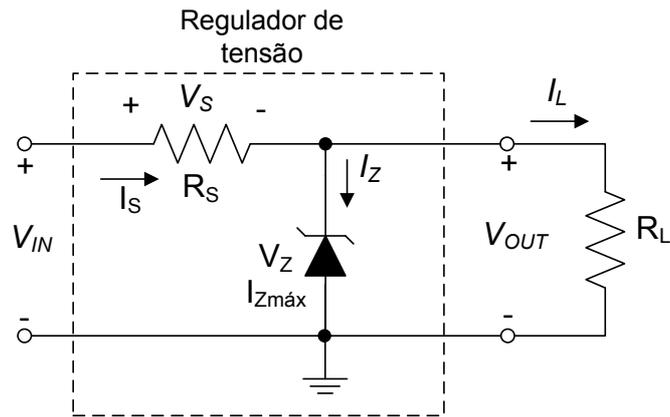


Figura 2 – Esquemático do regulador de tensão com diodo zener.

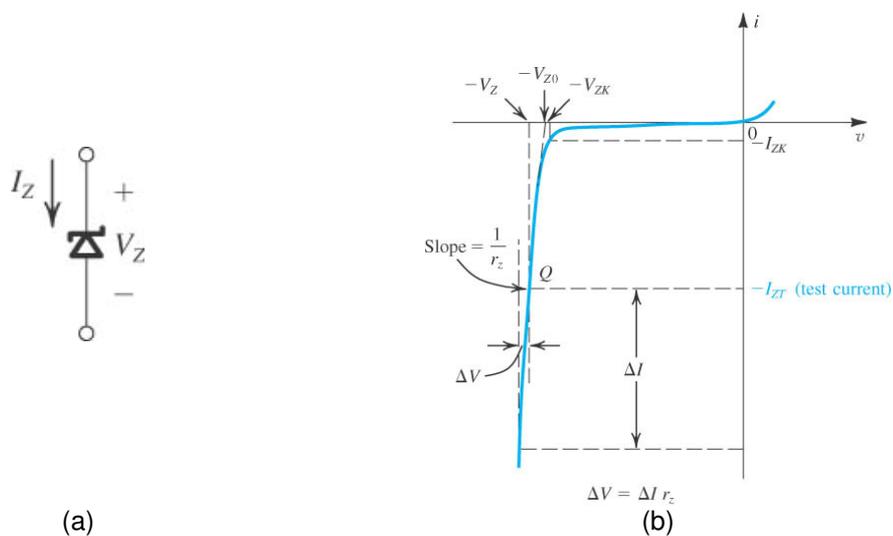


Figura 3 – Diodo zener. (a) Símbolo; (b) curva característica na região de ruptura.

Portanto, o projeto deste regulador consiste em se determinar o valor de  $R_S$ , a partir dos seguintes dados:

- A tensão  $V_Z$  (que será a tensão na carga) e a corrente  $I_{Zmáx}$ ;
- A variação no valor da tensão de entrada  $V_{IN}$ ;
- A variação no valor da carga  $R_L$ .

Ainda, no projeto de reguladores de tensão, as seguintes circunstâncias podem ocorrer:

1. Carga fixa e fonte variável;
2. Carga variável e fonte fixa;
3. Carga variável e fonte variável.

As três circunstâncias serão abordadas nesta prática. A estrutura do retificador com filtro não será montada, por simplicidade, sendo a tensão de entrada do regulador obtida da fonte CC ajustável do módulo Elvis. Deve-se ter em mente, no entanto, que iremos variar esta fonte CC dentro de certos limites, simulando, assim, o *ripple* que ocorre na saída do retificador com filtro capacitivo.

### 3 Trabalho Preparatório

Com base nas três circunstâncias nas quais podem ser empregados reguladores de tensão, calcule o valor do resistor  $R_S$  para as configurações a seguir. O diodo zener a ser utilizado será o 1N4733. A partir da folha de dados deste componente, escreva na Tabela 1 os valores de  $V_Z$ ,  $P_{m\acute{a}x.}$  (potência máxima),  $I_{Zm\acute{a}x.}$  e  $I_{Zm\acute{i}n.}$ . No manual,  $I_{Zm\acute{a}x.}$  é denominada *maximum regulator current*.

