

Circuitos Eletrônicos

Prof. Luís Caldas

www.luiscaldas.com.br

Teoria



APRENDER ELETRÔNICA
"MISSÃO POSSÍVEL"



Circuitos Eletrônicos

PROGRAMA DE TEORIA - Disciplinas Eletrônica

MÓDULO	CAP.	SEÇÃO	PÁG.	ASSUNTO
0	-	-		Programa – CIRCUITOS ELETRONICOS
1	-	-	Notas de aulas.	Introdução aos reguladores de tensões. Terminologia das fontes de alimentações e projeto de um regulador de tensão a resistor e zener.
2	-	-	Notas de aulas.	Regulador de tensão a transistor. Análise do ponto de vista do zener e do transistor.
3		-	Notas de aulas	Reguladores de Corrente, Análise do ponto de vista do zener e do transistor.
4	6 7	6.1 a 6.6 7.1 a 7.6	317 a 331 353 a 365	Amplificador de pequeno sinal - Introdução ao FET. Tecnologia de fabricação do FET, canal N e P. Curva de Transferência $I_d \times V_{gs}$. Polarização do JFET pelo método gráfico e algébrico e circuito de polarização por autopolarização e por divisor de tensão.
5	8 9	8.1 a 8.7 9.9	400 a 417 474	Resposta em baixa frequência do amplificador. Determinação da frequência de corte inferior. Curva de resposta em ganho x frequência.
6	9	9.10 e 9.12	475 a 476 484 a 486	Resposta em alta frequência do amplificador. Determinação da impedância de entrada e saída e ganho. Resposta em frequência superior, Efeito Miller
7	6 7	6.7 a 6.8 7.7 a 7.9	331 a 342 365 a 372	MOSFET – Depleção e Intensificação – Tecnologia e Curva de Transferência. Projeto da Polarização para o MOSFET. Circuito por Autopolarização e divisor de tensão.
8	10	10.1 a 10.3	505 a 515 Notas de aulas	Introdução aos Amplificadores Diferenciais, Espelho de Corrente, Amplificador Diferencial Ideal Parâmetros em modo comum Amplificadores Diferenciais Práticos



Circuitos Eletrônicos

Módulo zero: Descrição dos capítulos a serem abordados em cada módulo funcional de aula.

Objetivo: Os capítulos 1, 2 e 3 tratam de assuntos relacionados aos reguladores, os quais abordam as condições limites de operações dos reguladores. É feita uma introdução aos reguladores de tensões a resistor e zener e a transistor tanto para a corrente como para a tensão. É introduzido o conceito de desempenho dos reguladores quanto à variação de entrada de entrada, pela tensão mínima e máxima e quanto à variação de saída, pela corrente mínima e máxima de saída. É introduzido um procedimento para o projeto de reguladores de tensões e correntes sob o ponto de vista das condições mínimas e máximas aplicadas ao circuito. Exercícios e montagens de laboratório completam o estudo desses capítulos.

O capítulo 4 trata de amplificadores de pequenos sinais a transistor por efeito de campo conhecido como JFET. Há uma introdução aos modelos físicos de descrição do componente para os transistores JFET canal N e P. A curva característica do transistor é apresentada, assim como a equação de Schocley e apresentados os dados característicos de transistores JFET como BF245.

As equações são deduzidas a partir da equação de Schocley e é estudado a autopolarização e divisor de tensão para o amplificador a JFET. São desenvolvidos 2 métodos para a determinação de I_d versus V_{gs} tanto para a autopolarização como para o divisor de tensão. São deduzidas as equações para cálculo algébrico de I_d versus V_{gs} e o método gráfico para a determinação $I_d \times V_{gs}$ pela curva característica do transistor.

O capítulo 5 trata da resposta em frequência do amplificador. Para a frequência de corte inferior é analisada a influência dos capacitores de desacoplamento de entrada, da saída e no emissor. É implementado um modelo para análise em corrente alternada e cálculo da frequência de corte inferior. Uma análise da curva ganho versus frequência é deduzida e conceitos em decibéis para níveis de tensões e potências.

O capítulo 6 as equações são deduzidas para o cálculo do ganho, para o cálculo da capacitância de efeito Miller, impedância de entrada e saída. São deduzidas as equações para o cálculo da frequência de corte superior. É feita uma introdução à parte gráfica para apresentação da resposta em frequência dos amplificadores. É recapitulado o conceito do ganho representado ou em valor absoluto ou em decibel com apresentação gráfico cuja variação pode ser linear ou logarítmica. Exercícios com apresentação do gráfico do ganho do circuito pela frequência de entrada aplicada para amplificador a JFET.

O capítulo 7 trata dos dispositivos de efeito de campo por depleção e intensificação. É estudada a parte física do semicondutor e desenvolvido a equação $I_d \times V_{gs}$. São apresentados dados característicos de dispositivos MOSFETs. É estudado um circuito de polarização por divisão de tensão e autopolarização para o modo depleção e para o modo intensificação. São deduzidas expressões para cálculo de polarização do circuito com dados característicos do MOSFET. São resolvidos alguns exemplos de circuitos MOSFET.

O capítulo 8 trata do amplificador diferencial a transistor JFET. É feita uma introdução ao amplificador diferencial, e a influência na tensão de saída pelas entradas diferenciais e modo comum. É feita uma análise em bloco funcional da resposta de saída para 4 casos. Relativo as ligações das entradas no modo comum, no modo individual com a outra aterrada e vice-versa, invertidas na amplitude de entrada. Cálculo do ganho de modo comum simples e duplo e no modo diferencial simples e duplo. É introduzida a taxa de rejeição de modo comum e a curva característica do ganho versus frequência. Um modelo com fonte de corrente no emissor para aumentar a taxa de rejeição de modo comum. Um procedimento de projeto do amplificador para ambos os casos com resistor de emissor ou com fonte de corrente no emissor.

