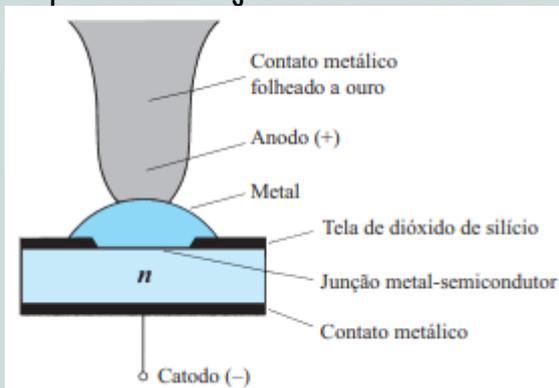


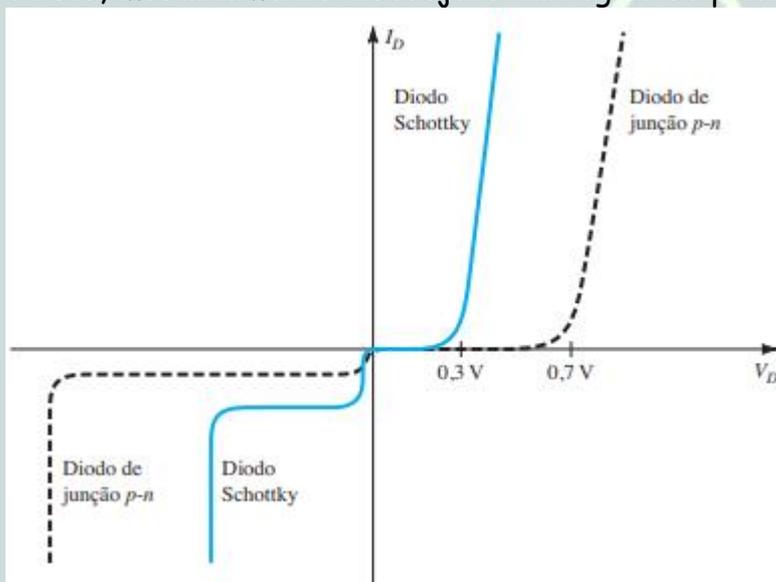
AULA: 03 - Diodo de barreira Schottky

Nos últimos anos, houve um crescente interesse por um dispositivo de dois terminais chamado de diodo de barreira Schottky, de barreira de superfície ou de portadores quentes. Suas áreas de aplicação se limitavam inicialmente à faixa de altas frequências devido ao seu rápido tempo de resposta (que é bastante importante nas altas frequências) e à figura de ruído reduzida (um parâmetro de real importância para aplicações de alta frequência). Mais recentemente, no entanto, esse dispositivo tem sido cada vez mais empregado em fontes de alimentação de baixa tensão/alta corrente e em conversores CA-CC. Outras áreas de aplicação do dispositivo incluem sistemas de radar, lógica TTL Schottky para computadores, misturadores e detectores em equipamentos de comunicações, instrumentação e conversores analógico-digitais. Sua construção é bastante diferente da junção p-n convencional, pois, nesta, uma junção metal-semicondutor é criada como mostra a Figura a seguir. O semicondutor normalmente é silício do tipo n (embora, às vezes, o silício do tipo p seja utilizado), enquanto um suporte de diferentes tipos de metal, como molibdênio, platina, cromo ou tungstênio, é utilizado. Técnicas de fabricação diferentes resultam em um conjunto diferente de características para o dispositivo, como faixas ampliadas de frequência, níveis baixos de polarização direta etc. Geralmente, porém, a construção do diodo Schottky resulta em uma região de junção mais uniforme e com um elevado nível de robustez. Em ambos os materiais, o elétron é o portador majoritário.



