

Escola SENAI "Prof. Dr. Euryclides de Jesus Zerbini"
Campinas/SP



2002

Eletrônica Analógica
Laboratório

Eletrônica Analógica – Atividades de Laboratório

© SENAI, Departamento Regional de São Paulo, 2002

Trabalho elaborado pela
Escola SENAI “Prof. Dr. Euryclides de Jesus Zerbini”

Coordenação Geral *Magno Díaz Gomes*

Equipe responsável

Coordenação *Geraldo Machado Barbosa*

Elaboração *Regina Célia Roland Novaes (DRD)*

Conteúdo técnico *Airton Almeida de Moraes (CFP 1.18)*
Júlio César Caetano (CFP 3.02)

Diagramação *Airton Almeida de Moraes (CFP 1.18)*

Ilustrações *José Luciano de Souza Filho (DRD)*
José Joaquim Pecegueiro (DRD)

Equipe responsável pela editoração

Coordenação *Luciano Marcelo Lucena da Silva*

Editoração *David Tadeu Cassini Manzoti*

Edmar Fernando Camargo

Edney Messias Soares

Eudenir Scheffer Junior

Fabício Monteiro Gonçalves Dias

Edição Preliminar

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
Escola SENAI “Prof. Dr. Euryclides de Jesus Zerbini”
Avenida da Saudade, 125, Bairro Ponte Preta
CEP 13041-670 - Campinas, SP
senaizerbini@sp.senai.br

Sumário

Teste de diodos	5
Diodo em Condução	13
Curva Característica do diodo	17
Diodo Semicondutor	21
Circuitos retificadores monofásicos	25
Verificar o funcionamento de circuito retificador monofásico	45
Circuito retificador com filtro	57
Retificação e filtragem capacitiva	75
Verificar o funcionamento do LED	79
Diodo Zener	83
Verificar o funcionamento do diodo Zener	87
Curva Característica do diodo Zener	99
Diodo Zener como regulador de tensão	103
Testar transistor Bipolar	115
Características do transistor bipolar	119
Polarização de Transistor	133
Verificar o funcionamento do transistor Bipolar	143
Transistor como chave	153
Estabilizadores	161
Verificar o funcionamento de fonte regulada	167

Teste de diodos

Nas montagens e manutenções de circuitos eletrônicos muitas vezes é necessário testar componentes que estão sendo utilizados. Com instrumentos simples como o multímetro é possível a realização de alguns testes.

Neste capítulo, vamos tratar de uma forma prática de testes em diodos semicondutores e LEDs.

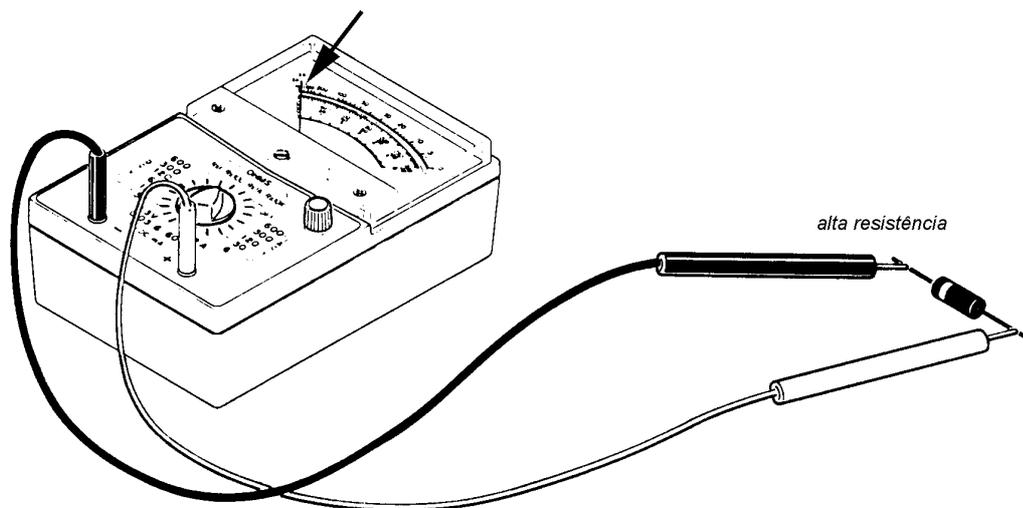
Para desenvolver os conteúdos e atividades aqui apresentados, você já deverá conhecer diodo semicondutor e diodo emissor de luz.

Testes de diodos

As condições de funcionamento de um diodo são verificadas pela medição de resistência através do multímetro. Esses testes se resumem na verificação da resistência do componente nos sentidos da condução e do bloqueio, utilizando a tensão fornecida pelas baterias do ohmímetro.

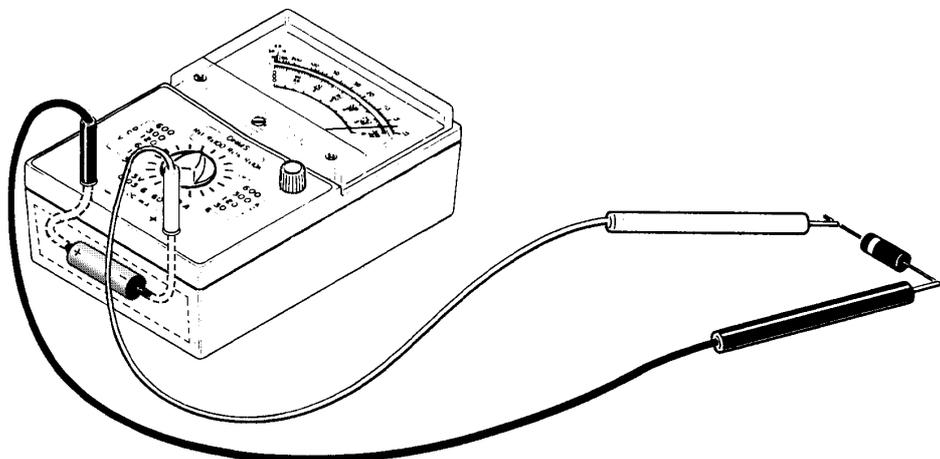
condução  \longrightarrow *baixa resistência interna (até 500 Ω)*

bloqueio  \longrightarrow *altíssima resistência interna (vários K Ω)*



Teste com o multímetro analógico

Ao testar componentes semicondutores com um multímetro analógico portátil, deve-se levar em consideração o fato de que todos eles possuem as polaridades das baterias internas (polaridade real) inversas daquelas marcadas nos bornes de entrada do aparelho. Isso significa que o borne "+" é o **pólo negativo** da bateria interna e o borne "-" é o **positivo**.



Execução dos testes

Para determinar se o diodo está defeituoso, não é necessário identificar os terminais anodo e catodo. Deve-se apenas colocar as pontas de prova do multíteste sobre o diodo nos dois sentidos possíveis.



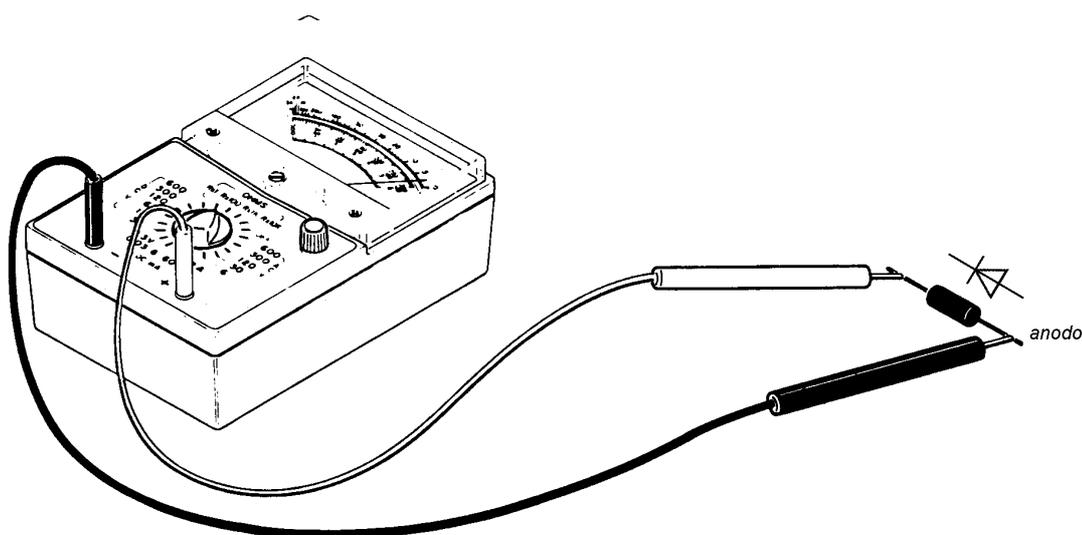
O diodo em boas condições deve apresentar em uma das medidas (ohmímetro em escala R x 10) baixa resistência e, ao inverter as pontas de prova, a outra medida deve apresentar alta resistência.

Se as duas leituras indicarem baixa resistência, o diodo está em curto, pois conduz a corrente elétrica nos dois sentidos.

Se as duas leituras indicarem alta resistência, o diodo está aberto (ou interrompido eletricamente), bloqueando a passagem da corrente elétrica nos dois sentidos.

Identificação do anodo e do catodo de um diodo

Muitas vezes, a barra de identificação do catodo no corpo de um diodo em perfeito estado se apaga. Quando isso acontece, é possível identificar os terminais com o auxílio do multímetro, testando-os com as pontas de prova nas duas posições possíveis. Quando o multímetro indicar baixa resistência, o anodo estará conectado com a ponta de prova com polaridade real positiva. O outro terminal, portanto, será o catodo.



Identificação de diodo retificador e Zener

A maior escala do ohmímetro fornece maior tensão da bateria do instrumento. Todavia, a corrente fornecida ao componente sob teste apresenta a menor intensidade, pois é limitada pela elevada resistência interna do aparelho nessa condição. É na maior escala que podemos identificar se um diodo é **retificador** ou **Zener**.

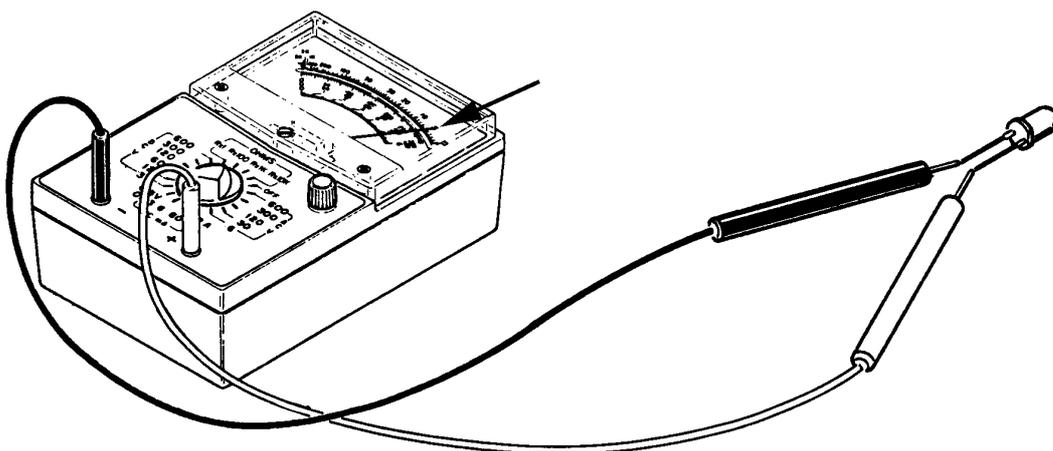
Quando o diodo polarizado inversamente e em perfeito estado é retificador, a resistência é elevadíssima (∞). Se ele for um Zener, isso não ocorre. A resistência será elevada, mas não infinita.

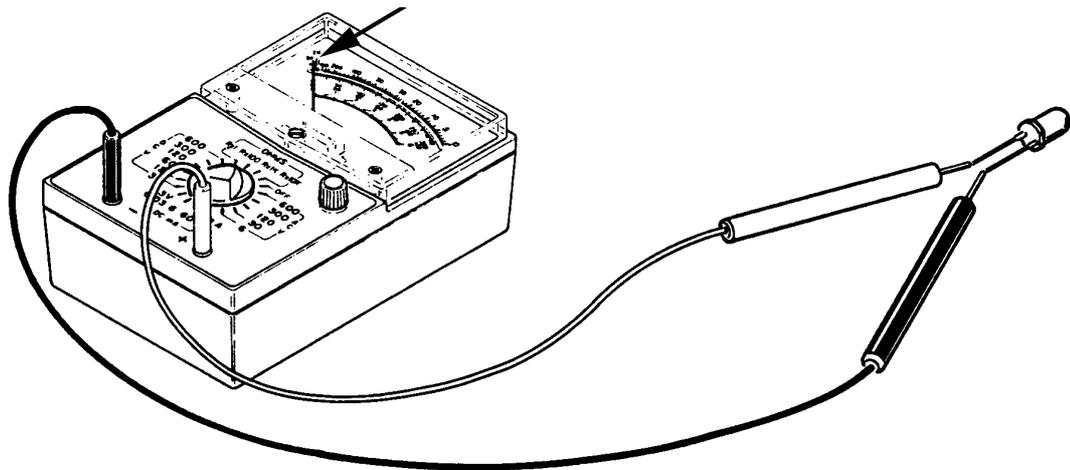
Observação

Para que essa identificação seja possível, é necessário que os componentes estejam em perfeito estado de funcionamento e que a tensão da bateria do ohmímetro seja maior que a tensão de Zener (V_Z).

Teste do LED

Os LEDs são testados como um diodo comum com o auxílio de um multímetro na escala de resistência. Em um sentido, o teste deve indicar baixa resistência e no outro, alta resistência.





Observação

Em alguns casos, dependendo do multímetro usado no teste e da escala selecionada, o LED acende durante o teste com polarização direta.

A identificação do anodo e do catodo também é feita com o multímetro, da mesma forma como o diodo comum, ou seja, testando-os com as pontas de prova nas duas posições possíveis.

Quando o multímetro indicar baixa resistência, o anodo estará conectado com a ponta de prova com polaridade real positiva. O outro terminal, portanto, será o catodo.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) Antes de testar um diodo, o que deve ser observado no instrumento de medição?

b) Qual é a condição de um diodo que ao ser testado apresenta baixa resistência nas leituras das duas polarizações pelo multímetro?

c) Como é possível identificar um diodo interrompido eletricamente?

d) Qual é a forma prática de identificação dos terminais anodo e catodo de um diodo?

2. Responda:

- a) Se durante o teste de um led, por meio de multímetro, ele emitir luz pode-se admitir que está polarizado :
- () diretamente
 - () inversamente

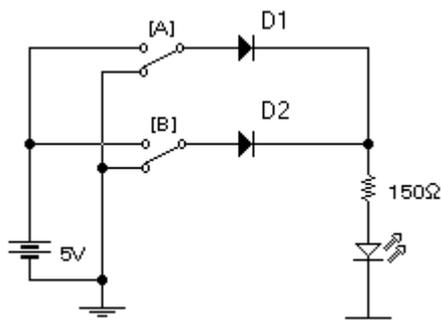
Verificar o comportamento do Diodo na condução

Objetivos:

- Visualizar a comportamento de diodos na condução.

Parte Experimental 1

1. Monte o circuito abaixo. Utilize “jumpers” para simular as chaves A e B.



2. Com as chaves A e B ligadas na fonte meça e anote as tensões em D_1 e D_2 .

V_{D1} : _____

V_{D2} : _____

Nesta situação os diodos estão polarizados direta ou reversamente?

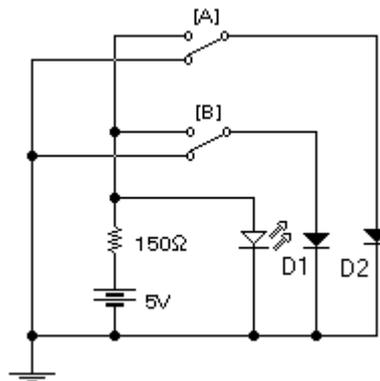
3. Sabendo que uma chave ligada à fonte representa nível lógico 1 na entrada e ligada ao terra nível lógico 0, bem como o LED aceso representa nível lógico 1 na saída e apagado nível lógico 0. Altere as posições das chaves de forma a completar a tabela verdade abaixo:

A	B	Saída
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4. Com base na tabela verdade que você preencheu, qual porta lógica pode ser associada ao circuito?

Parte Experimental 2

1. Monte o circuito abaixo. Utilize “jumpers” para simular as chaves A e B.



2. Com as chaves A e B ligadas na fonte meça e anote as tensões em D₁ e D₂.

V_{D1} : _____

V_{D2} : _____

3. Os diodos estão polarizados direta ou reversamente?
4. Sabendo que uma chave ligada à fonte representa nível lógico 1 na entrada e ligada ao terra nível lógico 0, bem como o led aceso representa nível lógico 1 na saída e apagado nível lógico 0. Altere as posições das chaves de forma a completar a tabela verdade abaixo:

A	B	Saída
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

5. Com base na tabela verdade que você preencheu, qual porta lógica pode ser associada ao circuito?

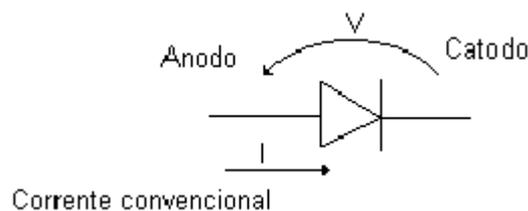
Verificar a curva característica de um diodo

Objetivos:

Levantar a curva característica de um diodo

Introdução

Diodos são dispositivos eletrônicos de dois terminais com a propriedade de permitir a passagem de corrente elétrica mais facilmente num sentido que em outro.



Se tentarmos polarizar positivamente o ânodo com relação ao cátodo, uma condição chamada polarização direta, o diodo apresenta resistência baixa, a corrente I é então limitada somente pelo circuito externo ao diodo. Este é chamado estado ON ou estado de polarização direta do diodo. Qualquer tensão no primeiro quadrante que tenda a tornar ON o diodo é então chamada tensão direta (V_F) e a corrente correspondente é a corrente direta (I_F). Temos que um diodo polarizado diretamente simula uma chave fechada.

Se V é uma quantidade negativa (ânodo negativo com relação ao cátodo), V é chamada tensão reversa (V_R) e I é correspondentemente negativa e chamada corrente reversa (I_R). Quando polarizado reversamente o diodo é tornado OFF e ele simula uma chave aberta, pois as correntes terão grande dificuldade de pode fluir no sentido inverso. Assim, na maioria das aplicações podemos considerar $I_R = 0$ para todos os valores de V_R ou $-V$.

Parte Experimental

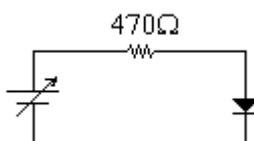
Material Experimental:

- Fonte variável
- Multímetro
- Resistor 470Ω
- Diodo

1. Meça com o ohmímetro e anote no quadro abaixo a resistência direta e reversa do diodo.

R_{direta}	
R_{reversa}	

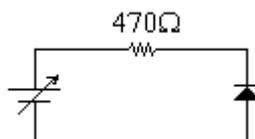
2. Monte o circuito da figura abaixo.



3. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma a Ter no diodo os valores de tensão do quadro abaixo. Para cada caso, meça e anote a corrente no circuito.

$V_{D \text{ desejado}} (V)$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$V_{D \text{ obtido}} (V)$									
$I_D (mA)$									

4. Inverta a polaridade do diodo conforme a figura abaixo.

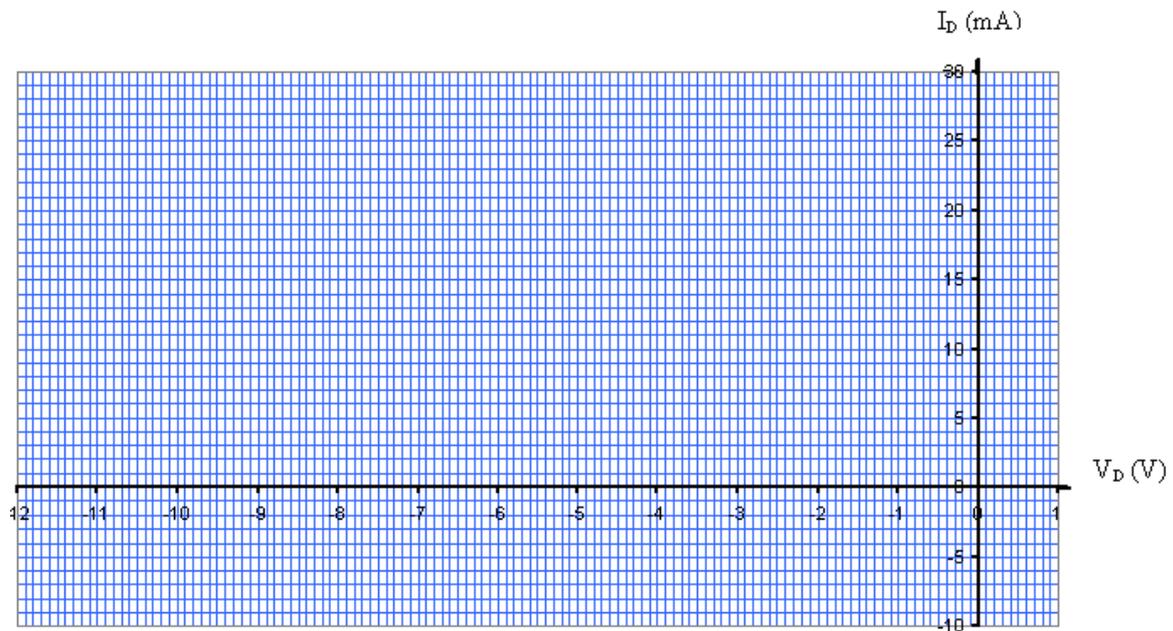


5. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma a Ter no diodo os valores de tensão do quadro abaixo. Para cada caso, meça e anote a corrente no circuito.

V_D desejado (V)	0	2	4	6	8	10	12
V_D obtido (V)							
I_D (mA)							

Questões

1. Como você pode identificar os terminais de um diodo (anodo e catodo) com um ohmímetro?
2. A que conclusão você chega se, ao medir a resistência de um diodo, obtivesse um valor baixo tanto para a resistência direta como para a reversa?
3. Com os dados obtidos nos itens 3 e 5 construa a curva característica $I_D \times V_D$.



Diodo semicondutor

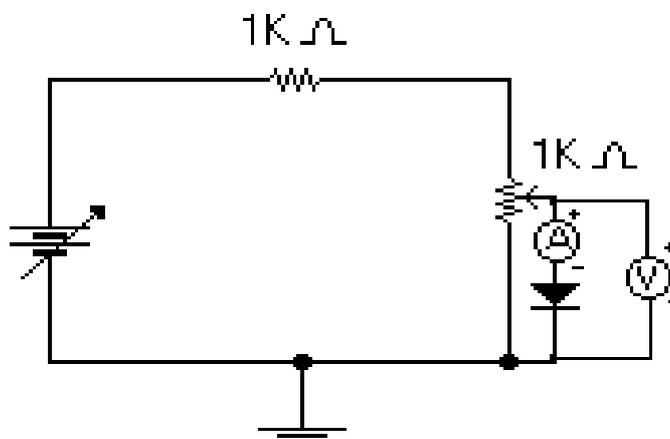
Diodos semicondutores são componentes que podem se comportar como condutores ou isolantes, dependendo da polaridade da tensão em seus terminais.