O livro texto adotado para o curso



Circuitos Eletrônicos

BIBLIOGRAFIA

Referência: Livro Texto: Dispositivos Eletrônicos e teoria de circuitos.

Autores Robert Boylestad e Louis Nashelsky, editora Pearson, Prentice Hall, 11.a edição, ano 2013.

OUTRAS REFERÊNCIAS

1. Microeletrônica – Sedra, A.S e Smith, K,C – 5.a edição Pearson.
2. Eletrônica Vol.1 – Malvino, A.P – 14.a edição, Editora Makron,
3. Circuitos Elétricos - Nilsson, J. W./ Riedel, S.A./Marques,A.S., 2008 Prentice Hall Brasil.
4. Circuitos com transistores Bipolares e MOS - Silva, M. M./Calouste, G., ano de 2010.
5. Dispositivos e Circuitos Eletronicos, V.1 – Bogart, J. - ano de 2000 - Editora MAKRON.
6. Dispositivos e Circuitos Eletronicos, V.2 – Bogart, J. - ano de 2000 - Editora MAKRON.

PROGRAMA DE LABORATÓRIO – Disciplina de Circuito Eletrônico

Experiência 01: Medida de desempenho da fonte de tensão a resistor e zener;

Experiência 02: Medida de desempenho da fonte de tensão a transistor e zener;

Experiência 03: Medida de desempenho da fonte de corrente a transistor e zener;

Experiência 04: Levantamento da curva característica do JFET;

Experiência 05: Circuito amplificador montagem autopolarização e divisor de tensão com JFET;

Experiência 06: Medida da resposta em frequência inferior e superior e das impedâncias de entrada e saída do amplificador a FET;

Experiência 07: Amplificadores diferenciais – Polarização;

Referência: Apostila do Prof. Márcio R. Caldas

APRENDER ELETRÔNICA
"MISSÃO POSSÍVEL"



Circuitos Eletrônicos

Índice

1. Módulo um	
Regulador de tensão a transistor e zener	05
2. Módulo dois	
Regulador de tensão a transistor e zener	20
3. Módulo três	
Regulador de corrente a transistor.....	27
4. Módulo quatro	
Amplificador de pequeno sinal a JFET	36
5. Módulo cinco	
Resposta em frequência de corte inferior.....	48
6. Módulo seis	
Resposta em frequência de corte superior.....	64
7. Módulo sete	
Mosfet depleção e intensificação - Polarização	80
8. Módulo oito	
Amplificador diferencial	97



Circuitos Eletrônicos

Módulo um: Estudo dos reguladores de tensões.

Objetivo: Este módulo introduz conceitos de regulação de entrada e de saída e projeto de reguladores de tensões. O módulo aborda uma terminologia utilizada pelos fabricantes de fontes reguladas de tensões e mostra o cálculo dos fatores de regulação. É demonstrado que para se obter a função de regulação é necessário introduzir um elemento de referência no circuito, o qual produz nos seus terminais de saída uma tensão constante dentro de limites estabelecidos de corrente, tensão e potência. O circuito regulador de tensão estudado é composto de um resistor e um diodo zener. A carga de saída R_L deverá ter limite inferior e superior, a fim de que o circuito opere em situações de carga máxima e mínima tendo um bom desempenho com respeito à regulação de entrada e de saída.

TERMINOLOGIA

Regulador – É um circuito capaz de controlar uma ou mais variáveis de saída em resposta às variações de variáveis de entrada. Um regulador pode ser elétrico, mecânico, pneumático entre outros, mas a sua resposta é o resultado da comparação com uma referência de entrada.

Fonte de tensão CC – Uma fonte de alimentação de tensão C.C, é um equipamento capaz de produzir nos terminais de saídas, uma tensão desejada. Podem ser ou de tensões fixas ou ajustáveis.

Fonte de corrente CC – Uma fonte de alimentação de corrente CC. É um equipamento capaz de produzir nos terminais de saídas, uma corrente desejada. Pode ser de correntes fixas ou ajustáveis.

Regulador de tensão CC – O regulador de tensão CC. é um circuito capaz de produzir nos terminais de saídas, uma tensão constante. Esses circuitos reguladores mantêm a tensão constante na saída, mesmo tendo uma variação da entrada e uma variação na carga de saída. Essa propriedade dos reguladores aceita dentro de limites pequenas variações nas suas variáveis de controle.

Regulador de corrente CC – O regulador de corrente CC. é um circuito capaz de produzir nos terminais de saídas, uma corrente constante. Esses circuitos reguladores mantêm a corrente constante na saída, mesmo tendo uma variação da entrada e uma variação na carga de saída. Essa propriedade dos reguladores aceita dentro de limites pequenas variações nas suas variáveis de controle.

Regulação de entrada – É um termo usado para especificar na fonte de alimentação o quanto pode-se ter de variação na saída do regulador, em virtude da variação da tensão de entrada do regulador.

Fator de regulação de entrada – O fator de regulação de entrada é um parâmetro que mede o desempenho do regulador com respeito à variação da tensão de entrada. É um índice de qualidade e são considerados bons reguladores aqueles os quais estão na faixa de variação de 0,1% a 0,01%.

Regulação de saída – É um termo usado para especificar na fonte de alimentação o quanto pode-se ter de variação na saída do regulador, em virtude da variação da carga no regulador.



Circuitos Eletrônicos

Fator de regulação de saída – O fator de regulação de saída é um parâmetro que mede o desempenho do regulador com respeito à variação da carga de saída. É um índice de qualidade e são considerados bons reguladores aqueles os quais estão na faixa de variação de 0,1% a 0,01%.

EMI – Eletromagnetic Interference – Indica interferência eletromagnética.

ESR – Equivalent serie resistance – É uma série de um elemento reativo com um resistor puro. O equivalente dessa associação é denominado ESR.