Tabela 1 – Características do Diodo Zener (1N4733).

Parâmetro	Valor
Tensão Zener – $V_Z$ (V)	
Potência Máxima – $P_Z$ (W)	
Corrente Máxima – $I_{Zm\acute{a}x.}$ (A)	
Corrente Mínima – $I_{Zm\acute{i}n.}$ (A) = 10% $I_{Zm\acute{a}x.}$	

#### 3.1 Tensão variável, carga fixa

Dados do projeto:

- $V_{OUT} = V_Z = 5,1$  V
- $V_{IN} = 9,0 - 12,0$  V
- $R_L = 220$   $\Omega$

Determinaremos o valor de  $R_S$  encontrando primeiramente os valores de  $R_S$  mínimo ( $R_{Sm\acute{i}n.}$ ) e  $R_S$  máximo ( $R_{Sm\acute{a}x.}$ ), a partir das seguintes fórmulas:

$$R_{Sm\acute{i}n.} = \frac{V_{INm\acute{a}x.} - V_Z}{I_{Zm\acute{a}x.} + I_L} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$R_{Sm\acute{a}x.} = \frac{V_{INm\acute{i}n.} - V_Z}{I_{Zm\acute{i}n.} + I_L} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde  $V_{INm\acute{a}x.}$  e  $V_{INm\acute{i}n.}$  são, respectivamente, a tensão de entrada máxima e mínima. O valor de  $R_S$  será a média aritmética de  $R_{Sm\acute{i}n.}$  e  $R_{Sm\acute{a}x.}$ , sendo depois aproximado para o valor comercial mais adequado (tabela de valores comerciais ao fim desta prática). Com base nos cálculos, preencha a Tabela 2.

Tabela 2 – Valores para o projeto de  $R_S$  (tensão variável, carga fixa).

$R_{Sm\acute{i}n.}$	$R_{Sm\acute{a}x.}$	$R_S$ (média)	$R_S$ (comercial)

Adotado o valor comercial de  $R_S$ , calcule os valores efetivos das correntes  $I_S$  e  $I_Z$ , para as condições-limite. Esta verificação é importante para validar o projeto. Preencha, portanto, a Tabela 3, para o valor  $R_S$  comercial. Caso  $I_Z$  não esteja entre  $I_{Zm\acute{a}x.}$  e  $I_{Zm\acute{i}n.}$ , pode ser necessário refazer o projeto para outra condição de variação em  $V_{IN}$  (partindo do pressuposto que manteremos o zener especificado), ou adotar um valor comercial maior ou menor que o escolhido para  $R_S$ .

Tabela 3 – Valores para o  $R_S$  comercial (tensão variável, carga fixa).

Parâmetro	$I_S$	$I_Z$
$V_{INmín.} = 9,0 \text{ V}$		
$V_{INmáx.} = 12,0 \text{ V}$		

### 3.2 Tensão fixa, carga variável

Dados do projeto:

- $V_{OUT} = V_Z = 5,1 \text{ V}$
- $V_{IN} = 10,0 \text{ V}$
- $R_L = 330 \Omega - \infty$  (circuito aberto)

Determinaremos o valor de  $R_S$  encontrando primeiramente os valores de  $R_S$  mínimo ( $R_{Smín.}$ ) e  $R_S$  máximo ( $R_{Smáx.}$ ), a partir das seguintes fórmulas:

$$R_{Smín.} = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_{Zmáx.} + I_{Lmín.}} \quad (\text{Eq. 3})$$

$$R_{Smáx.} = \frac{V_{IN} - V_Z}{I_{Zmín.} + I_{Lmáx.}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde  $I_{Lmáx.}$  e  $I_{Lmín.}$  são, respectivamente, a corrente de carga máxima e mínima. Calcule  $R_S$  conforme foi feito no Item 3.1 e preencha a Tabela 4.

Tabela 4 – Valores para o projeto de  $R_S$  (tensão fixa, carga variável).

