

# EE531 – Laboratório de Eletrônica

## Laboratório II

### Diodos

## 1 Objetivo

Levantar a curva característica de um diodo e saber identificar através delas todos os pontos ou regiões significativos. Familiarizar com os principais parâmetros dos diodos que são fornecidos pelos fabricantes. Conhecer algumas aplicações de diodos.

## 2 Introdução

O diodo é o mais simples dispositivo semicondutor; é constituído de uma junção PN semicondutora. Os tipos mais usados são de silício (*Si*) e de germânio (*Ge*). O seu comportamento elétrico depende da distribuição de impurezas e da geometria da junção. São classificados como diodos de sinal (p. ex.: 1N4148), retificadores (p. ex., 1N4007), Zener (como 1N4738), emissores de luz (LED), foto-diodos, etc.

## 3 Estudo Dirigido

1. Esboce a curva característica de um diodo retificador, indicando a região de condução (direta) e a região de polarização reversa.
2. O que você entende por resistência estática de um diodo? Como se determina através da curva característica de um diodo a sua resistência estática?
3. De acordo com a **expressão Boltzmann-Shockley**, a corrente  $I_d$  de um diodo está relacionada com a tensão  $V_d$  pela equação

$$I_d = I_s \left( e^{\frac{V_d}{nV_T}} - 1 \right),$$

ou seja, a resistência  $r_d$  varia com o ponto de operação  $\mathcal{P}$  (ou ponto quiescente) do diodo

$$r_d = \frac{1}{g} = \frac{dI_d}{dV_d} = I_s \frac{\left( e^{\frac{V_d}{\eta V_T}} \right)}{\eta V_T} = \frac{I_d + I_s}{\eta V_T}$$

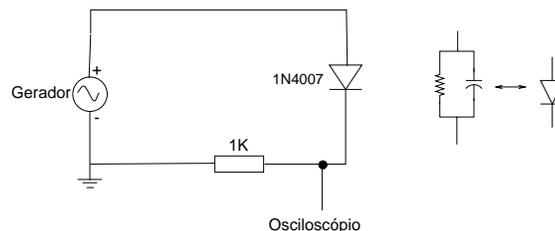
onde

- $I_s$  é a corrente de saturação reversa
- $V_T = \frac{KT}{q}$  é a tensão equivalente da temperatura  $T$  em Kelvin, onde  $K$  é a constante de Boltzmann ( $1.38 \times 10^{-23}$  Joules Kelvin $^{-1}$ ) e  $q$ , a carga de elétron ( $1.602 \times 10^{-19}$  Coulombs). À temperatura ambiente ( $T \approx 300\text{K}$ ),  $V_T \approx 26\text{mV}$
- $\eta$  é o coeficiente de emissão (para o germânio,  $\eta \approx 1$  e para o silício,  $\eta \approx 2$ )
- $g$  é a transcondutância do diodo

Como se pode determinar experimentalmente os valores de  $\eta$  e  $I_s$ , lembrando que pode-se expressar a expressão Boltzmann-Shockley como

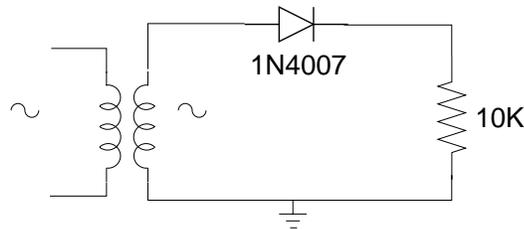
$$\ln I_d = \ln I_s + \frac{V_d}{\eta V_T}.$$

4. Para um dado sinal de entrada alternado  $ca$ , como se pode obter através da curva característica de um diodo retificador a forma de onda da corrente  $I_d$  que passa por ele?
5. Como se determina graficamente através da curva característica do diodo a sua resistência dinâmica num ponto de operação  $\mathcal{P}$ ?
6. As cargas acumuladas num diodo real são classificadas, geralmente, em dois tipos: depleção (diodo em polarização reversa) e difusão (diodo em polarização direta). Portanto, ele pode ser modelado como um circuito rC paralelo, onde  $r_d$  é a sua resistência dinâmica e  $C$  a capacitância total que inclui as componentes intrínseca e extrínseca. Teoricamente é possível verificar a velocidade de resposta de um diodo através da forma de onda de corrente, que passa pelo diodo, por um osciloscópio no seguinte circuito:

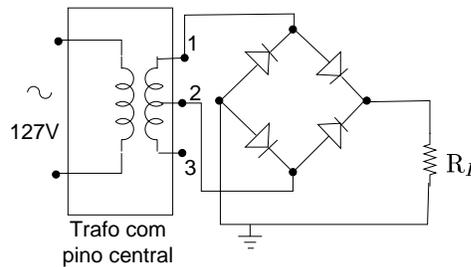


Justifique. (Lembre-se de que a constante de tempo  $\tau = r_d C$  é o tempo necessário para que a tensão máxima  $V_M$  decaia a  $0.37V_M$ .)

7. Se o valor de capacitância da entrada da ponta de prova do osciloscópio for muito maior do que o valor da capacitância do diodo, é possível distinguir experimentalmente as velocidades de resposta dos diodos com o circuito de teste do item anterior? Justifique.
8. Qual é a potência de dissipação máxima do diodo 1N4007? Para uma tensão de alimentação de 9V, qual é o menor valor da resistência para limitar a corrente a um nível operacional seguro? (Considere um fator de segurança igual a 2.)
9. Seja o sinal de entrada uma onda senoidal  $V_{pp}=9V$ , 60Hz. Qual é a forma de onda de saída na carga  $R_L$ ? Explique o funcionamento do seguinte circuito.



10. Seja o sinal de entrada uma onda senoidal  $V_{pp}=9V$ , 60Hz. Qual é a forma de onda de saída na carga  $R_L$ ? Explique o funcionamento do seguinte circuito.



11. Esboce a curva característica de um diodo Zener, indicando a região de condução (direta), a região de polarização reversa, a região de ruptura e os joelhos da curva.
12. Como se pode determinar a tensão Zener através da sua curva característica?
13. Qual é a potência de dissipação máxima do diodo 1N4738? Qual é a sua tensão Zener? Para uma tensão de alimentação máxima de 12V, qual é o menor valor da resistência para limitar a corrente a um nível operacional seguro? (Considere um fator de segurança igual a 2).
14. Quais são as diferenças entre os diodos retificadores e os diodos Zener?

15. Se conectarmos um capacitor de  $100\mu\text{F}$  em paralelo com a carga  $R_L=10\text{K}\Omega$  do circuito do item 10. Qual é a forma de onda na carga  $R_L$ ? Explique.
16. Para manter a tensão limitada no valor  $8.2\text{V}$ , pode-se ligar um diodo Zener  $1\text{N}4738$  em paralelo com a carga  $R_L$ . Determine o valor da resistência limitadora de corrente que deve ser conectada em série com o diodo do circuito do item 15 para evitar superaquecimento. Desenhe o diagrama elétrico do circuito, considerando que  $R_L$  seja um potenciômetro de  $22\text{K}\Omega$ .

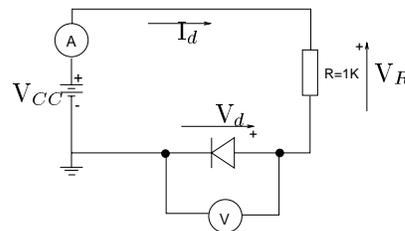
## 4 Componentes

- 1 transformador  $110\text{V}/9\text{V}+9\text{V}$
- 4 diodos  $1\text{N}4007$  (diodo retificador de baixa potência)
- 1 diodo  $1\text{N}4738$  (diodo Zener)
- 1 capacitor eletrolítico  $100\mu\text{F}$
- 1 *trimpot*  $22\text{K}\Omega$
- 2 resistores  $1\text{K}\Omega$

Trazer folhas de papel milimetrado para traçar as curvas características.

## 5 Parte Experimental

**Curvas Características dos Diodos:** Utilize a seguinte montagem para obter algumas características do diodo  $1\text{N}4007$ .