Ripple ou fator de ondulação – É um fator que mede o desempenho do filtro que recebe um sinal composto de componente alternada e contínua. O filtro é considerado de bom desempenho quando produz na saída uma maior quantidade de componentes contínuas.

CA – É um termo utilizado para a forma da tensão ou corrente que circula no circuito e significa corrente alternada. .

CC – É um termo utilizado para a forma da tensão ou corrente que circula no circuito e significa corrente contínua.

Corrente (inrush) – É uma quantidade de corrente produzida quando o equipamento é energizado. Esse pico de corrente pode chegar a 5 vezes a corrente nominal do equipamento.

Surto – Um surto de tensão é produto de um transiente da tensão CA. de entrada.

RMS – Root Measurge Square – É um parâmetro que mede o valor eficaz da tensão ou da corrente.

Fator de crista – É a relação entre o valor máximo ou de pico da tensão ou da corrente sobre o valor eficaz.

Tensão em vazio – Quando a fonte não tem nenhuma carga aplicada na sua saída. A corrente de saída da fonte é igual a zero. A tensão em vazio corresponde à tensão nominal da fonte ou a tensão máxima,

Plena carga – Quando a fonte está submetida à carga total da fonte. A corrente de saída da fonte é máxima. A tensão de saída da fonte em plena carga corresponde a uma tensão mínima fornecida.

CONCEITO MATEMÁTICO DA REGULAÇÃO

Um circuito simples de regulação é usado para introduzir o conceito de regulação pela entrada e pela saída. Um cálculo do desempenho do regulador será realizado no ensaio do circuito. Sendo a equação de regulação dada por:

$$\partial V_L = \frac{\partial V_L}{\partial V_E} \Delta V_E + \frac{\partial V_L}{\partial I_L} \Delta I_L + \frac{\partial V_L}{\partial \theta} \Delta \theta + \dots\dots\dots$$

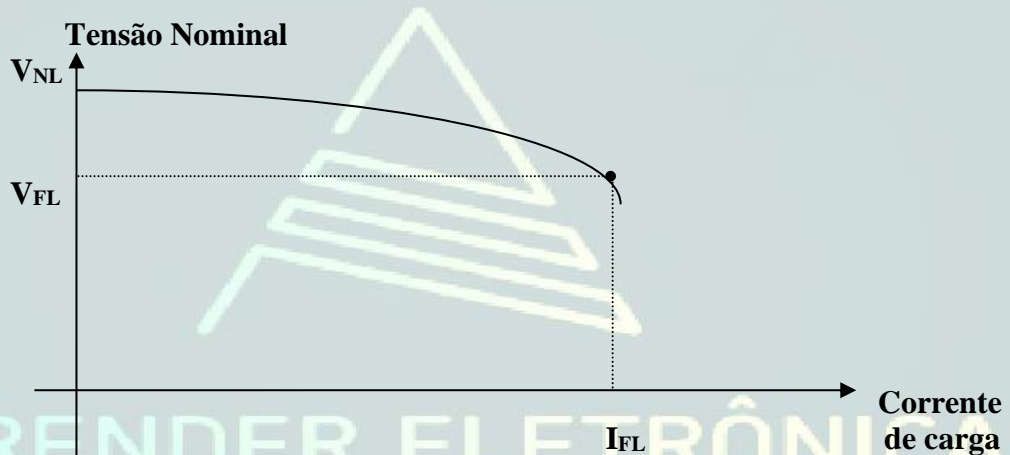
Onde V_L é a tensão que se deseja regular, V_E é a tensão de entrada e I_L a corrente de saída. Da equação são gerados dois parâmetros de regulação A e B, respectivamente relativo à regulação pela

entrada e regulação pela saída. Os dois parâmetros são mensuráveis e medem o desempenho do regulador. A variável θ temperatura, um dos fatores que prejudicam a regulação do sistema é desprezada na análise de regulação realizada no circuito regulador a resistor e zener.

A fonte de alimentação ideal mantém constante a tensão de saída nos seus terminais independente da variação da corrente de saída. Uma fonte de alimentação prática, sempre varia a tensão de saída com a carga. Quanto menor for a variação da tensão na saída maior será a regulação de saída da fonte. Definem-se alguns termos que serão úteis na implementação dos projetos são eles:

- Corrente na plena carga é a corrente total que a fonte pode fornecer ou carga total (I_{FL});
- Tensão a plena carga é a tensão total que a fonte pode fornecer ou tensão total (V_{FL});
- Tensão em vazio é a tensão sem carga (V_{NL}).

A figura a seguir mostra o gráfico da variação da tensão de saída com a carga na saída.



1.1 PORCENTAGEM DE REGULAÇÃO DA TENSÃO DE SAÍDA

$$\%Reg. = \frac{V_{NL} - V_{FL}}{V_{FL}} \times 100$$

2. FONTES DE TENSÃO – TEORIA E PROJETO

1. Introdução: As fontes de tensão ou as fontes de alimentação têm como princípio de funcionamento, regular a tensão (manter a tensão constante) dentro de limites estabelecidos no projeto para a variação da tensão de entrada, para a variação da corrente de saída e outros parâmetros como temperatura de operação etc...