$R_{Smín.}$	$R_{Smáx.}$	$R_S$ (média)	$R_S$ (comercial)

Para o  $R_S$  adotado, obtenha  $I_S$  e  $I_Z$  para as condições-limite, ou seja,  $R_{Lmín.}$  e  $R_{Lmáx.}$ . Preencha a Tabela 5, verificando se  $I_Z$  está entre  $I_{Zmín.}$  e  $I_{Zmáx.}$ .

Tabela 5 – Valores para o  $R_S$  comercial (tensão fixa, carga variável).

Parâmetro	$I_S$	$I_Z$
$R_{Lmín.} = 330 \Omega$		
$R_{Lmáx.} = \infty$ (aberto)		

### 3.3 Tensão variável, carga variável

Dados do projeto:

- $V_{OUT} = V_Z = 5,1 \text{ V}$
- $V_{IN} = 9,0 \text{ V} - 12,0 \text{ V}$
- $R_L = 220 \Omega - \infty$  (circuito aberto)

Determinaremos o valor de  $R_S$  encontrando primeiramente os valores de  $R_S$  mínimo ( $R_{Smín.}$ ) e  $R_S$  máximo ( $R_{Smáx.}$ ), a partir das seguintes fórmulas:

$$R_{S\text{mín}} = \frac{V_{IN\text{máx}} - V_Z}{I_{Z\text{máx.}} + I_{L\text{mín.}}} \quad (\text{Eq. 5})$$

$$R_{S\text{máx}} = \frac{V_{IN\text{mín}} - V_Z}{I_{Z\text{mín.}} + I_{L\text{máx.}}} \quad (\text{Eq. 6})$$

Calcule  $R_S$  e preencha a Tabela 6.

Tabela 6 – Valores para o projeto de  $R_S$  (tensão variável, carga variável).

$R_{S\text{mín.}}$	$R_{S\text{máx.}}$	$R_S$ (média)	$R_S$ (comercial)

Para o  $R_S$  adotado, obtenha  $I_S$  e  $I_Z$  para as condições-limite, ou seja,  $(V_{IN\text{máx.}}, R_{L\text{máx.}})$  e  $(V_{IN\text{mín.}}, R_{L\text{mín.}})$ . Preencha a Tabela 7, verificando se  $I_Z$  está entre  $I_{Z\text{mín.}}$  e  $I_{Z\text{máx.}}$ .

Tabela 7 – Valores para  $R_S$  comercial (tensão variável, carga variável).

Parâmetro	$I_S$	$I_Z$
$V_{IN\text{mín}} = 9,0 \text{ V}$ $R_{L\text{mín.}} = 220 \Omega$		
$V_{IN\text{máx}} = 12,0 \text{ V}$ $R_{L\text{máx.}} = \infty$ (aberto)		

## 4 Execução

No módulo Elvis, monte o circuito da Figura 2 para cada uma das três situações para as quais foram feitos os cálculos na Seção anterior.

Para evitar o inconveniente de se medir correntes através da inserção em série do multímetro (na configuração amperímetro), estas serão medidas indiretamente, através das quedas de tensão nos resistores  $R_S$  e  $R_L$  (lei de Ohm). Sabe-se que a tolerância dos resistores utilizados é de  $\pm 5\%$ , o que poderia levar a um erro no valor da corrente calculada indiretamente, ao se usar os valores nominais dos resistores. No entanto, resultados mais exatos são desnecessários em uma aplicação como esta.

Os roteiros para a execução são dados a seguir.

### 4.1 Tensão variável, carga fixa

Usando o resistor de carga especificado ( $220 \Omega$ ) e o  $R_S$  calculado no Item 3.1, monte o circuito, ajustando no módulo a fonte CC variável de modo que  $V_{IN}$  assuma os valores mínimo e máximo especificados. Com o multímetro, você deverá medir a tensão sobre  $R_S$  ( $V_S$ ) e  $R_L$  ( $V_{OUT}$ ). De posse desses valores, é possível obter os demais dados, que deverão ser preenchidos na Tabela 8.

Como teste, experimente agora utilizar uma tensão de entrada  $V_{IN}$  igual a  $7,0 \text{ V}$ , portanto, menor que a tensão  $V_{IN\text{mín}}$  especificada. Anote os resultados na tabela.

Tabela 8 – Valores medidos (tensão variável, carga fixa).