No metal, o nível de portadores minoritários (lacunas) é insignificante. Quando os materiais são unidos, os elétrons no material semicondutor de silício do tipo n fluem de imediato para o metal agregado, estabelecendo um fluxo intenso de portadores majoritários. Uma vez que os portadores injetados têm um nível muito alto de energia cinética em comparação aos elétrons do metal, eles são normalmente chamados de "portadores quentes". Na junção p-n convencional, existia a injeção de portadores minoritários na região de junção, mas, aqui, os elétrons são injetados em uma região com a mesma pluralidade de elétrons. Os diodos Schottky são, portanto, os únicos nos quais a condução é totalmente realizada pelos portadores majoritários. O fluxo intenso de elétrons para o metal cria uma região próxima à superfície de junção deplecionada de

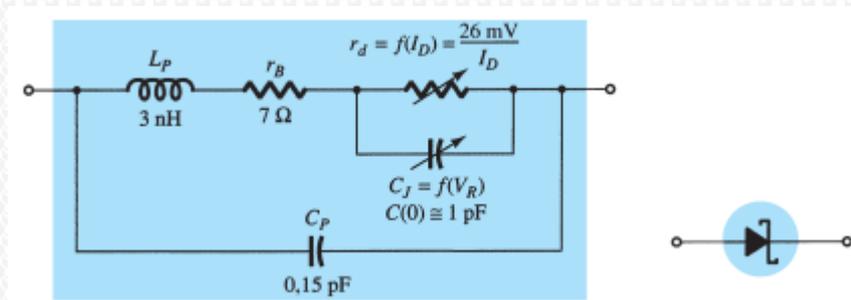
portadores no material de silício — muito semelhante à região de depleção no diodo de junção p-n. Os portadores adicionais no metal estabelecem neste uma “parede negativa” na fronteira entre os dois materiais. O resultado disso é uma “barreira de superfície” entre os dois materiais que impede qualquer fluxo de corrente. Isto é, qualquer elétron (carga negativa) no material de silício enfrenta uma região de portadores livres e uma “parede negativa” na superfície do metal. A aplicação de uma polarização direta, como a mostrada no primeiro quadrante da Figura, reduzirá a força da barreira negativa através da atração dos elétrons dessa região pelo potencial positivo aplicado. O resultado é o retorno do fluxo intenso de elétrons através da junção, e seu valor é controlado pelo valor do potencial aplicado. A barreira na junção de um diodo Schottky é menor que a dos dispositivos de junção p-n tanto na região de polarização direta quanto na região de polarização reversa. Portanto, o resultado são correntes mais altas para a mesma polarização aplicada em ambas as regiões. Esse efeito é desejável na região de polarização direta, mas altamente indesejável na região de polarização reversa.



Tempo de recuperação do diodo Schottky

Lembre-se da nossa discussão sobre tempo de recuperação reversa no Capítulo 1, em que a injeção de portadores minoritários contribui para o alto valor de t_{rr} . A ausência de portadores minoritários em qualquer nível apreciável no diodo Schottky faz com que o tempo de recuperação reversa desse dispositivo seja bastante pequeno, como explicado anteriormente. Esse é o principal motivo pelo qual os diodos Schottky são tão eficientes em frequências próximas a 20 GHz, nas quais o dispositivo deve inverter seus estados a uma taxa muito elevada. Para frequências mais altas, o diodo de contato de ponto, com sua área de junção muito pequena, ainda é empregado.

Modelo do diodo Shottky



Diodos emissores de luz LED

O uso crescente de displays digitais em calculadoras, relógios e todas as formas de instrumentação tem contribuído para um interesse cada vez maior em dispositivos que emitem luz quando devidamente polarizados. Atualmente, os dois tipos de uso comum que realizam essa função são o diodo emissor de luz (LED — light-emitting diode) e o display de cristal líquido (LCD — liquid-crystal display). Como o LED faz parte da família dos dispositivos de junção p-n e aparece em alguns dos circuitos nos próximos capítulos, ele será apresentado neste capítulo. O display LCD será descrito no Capítulo 16. Como o nome indica, o diodo emissor de luz (LED) é aquele que emite luz visível ou invisível (infravermelha) quando energizado. Em qualquer junção p-n polarizada diretamente, existe, dentro da estrutura e principalmente próximo da junção, uma recombinação de lacunas e elétrons. Essa recombinação exige que a energia do elétron livre não ligado seja transferida para outro estado. Em todas as junções p-n semicondutoras, uma parte dessa energia será liberada na forma de calor e outra parte, na forma de fótons.