Neste ensaio, você vai verificar essas características levantando a curva característica do componente num sistema de eixos.

Equipamentos

- Fonte de alimentação CC;
- Multímetro digital;
- Matriz de Contato;
- Potenciômetro de $1K\Omega$;
- Resistor de $1K\Omega$;
- Diodo

1. Monte o circuito a seguir.

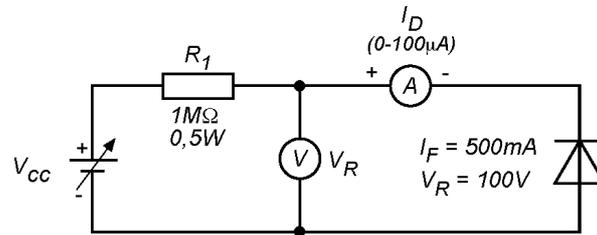


2. Ajuste o voltímetro na menor escala de tensão CC, para leituras entre 0 e 1 V.
3. Ajuste a tensão da fonte CC para 10V. Varie a posição do potenciômetro de forma a obter os valores de tensão no diodo conforme tabela que segue. Leia e anote os valores da corrente no diodo para os valores de tensão no diodo indicados na tabela a seguir.

Tensão no diodo - V_D (V)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Corrente no diodo - I_D (A)									

4. Desligue a fonte de alimentação.
5. O que você pode concluir da experiência acima?

1. Monte o circuito a seguir.

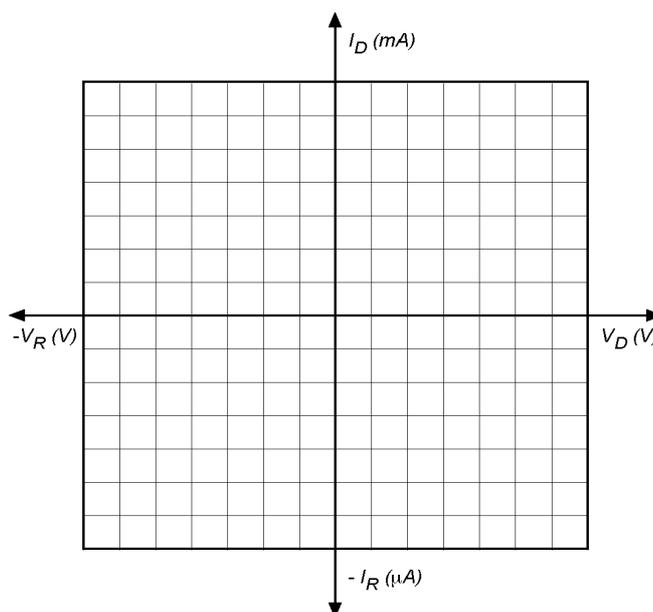


Observação: Posicione o seletor do multímetro para uma escala de 25 V_{CC} ou maior.

2. Ajuste a fonte de alimentação para tensão de saída 0 V e conecte-a na entrada do circuito.
3. Varie a tensão de entrada V_{CC} de forma a obter os valores de tensão no diodo conforme tabela que segue. Leia o valor da corrente inversa do diodo e anote o resultado na tabela a seguir.

Tensão inversa no diodo - V_R (V)	0	10	20	30	35	40	45	50
Corrente inversa no diodo - I_R (μA)								

4. Desligue a fonte de alimentação.
5. Coloque no gráfico a seguir os valores obtidos nas tabelas dos passos 4 e 9.



6. Como se comporta a corrente no diodo quando a tensão V_D (direta) atinge os valores em torno de 0,6 V?

7. Determine a resistência estática do diodo com tensão direta:

$$V_D = 0,5 \text{ V} \Rightarrow R = \dots\dots\dots\Omega$$

$$V_D = 0,7 \text{ V} \Rightarrow R = \dots\dots\dots\Omega$$

8. O que acontece com a resistência interna do diodo quando a tensão V_D aumenta?

8. Retire o diodo do circuito. Considerando que o levantamento da curva característica foi realizado com este diodo, pode-se afirmar que ele está em boas condições?

Sim Não

9. Teste o diodo nos dois sentidos, usando o multímetro analógico na escala R x 10. O teste confirma que o diodo está em boas condições?

Sim Não

10. Teste um grupo de cinco diodos (fornecidos pelo professor) e separe-os em três categorias: bons, em curto e abertos.

Circuitos retificadores monofásicos

Todos os aparelhos eletrônicos necessitam de corrente contínua para funcionar. Todavia, a rede elétrica que chega às nossas casas, nos fornece energia elétrica em forma de corrente alternada.

Assim, para que seja possível alimentar os aparelhos eletrônicos, é necessário um circuito que transforme corrente alternada em corrente contínua. Esse circuito é chamado de retificador.

Por seu largo emprego e importância, os circuitos retificadores serão o assunto deste capítulo. Para compreendê-lo com mais facilidade, é necessário conhecer corrente contínua, corrente alternada, diodo semicondutor e transformadores.

Retificação

Retificação é o processo de transformação de corrente alternada em corrente contínua, de modo a permitir que equipamentos de corrente contínua sejam alimentados por corrente alternada.

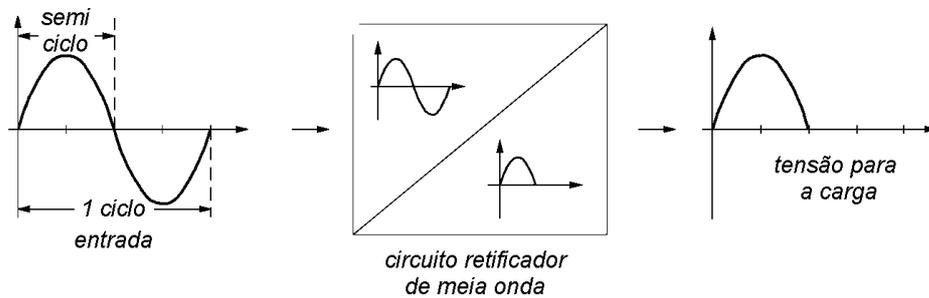
A retificação ocorre de duas formas:

- retificação de meia onda;
- retificação de onda completa.

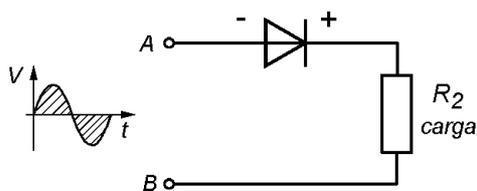
Retificação de meia-onda

De todos os circuitos retificadores que existem, o mais simples é o circuito retificador de meia-onda. Ele permite o aproveitamento de apenas um semiciclo da tensão de

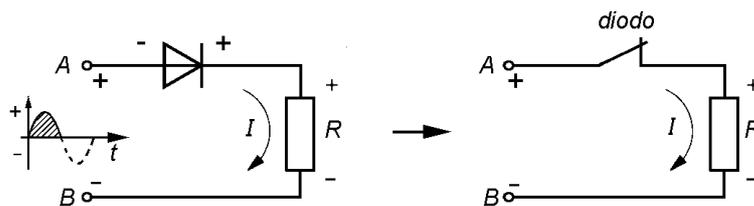
entrada de carga e é usado em equipamentos que não exigem tensão contínua pura, como os carregadores de bateria.



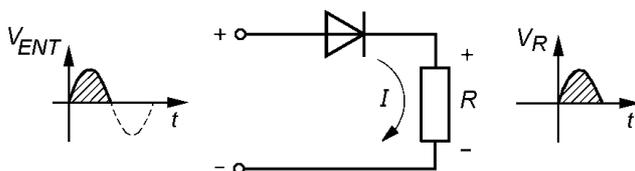
Esse circuito utiliza um diodo semicondutor pois suas características de condução e bloqueio são aproveitadas para a obtenção da retificação. Tomemos como exemplo o circuito retificador da figura a seguir.



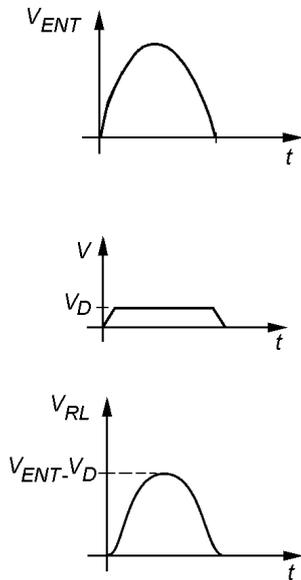
Durante o primeiro semiciclo, a tensão é positiva no ponto A e negativa em B. Essa polaridade da tensão de entrada coloca o diodo em condução e permite a circulação da corrente.



A tensão sobre a carga assume a mesma forma da tensão de entrada.



O valor do pico de tensão sobre a carga é menor que o valor do pico da tensão de entrada. Isso acontece porque o diodo durante a condução apresenta uma pequena queda de tensão.

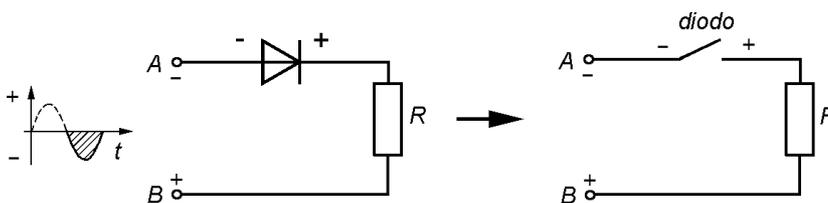


Observação

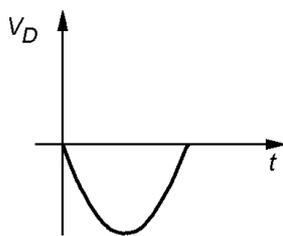
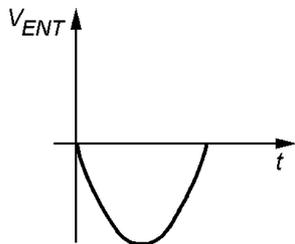
A queda de tensão (V_D) é de 0,7 V em circuitos com diodos de silício e 0,2 V em circuitos com diodos de germânio.

Na maioria dos casos, essa queda de tensão pode ser desprezada porque seu valor é muito pequeno em relação ao valor total do pico de tensão sobre a carga. Ela só deve ser considerada quando é aplicado no circuito retificador tensões de baixos valores, menores que 10 V.

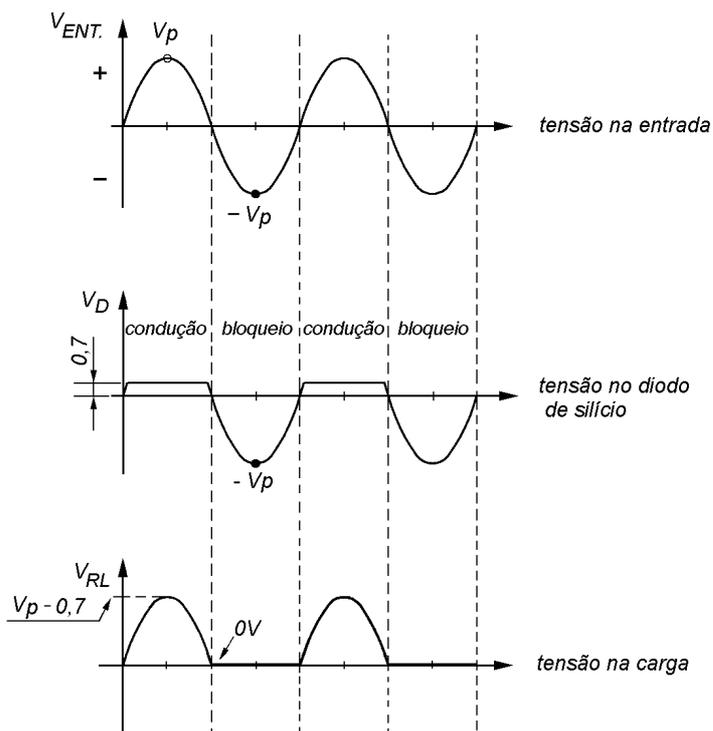
Durante o segundo semiciclo, a tensão de entrada é negativa no ponto A e positiva no ponto B. Nessa condição, o diodo está polarizado inversamente, em bloqueio, impedindo a circulação da corrente.



Com o bloqueio do diodo que está funcionando como um interruptor aberto, a tensão na carga é nula porque não há circulação de corrente



Os gráficos a seguir ilustram a evolução de um ciclo completo.

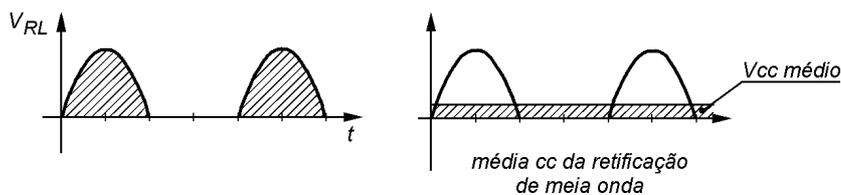


Pelos gráficos, é possível observar que a cada ciclo completo da tensão de entrada, apenas um semiciclo passa para a carga, enquanto o outro semiciclo fica sobre o diodo.

Tensão de saída

A tensão de saída de uma retificação de meia-onda é contínua, porém pulsante porque nela alternam-se períodos de existência e inexistência de tensão sobre a carga.

Assim, ao se conectar um voltímetro de CC na saída de um circuito retificador de meia-onda, a tensão indicada pelo instrumento será a média entre os períodos de existência e inexistência de tensão.



Por isso, o valor da tensão CC aplicada sobre a carga fica muito abaixo do valor efetivo da CA aplicada à entrada do circuito.

A tensão média na saída é dada pela equação:

$$V_{CC} = \frac{V_P - V_D}{\pi}$$

Onde V_{CC} é a tensão contínua média sobre a carga;

V_P é a tensão de pico da CA aplicada ao circuito ($V_P = V_{CA} \cdot \sqrt{2}$);

V_D é a queda de tensão típica do diodo (0,2 V ou 0,7 V).

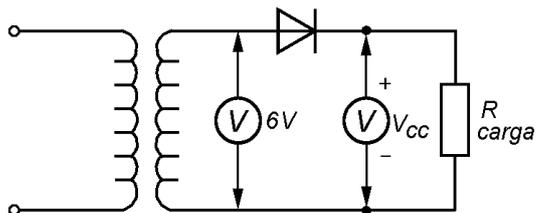
Quando as tensões de entrada (V_{CAef}) forem superiores a 10 V, pode-se eliminar a queda de tensão do diodo que se torna desprezível, rescrevendo a equação da seguinte maneira:

$$V_{CC} = \frac{V_P}{\pi} \quad \Rightarrow \quad V_{CC} = \frac{V_{CA} \cdot \sqrt{2}}{\pi}$$

Simplificando os termos , obtém-se 0,45. Logo,

$$V_{CC} = V_{CA} \cdot 0,45 \frac{\sqrt{2}}{\pi}$$

Exemplo



Dados:

$V_{CA} = 6 \text{ V}$ (menor que 10 V)

$D_1 =$ diodo retificador de silício

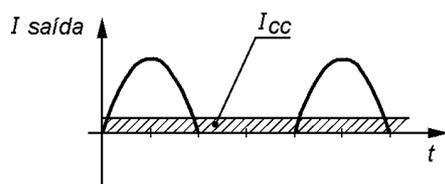
$$V_{CC} = \frac{V_P - V_D}{\pi} = \frac{(V_{CA} \cdot \sqrt{2}) - V_D}{\pi} = \frac{(6 \cdot 1,41) - 0,7}{3,14} = 2,47 \text{ V}$$

$V_{CC} = 2,47 \text{ V}$

Corrente de saída

Como na retificação de meia-onda a tensão sobre a carga é pulsante, a corrente de saída também é pulsante.

Assim, a corrente de saída é a média entre os períodos de existência e inexistência de corrente.



Esse valor é determinado a partir dos valores de tensão média e da resistência de carga, ou seja,

$$I_{CC} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

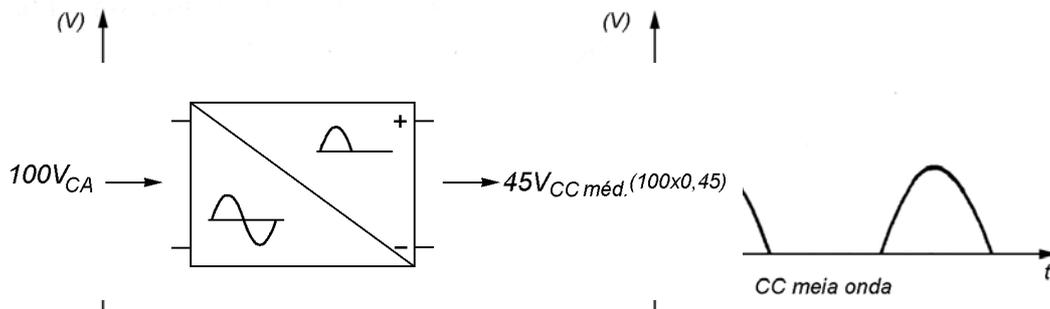
Observação

O cálculo da corrente média de saída determina os parâmetros para a escolha do diodo que será utilizado no circuito.

Inconvenientes

A retificação de meia-onda apresenta os seguintes inconvenientes:

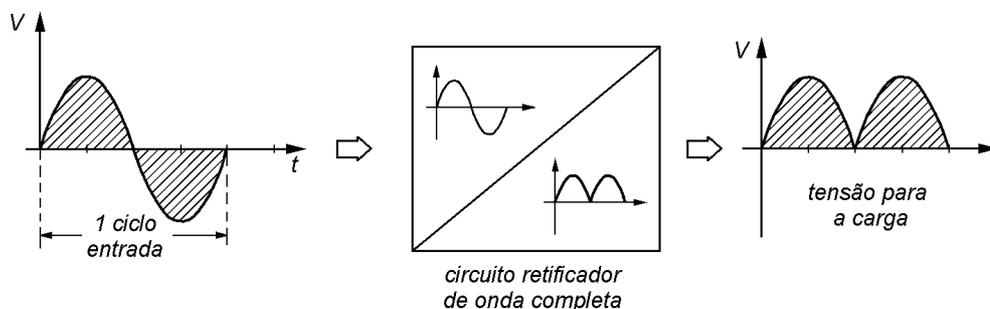
- tensão de saída pulsante;
- baixo rendimento em relação à tensão eficaz de entrada;



- mau aproveitamento da capacidade de transformação nas retificações com transformador porque a corrente circula em apenas um semiciclo;

Retificação de onda completa

A retificação de onda completa é o processo de conversão de corrente alternada em corrente contínua que aproveita os dois semiciclos da tensão de entrada.



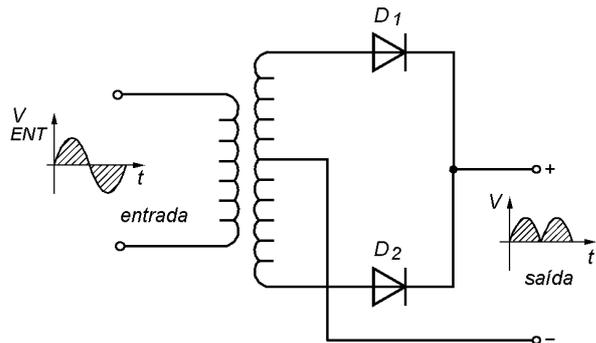
Esse tipo de retificação pode ser realizado de dois modos:

- por meio de um transformador com derivação central (C.T.) e dois diodos;

- por meio de quatro diodos ligados em ponte.

Retificação de onda completa com transformador

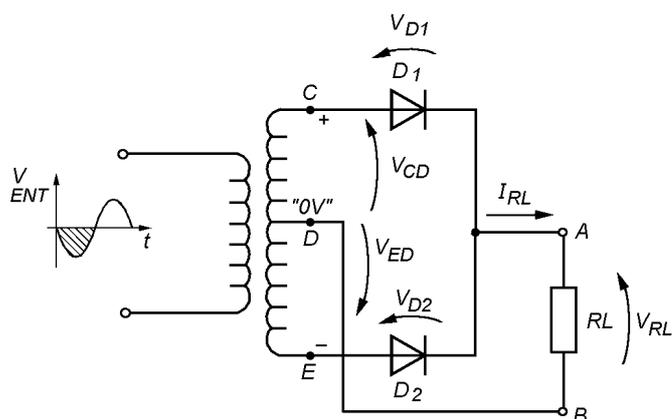
A retificação de onda completa com transformador é o processo de retificação realizado por meio de um circuito com dois diodos e um transformador **com derivação central** (ou "center tap").



Funcionamento

Para explicar o funcionamento desse circuito, vamos considerar separadamente cada semiciclo da tensão de entrada.

Inicialmente, considerando-se o terminal central do secundário do transformador como referência, observa-se a formação de duas polaridades opostas nas extremidades das bobinas.

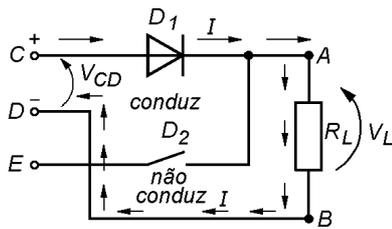


Em relação ao ponto neutro, as tensões V_{CD} e V_{ED} estão defasadas 180°

Durante o semiciclo positivo de V_{ENT} , entre os pontos C e E, o ponto C está positivo em relação ao ponto D. Nessa condição, o diodo D_1 está polarizado diretamente e, portanto, em condução.

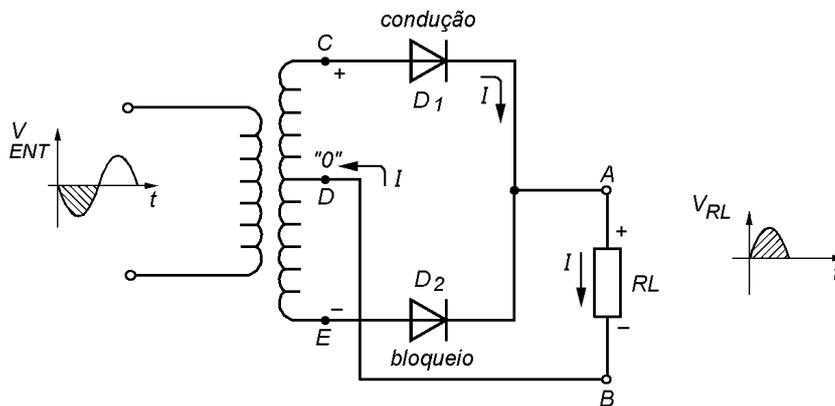
Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a E. Nessa condição, o diodo D_2 está polarizado inversamente e, portanto, em corte.