**Observação:** Note que a corrente  $I_d$  passa pelo diodo e pelo resistor limitador  $R$ . Pode-se utilizar um voltímetro para medir a corrente  $I_d$ , sabendo que a tensão do resistor  $V_R$ , medida por meio de um multímetro, é a própria corrente que circula no diodo:

$$I_d = \frac{V_R}{R}.$$

1. Complete a seguinte tabela:

$I_d$ (mA)	$V_d$ (V)	$R_d$ ( $\Omega$ )	$r_d$ ( $\Omega$ )	$\ln(I_d)$
0.1				
0.2				
0.5				
1.0				
2.0				
5.0				
10.0				

2. Trace a **curva característica**  $I_d \times V_d$  do diodo numa folha de papel milimetrado. Faça uma aproximação da curva por dois segmentos de reta. Qual é o valor aproximado da **tensão de joelho** do diodo?
3. Trace a curva  $(\ln I_d) \times V_d$  do diodo numa folha de papel milimetrado. Considerando que  $V_T = 26\text{mV}$ , determine  $\eta$  do diodo com uso da curva traçada. Estime também o valor de  $I_s$  por extrapolação. Comente os valores obtidos.
4. Substitua o diodo retificador 1N4007 pelo diodo Zener 1N4738 para obter algumas características do diodo Zener 1N4738, com a diferença de que o Zener deve ser colocado em posição invertida daquela usada para as outras classes de diodos. Por quê?

5. Complete a seguinte tabela

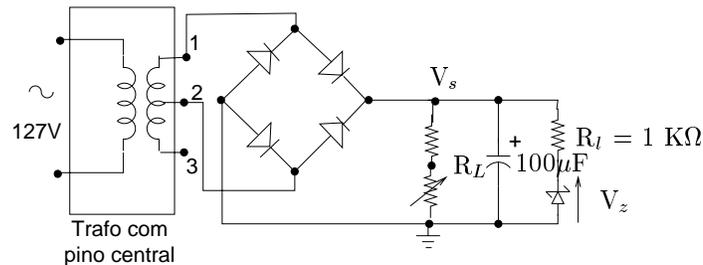
$I_d$ (mA)	V (V)
-0.1	
-0.2	
-0.5	
-1.0	
-2.0	
-5.0	
-10.0	

6. Trace a **curva característica**  $I_d \times V$  numa folha de papel milimetrado.
7. Qual é o valor da sua **tensão Zener** para  $I_d = 10\text{mA}$ ?

**Efeito Capacitivo dos Diodos:** Para observar este efeito na comutação do diodo como chave (não ideal), aplique uma onda senoidal ou quadrada  $8V_{pp}$  no circuito de retificador de meia onda, conforme o esquema do item 6, com 60KHz.

Registre a forma de onda sobre o resistor. Comente os resultados obtidos experimentalmente com os esperados.

**Circuito Retificador:** Seja o seguinte circuito retificador de onda completa com tensão regulada.



1. Monte o circuito com a carga  $R_L$  ( $1\text{ K}\Omega$  em série com um *trimpot* de  $22\text{K}\Omega$ ), sem o capacitor  $C$  e também sem o ramo contendo o diodo Zener 1N4738. Imprima a forma de onda da tensão  $V_s$  do circuito, com o *trimpot* na posição de curto. Compare a amplitude do valor da tensão obtida com o valor esperado. Comente ainda qual seria a amplitude do valor da tensão  $V_s$ , se utilizarmos o pino (3) ao invés do pino (2) do trafo?
2. Ligue o capacitor eletrolítico de  $100\mu\text{F}$  em paralelo com a carga  $R_L$  no circuito anterior. Imprima a forma de onda da tensão  $V_s$ , com o *trimpot* na posição de curto. Compare-a com o sinal obtido anteriormente. Qual é a função do capacitor? Comente os resultados esperados se variarmos o valor da resistência de carga e da capacitância.  
**Atenção:** Cuidado com a polaridade do capacitor eletrolítico.
3. Ligue agora o diodo Zener 1N4738 em série com  $R_L$ . Verifique se  $R_L = 1\text{ K}\Omega$  é suficiente para limitar a corrente no diodo para evitar superaquecimento e ligue-o em série com o diodo. Observe com o osciloscópio a forma de onda de  $V_z$  e compare-a com as observadas nos itens anteriores. Comente os resultados obtidos.