2.1 EQUAÇÃO GERAL DA REGULAÇÃO DA SAÍDA

$$\partial V_L = \frac{\partial V_L}{\partial V_E} \Delta V_E + \frac{\partial V_L}{\partial I_L} \Delta I_L + \frac{\partial V_L}{\partial \theta} \Delta \theta + \dots$$

3. Diagrama de bloco de uma Fonte de Alimentação de Tensão.

O diagrama abaixo apresenta em bloco a fonte onde:

V_E = Tensão de entrada da fonte (Não Regulada);

V_L = Tensão de saída (Regulada)

I_L = Corrente de Saída (Corrente na Carga)

R_L = Resistência de saída (Carga da fonte)



3.1 FATORES DE REGULAÇÃO

Denominando de **A** o fator de regulação da entrada e de **B** o fator de regulação de saída, teremos:

$$A = \frac{\partial V_L}{\partial V_E} \quad \text{e} \quad B = \frac{\partial V_L}{\partial I_L}$$

A equação de geral de regulação da fonte de tensão fica:

$$\Delta V_L = A \Delta V_E + B \Delta I_L$$

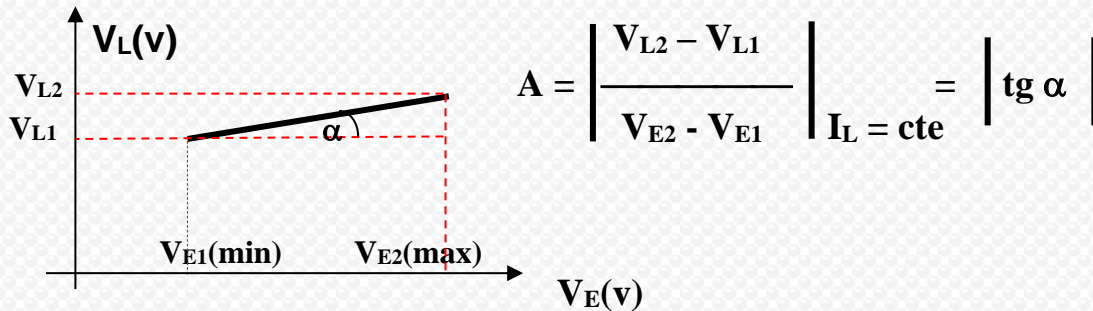
4. CÁLCULO DOS FATORES DE REGULAÇÕES.

a) Pela Variação da tensão de entrada (Regulação de entrada)

Variando-se a tensão de entrada, mantendo R_L constante e medindo a tensão de saída.



a.1 CURVA CARACTERÍSTICA DA REGULAÇÃO PELA ENTRADA



a.2 CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE REGULAÇÃO PELA ENTRADA

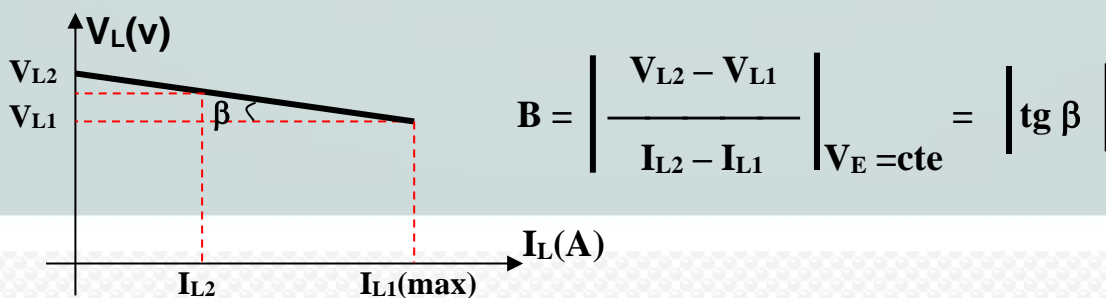
$$\% \text{Reg. Entrada} = A \times 100$$

b) Pela variação da corrente de saída (Regulação de saída)

b.1 Variando-se a corrente de carga através de R_L e mantendo-se a tensão de entrada constante.



a.3 CURVA CARACTERÍSTICA DA REGULAÇÃO PELA SAÍDA



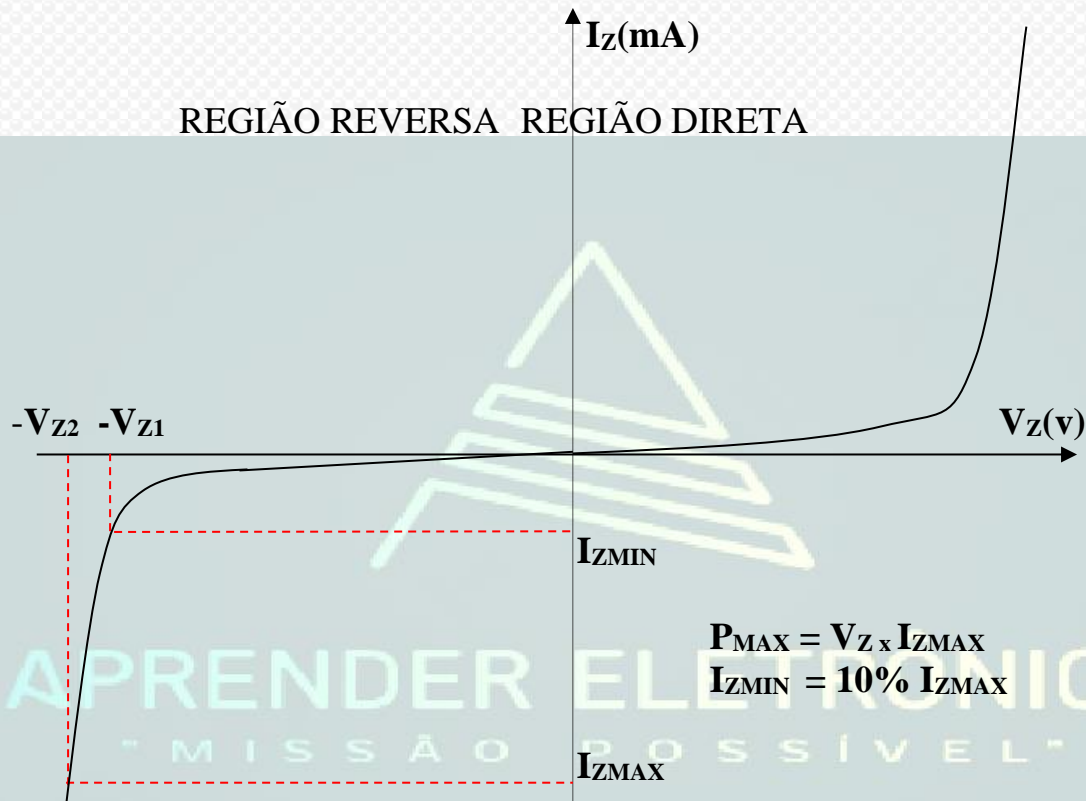
a.4 CÁLCULO DA PORCENTAGEM DE REGULAÇÃO PELA SAÍDA