No ponto A aparece uma tensão positiva de valor máximo igual a $V_{MÁX}$.

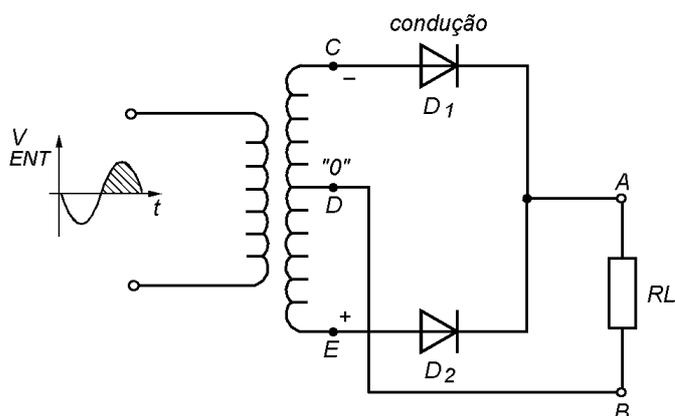


Observe que no circuito apresentado, a condição de condução de D_1 permite a circulação de corrente através da carga, do terminal positivo para o terminal negativo.

A tensão aplicada à carga é a tensão existente entre o terminal central do secundário e a extremidade superior do transformador (V_{S1}).

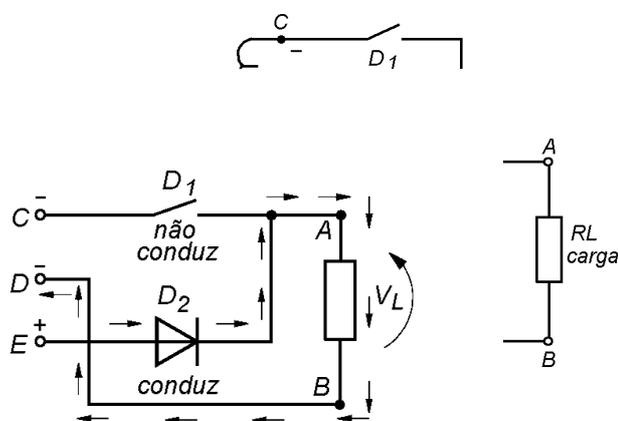


No segundo semiciclo, há uma inversão da polaridade no secundário do transformador.



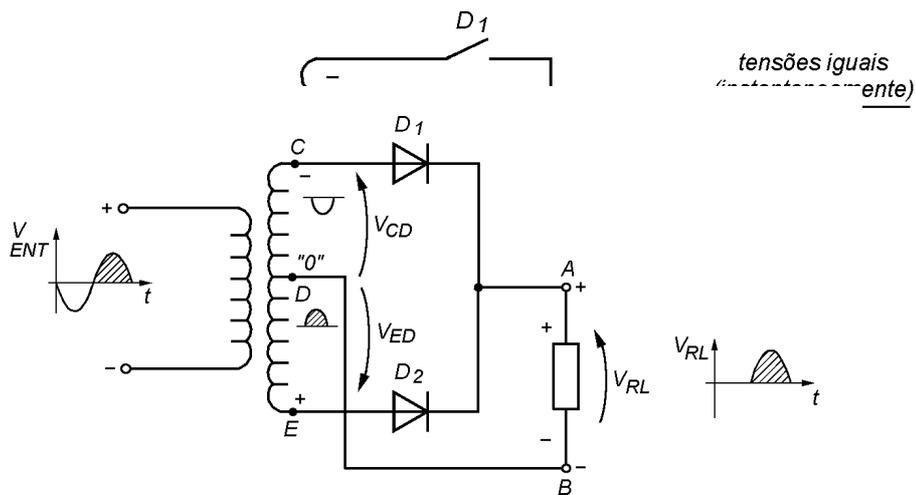
Assim, o ponto D está negativo em relação ao ponto E. Nessa condição, o diodo D_2 está polarizado diretamente e, portanto, em condução.

Por outro lado, o ponto D está positivo em relação a C. Nessa condição, o diodo D_1 está polarizado inversamente, e, portanto, em corte.



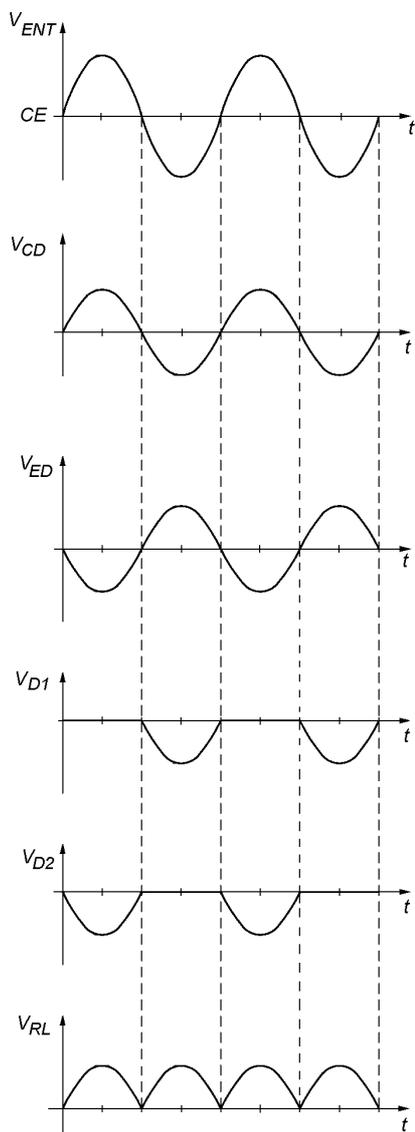
A corrente que passa por D_2 circula pela carga do mesmo sentido que circulou no primeiro semiciclo.

A tensão aplicada à carga é a tensão da bobina inferior do secundário do transformador (V_{S2}).

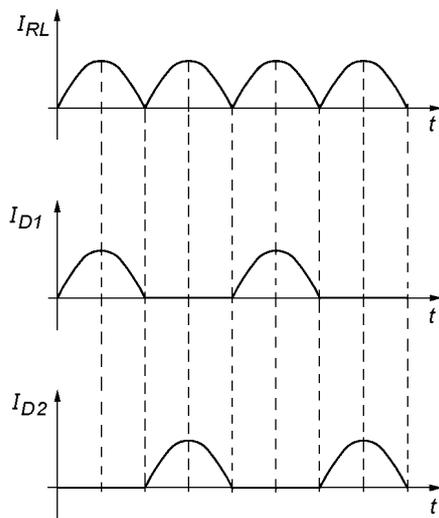


Durante todo semiciclo analisado, o diodo D_2 permanece em condução e a tensão na carga acompanha a tensão da parte inferior do secundário.

As formas de onda das tensões no circuito são mostradas nos gráficos a seguir.

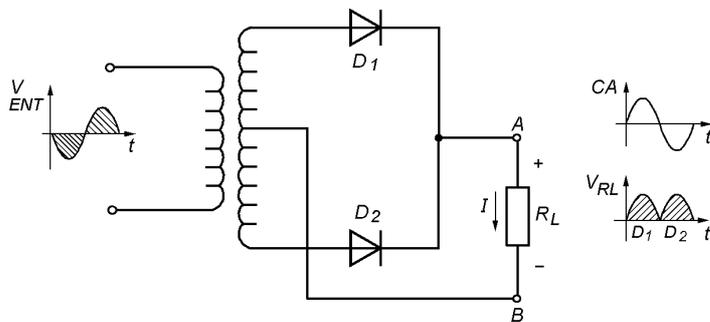


As formas de onda das correntes são:



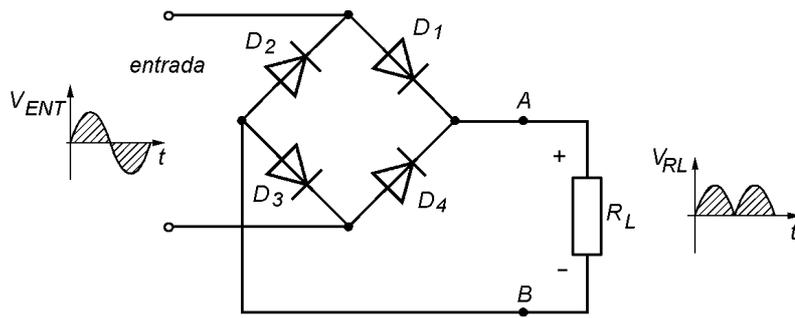
Analisando um ciclo completo da tensão de entrada, verifica-se que o circuito retificador entrega dois semiciclos de tensão sobre a carga:

- um semiciclo da extremidade superior do secundário através da condução de D_1 ;
- um semiciclo da extremidade inferior do secundário através da condução de D_2 .



Retificação de onda completa em ponte

A retificação de onda completa em ponte utiliza quatro diodos e entrega à carga uma onda completa sem que seja necessário utilizar um transformador de derivação central.

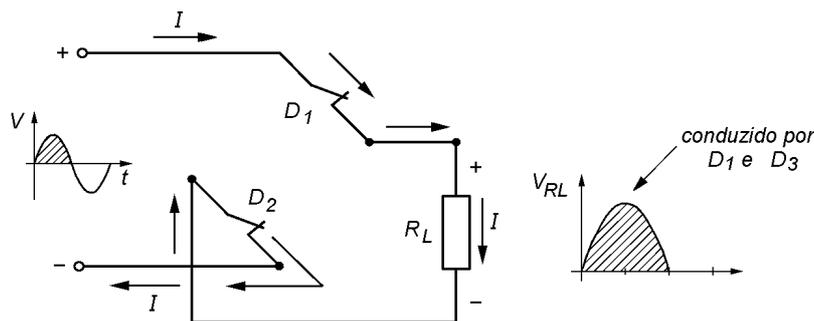


Funcionamento

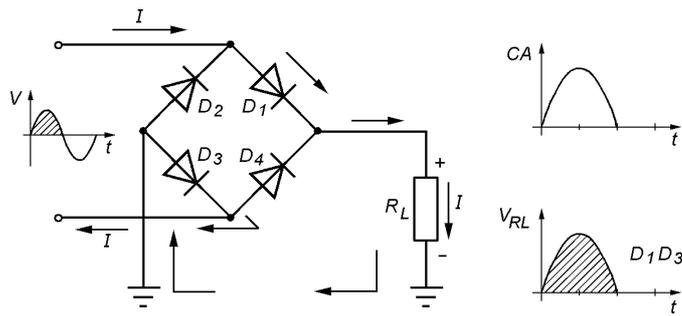
Considerando a tensão positiva (primeiro semiciclo) no terminal de entrada superior, teremos as seguintes condições de polarização dos diodos:

- $D_1 \Rightarrow$ anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - **em condução**;
- $D_2 \Rightarrow$ catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- $D_3 \Rightarrow$ catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - **em condução**;
- $D_4 \Rightarrow$ anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - **em bloqueio**.

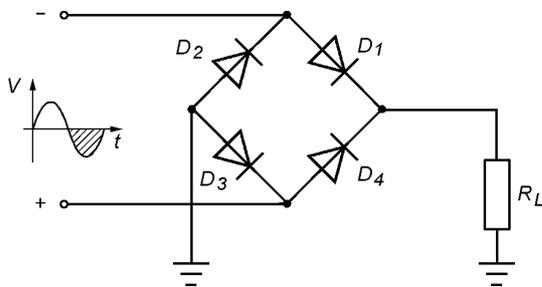
Eliminando-se os diodos em bloqueio, que não interferem no funcionamento, verifica-se que D_1 e D_3 (em condução) fecham o circuito elétrico, aplicando a tensão do primeiro semiciclo sobre a carga.



Observe no circuito a seguir, como a corrente flui no circuito no primeiro ciclo.



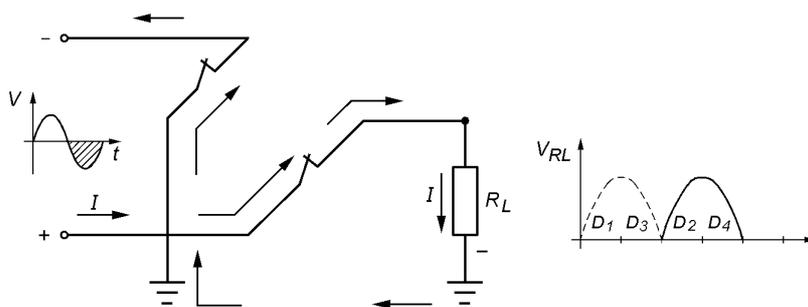
No segundo semiciclo, ocorre uma inversão da polaridade nos terminais de entrada do circuito.



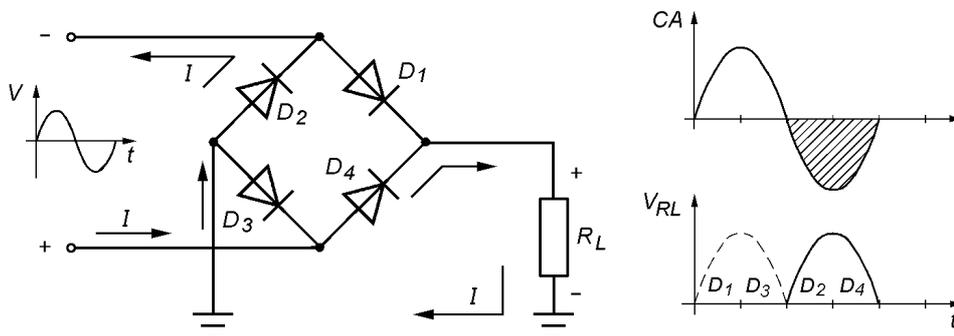
Nessa condição, a polaridade dos diodos apresenta a seguinte configuração:

- D_1 - anodo negativo em relação ao catodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- D_2 - catodo negativo em relação ao anodo (polarização direta) - **em condução**;
- D_3 - catodo positivo em relação ao anodo (polarização inversa) - **em bloqueio**;
- D_4 - anodo positivo em relação ao catodo (polarização direta) - **em condução**.

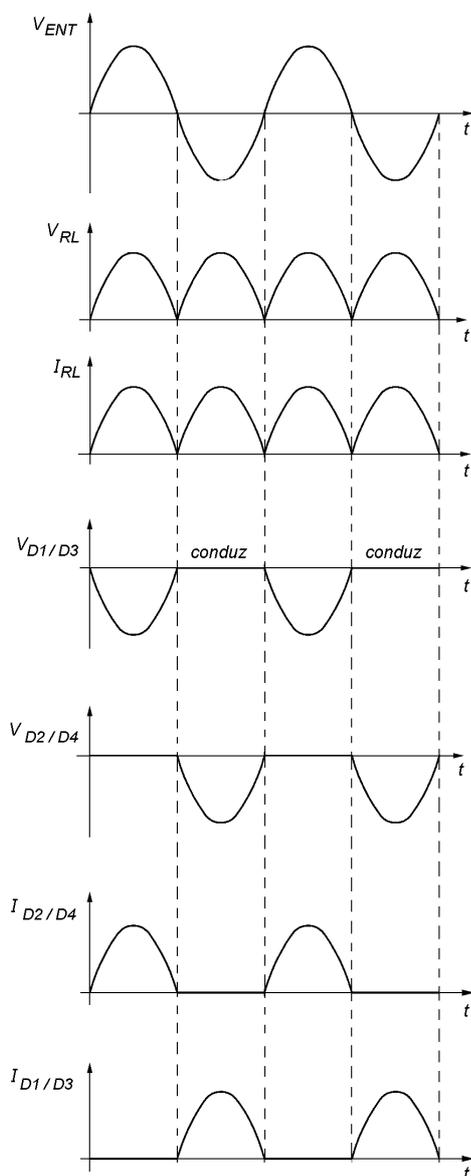
Eliminando-se os diodos em bloqueio e substituindo-se os diodos em condução por circuitos equivalentes ideais, obtém-se o circuito elétrico fechado por D_2 e D_4 que aplica a tensão de entrada sobre a carga. Isso faz a corrente circular na carga no mesmo sentido que no primeiro semiciclo.



Recolocando-se os diodos no circuito, observa-se a forma como a corrente circula.



Os gráficos a seguir mostram as formas de onda do circuito.



Fator de *ripple*

Como já vimos, a tensão contínua fornecida por um circuito retificador é pulsante, ou seja, não possui um nível constante no tempo. Isso acontece porque a tensão de saída é resultante da soma de uma componente contínua (V_{CC}) e uma componente alternada (V_{CA}) responsável pela ondulação do sinal.

Essa ondulação é denominada de fator de *ripple* (que significa “ondulação” em inglês). Ela corresponde a quantas vezes o valor eficaz da componente alternada é maior que a componente contínua sobre a carga.

Esse valor é dado por:

$$r = \frac{V_{CAef}}{V_{CC}}$$

Onde : r é o fator de *ripple*;

V_{CAef} é o valor da tensão alternada eficaz; e

V_{CC} é o valor da tensão contínua.

Para a retificação de meia-onda, o fator de *ripple* é:

$$r\% = 120\%$$

Para a retificação de onda completa, o fator de *ripple* é:

$$r\% = 48\%$$

Esses dados mostram que a porcentagem de ondulação é muito alta e esse é um dos grandes inconvenientes desse tipo de circuito.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) O que é retificação?

b) Qual é a diferença entre a retificação de meia onda e a retificação de onda completa?

c) Qual é a diferença entre a retificação de meia onda e a retificação de onda completa.?

d) Em um retificador de meia onda o valor da tensão de pico retificada é igual ao valor da tensão de pico da tensão alternada? Justifique a resposta.

e) O que é fator de ripple?

2. Faça os esquemas dos circuitos:

a) Circuito retificador de meia onda.

b) Circuito retificador de onda completa com transformador.

c) Circuito retificador de onda completa em ponte.

3. Resolva os seguintes exercícios:

a) Faça o esquema e calcule a tensão V_{CC} na carga, alimentada por um retificador de meia onda. Sabe-se que a tensão alternada V_{CA} é de 9 V.

b) Qual o valor da tensão V_{CC} retificada por um retificador de meia onda. A tensão alternada tem um valor de pico de 4V.

Verificar o funcionamento de circuito retificador monofásico

Um circuito retificador é aquele que transforma CA em CC. Neste ensaio, você vai ter oportunidade de verificar o funcionamento de circuitos retificadores de meia onda e de onda completa. Nele, você vai determinar o rendimento da retificação e observar as formas de onda dos circuitos retificadores.

Equipamentos

- multímetro;
- osciloscópio de duplo traço.

Procedimento

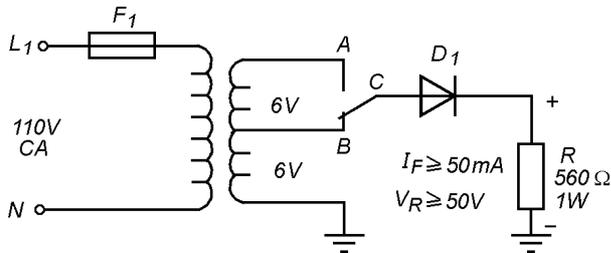
1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e data book de diodos semicondutores e a norma NBR 12526.

I - Verificar o funcionamento de um circuito retificador de meia onda

1. Monte o circuito retificador de meia onda a seguir.

Observação

Mantenha a fonte de tensão CA que alimenta o circuito, desligada.



2. Ligue a fonte de alimentação CA do circuito.
3. Com a chave S_1 na posição B, meça a tensão CA aplicada ao circuito retificador, pontos C e terra.

$V_{CA} = \dots\dots\dots V$

4. Meça a tensão contínua (média) sobre a carga.

$V_{CC} = \dots\dots\dots V$

5. Determine o rendimento do circuito retificador de meia onda.

$$\eta = \frac{V_{CC} \cdot 100}{V_{CA}}$$

$\eta = \dots\dots\dots \%$

6. Inverta a posição da chave S_1 , de forma que a chave interligue os pontos A e C.

7. Meça a tensão CA aplicada ao circuito retificador, e aos pontos C e terra.

$V_{CA} = \dots\dots\dots V$

8. Meça a tensão contínua (média) sobre a carga.

$V_{CC} = \dots\dots\dots V$

9. Determine o rendimento.

$\eta = \dots\dots\dots\%$

11. Desligue a alimentação CA do circuito.

12. Compare os rendimentos obtidos com duas tensões de entrada. Abaixo de $10 V_{CA}$ ($6 V_{CA}$) e acima de $10 V_{CA}$ ($12 V_{CA}$) e responda:

a. Para tensões de entrada acima de $10V_{CA}$, a tensão de saída pode ser determinada pela equação $V_{CC} = V_{CA} \cdot 0,45$? Por quê?

b. Por que a equação $V_{CC} = V_{CA} \cdot 0,45$ deve ser usada apenas para tensões de entrada superiores a $10 V_{CA}$?

c. Por que o rendimento da retificação de meia onda é baixo?

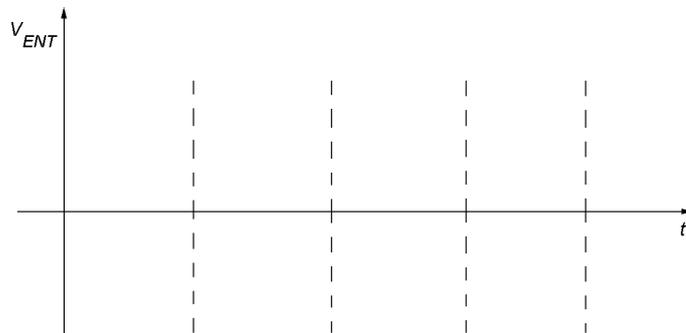
13. Ligue a fonte de alimentação CA do circuito.

14. Conecte o canal 1 do osciloscópio ao ponto C. Observe a tensão entre a derivação central do transformador e o terra.

Observação

Sincronize o osciloscópio pelo canal 1 e ajuste a base de tempo para obter 2 ciclos completos de CA na tela.

15. Registre no gráfico que segue, a forma de onda observada e anote o valor da tensão de pico.



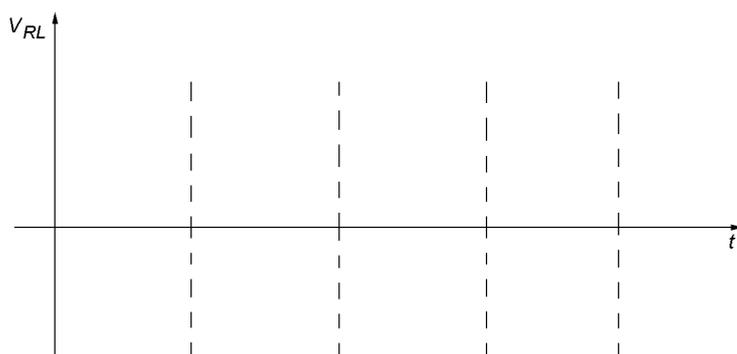
$V_P = \dots\dots\dots V$

16. Conecte a ponta de prova do canal 2 (modo CC) na carga.

Observação

Não é necessário conectar o terra do canal 2 porque o terra do canal 1 é comum aos dois canais.