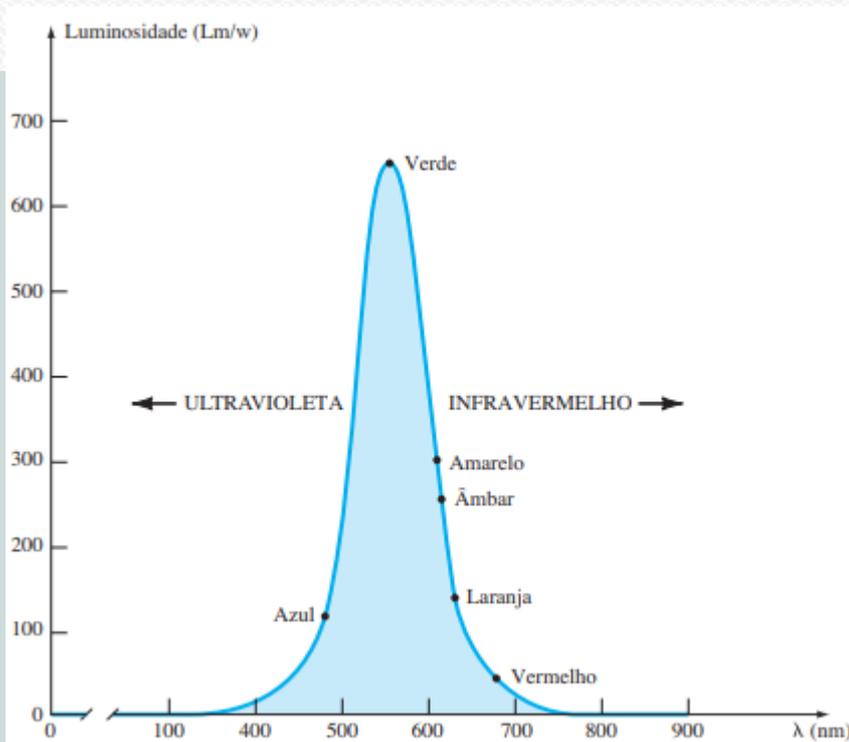
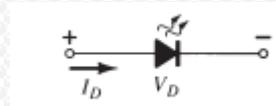
Em diodos de Si e Ge, a maior porcentagem de energia convertida durante a recombinação na junção é dissipada na forma de calor no interior da estrutura, e a luz emitida é insignificante. Por essa razão, o silício e o germânio não são utilizados na construção de dispositivos de LED.

Por outro lado: Diodos de GaAs emitem luz (invisível) na zona de infravermelho durante o processo de recombinação na junção p-n.

A Tabela a seguir fornece uma lista de semicondutores compostos comuns e a luz que eles emitem. Além disso, é listada a faixa típica de potenciais de polarização direta em cada caso.

Cor	Construção	Tensão direta comum (V)
Âmbar	AllnGaP	2,1
Azul	GaN	5,0
Verde	GaP	2,2
Laranja	GaAsP	2,0
Vermelho	GaAsP	1,8
Branco	GaN	4,1
Amarelo	AllnGaP	2,1

Símbolo do LED

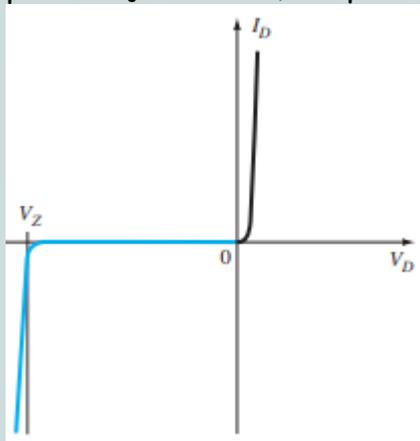


Curva de resposta-padrão do olho humano, mostrando que a resposta do olho à energia luminosa atinge um pico em verde e cai para o azul e o vermelho.

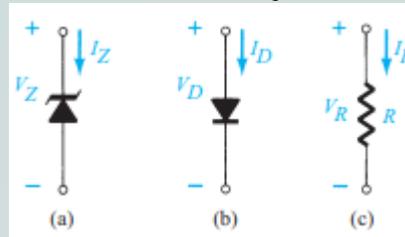
Diodo Zener

A região Zener da curva característica cai de forma quase vertical em um potencial de polarização reversa denotado por V_Z . O fato de a curva cair abaixo do eixo horizontal e se distanciar dele, em vez de subir para a região V_D positiva, revela que a corrente na região Zener tem um sentido oposto ao de um diodo com polaridade direta. A ligeira inclinação da curva na região Zener revela que existe um nível de resistência a ser associado ao diodo Zener no modo de condução. Essa região de características singulares é empregada no projeto dos diodos Zener, cujo símbolo gráfico é mostrado na Figura. Os diodos semicondutores e os Zener são apresentados lado a lado na Figura para garantir a compreensão do sentido de condução de cada um e também a polaridade exigida da tensão aplicada. Para o diodo semicondutor, o estado "ligado" (on) tanto, existe uma ligeira