$$\% \text{Reg. Saída} = B \times 100$$

5. DISPOSITIVO REGULADOR DE TENSÃO

5.1 DIODO ZENER - Pela curva característica do dispositivo é possível entender o seu comportamento dinâmico, suas limitações, faixa admissível de trabalho, suas variações com a temperatura etc...

CURVA CARACTERÍSTICA DO DIODO ZENER



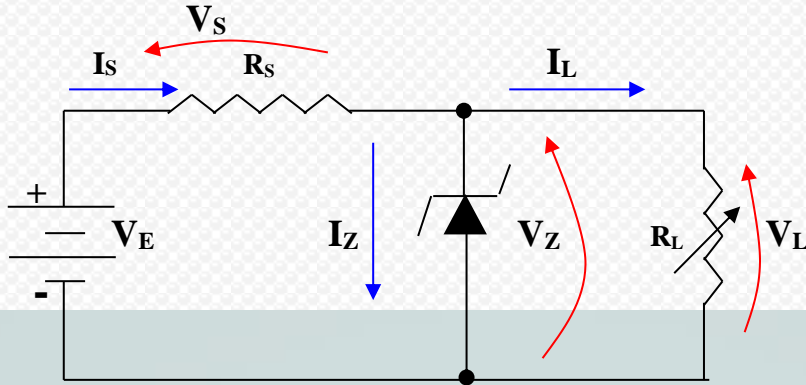
5.2 PORCENTAGEM DE REGULAÇÃO E IMPEDÂNCIA DO ZENER

$$\% \text{Reg. Zener} = \frac{\Delta V_Z}{V_Z} \times 100$$

$$\text{Impedância do Zener} = \frac{\Delta V_Z}{\Delta I_Z} \Omega$$

6. REGULADOR DE TENSÃO SIMPLES

a) Circuito para análise.



b) RELAÇÕES DE TENSÃO E CORRENTE DO CIRCUITO

$V_Z = \text{constante se } I_{Z\text{MIN}} \leq I_Z \leq I_{Z\text{MAX}}$

$V_Z = V_L$ (Mesmo ponto de medida)

$V_E = V_S + V_Z$ (1) e $I_S = I_Z + I_L$ (2) como $R_S = \text{constante}$.

Isso implica que $V_S = \text{constante}$, ou em (1) $V_E - V_Z = V_S = \text{constante}$ (3)

$I_L = \frac{V_L}{R_L}$ (4). Se $R_L = \text{Constante} \Rightarrow I_L = \text{Constante}$

7. ANÁLISE DA REGULAÇÃO DE TENSÃO DO CIRCUITO PARA AS SITUAÇÕES DE VARIAÇÕES NA ENTRADA E NA SAÍDA.

1. Condição: Variação da tensão de entrada V_E e manutenção da corrente I_L .

a) Tensão mínima aplicada na entrada mantendo-se a regulação da tensão na saída V_L .

$$V_{E\text{MIN}} = R_S (I_{Z\text{MIN}} + I_L) + V_Z$$

b. Tensão máxima aplicada na entrada mantendo-se a regulação da saída V_L .

$$V_{E\text{MAX}} = R_S (I_{Z\text{MAX}} + I_L) + V_Z$$

2. Condição: Manutenção da tensão de entrada V_E e variação da corrente I_L .

De (3), temos $V_S = \text{constante}$, assim $I_S = \text{constante}$.

Se I_L variar, pela variação de R_L , isso implica na variação de I_Z , como mostrada em (2).

- a) UM AUMENTO DE $I_L \Rightarrow$ NA DIMINUIÇÃO DE I_Z , pois $I_S = \text{cte}$.
 b) UMA DIMINUIÇÃO DE $I_L \Rightarrow$ NO AUMENTO DE I_Z .

Obs. : Uma variação significativa de I_L , pode resultar numa diminuição de I_Z abaixo de $I_{Z \text{ MIN}}$ ou num aumento de I_Z acima de $I_{Z \text{ MAX}}$.

De (2), temos: $I_{L \text{ MAX}} = I_S - I_{Z \text{ MIN}}$

$$R_{L \text{ MIN}} = \frac{(V_E - V_S) = V_Z = V_L}{(I_S - I_{Z \text{ MIN}})}$$

De (2), temos: $I_{L \text{ MIN}} = I_S - I_{Z \text{ MAX}}$

$$R_{L \text{ MAX}} = \frac{(V_E - V_S) = V_Z = V_L}{(I_S - I_{Z \text{ MAX}})}$$

Cálculo de R_S para operar na pior condição. (Preservando o zener). A tensão de entrada é máxima e a corrente de carga é nula.