17. Registre a forma de onda observada no gráfico que segue e anote o valor da tensão de pico positivo.



$V_{P(+)} = \dots\dots\dots V$

18. Responda:

a) Quantos semiciclos passam para a carga a cada ciclo completo da corrente alternada da entrada? Por quê?

b) A tensão de pico positivo sobre a carga é aproximadamente igual à tensão do pico positivo da CA? Por quê?

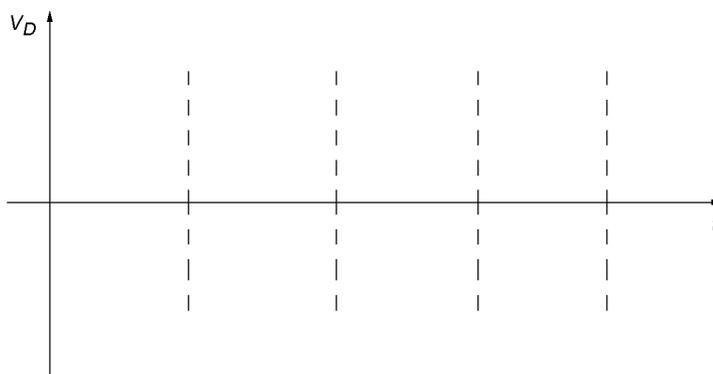
c) Qual é o motivo da diferença entre V_P na carga e V_P no secundário do transformador?

19. Desligue do circuito os dois canais do osciloscópio.

20. Conecte a ponta de prova do canal 1 sobre o diodo da seguinte forma:

- terra da ponta de prova no catodo, e
- ponta de sinal no anodo.

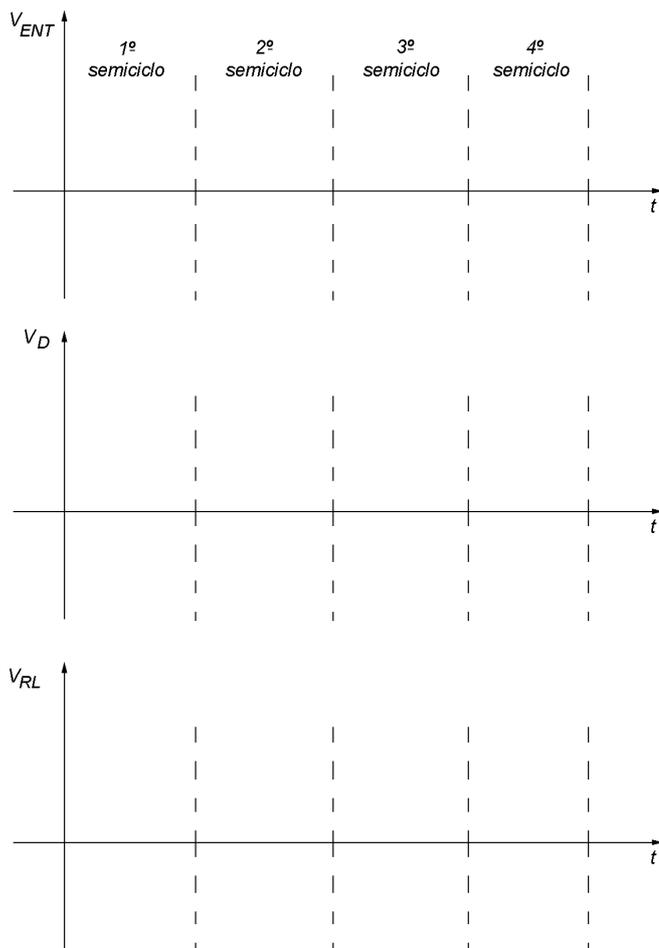
21. Registre no gráfico a seguir a forma de onda observada.



22. A forma de onda da tensão sobre o diodo é aproximadamente igual e inversa em relação à tensão sobre a carga?

() Sim () Não

23. Transporte para os três gráficos a seguir as formas de onda obtidas nos passos 15, 17 e 21



24. Observando os gráficos, é possível afirmar que a tensão média sobre o diodo deve ter um valor aproximadamente igual à tensão média sobre a carga? Por quê?

25. Desligue a alimentação CA do circuito.

26. Inverta a posição do diodo no circuito, trocando o anodo pelo catodo.

O que deve acontecer na saída do circuito?

27. Ligue a alimentação CA ao circuito e meça a tensão de saída, com o osciloscópio.

O que acontece com a tensão e a polaridade da saída quando se inverte o diodo?

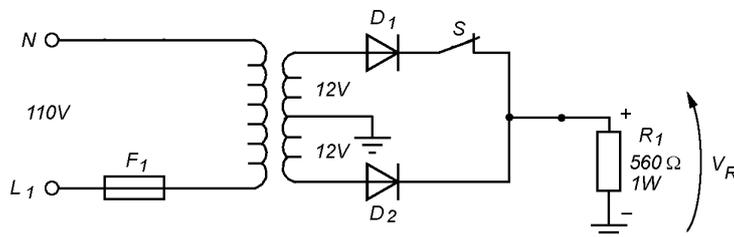
28. Desligue a alimentação CA e desmonte o circuito.

II - Verificar o funcionamento de um circuito retificador de onda completa

1. Monte o circuito a seguir.

Observação

Mantenha a fonte de tensão CA que alimenta o circuito, desligada.



2. Ligue a fonte de alimentação CA do circuito.

3. Meça a tensão CC de saída (V_R), utilizando um multímetro,.

$$V_{CC} = \dots\dots\dots V$$

4. Meça a tensão CA no secundário do transformador, entre o terminal central (CT) e uma das extremidades.

$$V_{CA} = \dots\dots\dots V$$

5. Determine o rendimento da retificação de onda completa.

$$\eta = \frac{V_{CC}}{V_{CA}}$$

$$\eta = \dots\dots\dots \%$$

6. Desligue a chave S.

7. Meça a tensão de saída da fonte.

$$V_{CC} = \dots\dots\dots V \text{ (com S aberta)}$$

8. Compare os valores de V_{CC} obtidos nos passos 3 e 7 e explique o que aconteceu quando a chave S foi desligada.

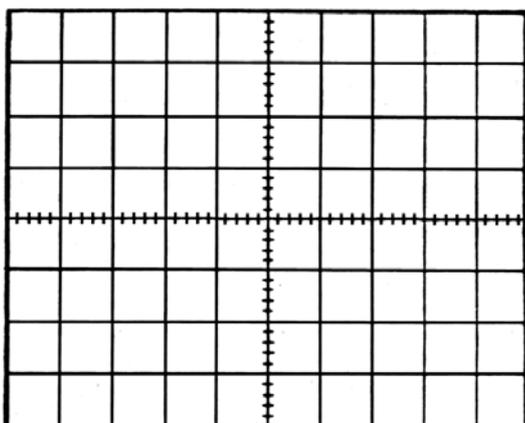
9. Responda:

- a) Conhecendo-se a tensão fornecida pelo transformador e a tensão de saída, é possível determinar se uma fonte fornece onda completa ou meia onda? Por quê?

- b) Pode-se dizer que abrir a chave S é o mesmo que o diodo D_1 da fonte estar aberto? Justifique.

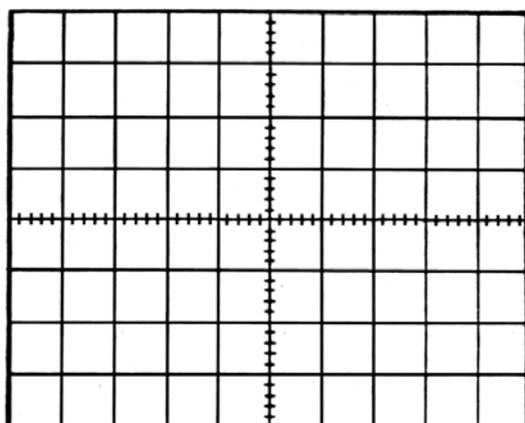
10. Religue a chave S.

11. Conecte o canal 1 do osciloscópio entre o terminal central do transformador (terra) e uma das extremidades.
12. Sincronize o osciloscópio pelo canal 1 e ajuste a base de tempo de forma a obter 2 ciclos completos da CA na tela.
13. Conecte a ponta de prova do canal 2 sobre a carga (R_L).
14. Reproduza as formas de onda observadas no gráfico a seguir.



10. Quantos semiciclos de tensão são aplicados à carga para cada ciclo da CA fornecida pelo transformador?

11. Desenhe no gráfico a seguir, como seria a figura mostrada na tela do osciloscópio se os dois diodos fossem invertidos.



12. Responda:

a) Que influência a inversão **dos diodos** teria sobre o valor da tensão de saída?

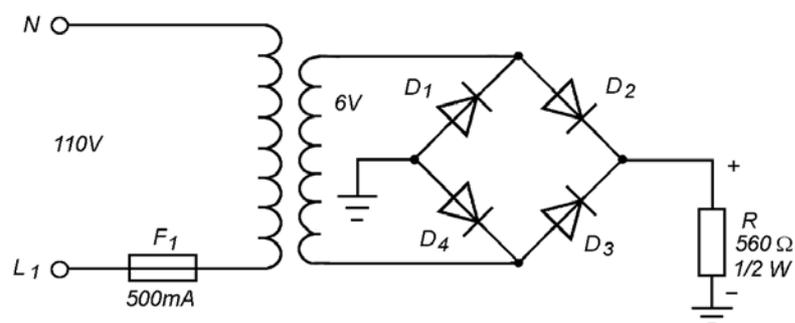
b) Que influência a inversão **dos diodos** teria sobre a polaridade da saída?

13. Desligue a chave S, observe as formas de onda na tela do osciloscópio, descreva e justifique o que aconteceu.

14. Desligue a alimentação CA do circuito.

15. Desmonte o circuito a partir do secundário do transformador.

16. Monte o circuito a seguir.



12. Determine o rendimento da retificação em ponte.

$$\eta = \frac{V_{CC}}{V_{CA}}$$

$\eta = \dots\dots\dots\%$

13. Responda:

a) A retificação de onda completa em ponte tem aproximadamente o mesmo rendimento da retificação com derivação central? Por quê?

b) Qual das duas retificações – meia onda ou onda completa aproveita melhor o transformador? Por quê?

14. Conecte o canal 1 do osciloscópio à carga. Como é a forma de onda da saída?

Observação

No osciloscópio duplo traço, não é possível observar simultaneamente a tensão CA no transformador e a tensão CC na saída, porque o terra do osciloscópio é comum aos dois canais.

Circuito retificador com filtro

Como já foi visto no capítulo anterior, os circuitos retificadores têm aplicação limitada porque fornecem uma corrente alternada pulsante na saída.

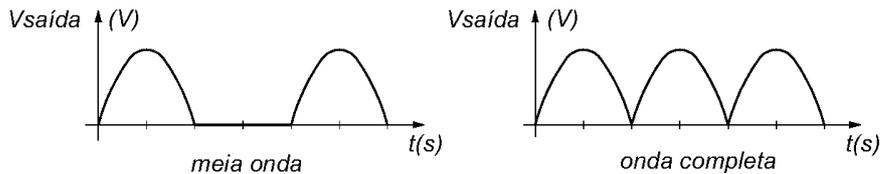
Para alimentar equipamentos eletrônicos com tensões contínuas tão puras quanto possível, utilizam-se filtros que são acrescentados aos circuitos retificadores. Isso torna a forma de onda na saída da fonte, mais próxima da corrente contínua.

A retificação com filtro é o assunto deste capítulo. Nele, serão estudadas as características e funcionamento desse tipo de circuito.

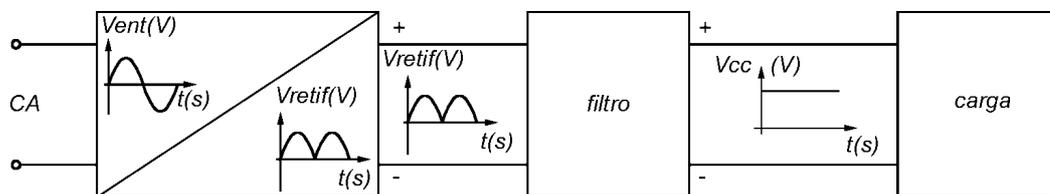
Para compreender com facilidade este assunto, é necessário possuir conhecimentos anteriores sobre armazenamento de cargas em capacitores, retificação de meia onda e retificação de onda completa.

Função do filtro

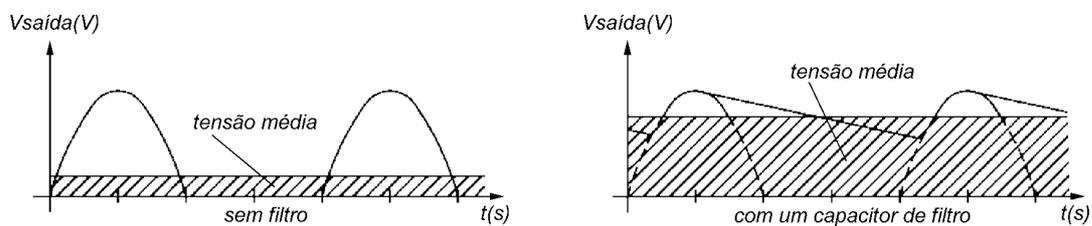
As tensões fornecidas pelos circuitos retificadores, tanto de meia onda quanto de onda completa são pulsantes. Embora tenham a polaridade definida, essas tensões sofrem constantes variações de valor, pulsando de acordo com a tensão senoidal aplicada ao diodo.



Nas fontes de alimentação, os filtros têm a função de **permitir a obtenção de uma CC mais pura**. Isso é obtido colocando-se filtros entre a retificação e a carga. Eles atuam sobre a tensão de saída dos circuitos retificadores aproximando tanto quanto possível a sua forma de onda a uma tensão contínua pura.



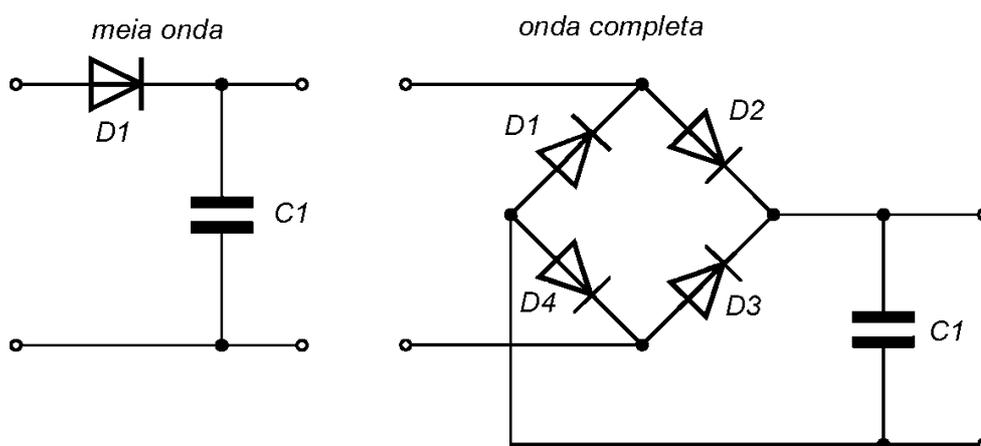
A presença de tensão sobre a carga durante todo o tempo, embora com valor variável, proporciona a **elevação do valor médio de tensão fornecido**.



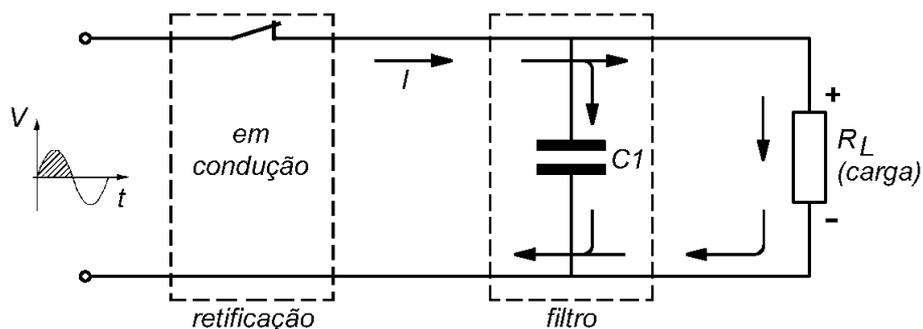
Capacitor como filtro

A capacidade de armazenamento de energia elétrica dos capacitores é utilizada para **realizar o processo de filtragem da tensão de saída** de circuitos retificadores.

O capacitor é conectado diretamente nos terminais de saída do circuito retificador como mostra a figura a seguir.

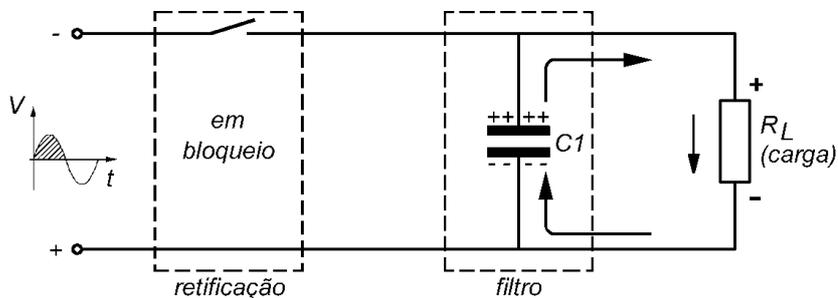


Nos intervalos de tempo em que o diodo conduz, circula corrente através da carga e também no capacitor. Neste período, o capacitor armazena energia.

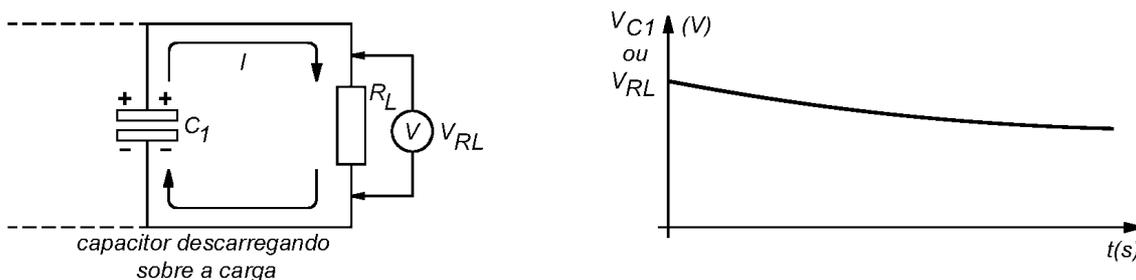


Nos intervalos de bloqueio do diodo, o capacitor tende a descarregar a energia armazenada nas armaduras.

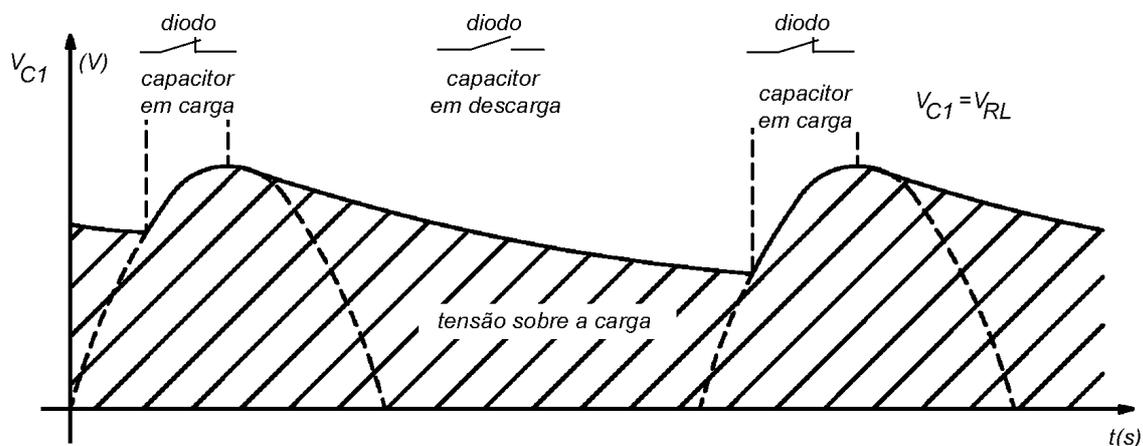
Como não é possível a descarga através da retificação, porque o diodo está em bloqueio, a corrente de descarga se processa pela carga.



A corrente absorvida pela carga é fornecida pelo capacitor. Com o passar do tempo, a tensão do capacitor diminui devido a sua descarga.



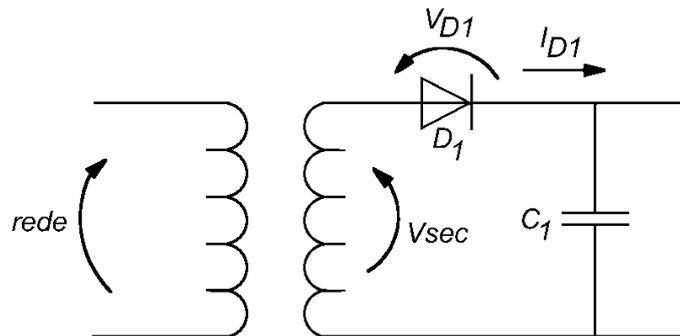
O capacitor permanece descarregado até que o diodo conduza novamente, fazendo uma recarga nas suas armaduras.



Com a colocação do capacitor, a carga passa a receber tensão durante todo o tempo. Isso aumenta o valor da tensão média de saída do circuito retificador.

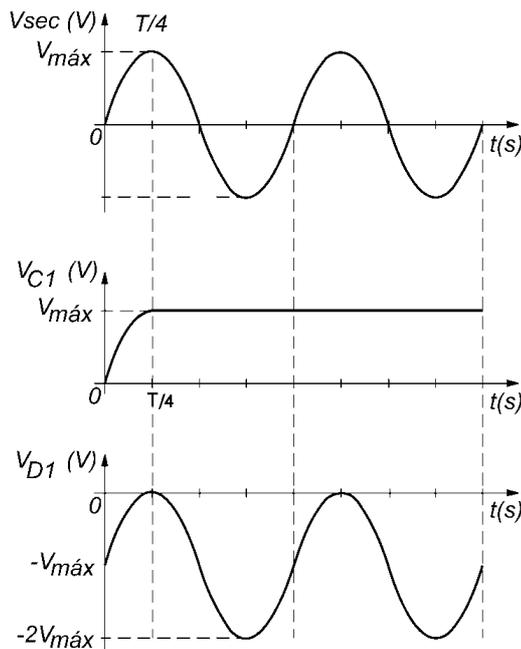
Retificação de meia onda com filtro a capacitor

O circuito a seguir mostra um retificador de meia onda com filtro a capacitor.