inclinação na curva característica que exige o modelo equivalente por partes que aparece na Figura para essa região. Para a maioria das aplicações mencionadas neste livro, pode-se desprezar o elemento resistivo em série e empregar o modelo equivalente reduzido de uma bateria CC de V_Z volts. Uma vez que algumas aplicações de diodos Zener oscilam entre a região Zener e a região de polarização direta, é importante compreender a operação do diodo Zener em todas as regiões. Como mostrado na Figura, o modelo equivalente para um diodo Zener na região de polarização reversa abaixo de V_Z é um resistor muito grande (tal como para o diodo padrão). Para a maioria das aplicações, essa resistência é tão grande que podemos ignorá-la e empregar o equivalente de circuito aberto. Para a região de polarização direta, o equivalente por partes é aquele descrito nas seções anteriores.



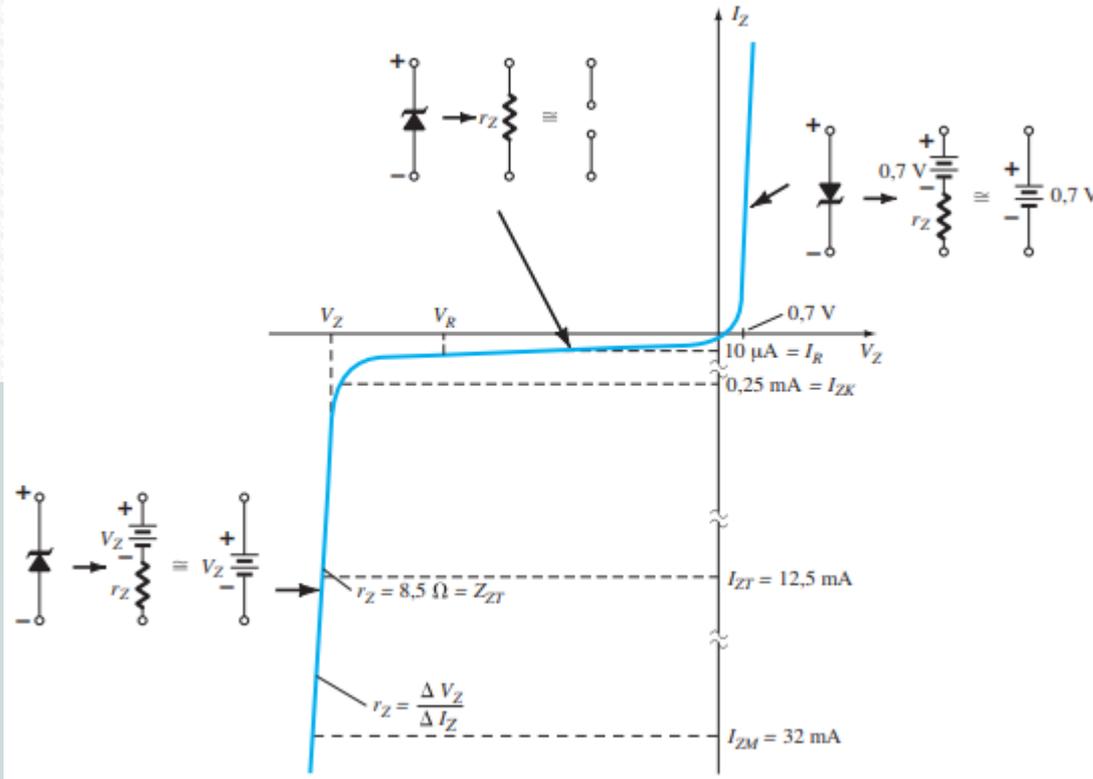
Sentido de condução do diodo zener.