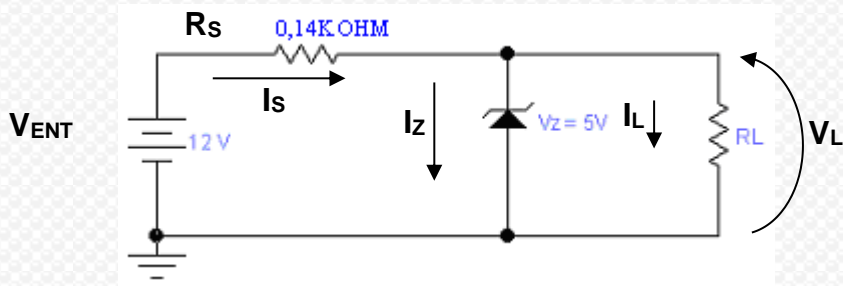
$$I_{Z \text{ MAX}} = \frac{(V_{E \text{ MAX}} - V_Z)}{R_S} \quad \text{ou} \quad R_S = \frac{(V_{E \text{ MAX}} - V_Z)}{I_{Z \text{ MAX}}} \quad \text{com } I_L = 0$$

Obs.: $I_{Z \text{ MAX}}$ deve ser uma corrente maior ou igual a corrente máxima de carga.

CONCLUSÃO: Este circuito não permite grandes variações na tensão de entrada e na corrente de saída. Estas variações podem implicar na perda de regulação da tensão de saída (caso a corrente caia abaixo de $I_{Z \text{ MIN}}$) ou ultrapassar a dissipação máxima do dispositivo zener, conseqüentemente na sua destruição. A limitação desse circuito é proveniente das correntes de polarização e de carga, as quais são produzidas no mesmo ponto de fornecimento e assim uma flutuação na corrente de carga provoca uma flutuação na corrente de polarização fazendo com que o ponto de trabalho seja altamente dependente da corrente de carga. A inclusão de um Amplificador diminui estes efeitos no zener pelo fator de amplificação do transistor e, portanto o ponto de polarização do zener é praticamente fixo e independente da flutuação da corrente de carga. Alguns circuitos se utilizam da configuração Darlington no transistor de saída, cujo fator ganho é muito alto e assim a influência sobre o ponto de polarização do zener fique reduzida à zero.

REGULADOR DE TENSÃO A ZENER.

Exemplo: Calcular o valor de R_{LMAX} e R_{LMIN} , sabendo-se que a $P_Z = 100mW$?



SOLUÇÃO:

1) Cálculo de I_{ZMAX} e I_{ZMIN} . Utilizando de uma fórmula prática experimental para o zener. Pode-se retirar da especificação do fabricante do diodo zener os dados referentes às correntes máximas e mínimas I_{ZMIN} e I_{ZMAX} . Para o problema usaremos a fórmula prática, então:

$$P_Z = I_{ZMAX} \cdot V_Z \Rightarrow I_{ZMAX} = \frac{P_Z}{V_Z} = \frac{100mW}{5V} = 20mA.$$

Sabendo-se que $I_{ZMIN} = 10\%$ de I_{ZMAX} , teremos:

$$I_{ZMIN} = 10\% \text{ de } 20mA = 2mA.$$

2) Cálculo de I_s

$$I_s = \frac{V_{ENT} - V_Z}{R_s} = \frac{12V - 5V}{0,14K\Omega} = \frac{7V}{0,14K} = 50mA.$$

3) Cálculo de R_{LMIN}

Quando R_L é mínimo, a corrente no resistor R_L é máxima, pois no zener a corrente será mínima possível I_{ZMIN} .

$$R_{LMIN} = \frac{V_L}{I_{LMAX}}, \text{ onde } I_{LMAX} = I_s - I_{ZMIN} = 50mA - 2mA = 48mA \text{ e } V_L = V_Z$$

Assim:

$$R_{LMIN} = \frac{5V}{48mA} = 104,1\Omega$$



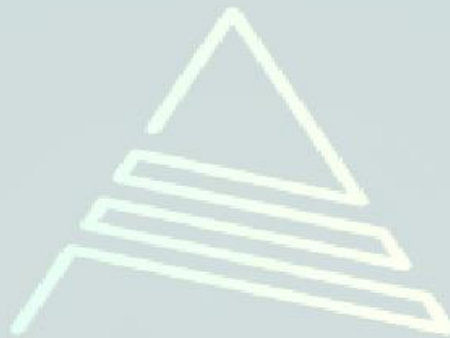
Circuitos Eletrônicos

4) Cálculo de $R_{L\text{ MAX}}$

Quando R_L é máximo, a corrente no resistor R_L é mínima, pois no zener a corrente será máxima possível $I_{Z\text{ MAX}}$.

$$R_{L\text{ MAX}} = \frac{V_L}{I_{L\text{ MIN}}}, \text{ onde } I_{L\text{ MIN}} = I_S - I_{Z\text{ MAX}} = 50\text{mA} - 20\text{mA} = 30\text{mA} \text{ e } V_L = V_Z$$

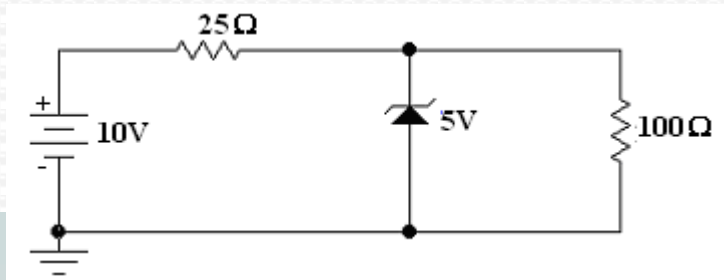
$$R_{L\text{ MAX}} = \frac{5\text{V}}{30\text{mA}} = 166,7\Omega$$



APRENDER ELETRÔNICA
"MISSÃO POSSÍVEL"

EXERCÍCIOS PROPOSTOS:

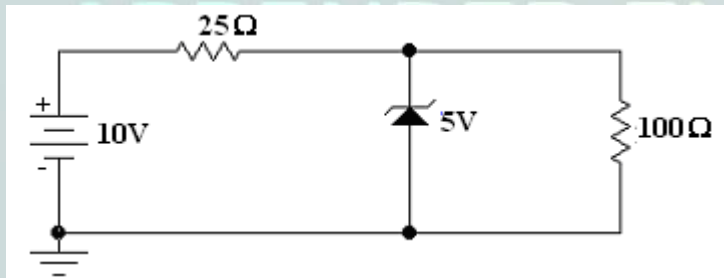
1.o Exercício: Para o circuito a seguir, calcule a corrente que passa pelo resistor de 25Ω e a tensão sobre ele.