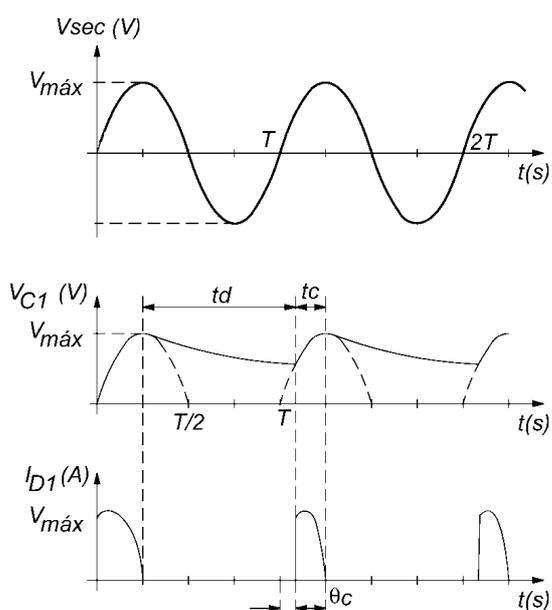
Durante o primeiro quarto de ciclo, o capacitor se carrega até o valor máximo da tensão de entrada.

Quando a tensão de entrada começa a diminuir, o capacitor deveria se descarregar. Todavia, o diodo não permite a passagem da corrente em sentido contrário. Assim, a carga no capacitor é mantida. Veja gráficos a seguir.



Deve ser observado que o diodo conduz apenas durante o quarto de ciclo inicial. Depois disso, a tensão sobre ele será igual a zero, enquanto que **a tensão reversa será o dobro da tensão máxima de entrada**.

Quando o diodo pára de conduzir, o capacitor se descarrega em R_1 de acordo com a constante de tempo R_1C . Veja gráfico a seguir.



t_d - tempo de descarga do capacitor na carga

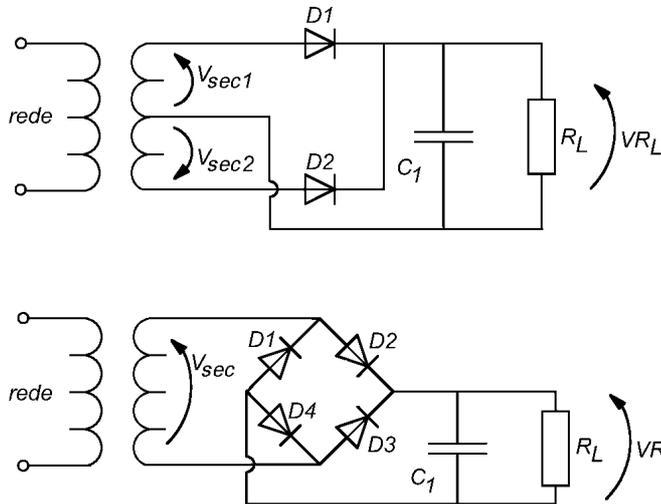
t_c - tempo de carga do capacitor

θ_c - tempo de condução do diodo

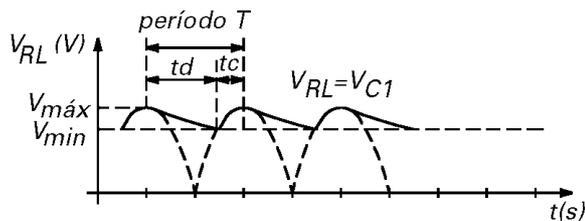
Observe que t_d (tempo de carga do capacitor) vai de t_2 a t_1 quando a tensão no catodo do diodo tende a se tornar menor do que a tensão no anodo. A partir desse instante, o diodo volta a ser diretamente polarizado e, portanto, volta a conduzir, repetindo o processo.

Retificação de onda completa com filtro a capacitor

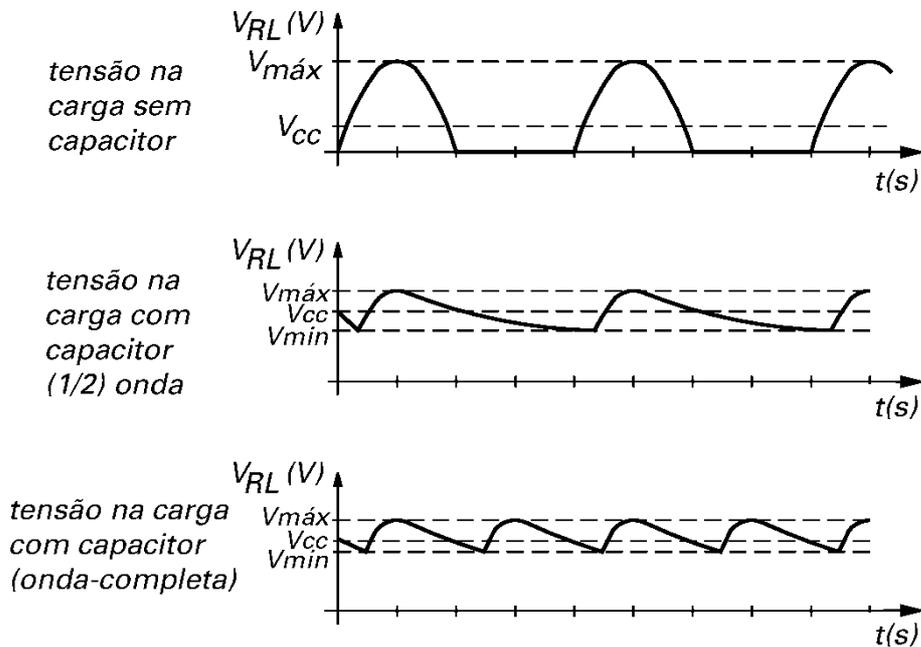
Os circuitos a seguir exemplificam retificadores de onda completa com derivação central e em ponte com filtro a capacitor.



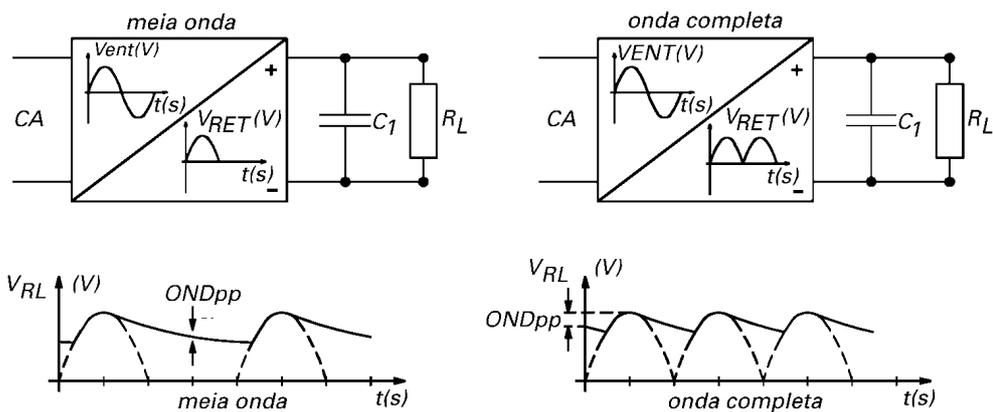
O funcionamento do circuito retificador de onda completa com filtro a capacitor é semelhante ao do retificador de meia onda. A forma de onda obtida é a mostrada no gráfico a seguir.



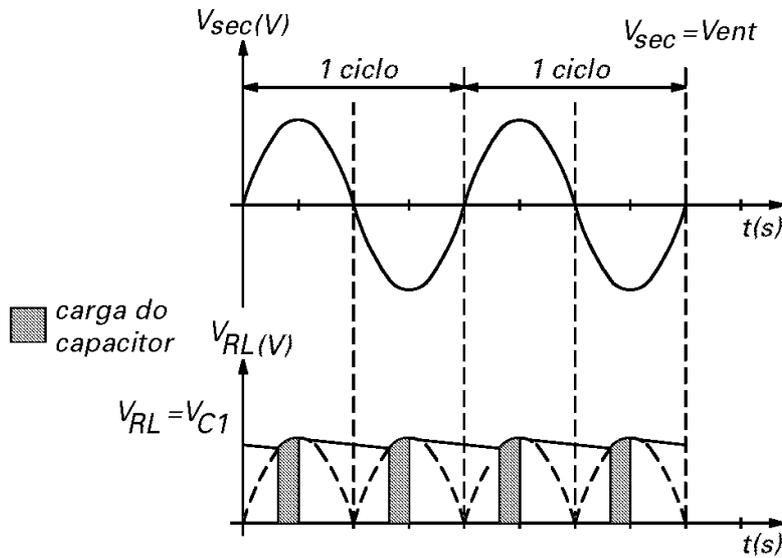
Compare nos gráficos a seguir a diferença dos níveis de tensão contínua nos circuitos retificadores já estudados. Os gráficos pertencem a circuitos com a mesma resistência de carga e um mesmo capacitor.



O tempo de carga do capacitor influencia na ondulação, pois, **quanto mais tempo o capacitor levar para descarregar, menor será a tensão em suas armaduras**. Por isso, para uma mesma carga e mesmo capacitor de filtro, os circuitos de onda completa têm menor ondulação.



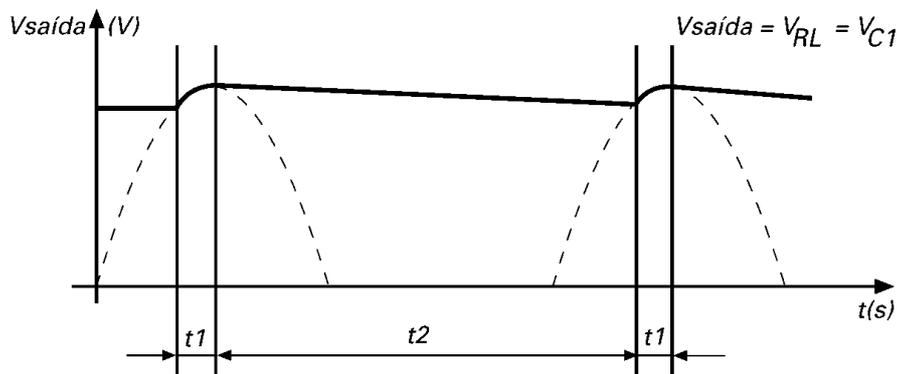
Em onda completa, o capacitor é carregado duas vezes a cada ciclo de entrada.



Tensão de ondulação

O capacitor colocado em um circuito retificador está sofrendo sucessivos processos de carga e descarga.

Nos períodos de condução do diodo o capacitor sofre carga e sua tensão aumenta, enquanto que, nos períodos de bloqueio se descarrega e a sua tensão diminui, como pode ser observado no gráfico a seguir.

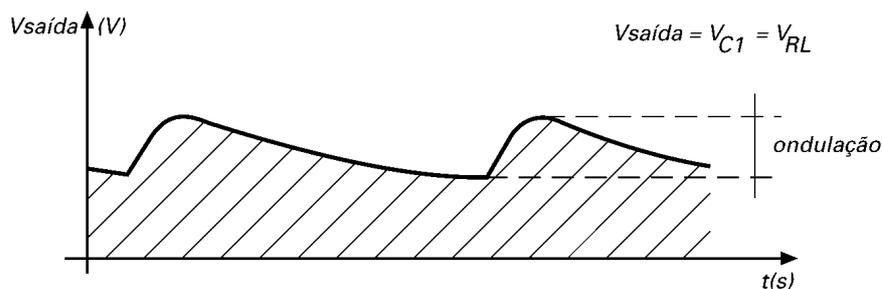


Onde:

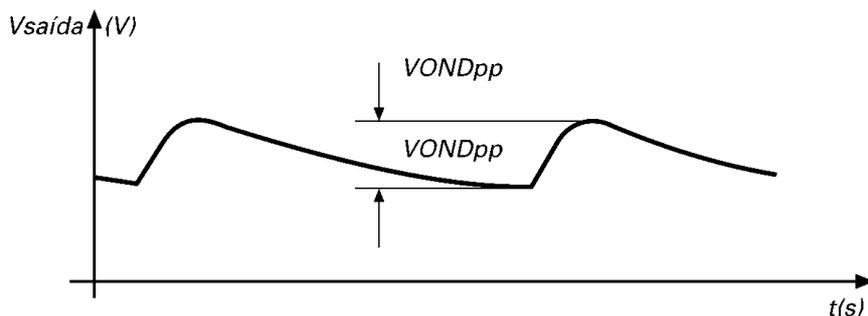
t_1 = Tempo em que o capacitor sofre carga (sua tensão aumenta);

t_2 = Tempo em que o capacitor se descarrega parcialmente sobre a carga (sua tensão diminui).

A forma de onda da tensão de saída não chega a ser uma contínua pura, apresentando uma variação entre um valor máximo e um mínimo, essa variação é denominada **ondulação ou ripple**.



A diferença de tensão entre o valor máximo e mínimo que a ondulação atinge é denominada de **tensão de ondulação de pico a pico**, representada por V_{ONDPP} .



Observação

A tensão de ondulação na saída de uma fonte também é denominada de componente alternada.

Determinação do capacitor de filtro

Devido à grande tolerância de valor dos capacitores eletrolíticos (até 50%), pode-se formular uma equação simplificada para o cálculo do valor do capacitor. A equação é:

$$C = T \cdot \frac{I_{MÁX}}{V_{ONDPP}}$$

Onde: **C** é o capacitor de filtro em F

T é o período aproximado de descarga do capacitor, de 16,6 ns para 60 Hz - meia onda e 8,33ns p/ 60Hz - onda completa;

I_{MÁX} é a corrente de carga máxima em mA;

V_{ONDPP} é a tensão pico a pico de ondulação em volts.

Observação

Esta equação pode ser usada para cálculo de capacitores de filtros para até 20% de ondulação de pico a pico (fator de ripple), sem introduzir um erro significativo.

Exemplo

Determinar um capacitor para ser usado em uma fonte retificadora de meia onda para tensão de saída de 12 V, corrente de 150 mA com ondulação de 2 V_{PP} (ou 17%).

$$C = T \cdot \frac{I_{MÁX}}{V_{ONDPP}} = \frac{16,6 \cdot 150}{2} = 1245 \text{ F}$$

C = 1245 F ou 0,001245 μF

Tensão de isolamento

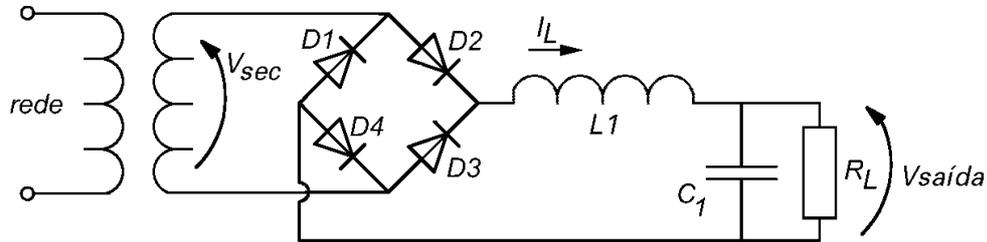
Além da capacitância, deve-se determinar também a tensão de isolamento do capacitor.

Essa tensão deve ser sempre superior ao maior valor de tensão sob a qual o capacitor irá realmente funcionar. Veja exemplo a seguir.

Tensão de saída (sobre o capacitor)	Tensão de isolamento (capacitor utilizado)
12 V	16 V
17 V	25 V
28 V	40 V

Outros filtros para retificadores de onda completa

A ilustração a seguir mostra um circuito retificador no qual a filtragem é realizada por um capacitor e um indutor.

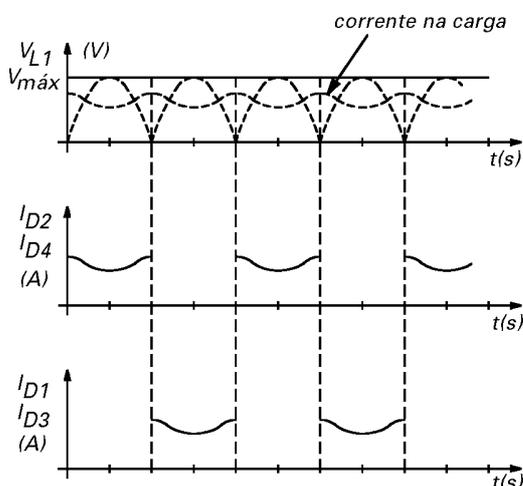


O indutor L em série com a célula LC garante uma filtragem melhor que a obtida nos circuitos retificadores que usam somente capacitor.

Isso acontece porque o atraso apresentado pela indutância em relação às variações de corrente faz com que a corrente de saída não sofra variações bruscas, mesmo que entre os terminais da indutância apareçam tensões variáveis de grande amplitude.

Se analisar o circuito dado, sem a resistência de carga, a corrente I_L só pode passar no sentido indicado. No circuito, o capacitor se carrega continuamente até que a tensão sobre ele seja igual ao **valor de pico ou $V_{MÁX}$** . Uma vez alcançado esse valor, a corrente deixa de fluir. Assim, ao ligar resistências de carga muito elevadas ao circuito, a tensão de saída será aproximadamente $V_{MÁX}$.

Ao reduzir a resistência, a corrente que flui pela indutância aumenta. Devido ao atraso apresentado pela indutância, essa corrente nunca se anula, o **que mantém os diodos sempre em condução**. Veja gráficos a seguir.



Observação

A corrente de pico nos diodos dos retificadores com filtro que usam indutor é menor que nos diodos dos retificadores que usam filtros a capacitor.

Limitação para o valor do indutor

Num circuito retificador com filtro de indutor e capacitor, o fator de ripple é dado por:

$$r = \frac{0,83}{L.C}$$

Nessa fórmula, L é dado em Henry e C em F.

Nesse mesmo tipo de circuito, o valor da tensão contínua na carga é dado por:

$$V_{CC} = 2 \cdot V_{MÁX}$$

$$I_{CC} = \frac{V_{CC}}{R_L}$$

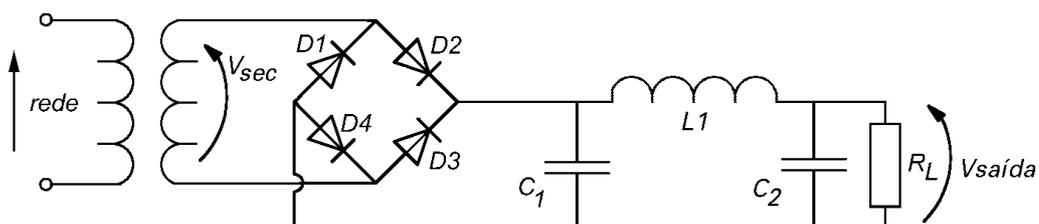
$$I_{PICO} = \frac{4 \cdot V_{MÁX}}{3 \cdot X_L} = \frac{2 \cdot V_{CC}}{3 \cdot X_L}$$

Na prática há limitações para o valor do indutor. Assim, para 60 Hz, temos:

$$L_{CRÍTICO} = \frac{R_L}{1113} \quad L_{ÓTIMO} = 2 \cdot L_{CRÍTICO}$$

Filtro RLC

O retificador com filtro RLC, ou seja, com dois capacitores e um indutor, fornece uma tensão CC na saída maior do que o retificador com filtro LC.



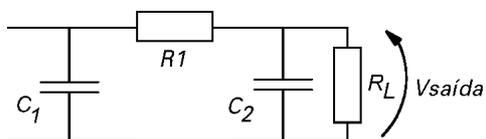
A tensão de saída fornecida é de aproximadamente $V_{MÁX}$.

$$V_{CC} = V_{MÁX} \left(1 - \frac{\pi}{Z \cdot 2\pi \cdot f \cdot RC} \right)$$

Nesse tipo de circuito, o fator de ondulação é bem pequeno:

$$r = \frac{3,3 \cdot 10^3}{C_1 \cdot C_2 \cdot L \cdot R_L}$$

Por economia, pode-se usar em alguns casos um resistor em lugar de um indutor, o que resultará num **filtro CRC** ou com resistor.

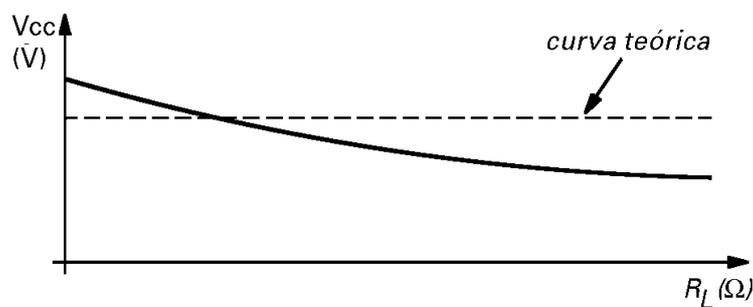


Nesse caso, o fator de ondulação é calculado por:

$$r = \frac{2,5 \cdot 10^6}{C_1 \cdot C_2 \cdot R \cdot R_L}$$

Regulação

Regulação é a **porcentagem** de variação da tensão de saída de uma fonte. A regulação é representada em um gráfico que relaciona a tensão média (V_{CC}) com os valores de resistência.

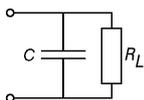
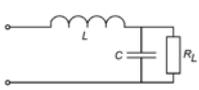
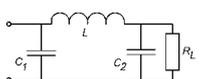
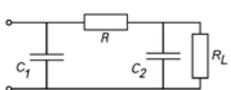


Em termos ideais, a regulação deve ser de 100%, porém na prática isso não acontece. Ela é calculada por:

$$\% \text{ de regulação} = \frac{V_{CC} \text{ em vazio} - V_{CC} \text{ com carga}}{V_{CC} \text{ com carga}}$$

Quadro comparativo

A seguir está um quadro comparativo entre os vários circuitos retificadores com filtro estudados neste capítulo.

Tipo	V_{CC}	Ripple	I_{PICO}	Circuito
RC	$\cong V_{MÁX}$	grande	grande	
L	$\cong 2 \cdot V_{MÁX} / \pi$	pequeno	baixa	
π	$\cong V_{MÁX}$	muito pequeno	grande	
π com R	$< V_{MÁX}$	pequeno	grande	

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) Qual a função de um filtro em um circuito retificador?

b) Qual é a forma mais comum de filtragem de uma tensão de saída em um circuito retificador?

c) Como ocorre a filtragem de uma tensão em um circuito retificador?

d) Qual o valor da tensão reversa na diodo quando está em bloqueio, em um circuito retificador de meia onda com filtro ?

e) O que é tensão de ondulação ou ripple?

2. Faça os esquemas dos circuitos:

a) Retificador monofásico de meia onda.

b) Retificador monofásico de onda completa.

c) Retificador monofásico de meia onda com filtro.

d) Retificador monofásico de onda completa com filtro.

e) Retificador monofásico de onda completa com filtro LC.

3. Resolva os seguintes exercícios:

a) Determine o capacitor necessário em um circuito retificador de meia onda, para uma tensão de saída de 24 V, corrente 200 mA, e uma ondulação de 4 V_{PP}.

b) Qual o valor do ripple em um circuito retificador de onda completa com filtro LC, onde a indutância utilizada é de 10 mH e o capacitor 2000 μF.

4. Preencha as lacunas com **V** para as afirmações **verdadeiras** e **F** para as afirmações **falsas**.

a) () O tempo de carga do capacitor influencia na ondulação da tensão de saída.

b) () Em um circuito retificador de onda completa com filtro, o capacitor é carregado duas vezes a cada ciclo de entrada.

c) () A tensão de isolação do capacitor deve ser igual a tensão sob a qual irá trabalhar.

d) () A regulação é o valor da capacitância de um capacitor utilizado como filtro.

e) () Em um circuito retificador com filtro LC, a tensão V_{CC} tem valor próximo a $V_{MÁX}$, corrente de pico e ripple de valor alto.