Potência no zener

$$P_Z = V_Z I_Z$$

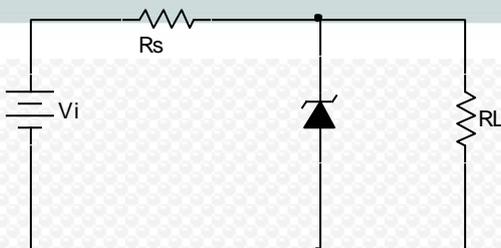
Características de diodo Zener com o modelo equivalente para cada região



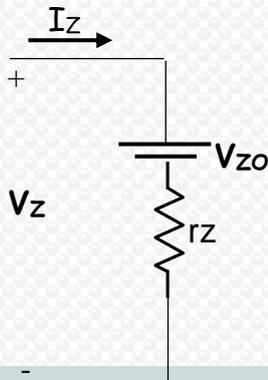
Aplicação do diodo zener

A aplicação mais usual do diodo zener é nas fontes de alimentações reguladas. Devidamente polarizado o diodo zener pode ser utilizado como referência de tensão nos circuitos de controle. Comercialmente o diodo zener pode ser encontrado com muitos "part number" de várias tensões e potências. Para aplicações onde a tensão regulada deve ser precisa é utilizado o diodo zener programável com baixíssimo desvio na curva característica I-V.

Exemplo: O circuito a seguir é um regulador de tensão.



Modelo do diodo zener



A tensão $V_Z = V_{Z0} + r_z I_Z$.

Exercício:

- Para o circuito com diodo Zener da Figura 2.115, determine V_L , V_R , I_Z e P_Z .
- Repita o item (a) com $R_L = 3 \text{ k}\Omega$.

Solução:

- Seguindo o procedimento sugerido, o circuito é redesenhado como mostra a Figura.

$$V = \frac{R_L V_L}{R + R_L} = \frac{1,2\text{K}(16\text{V})}{1\text{K} + 1,2\text{K}} = 8,73\text{V}$$

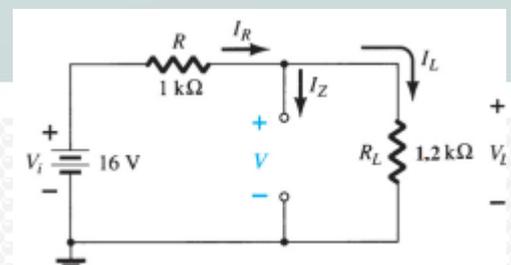
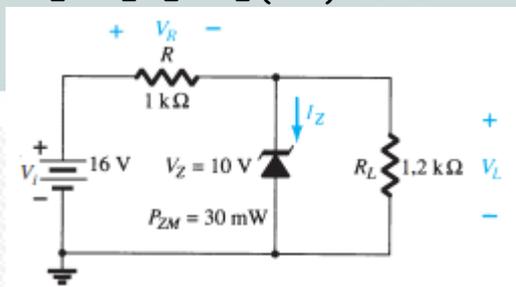
Visto que $V = 8,73 \text{ V}$ é menor do que $V_Z = 10 \text{ V}$, o diodo está no estado "desligado", como mostrado na curva característica da Figura 2.117. A substituição por um circuito aberto equivalente resultará no mesmo circuito da Figura 2.116, em que descobrimos que:

$$V_L = V = 8,73 \text{ V}$$

$$V_R = V_i - V_L = 16 \text{ V} - 8,73 \text{ V} = 7,27 \text{ V}$$

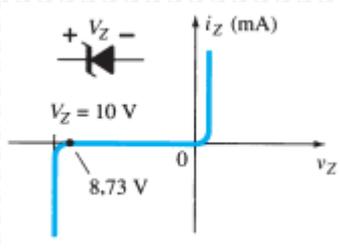
$$I_Z = 0 \text{ A}$$

$$e P_Z = V_Z I_Z = V_Z (0 \text{ A}) = 0 \text{ W}$$



- A aplicação da Equação 2.16 resulta em:

$$V = \frac{R_L V_L}{R + R_L} = \frac{3\text{K}(16\text{V})}{1\text{K} + 3\text{K}} = 12\text{V}$$



Visto que $V = 12\text{ V}$ é maior do que $V_Z = 10\text{ V}$, o diodo está no estado "ligado" e resultará no circuito.