	$V_S$	$V_{OUT}$	$I_S$	$I_L$	$I_Z$
$V_{INmin.} = 9,0 \text{ V}$					
$V_{INmax.} = 12,0 \text{ V}$					
$V_{IN} = 7,0 \text{ V (teste)}$					

#### 4.2 Tensão fixa, carga variável

Monte o circuito da Figura 2 para a carga de  $330 \Omega$  e  $R_S$  calculado no Item 3.2. Ajuste no módulo a tensão CC fixa especificada ( $10,0 \text{ V}$ ) e efetue as medidas necessárias. Em seguida, troque para a carga de resistência infinita (circuito aberto). Repita o procedimento.

Experimente agora utilizar a carga teste de  $100 \Omega$ , que vai levar a uma corrente de carga  $I_L$  maior que a máxima prevista. Preencha a Tabela 9.

Tabela 9 – Valores medidos (tensão fixa, carga variável).

	$V_S$	$V_{OUT}$	$I_S$	$I_L$	$I_Z$
$R_{Lmin.} = 330 \Omega$					
$R_{Lmax.} = \infty$ (aberto)					
$R_L = 100 \Omega$ (teste)					

#### 4.3 Tensão variável, carga variável

Utilizando agora o valor de  $R_S$  obtido no Item 3.3 e a carga de  $220 \Omega$ , ajuste no módulo inicialmente a tensão CC inferior, efetuando as medidas necessárias. Em seguida, mude a carga para resistência infinita (circuito aberto) e ajuste a tensão superior, efetuando novamente as medidas.

Como testes, experimente utilizar uma tensão de alimentação de  $7,0 \text{ V}$  para uma carga de  $220 \Omega$ . Faça ainda o teste para uma tensão de alimentação de  $9,0 \text{ V}$  e uma carga de  $100 \Omega$ . Preencha a Tabela 10.

Tabela 10 – Valores medidos (tensão variável, carga variável).

	$V_S$	$V_{OUT}$	$I_S$	$I_L$	$I_Z$
$V_{INmin} = 9,0 \text{ V}$ $R_{Lmin.} = 220 \Omega$					
$V_{INmax} = 12,0 \text{ V}$ $R_{Lmax.} = \infty$ (aberto)					
$V_{IN} = 7,0 \text{ V (teste)}$ $R_{Lmin.} = 220 \Omega$					
$V_{INmin} = 9,0 \text{ V}$ $R_L = 100 \Omega$ (teste)					

Observe que, em nenhum dos três casos, fizemos testes com tensões de alimentação maiores que as de projeto, para não correr o risco de queima do diodo zener.

## 5 Relatório e conclusões

No relatório, deverão constar:

- Todos os dados calculados e experimentais.
- Interpretação dos resultados para condições de teste fora das previstas no projeto.
- Para cada uma das situações, elabore uma tabela com os consumos de energia da carga, do regulador, consumo total e rendimento do regulador. Entende-se como rendimento a razão entre a potência entregue à carga e a potência total. Faça uma análise crítica dos resultados.
- É interessante comentar sobre outros tipos de regulador existentes, tanto discretos como integrados. Quais seriam as vantagens dessas estruturas ou dispositivos, se comparados com o circuito estudado?

## 6 Bibliografia

SEDRA, Adel S. e SMITH, K. C. **Microeletrônica**. Makron Books.

MARQUES, Ângelo Eduardo B., et al. **Dispositivos Semicondutores: Diodos e Transistores**. Érica.

## 7 Anexo – Valores comerciais de resistores (tolerância $\pm 5\%$ )

Os valores comerciais de resistores com tolerância  $\pm 5\%$  são sempre potências de 10 multiplicadas por um dos valores abaixo:

1
1,2
1,5
1,8
2,2
2,7
3,3
3,9
4,7
5,6
6,8
8,2
9,1

Os multiplicadores variam desde  $10^{-1}$  a  $10^7$ . Assim, são exemplos de resistores comerciais de  $\pm 5\%$ :

- $22 \Omega$  ( $2,2 * 10^1$ )
- $3,9 \text{ k}\Omega$  ( $3,9 * 10^3$ )
- $1,2 \text{ M}\Omega$  ( $1,2 * 10^6$ )