- a) $I = 250\text{mA}$ e $V = 10\text{V}$
- b) $I = 200\text{mA}$ e $V = 10\text{V}$
- c) $I = 100\text{mA}$ e $V = 5\text{V}$
- d) $I = 100\text{mA}$ e $V = 10\text{V}$
- e) $I = 200\text{mA}$ e $V = 5\text{V}$

Resposta: e

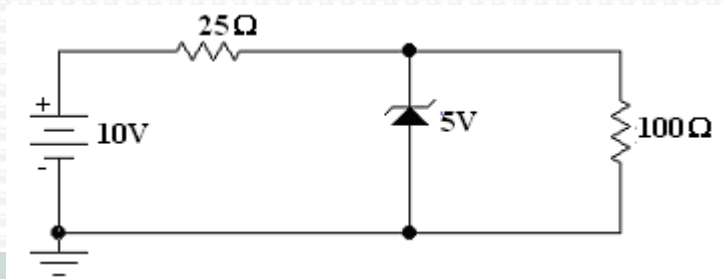
2.o Exercício: Sendo $P_z = 1\text{W}$ qual a corrente máxima que poderá circular no zener e no resistor de 100Ω ?



- a) $I = 50\text{mA}$ e $I_{Z\text{MAX}} = 200\text{mA}$
- b) $I = 100\text{mA}$ e $I_{Z\text{MAX}} = 100\text{mA}$
- c) $I = 200\text{mA}$ e $I_{Z\text{MAX}} = 200\text{mA}$
- d) $I = 50\text{mA}$ e $I_{Z\text{MAX}} = 500\text{mA}$
- e) $I = 50\text{mA}$ e $I_{Z\text{MAX}} = 100\text{mA}$

Resposta: a

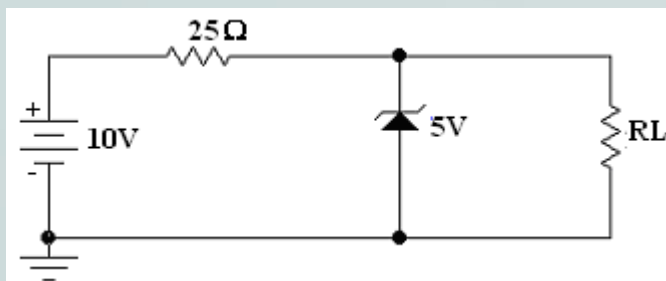
3. Exercício: Para o circuito a seguir calcular a corrente que passa pelo zener e a potência consumida na entrada serão:



- a) $I_Z = 100\text{mA}$ e $P = 5\text{W}$
- b) $I_Z = 200\text{mA}$ e $P = 2\text{W}$
- c) $I_Z = 50\text{mA}$ e $P = 1\text{W}$
- d) $I_Z = 150\text{mA}$ e $P = 2\text{W}$
- e) $I_Z = 100\text{mA}$ e $P = 1\text{W}$

Resposta: d

4.o Exercício: Sendo $P_Z = 1250\text{mW}$ e circulando pelo zener a sua corrente mínima qual será o valor mínimo do resistor de carga R_L para que o circuito continue produzindo 5V na saída?

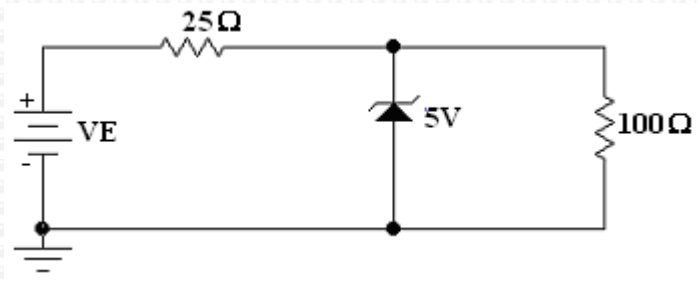


LETRÔNICA
O S S Í V E L

- a) $R_{L\text{MIN}} = 25,5\Omega$
- b) $R_{L\text{MIN}} = 28,5\Omega$
- c) $R_{L\text{MIN}} = 30,5\Omega$
- d) $R_{L\text{MIN}} = 50,5\Omega$
- e) $R_{L\text{MIN}} = 15,5\Omega$

Resposta: b

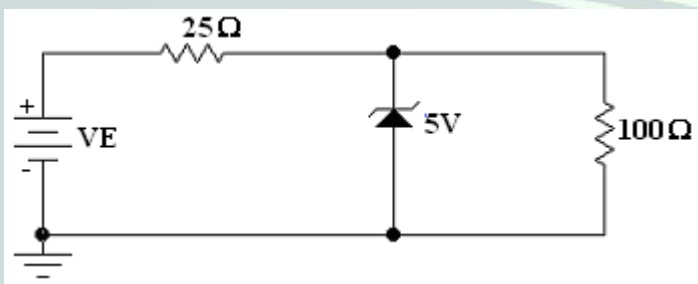
5.o Exercício: Calcular a tensão V_E mínima para que o circuito opere normalmente, sabendo-se que $P_Z = 1250\text{mW}$.