$$V_L = V_Z = 10\text{V}$$

$$V_R = V_i - V_L = 16\text{V} - 10\text{V} = 6\text{V}$$

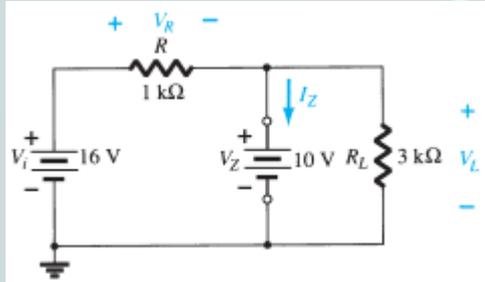
$$I_L = \frac{V_L}{R_L} = \frac{10\text{V}}{3\text{K}} = 3,33\text{mA}$$

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{6\text{V}}{1\text{K}} = 6\text{mA}$$

$$I_Z = I_R - I_L = 6\text{mA} - 3,33\text{mA} = 2,67\text{mA}$$

A potência dissipada é

$$P_V = V_Z I_Z = (10\text{ V})(2,67\text{ mA}) = 26,7\text{ mW} \text{ que é menor que a especificada } P_{ZM} = 30\text{ mW}$$



Circuito da Figura com o diodo Zener no estado "ligado".

Exercícios de diodos

1. Uma associação fonte, resistor em série $R_S = 0,5\text{K}$ e diodo zener de $6,8\text{V}$ em paralelo com resistor R_L . $V_i = 10\text{V}$, $r_Z = 20\Omega$ e $I_Z = 5\text{mA}$. Pede-se:

- A tensão de saída sem carga.
- A corrente de saída com carga $R_L = 2\text{K}$.

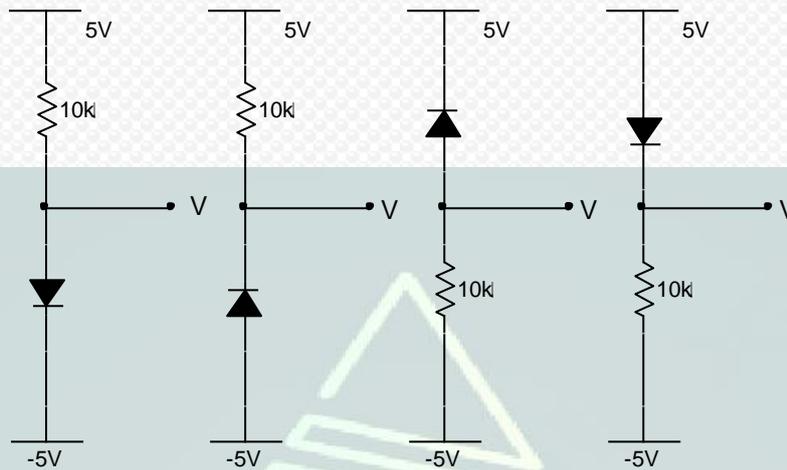
Resposta: a. 6,83V b. 3,4mA

2. Determinar o valor da resistência r_d do diodo com as seguintes correntes de polarizações $0,1\text{mA}$, $1,0\text{mA}$ e 10mA . Supor $n = 1$.

$$r_d = nV_T / I_d \Rightarrow r_d = 25\text{mV}/I_d$$

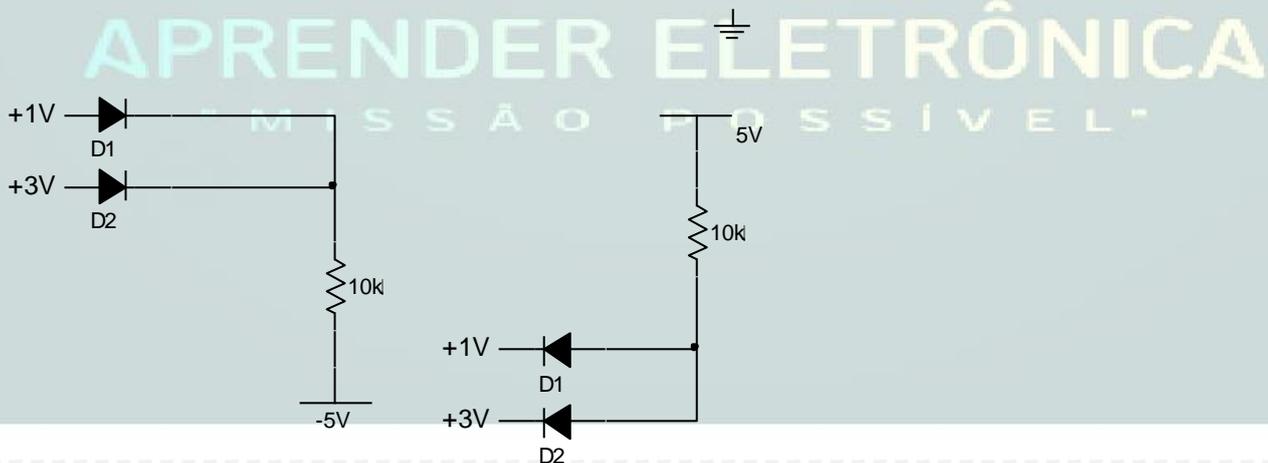
Resposta: 250Ω, 25Ω e 2,5Ω.