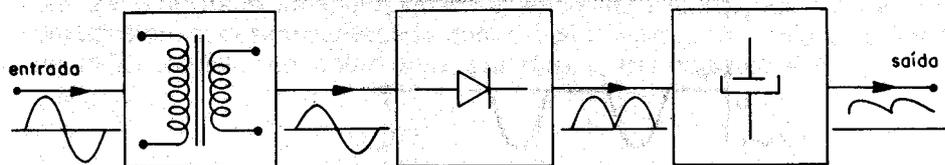
Retificação e filtragem capacitiva

Objetivo

- Verificar, experimentalmente, os circuitos retificadores e a atuação da filtragem capacitiva .

Introdução

Os circuitos que utilizam dispositivos semicondutores necessitam ser alimentados com tensões contínuas para a devida polarização. Para podermos aproveitar a rede elétrica , por se tratar de tensão alternada, necessitamos convertê-la em tensão contínua. Para tanto, utilizamos os circuitos retificadores que juntamente com os filtros, possibilitam obter nas saídas, tensões com características de contínua pura. Na figura temos esquematizado em blocos, um circuito retificador com filtro.



Pela figura, notamos que o primeiro estágio é constituído por um transformador para normalmente reduzir a tensão de entrada. No segundo estágio, através de circuitos com diodos, é feita a retificação do sinal alternado. No terceiro estágio o circuito de filtro, normalmente capacitivo, transforma a tensão contínua pulsante em contínua pura.

De maneira geral, os circuitos retificadores classificam-se em dois tipos, os

denominados de **meia onda** e os de **onda completa**.

Equações:

Meia onda:
$$V_{DC} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

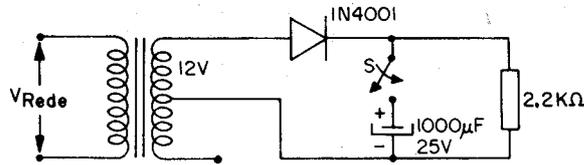
Onda completa:
$$V_{DC} = \frac{2 \cdot V_{m\acute{a}x}}{\pi}$$

Material Experimental:

- Gerador de funções
- Resistor: 2,2k ohm
- Diodos: IN4001 ou equivalente (quatro)
- Capacitor: 1000uf/25volts
- Osciloscópio
- Multímetro

Parte Prática:

1. Monte o circuito:



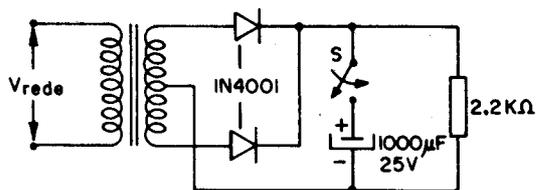
2. Com a chave s aberta (sem filtro), ligue o osciloscópio à saída, medindo $V_{m\acute{a}x}$ e VDC. Anote os valores e as formas de onda no quadro.

	Forma de onda	VDC osciloscópio	VDC mult
Sem filtro	$V_{m\acute{a}x}$:		
Com filtro	V_{rpp} :		

3. Com o multímetro, meça e anote no quadro, a tensão DC de saída.

4. Com a chave S fechado (com filtro), repita os itens 2 e 3 ,medindo , neste caso, V_{rpp} (tensão de ripple pico-a-pico). Anote os resultados no quadro.

5. Monte o circuito.



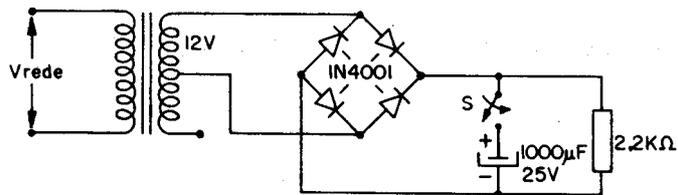
6. Com a chave s aberta, meça V_{max} e VDC o osciloscópio, anotando-os juntamente com a forma de onda , no quadro . Meça e anote também VDC com multímetro.

	Forma de onda	VDC osciloscópio	VDC mult
Sem filtro	$V_{m\acute{a}x}$:		

Com filtro	Vrpp:		

7. Com a chave S fechada, repita o item 6, medindo Vrpp e preenchendo o quadro.

8. Monte o circuito.



9. Repita os itens 6 e 7, preencha o quadro.

	Forma de onda	VDC osciloscópio	VDC mult
Sem filtro	Vmáx:		
Com filtro	Vrpp:		

Verificar o funcionamento do LED

Neste ensaio, você vai identificar os terminais de um LED; verificar seu comportamento quando polarizado diretamente; verificar as diferenças entre as tensões diretas nominais em função da coloração da luz emitida e, finalmente, determinar o resistor necessário para sua polarização correta.

Equipamentos

- multímetro analógico;
- fonte de CC ajustável;
- miliamperímetro de CC 0-100 mA.

Procedimento

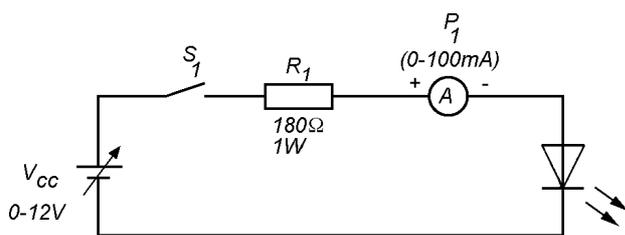
I – Verificar a queda de tensão em LEDs de cores diferentes

1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e *data book* de diodo emissor de luz.

2. Separe três LEDs com cores diferentes; vermelho, amarelo e verde.

3. Posicione a chave seletora do multímetro em R x 1.
4. Conecte as pontas de prova do multímetro aos terminais do diodo LED vermelho e registre, se houve condução ou bloqueio.
Medição 1 Ω
5. Inverta a ordem das pontas de prova nos terminais do LED. Registre se houve condução ou bloqueio.
Medição 2 Ω
6. O LED está em boas condições? Justifique.
 Sim Não
7. Repita o teste com os dois outros LEDs.
8. Com o multímetro, identifique o catodo dos LEDs.
9. Como se identifica os terminais do LED sem auxílio do multímetro?

10. Monte o circuito a seguir. Conecte o LED vermelho de forma que fique polarizado diretamente, conforme o esquema.



10. Ajuste a tensão da fonte V_{CC} em 0 V.
11. Ligue a chave S_1 do circuito.
12. Ajuste a tensão da fonte de forma a obter uma corrente de 20 mA no instrumento P.

13. O que acontece quando o LED é polarizado diretamente, na condição estipulada no passo anterior?

14. Meça a queda de tensão sobre o LED vermelho.

$V_F = \dots\dots\dots V$

15. Substitua o LED vermelho pelo amarelo. Repita os passos 12 e 13.

$V_F = \dots\dots\dots V$

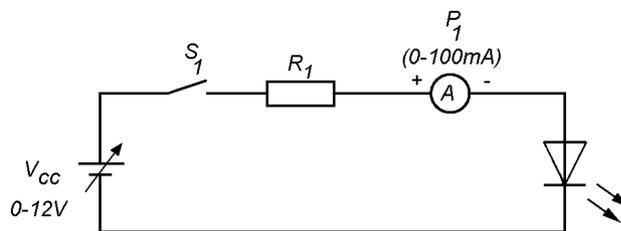
16. Substitua o LED amarelo pelo verde e repita os passos 12 e 13.

$V_F = \dots\dots\dots V$

17. O que foi observado com relação aos valores de V_F para cada cor de LED?

II – Cálculo do resistor de polarização do LED

1. Faça os cálculos para especificar o valor comercial do resistor necessário para acender os LEDs **verde** (R_1), **amarelo** (R_2) e **vermelho** (R_3), polarizados diretamente a uma fonte de 10 V_{CC} com $I_F = 20 \text{ mA}$.



$R_1 = \dots\dots\dots$

$R_2 = \dots\dots\dots$

$R_3 = \dots\dots\dots$

2. No circuito montado, abra S_1 e substitua R_1 por R_2 . Ajuste a fonte de alimentação para 10 V.

Observação

O LED do circuito é o **verde**.

3. Feche a chave S_1 e meça a corrente que circula pelo circuito para verificar se esse resistor foi dimensionado corretamente.

$I_{LED} = \dots\dots\dots$ mA

4. Desligue a chave S_1 , substitua o LED verde pelo amarelo e R_2 por R_3 .

5. Repita o passo 3.

$I_{LED} = \dots\dots\dots$ mA

6. Desligue a chave S_1 , substitua o LED amarelo pelo vermelho e R_2 por R_4 .

7. Repita o passo 3.

8. Desligue o circuito.

Diodo Zener

Objetivos:

Levantar a curva característica de um diodo zener.

Parte Prática

Material utilizado:

Fonte variável

Multímetro

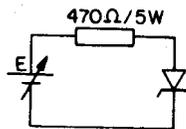
Resistor: $470\Omega/5w$

Diodo Zener: $5,6v/1w$

1. Meça com o ohmímetro e anote no quadro, a resistência direta e reversa do diodo Zener.

R Direta	
R Reversa	

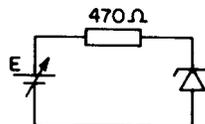
2. Monte o circuito



3. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma, a ter no diodo os valores de tensão do quadro. Para cada caso, meça e anote a corrente no circuito.

VD(v)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
ID									

4. Inverta a polaridade do diodo, conforme o circuito.



5. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma , a ter nos diodos os valores de corrente do quadro. Para cada caso, meça e anote o valor da tensão no diodo.

Id (mA)	0	5	10	15	20	25	30	35	40
VD(V)									

Questões:

1. Com os dados obtidos nos quadros, construa a curva característica do diodo zener $I=f(V)$.
2. Para o diodo Zener usado na experiência, calcule $I_{zm\acute{a}x}$ e I_{zmin} .
3. Pode um diodo retificador ser usado como zener? Por quê?
4. Para um diodo zener ser usado como diodo retificador? Por quê?

Verificar o funcionamento do diodo Zener

O diodo zener, usado em conjunto com um resistor, faz com que uma fonte de CC forneça tensão constante à carga.

Neste ensaio, você vai levantar a curva característica direta e inversa de um diodo zener. Vai analisar também o funcionamento do diodo zener como regulador de tensão em um circuito CC.

Equipamentos

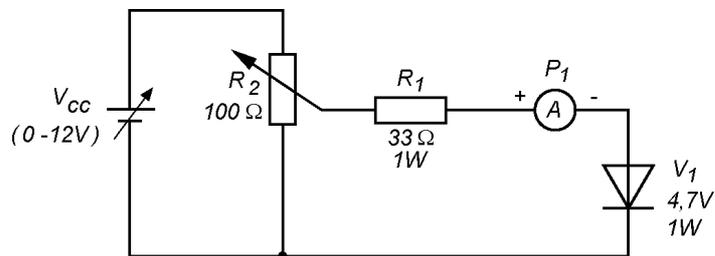
- multímetro digital;
- fonte de CC ajustável;
- miliamperímetro CC;
- ferro de soldar 30 W.

Procedimento

1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e data book de diodos zener.

I – Levantar a curva característica de um diodo zener

1. Monte o circuito a seguir.



2. Conecte o multímetro digital sobre o diodo zener.

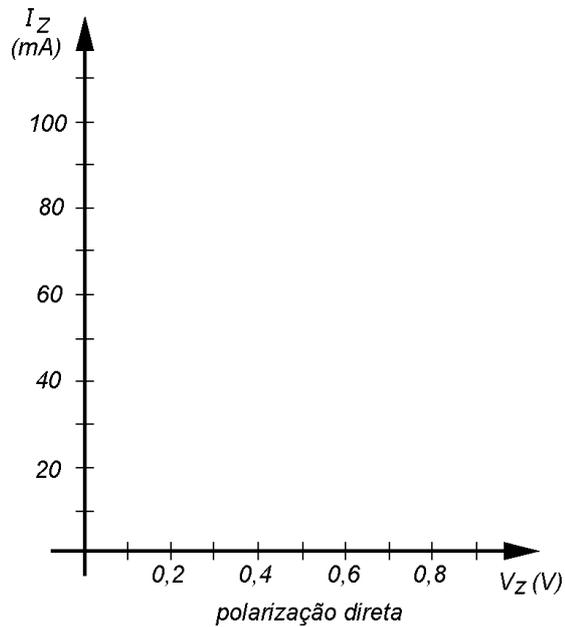
Observação

Ponta de prova positiva no anodo do diodo zener).

3. Ajuste a fonte de forma a obter os valores de tensão solicitados na tabela a seguir.
4. Leia a corrente no instrumento e anote na tabela, a corrente correspondente às tensões ajustadas.

Diodo zener – Polarização direta	
Tensão no diodo – V_Z (V)	Corrente no diodo – I_Z (mA)
0,1	
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	
0,65	
0,7	

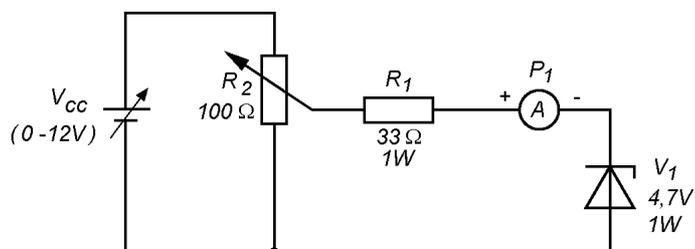
5. Coloque os valores tensão e corrente zener da tabela no gráfico a seguir.



6. Compare a curva de condução do diodo zener com a curva de condução de um diodo retificador. Faça um comentário.

7. Desligue a fonte.

8. Inverta a polaridade do diodo zener no circuito, conforme esquema a seguir.



9. Conecte o multímetro digital sobre o diodo zener.

10. Ajuste a fonte lentamente observando o multímetro e o miliamperímetro, até que a circulação de corrente no circuito seja iniciada.

11. Responda:

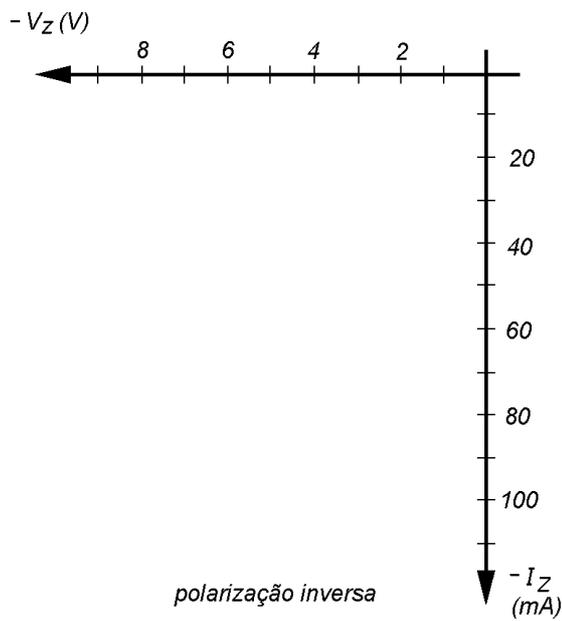
a) Em que valor de tensão sobre o diodo zener inicia a condução de corrente?

b) Como se comporta o zener até que a tensão sobre o diodo atinja o valor citado na questão anterior?

12. Ajuste a fonte de tensão de forma a obter os valores de corrente indicados na tabela a seguir. Anote os valores de tensão obtidos para em cada valor de corrente.

Diodo zener – Polarização inversa	
Corrente no diodo – I_z (mA)	Tensão no diodo – V_z (V)
0	de 0 V aV
20	
40	
60	
80	
100	

13. Coloque os valores tensão e corrente zener da tabela no gráfico a seguir.



14. Responda:

a) O diodo zener utilizado para o ensaio é ideal? Por quê?

b) O que acontece com a tensão sobre o diodo zener depois que se inicia a circulação de corrente inversa?

c) Analisando o gráfico, qual a variação de V_Z quando I_Z varia de 30 a 70 mA?

$\Delta V_Z = \dots\dots\dots$ V para $\Delta I_Z = 40$ mA

d) O maior valor de corrente da tabela está próximo de I_Z máximo? Lembre-se de que o zener é de 4,7 V – 1 W)

() Sim () Não

e) Qual é o valor de I_{ZMAX} ?

$I_{ZMAX} = \dots\dots\dots$

15. Ajuste a fonte de tensão de forma a obter 30 mA de corrente.

16. Aproxime o ferro de soldar do diodo zener por alguns segundos (sem tocá-lo) e observe o multímetro.

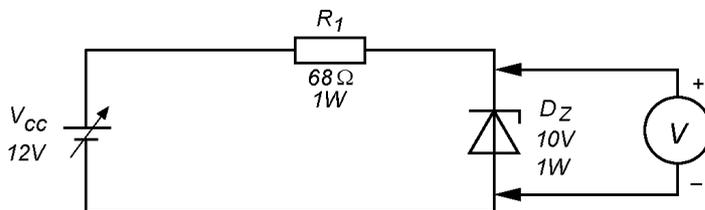
17. Responda:

a) A tensão zener depende da temperatura do componente?

() Sim () Não

b) O coeficiente de temperatura do zener é positivo ou negativo?

18. Monte o circuito a seguir.



19. Ligue a fonte e ajuste para 12 V_{CC} .

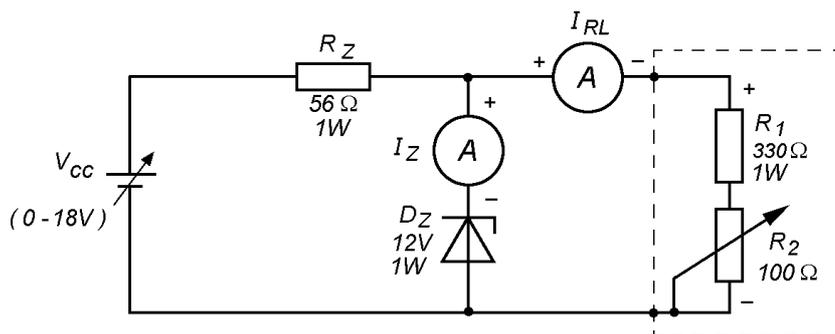
a) Qual é a tensão zener do diodo indicada pelo multímetro?

$V_Z = \dots\dots\dots$ V

20. Aqueça o diodo, aproximando o ferro de soldar por alguns segundos e observe a leitura no multímetro. O diodo tem coeficiente de temperatura positivo ou negativo? Por quê?

II - Verificar o comportamento do circuito regulador de tensão com diodo zener

1. Monte o circuito a seguir.



2. Ajuste o potenciômetro para resistência média (50 Ω).
3. Ajuste a tensão de saída da fonte para 16 V_{CC} .
4. Meça a tensão sobre a carga (V_{RL} , condição normal). ($R_L = R_1 + R_2$)
 $V_{RL} = \dots\dots\dots V$
6. Meça a tensão sobre o resistor limitador da corrente de zener (resistor *shunt*).
 $V_{RZ} = \dots\dots\dots V$
7. Analisando os valores de V_{CC} , V_Z e V_{RZ} , o que se pode dizer sobre a relação entre os três valores?
8. Calcule o valor da potência que R_Z está dissipando.
9. Meça a corrente do diodo zener.
 $I_Z = \dots\dots\dots mA$
9. Meça a corrente de carga.

$I_{RL} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

10. Qual deve ser a corrente no resistor limitador?

$I_{RZ} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

11. Ajuste a tensão de saída da fonte para 18 V_{CC} .

12. Meça a tensão sobre a carga.

$V_{RL} = \dots\dots\dots \text{ V}$

13. Meça a tensão sobre o resistor limitador

$V_{RZ} = \dots\dots\dots \text{ V}$

14. Leia e anote os valores de I_Z e I_{RL} .

$I_Z = \dots\dots\dots \text{ mA}$ $I_{RL} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

15. Qual deve ser a corrente no resistor?

$I_{RZ} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

16. Ajuste a tensão da fonte de alimentação para 14 V_{CC} .

17. Meça e anote os valores de V_{RL} , V_{RZ} , I_Z e I_{RL} .

$V_{RL} = \dots\dots\dots \text{ V}$ $V_{RZ} = \dots\dots\dots \text{ V}$
 $I_Z = \dots\dots\dots \text{ mA}$ $I_{RL} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

18. Qual deve ser a corrente do resistor *shunt*?

$I_{RZ} = \dots\dots\dots \text{ mA}$

19. Desligue a fonte.

20. Com os dados dos passos 5 a 18, preencha a tabela a seguir.

Tensão de entrada	Carga		Tensão V_{RZ}	Corrente zener $I_Z - (\text{mA})$	Corrente $I_{RZ} - (\text{mA})$
	V_{RL}	I_{RL}			

14 V					
16 V					
18 V					

21. Com base nos dados da tabela, responda:

a) O que se pode dizer em relação à tensão sobre a carga com o aumento da tensão de entrada?

b) O que acontece com a tensão sobre o resistor limitador R_Z quando a tensão de entrada aumenta?

c) Como se comporta a tensão sobre a carga quando a tensão de entrada diminui?

d) Qual é o componente que absorve as variações de tensão de entrada do circuito?

22. Ligue e ajuste a fonte para 16 V_{CC} .

23. Ajuste o potenciômetro para resistência mínima (corrente de carga máxima).

24. Meça a tensão sobre a carga.

$V_{RL} = \dots\dots\dots V$

25. Leia e anote os valores de I_Z e I_{RL} .

$I_Z = \dots\dots\dots$ mA $I_{RL} = \dots\dots\dots$ mA

26. Ajuste o potenciômetro para resistência máxima (corrente de carga mínima). Meça e anote os valores de V_{RL} , I_Z e I_{RL} .

$V_{RL} = \dots\dots\dots$ V $I_Z = \dots\dots\dots$ mA $I_{RL} = \dots\dots\dots$ mA

27. Desligue a fonte de tensão.

28. Passe para a tabela a seguir os valores dos passos 24 a 26 e os valores correspondentes à carga normal.

Corrente de carga	Carga		Corrente no zener I_Z (mA)	Corrente total $I_Z + I_{RL}$ (mA)
	V_{RL}	I_{RL}		
I_{RL} máximo				
I_{RL} mínimo				

29. Analise a tabela acima e responda:

a) Como se comporta a tensão sobre a carga quando a corrente de carga aumenta?

b) O que acontece com a corrente do zener quando a corrente de carga aumenta?

c) O que se pode afirmar sobre a corrente no resistor limitador ($I_{RZ} + I_{RL}$) quando a carga é normal e quando a carga é máxima?

d) Como se comporta a tensão sobre a carga com o aumento da corrente consumida? Justifique sua resposta com base na comparação de valores de corrente no resistor limitador na condição normal e na condição mínima.

e) Qual componente compensa as variações de corrente de carga?