- a) $V_{E_{MIN}} = 10,0V$
- b) $V_{E_{MIN}} = 5,625V$
- c) $V_{E_{MIN}} = 6,875V$
- d) $V_{E_{MIN}} = 6,5V$
- e) $V_{E_{MIN}} = 5,5V$

Resposta: c

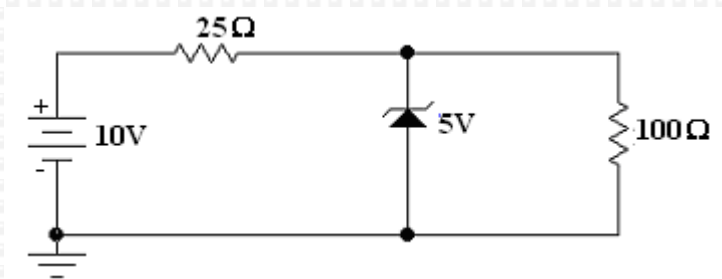
5.0 Exercício: Calcular a tensão V_E máxima para que o circuito opere dentro das especificações do zener, sabendo-se que $P_z = 1250mW$.



- a) $V_{E_{MAX}} = 12,5V$
- b) $V_{E_{MAX}} = 15,5V$
- c) $V_{E_{MAX}} = 10,5V$
- d) $V_{E_{MAX}} = 7,5V$
- e) $V_{E_{MAX}} = 12,0V$

Resposta: a

6.0 Exercício: Para o circuito a seguir retirando-se o resistor de 100Ω do circuito, qual a corrente que circula no zener e qual a potência consumida no zener?

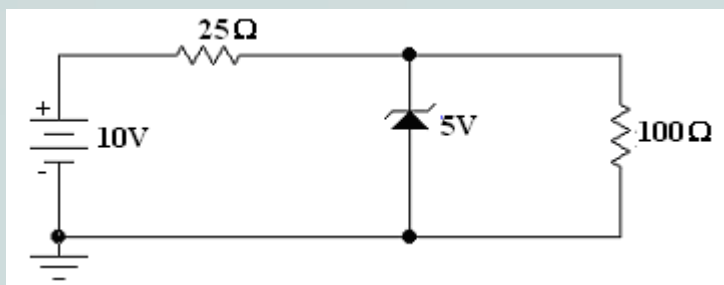


- a) $I_z = 200mA$ e $P_z = 1,00W$

- b) $I_Z = 150\text{mA}$ e $P_Z = 1,00\text{W}$
- c) $I_Z = 200\text{mA}$ e $P_Z = 0,75\text{W}$
- d) $I_Z = 150\text{mA}$ e $P_Z = 0,75\text{W}$
- e) $I_Z = 200\text{mA}$ e $P_Z = 0,50\text{W}$

Resposta: a

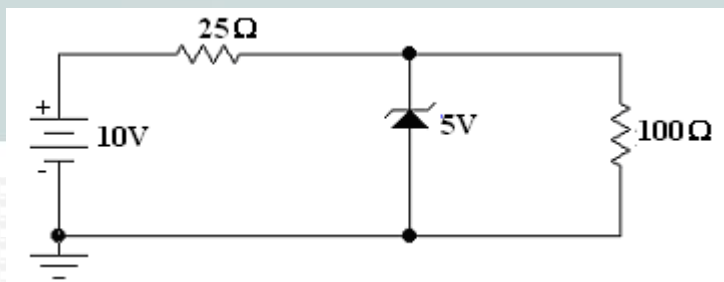
7.o Exercício: Sabendo-se que $P_{Z\text{MAX}} = 1250\text{mW}$, recalcule o valor do resistor máximo a ser inserido no lugar do resistor de 25Ω , para que o circuito opere dentro das especificações de zener.



- a) $R_{\text{MAX}} = 100,1\Omega$
- b) $R_{\text{MAX}} = 80,1\Omega$
- c) $R_{\text{MAX}} = 79,9\Omega$
- d) $R_{\text{MAX}} = 66,6\Omega$
- e) $R_{\text{MAX}} = 70,1\Omega$

Resposta: d

8.o Exercício: Para $P_{Z\text{MAX}} = 1250\text{mW}$, recalcule o valor do resistor mínimo a ser inserido no lugar do resistor de 25Ω , para que o circuito opere dentro das especificações de zener.



- a) $R_{\text{MAX}} = 33,36\Omega$
- b) $R_{\text{MAX}} = 22,16\Omega$
- c) $R_{\text{MAX}} = 15,66\Omega$
- d) $R_{\text{MAX}} = 26,66\Omega$
- e) $R_{\text{MAX}} = 16,66\Omega$

Resposta: e



Circuitos Eletrônicos

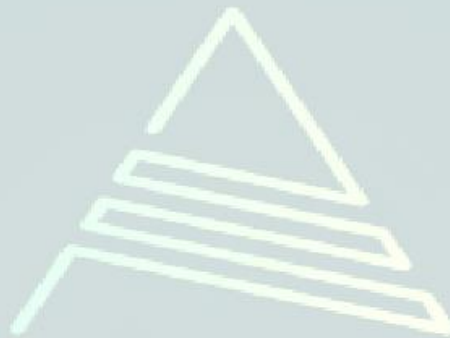
BIBLIOGRAFIA

Referência: Livro Texto: Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos.

Autores Robert Boylestad e Louis Nashelsky, editora Pearson, Prentice Hall, 11.a edição, ano 2013.

Outras referências

7. Microeletrônica – Sedra, A.S e Smith, K,C – 5.a edição Pearson.
8. Eletrônica Vol.1 – Malvino, A.P – 14.a edição, Editora Makron.
9. Circuitos Elétricos - Nilsson, J. W./ Riedel, S. A./Marques, A. S., ano de 2008 Prentice Hall Brasil.
10. Circuitos com transistores Bipolares e MOS - Silva, M. M./Calouste, G., ano de 2010.
11. Dispositivos e Circuitos Eletrônicos, V.1 – Bogart, J. - ano de 2000 - Editora MAKRON.



APRENDER ELETRÔNICA
"MISSÃO POSSÍVEL"