3. Usando diodos ideais calcular os valores das tensões e correntes indicadas.



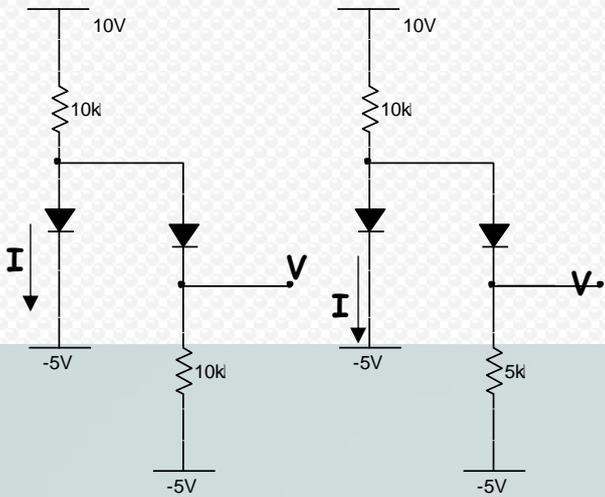
Resposta: a. -5V, 1mA b. +5V, 0mA c. -5V, 0mA d. +5V, 1mA

4. Usando diodos ideais calcular os valores das tensões e correntes indicadas.



Resposta: a. -3V, 8mA b. 1V, 4mA

5. Usando diodos ideais calcular os valores das tensões e correntes indicadas.

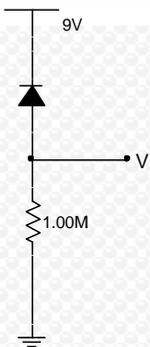


Resposta: a. 0V, 1mA b. -3.3V,

6. Calcular a corrente no diodo D1 e a tensão sobre o resistor de saída 470Ω.

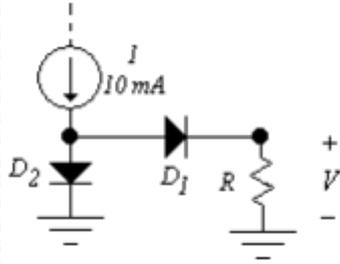


7. Sabendo-se que a corrente de fuga do diodo dobra a cada 10°C de aumento da temperatura. Se a tensão V igual a 1 V à 20°C, calcular as tensões para 0°C e 40°C.



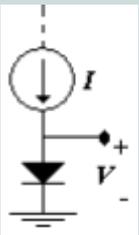
Resposta: 0,25V a 0°C e 4V a 40°C.

8. Para o circuito mostrado na figura abaixo, ambos os diodos são idênticos que conduz 10mA para 0,7V e 100mA para 0,8V. Determinar o valor da constante n .



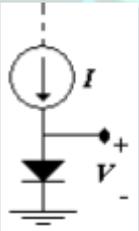
Resposta: $n = 1,732$.

9. Para o circuito da figura abaixo, se mais dois diodos idênticos são colocados em paralelo na saída qual a variação de tensão na saída. Assumir $n=1$.



Resposta: $\Delta V = 27,47\text{mV}$

10. Para o circuito da figura abaixo, se mais 2 diodos idêntico são colocados em paralelo na saída, qual é a variação de tensão na saída se $n = 1,82$.



Resposta: $\Delta V = 50\text{mV}$