30. Determine a corrente máxima que o diodo zener de 12 V – 1 W pode suportar.

$$I_{ZMÁX} = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

31. Determine o valor de $I_{ZMÍNIMO}$ que deve circular no diodo para que a tensão zener permaneça constante.

$$I_{ZMÍN} = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

32. Em algum passo do ensaio os valores de $I_{ZMÁX}$ e $I_{ZMÍN}$ foram alcançados?

Traçar a curva característica do diodo Zener

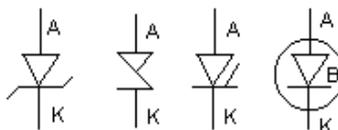
Objetivos:

- Traçar a curva característica do diodo Zener.

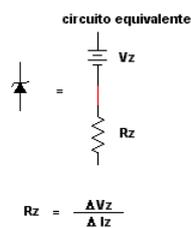
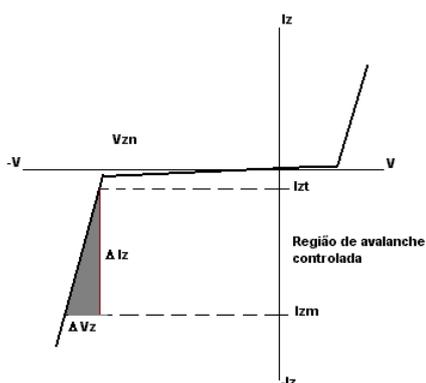
Introdução

Os diodos retificadores e de pequeno sinal nunca devem operar intencionalmente na região de ruptura porque isto pode danificá-los. Um diodo zener é diferente; é um diodo de silício que o fabricante otimiza para trabalhar na região de ruptura. Em outras palavras, ao contrário dos diodos comuns que nunca trabalham na região de ruptura, os diodos zener trabalham melhor nesta região. Às vezes chamado diodo de ruptura, o diodo zener é a parte mais importante dos reguladores de tensão, circuitos que mantêm a tensão da carga praticamente constante apesar das grandes variações na tensão da rede e da resistência de carga.

Alguns símbolos elétricos utilizados:



Curva característica do dispositivo (gráfico I-V)



V_{ZN} → Tensão zener nominal;

I_{ZT} → Corrente zener de teste;

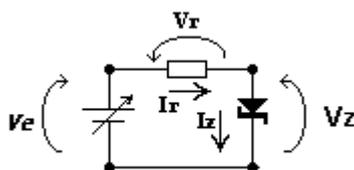
I_{ZM} → Corrente zener máxima.

Parte Experimental

1. Meça com o multímetro na posição de teste de diodo e anote no quadro abaixo a tensão direta e reversa do diodo.

V_{direta}	
V_{reversa}	

2. Monte o circuito da figura abaixo.



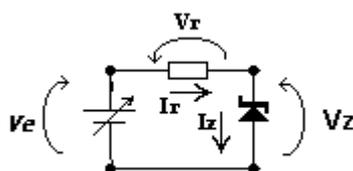
Onde $R = 470\Omega$ e $V_z = 5,5V$.

3. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma a Ter no diodo os valores de tensão do quadro abaixo. Para cada caso, meça e anote a corrente no circuito.

V_D desejado (V)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
V_D obtido (V)									
I_D (mA)									

4. Comparando o comportamento do diodo Zener quando polarizado diretamente com o comportamento de um diodo retificador também polarizado diretamente, a qual conclusão pode-se chegar.

5. Inverta a polaridade do diodo conforme a figura abaixo. Mantenha $R = 470\Omega$.



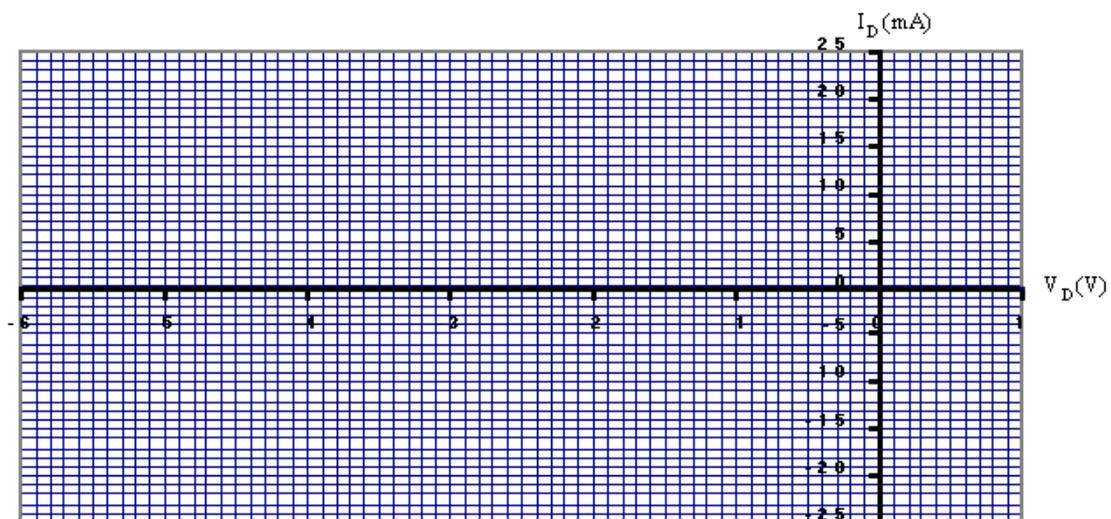
6. Varie a tensão da fonte monitorando com o multímetro a corrente no circuito, anote em que valor de tensão **sobre o diodo** inicia-se a condução de corrente.

7. Ajuste a tensão da fonte, de tal forma a ter no diodo os valores de corrente do quadro abaixo. Para cada caso, meça e anote a tensão no diodo.

I_D desejado (mA)	0	5	10	15	20	25
I_D medido (mA)						
V_D (V)						

Questões

1. Com os dados obtidos nos itens 3 e 7 construa a curva para este diodo
2. Um diodo retificador pode ser utilizado com um diodo zener? Porque?



3. Um diodo zener pode ser utilizado como um diodo retificador? Porque?

Diodo zener como regulador de tensão

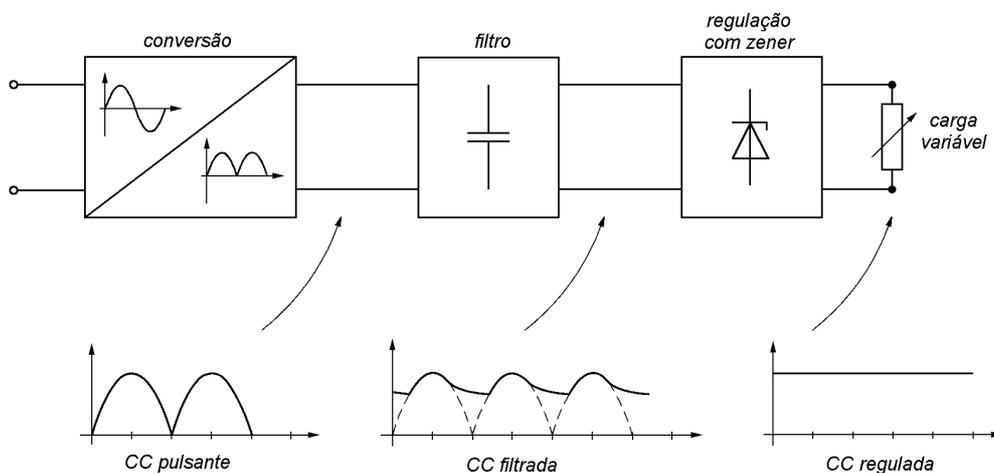
A maior aplicação do diodo zener reside na regulação da tensão de saída de fontes de alimentação. Através da utilização do diodo zener em conjunto com um resistor, pode-se conseguir que uma fonte de CC forneça tensão constante para a carga.

Este capítulo apresenta o circuito regulador de tensão com diodo zener e explica seu funcionamento.

Para ter sucesso no desenvolvimento dos conteúdos e atividades deste capítulo, você já deverá ter conhecimentos relativos ao diodo zener.

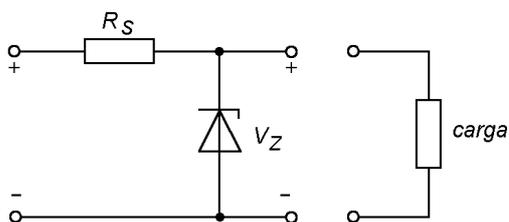
Diodo zener como regulador de tensão

As características de comportamento do diodo zener na região de ruptura permitem que o componente seja utilizado em circuitos que possibilitam **a obtenção de uma tensão regulada** a partir de fontes que forneçam tensões variáveis ou mesmo com cargas de consumo variável.



Para que o diodo zener seja utilizado como regulador de tensão, é necessário que a tensão da fonte (V) seja maior que a tensão zener de ruptura (V_Z). Para isso, deve-se usar sempre um resistor R_S em série com o diodo zener a fim de limitar sua corrente a um nível abaixo de sua corrente especificada. Esse resistor é denominado **resistor shunt**.

Veja a configuração característica de um circuito regulador de tensão com diodo zener na figura a seguir.



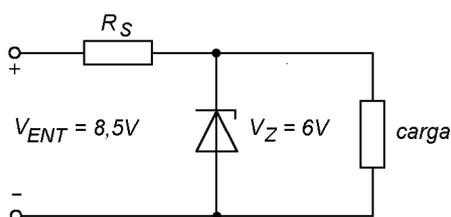
Observação

A tensão sobre a carga é a mesma do diodo zener porque a carga e o diodo estão em paralelo.

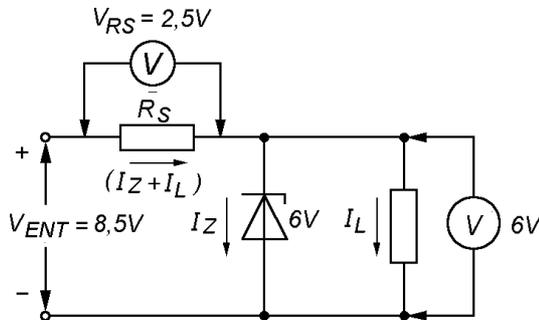
Funcionamento do circuito regulador

Para que seja possível efetuar a regulação, o circuito regulador com diodo zener deve receber na **entrada uma tensão no mínimo 40 % maior** que o valor desejado na saída. Assim, se a tensão desejada de saída é 6V, o circuito regulador deve utilizar um diodo zener com $V_Z = 6V$ e tensão de entrada de pelo menos 8,5 V.

A aplicação dessa tensão de entrada superior à tensão de ruptura do diodo zener coloca o componente na região de ruptura. Assim, a tensão sobre o zener assume o valor característico (V_Z).



Nessa condição, a corrente circula através da carga e do diodo. As correntes do zener e da carga somadas circulam através do resistor limitador (R_S). Essas correntes provocam uma queda de tensão sobre o resistor, cujo valor é exatamente a diferença entre a tensão da entrada e a tensão do zener, ou seja, $V_{RS} = V_{ENT} - V_Z$.



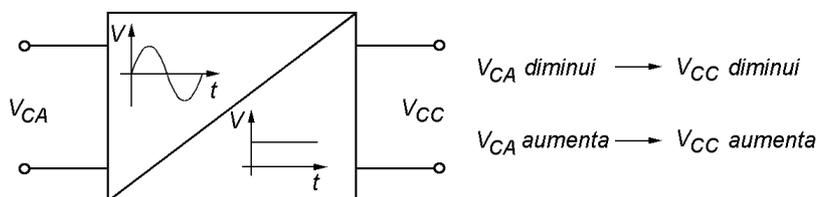
Condições de regulação

A partir da condição normal de funcionamento do circuito, são possíveis três situações distintas:

- regulação de tensão quando a tensão de entrada está sujeita a variações;
- regulação de tensão quando o consumo de corrente de carga pode ser variável;
- regulação de tensão quando a tensão de entrada e a corrente de carga variam.

Regulação de tensão com tensão de entrada variável

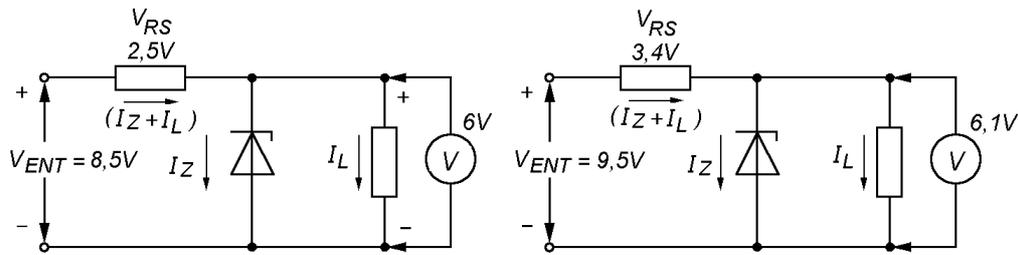
A regulação de tensão com tensão de entrada variável é muito comum em circuitos eletrônicos alimentados pela rede elétrica CA. Nesse caso, a tensão fornecida pelas fontes retificadoras varia proporcionalmente em relação à tensão de entrada.



Quando ocorre um **aumento na tensão de entrada**, esse aumento tende a se transferir para a carga. Nesse caso, o zener em paralelo com a carga mantém

constante a tensão na carga. A **resistência dinâmica do zener diminui** e permite a circulação de um valor de corrente zener maior ($V_Z = R_Z \cdot I_Z$).

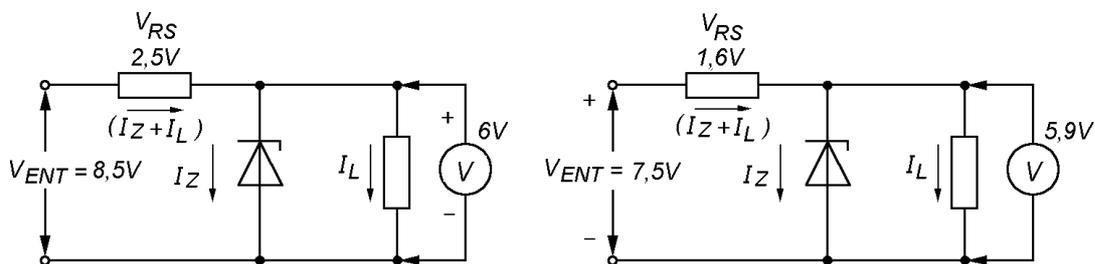
A soma das correntes do zener e da carga ($I_Z + I_{RL}$) circula no resistor limitador. Com o aumento na corrente do zener, aumenta também a corrente no resistor limitador ($I_L + I_Z = I_{RS}$).



Com o acréscimo da corrente no resistor limitador, a ddp aumenta e isso compensa o aumento na tensão de entrada.

Quando há uma **redução na tensão de entrada**, o zener se comporta de forma inversa: a diminuição da tensão da entrada **aumenta** a resistência do diodo e isso faz a **corrente do zener diminuir**.

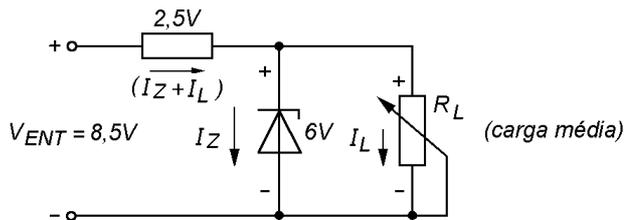
Com a diminuição de I_Z , a corrente que circula no resistor limitador ($I_Z + I_{RL}$) se reduz. Isso provoca a redução na queda de tensão no resistor limitador, compensando a redução na tensão de entrada.



Nos circuitos apresentados, verifica-se que a tensão sobre a carga permanece praticamente constante (entre 5,9 V e 6,1 V) mesmo que a tensão de entrada varie significativamente (de 7,5 V para 9,5 V).

Regulação de tensão com corrente de carga variável

As variações de tensão de alimentação em função da corrente de carga ocorrem principalmente devido às características dos filtros utilizados nas fontes retificadoras. A variação na tensão de ondulação na saída das fontes, provoca alterações na tensão fornecida em função da corrente consumida pela carga. Num circuito na condição normal, considerando-se que a tensão de entrada seja constante, pode-se afirmar que a tensão sobre o resistor limitador é constante.



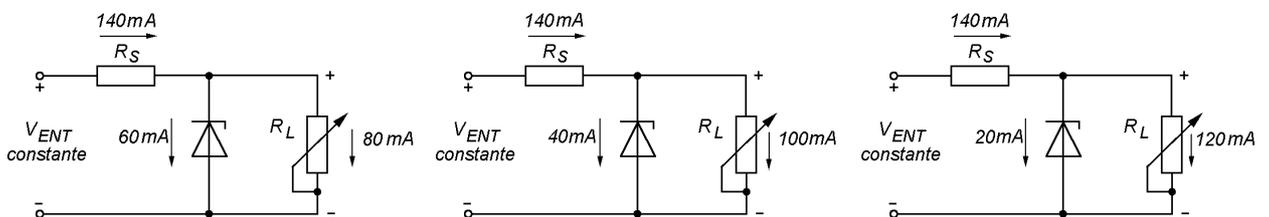
Isso implica em que a corrente que circula através do resistor limitador tenha um valor constante independente das variações da carga, ou seja:

$$V_{ENT} \Rightarrow \text{Constante} \quad V_{RS} \Rightarrow \text{Constante} \quad I_{RS} \Rightarrow \text{Constante}$$

Quando a **corrente de carga aumenta, a corrente no zener diminui** porque a soma de $I_Z + I_{RL}$ é sempre constante.

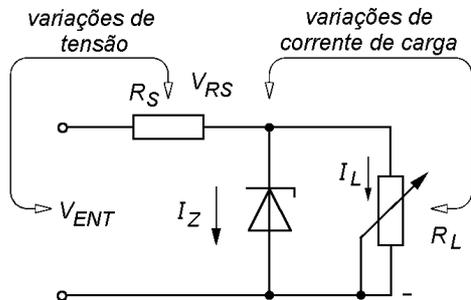
Quando a **corrente de carga diminui, a corrente no zener aumenta**. Isso faz a corrente no limitador permanecer constante.

Os diagramas a seguir ilustram o comportamento do circuito com aumento e redução de I_{RL} .



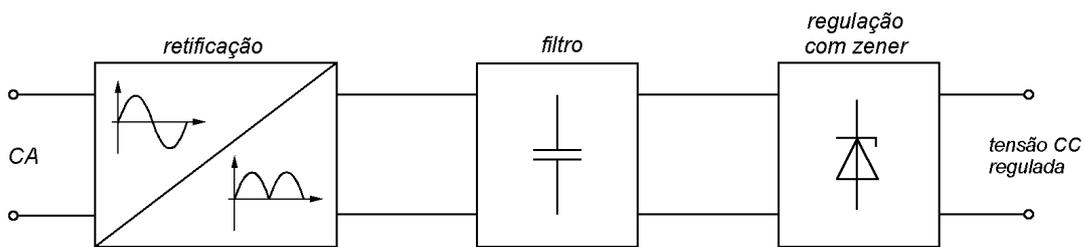
Regulação de tensão com corrente de carga e tensão de entrada variáveis

Nessa condição, as variações de tensão de entrada aparecem sobre o resistor limitador e as variações de corrente de carga se traduzem em variações na corrente do zener.



Fonte de alimentação com tensão de saída regulada

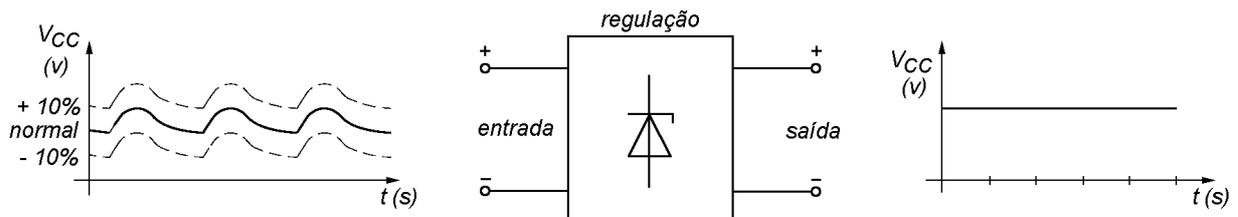
Uma fonte de alimentação com tensão de saída regulada por diodo zener compõe-se basicamente de três blocos.



No estágio da retificação (geralmente de onda completa), a CA é transformada em CC pulsante.

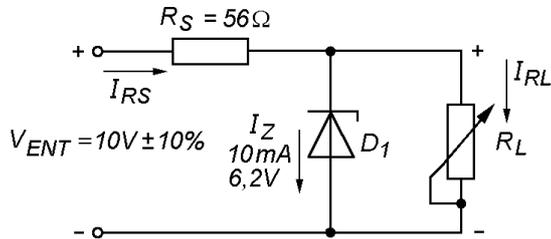
O estágio de filtragem aproxima a forma de onda da tensão de saída à da CC.

O estágio de regulação recebe a tensão filtrada que contém uma ondulação e que varia em função da carga e da CA de entrada e entrega na saída uma tensão constante.



Exemplo de dimensionamento dos valores mínimo e máximo de R_L

No circuito a seguir, serão calculados o maior e o menor valor que a carga pode ter para que as características de regulação sejam mantidas, quando se conhece os valores de R_S e do zener (V_Z).



Dados:

- $V_{ENT} = 10 \text{ V} \pm 10 \%$
- $R_S = 56 \ \Omega$
- Zener: $V_Z = 6,2 \text{ V}$

$$I_{ZMIN} = 10 \text{ mA} = 0,01 \text{ A}$$

$$P_{ZMÁX} = 400 \text{ mW}$$

$$I_{ZMÁX} = \frac{P_{ZMÁX}}{V_Z} = \frac{400}{6,2} = 64,5$$

$$I_{ZMÁX} = 64,5 \text{ mA}$$

a) Cálculo da corrente I_{RS} e da potência dissipada por R_S :

$$V_{ENTMÁX} = 10\text{V} + 10\% = 10 \text{ V} + 1,0 \text{ V} = 11 \text{ V}$$

$$I_{RS} = \frac{V_{ENTMÁX} - V_Z}{R_S} = \frac{11 - 6,2}{56} = 0,0857 \text{ A}$$

$$I_{RS} = 85,7 \text{ mA}$$

$$P_{RS} = R_S \cdot I_{RS}^2 = 56 \cdot 0,0857^2 = 0,411 \text{ W}$$

$$P_{RS} = 411 \text{ mW}$$

O resistor de $56 \ \Omega$ poderá ser de $\frac{1}{2} \text{ W}$ que é o valor comercial maior que o escolhido. Para que ele trabalhe a frio, esse valor deverá ser de 1 W .

b) Cálculo de R_L máximo:

$$I_{RLMÍN} = I_{RS} - I_{ZMÁX} = 85,7 - 64,5 = 21,2$$

$$I_{RLMÍN} = 21,2 \text{ mA}$$

$$V_{RL} = V_Z = 6,2 \text{ V}$$

$$R_{LMÁX} = \frac{V_{RL}}{I_{RLMÍN}} = \frac{6,2}{0,0212} = 292,4\Omega$$

Observação

Para a proteção do zener, o valor de $R_{LMÁX}$ escolhido de um resistor encontrado no comércio deverá ser inferior ao calculado, ou seja, 270Ω .

c) Cálculo de R_L mínimo:

$$V_{ENTMÍN} = 10 \text{ V} - 10\% = 10 \text{ V} - 1,0\text{V} = 9 \text{ V}$$

$$I_{RLMÁX} = \left(\frac{V_{ENTMÍN} - V_Z}{R_S} \right) - I_{ZMÍN} = \left(\frac{9 - 6,2}{56} \right) - 0,01 = 0,04$$

$$I_{RLMÁX} = 40 \text{ mA}$$

$$R_{LMÍN} = \frac{V_{RL}}{I_{RLMÁX}} = \frac{6,2}{0,04} = 155\Omega$$

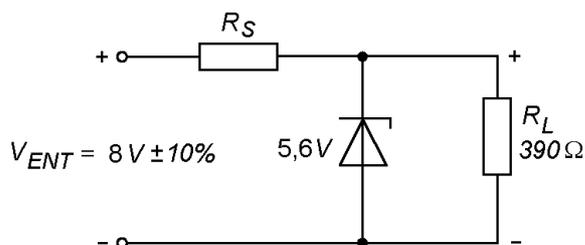
Observação

Para a proteção do zener, o valor comercial de $R_{LMÍN}$ escolhido deverá ser inferior ao calculado, ou seja, 180Ω .

Com os valores dados para o resistor limitador e para o zener, o circuito poderá ter uma carga entre 180Ω e 270Ω .

Exemplo de dimensionamento de R_S

No circuito a seguir, será calculado o valor de R_S para um circuito estabilizador alimentado com $8 \text{ V} \pm 10\%$ que utiliza um zener de $5,6 \text{ V} - 1 \text{ W}$.



a) Cálculo de $I_{ZMÁX}$ e $I_{ZMÍN}$:

$$I_{ZMÁX} = 178,6 \text{ mA}$$

$$I_{ZMÍN} = 0,1 \cdot I_{ZMÁX} = 0,1 \cdot 0,1786 = 0,01786 \text{ A}$$

$$I_{ZMÍN} = 17,86 \text{ mA}$$

b) Dimensionamento de R_S :

$$R_{SMÍN} = \frac{V_{ENTMÁX} - V_Z}{I_{ZMÁX}} = \frac{8,8 - 5,6}{0,1786} = 17,9\Omega$$

$$R_{SMÁX} = \frac{V_{ENTMÍN} - V_Z}{I_{ZMÍN}} = \frac{7,2 - 5,6}{0,01786} = 8,6\Omega$$

O valor de R_S a ser escolhido deverá ficar entre os dois valores calculados.

$$R_{SMÍN} < R_S < R_{SMÁX}$$

R_S usado: 47Ω

$$P_{RS} = R_S \cdot I_{ZMÁX}^2 = 47 \Omega \cdot 0,1786^2 = 1,5 \text{ W}$$

$$P_{RS} = 1,5 \text{ W}$$

R_S adotado = $47 \Omega / 2 \text{ W}$.

Com o valor de R_S , calcula-se a máxima corrente de saída e a máxima variação possível de entrada para uma carga de 390Ω .

c) Cálculo de $I_{RLMÁX}$

$$I_{RLMÁX} = \left(\frac{V_{ENTMÍN} - V_Z}{R_S} \right) - I_{ZMÍN} = \left(\frac{7,2 - 5,6}{47} \right) - 0,01786 = 0,0162 \text{ A}$$

$$I_{RLMÁX} = 16,2 \text{ mA}$$

d) Cálculo da variação da tensão de entrada

$$I_{RL} = \frac{V_{RL}}{R_L} = \frac{5,6}{390} = 0,0143 \text{ A}$$

$$I_{RL} = 14,3 \text{ mA}$$

$$V_{ENTMÍN} = R_S \cdot (I_{ZMÍN} + I_{RL}) + V_Z$$

$$V_{ENTMÍN} = 47 \cdot (0,01786 + 0,0143) + 5,6 = 7,1 \text{ V}$$

$$V_{ENTMÁX} = R_S \cdot (I_{ZMÁX} + I_{RL}) + V_Z$$

$$V_{ENTMÁX} = 47 \cdot (0,1786 + 0,0143) + 5,6 = 14,7 \text{ V}$$

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) Qual é a principal função do diodo zener em um circuito?

b) Quais são as possíveis situações de regulação de tensão em um circuito regulador de tensão com diodo zener em condição normal?

2. Faça o esquema de um circuito regulador de tensão utilizando um diodo zener.

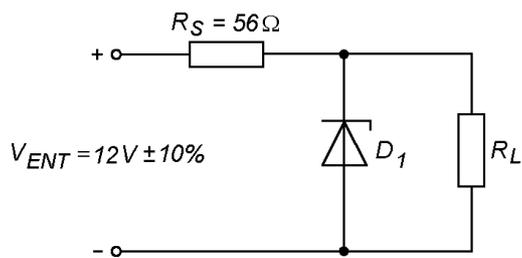
3. Resolva os seguintes exercícios:

a) Calcule os valores máximo e mínimo da carga R_L no circuito que segue.

Dados do diodo zener : $V_Z = 6,8 \text{ V}$

$$I_{Z\text{MÍN}} = 15 \text{ mA}$$

$$P_{Z\text{MÁX}} = 400 \text{ mW}$$



b) Especifique o resistor R_S para um circuito estabilizador com uma tensão de entrada de $12 \text{ V} \pm 10 \%$, com um diodo zener de $7,5 \text{ V} - 1,3 \text{ W}$. Faça o esquema elétrico do circuito.

4. Relacione a segunda coluna com a primeira.

- | | |
|---------------------------------|---|
| a. Aumento de tensão na entrada | () Resistência do zener aumenta |
| b. Redução na tensão de entrada | () Corrente no zener aumenta |
| c. Aumento na corrente de carga | () Resistência do zener diminui |
| d. Redução na corrente de carga | () Corrente no zener permanece constante |
| | () Corrente no zener diminui |

Testar transistor bipolar

Nesta prática, você vai testar as junções dos transistores bipolares por meio de polarização direta e inversa, produzida pela bateria interna do ohmímetro.

Após os testes, você deverá ser capaz de identificar quais são os tipos dos transistores medidos, se estão em boas condições de funcionamento e, se for o caso, quais os defeitos encontrados a partir dos dados de medição.

Equipamentos

- multímetro digital;
- multímetro analógico;
- fonte de CC ajustável.

Procedimento

1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e data books de transistores bipolares.

2. Para verificar a polaridade das pontas de prova do multímetro analógico na escala de resistência, selecione a escala R x 10 do multímetro analógico.

Observação

A ponta de prova vermelha deve ser conectada ao borne + (positivo) e a ponta de prova preta ao borne – (negativo) ou **com**, do multímetro.

- 3. Meça tensão presente nas pontas de prova do multímetro analógico utilizando o multímetro digital a e anote suas polaridades.

Tensão =V

Polaridade das pontas de prova:

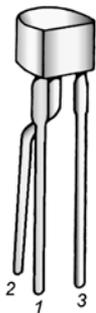
Preta

Vermelha

Observação

Como você já estudou, as junções BC e BE do transistor se comportam como dois diodos, e a base é o terminal comum desses diodos. Esses “diodos” devem ser testados na polarização direta (baixa resistência) e na inversa (alta resistência) em relação à base, se as junções estiverem boas.

- 4. Pegue um transistor em bom estado e numere seus terminais de 1 a 3 conforme a figura que segue.



- 5. Fixe uma ponta de prova do multímetro no terminal 1 do transistor e com a outra ponta de prova meça a resistência entre os terminais 1 e 2 e 1 e 3.

$R_{1e2} = \dots\dots\dots \Omega$

$R_{1e3} = \dots\dots\dots \Omega$

- 6. Passe a ponta de prova que estava no terminal 1 para o terminal 2 e meça a resistência entre os terminais 2 e 1 e 2 e 3.

$R_{2e1} = \dots\dots\dots \Omega$

$R_{2e3} = \dots\dots\dots \Omega$

- 7. Finalmente, transfira a ponta de prova que estava no terminal 2 para o terminal 3 e meça as resistências entre 3 e 1 e 3 e 2.

$$R_{3e1} = \dots\dots\dots \Omega$$

$$R_{3e2} = \dots\dots\dots \Omega$$

8. Analise as medições efetuadas e separe o terminal comum dos outros dois que apresentam a mesma medida. Esse terminal é a base do transistor.

Observação

Sabendo que o cristal da base está entre os outros dois cristais (coletor e emissor) e que é ela quem auxilia na identificação do transistor (PNP ou NPN), podemos determinar seu tipo considerando a polaridade da ponta de prova no terminal comum determinado no passo 2. Assim, se a ponta de prova do terminal comum for a **positiva**, o transistor será **NPN**. Se a ponta de prova do terminal comum for a **negativa**, o transistor será **PNP**.

9. Assinale o tipo de transistor medido e desenhe seu símbolo no espaço ao lado.

() NPN

() PNP

10. Repita o teste completo em todos os transistores (bons) e anote de que tipo é cada transistor.

T2 =

T3 =

T4 =

T5 =

T6 =

T7 =

T8 =

11. Para identificar os transistores defeituosos, pegue um deles e realize os testes, verificando o seu defeito. Anote o tipo de defeito: curto em junção ou abertura de junção. Repita o teste com os outros transistores.

Transistor 1 =

Transistor 2 =

Transistor 3 =

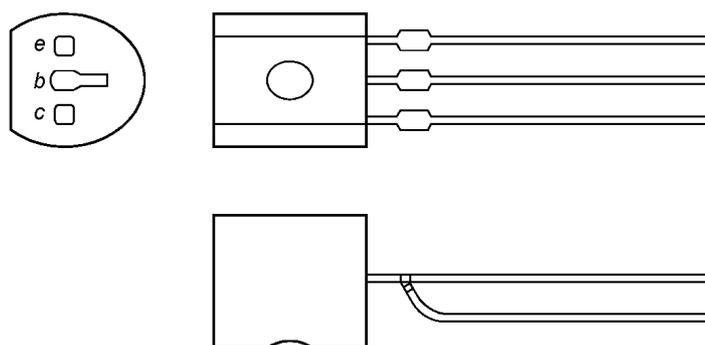
Transistor 4 =

Características do transistor bipolar

O transistor, por ser um componente muito versátil, apresenta diversas características técnicas e construtivas que devem ser conhecidas pelo usuário. Neste capítulo serão estudadas algumas dessas características.

Identificação dos terminais

A identificação dos terminais do transistor deve ser feita com o auxílio de um manual ou folheto técnico específico fornecido pelo fabricante ou com o multímetro analógico. A figura a seguir mostra a posição dos terminais de um transistor, como é mostrada em um folheto técnico.



Com o auxílio do multímetro analógico, também é possível identificar os terminais e o tipo de transistor em perfeito estado de que se dispõe.

Assim, para identificar a **base** do transistor, deve-se lembrar que ela é aquele terminal que, em relação aos outros (emissor e coletor) fornece duas medidas simétricas:

inicialmente duas resistências baixas (ou altas) e, ao inverter as polaridade das pontes de prova, duas resistências altas (baixas).

Para realizar a identificação, procede-se da seguinte maneira:

- a) Coloca-se a escala do ohmímetro em R x 1.
- b) Liga-se o terminal + da bateria do aparelho no terminal do transistor que se supõe ser a base e o terminal – nos outros dois terminais do transistor, em seqüência. Dois valores de resistência mais ou menos iguais são obtidos: resistência infinita (∞) ou resistência baixa (aproximadamente 30 Ω).
- c) Inverte-se os terminais das pontas de prova, isto é, coloca-se o terminal – da bateria do aparelho na suposta base e o terminal + nos outros dois, em seqüência. Dois valores de resistência mais ou menos iguais serão obtidos: resistência baixa (aproximadamente 30 Ω) ou resistência infinita (∞).
- d) Se nas quatro medições feitas anteriormente, duas a duas, foram encontrados valores simétricos, o terminal que se supõe ser a base, realmente o é. Caso contrário, outro terminal deverá ser escolhido e nova seqüência de medições deverá ser realizada.

Observação

Se não se puder obter, de maneira alguma, duas medidas simétricas, nas quatro medições feitas, isso significa que o transistor está danificado.

Para identificar o **tipo de transistor**, ou seja, se ele é NPN ou PNP, coloca-se o pólo positivo da bateria do ohmímetro na base (anteriormente identificada) e o pólo negativo em qualquer um dos outros dois terminais. Se o aparelho indicar resistência baixa, o transistor é **NPN**. Caso contrário, ou seja, se a resistência for infinita (∞), o transistor é **PNP**.

Para identificar o **coletor** e o **emissor** do transistor, procede-se da seguinte maneira:

- a) Coloca-se a escala do ohmímetro em R x 10 K.
- b) Liga-se o terminal + da bateria do ohmímetro no terminal do transistor que se supõe ser o coletor e o terminal – no que se supõe ser o emissor, se o transistor for **NPN**. Faz-se o **oposto** se o transistor for **PNP**.

- c) Se o transistor for NPN, e se for encontrado um valor de resistência infinita (∞), o terminal positivo da bateria estará conectado no **coletor** do transistor. Se o transistor for PNP e o valor infinito estiver no terminal negativo, este será o **coletor**.

Observação

Se, ao colocar o dedo entre a base e o coletor do transistor, a resistência lida passar a apresentar um valor baixo, o transistor está em boas condições.

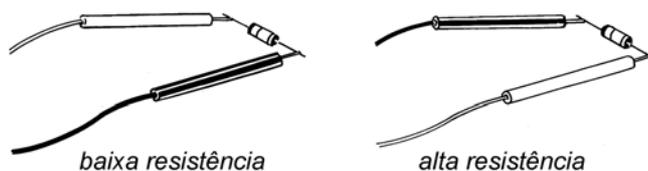
- d) Se, após ligar os terminais da bateria conforme o item b, o valor de resistência encontrado for baixo, o terminal positivo da bateria do ohmímetro, no caso de um transistor NPN (ou negativo, se o transistor for PNP) estará ligado ao emissor do componente.

Teste do transistor bipolar

Existem equipamentos destinados especificamente ao teste de transistores. Porém, usando-se um multímetro, é possível testar o transistor e detectar seus defeitos mais comuns, que são: o curto e a abertura na junção PN.

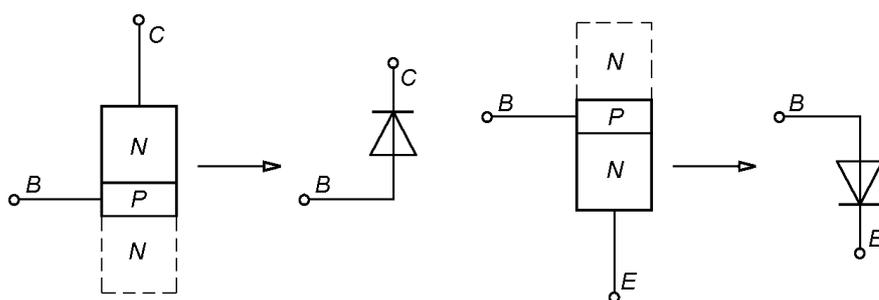
O teste é realizado da mesma forma utilizada com um diodo, ou seja:

- primeiro, identifica-se o tipo do transistor;
- após a identificação, realiza-se o teste como mostra a figura a seguir.



Através das leituras é possível detectar se a junção PN está em curto ou aberta.

Ao analisar a estrutura dos transistores, observa-se que entre a base e o coletor forma-se uma junção PN que, **para fins de teste**, pode ser tratada como um diodo. Da mesma forma, entre base e emissor, forma-se outra junção PN que, também **para fins de teste**, pode ser tratada como um diodo.



Portanto, para fins de teste, o transistor pode ser tratado como dois diodos ligados em oposição.

A partir desse dado, é possível afirmar que: testar um transistor é verificar se existe curto-circuito ou abertura entre cada par de terminais (BC, BE, CE).

Testes das junções

Estes testes indicam se há curto-circuito ou abertura das junções PN entre base-emissor e base-coletor.

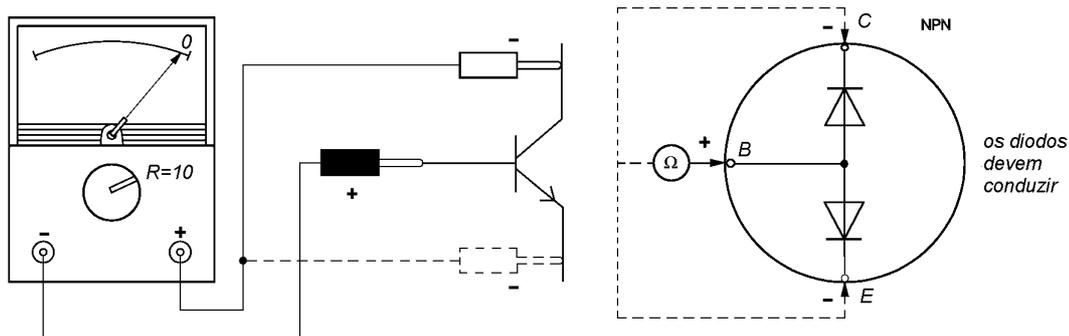
Observação

A polaridade apresentada nas pontas de prova das próximas figuras corresponde à polaridade real do instrumento, ou seja, ponta de prova preta (+) e ponta de prova vermelha (-).

Os testes apresentados a seguir têm como base um transistor NPN.

Teste de abertura das junções

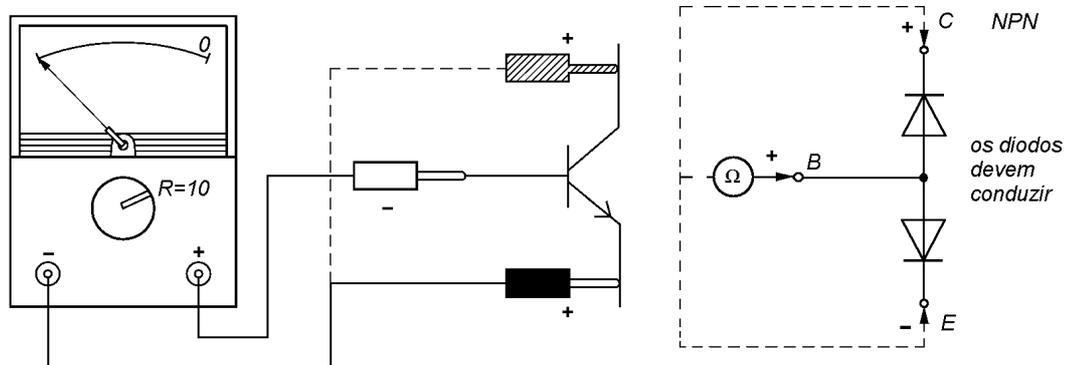
Com potencial positivo aplicado à base (ânodo dos "diodos"), o instrumento deve indicar que existe continuidade entre base-coletor e base-emissor. Nesta indicação, pode-se afirmar que não existe junção aberta (BC ou BE).



Se houver uma junção aberta (BC ou BE), o instrumento indicará resistência altíssima ou infinita.

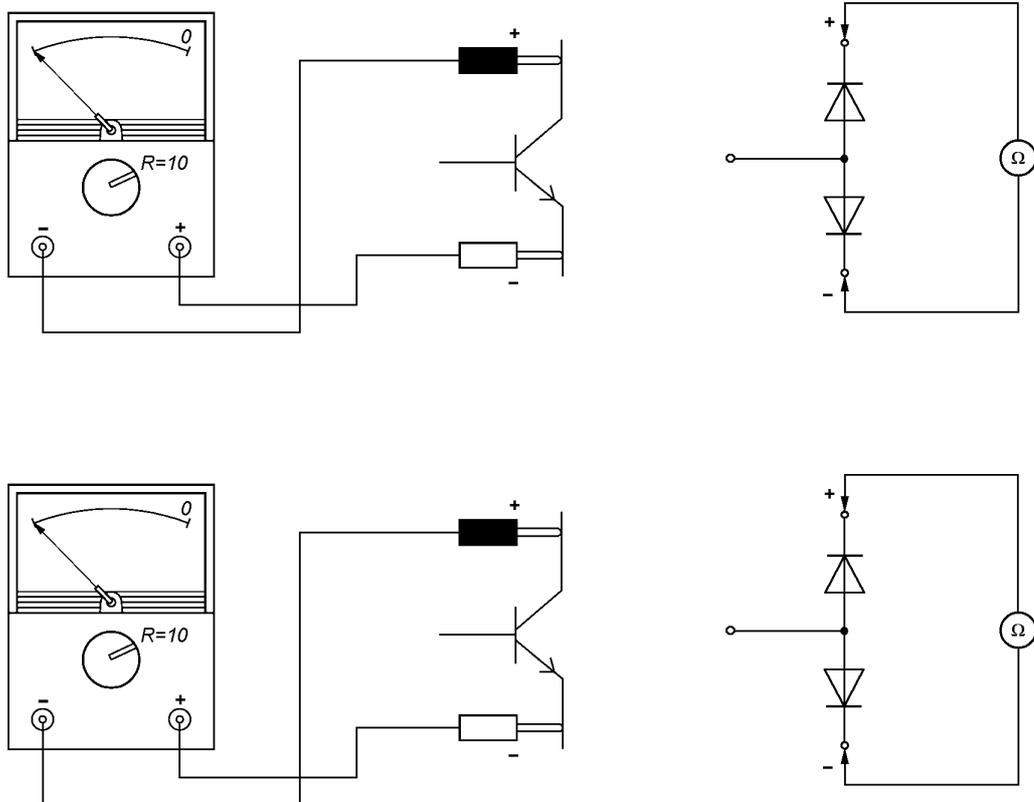
Teste de curto-circuito nas junções

A polaridade aplicada aos "diodos" é tal que deve fazer com que eles bloqueiem, indicando alta resistência. Se isso ocorrer, pode-se afirmar que não existe curto entre base-coletor e base-emissor.



Se houver uma junção em curto, o instrumento indicará baixa resistência.

Para testar as condições entre os terminais coletor-emissor procede-se conforme figuras a seguir.



Este teste deve apresentar alta resistência nas duas medições.

Observação

Todos os testes devem ser feitos na escala R x 10 e o transistor deve estar desconectado de qualquer circuito.

As partes metálicas das pontas de prova não devem ser tocadas para evitar erros no teste.

Defeitos comuns nos transistores

As junções base-coletor e base-emissor, nos testes são consideradas como diodos. Assim, devem indicar condução em um sentido e bloqueio no outro, quando se invertem as pontas de prova sobre os terminais do transistor.

Quando se realiza um teste com multímetro, os defeitos detectados nos transistores são:

- curto-circuito em uma junção;
- abertura de uma junção;
- curto ou fuga entre coletor e emissor.

O **curto-circuito em uma junção** é detectado quando o teste de uma das junções mostra **condução** nos dois sentidos.

A **abertura de uma junção** é detectada quando o teste em uma das junções indica bloqueio nos dois sentidos. Isso significa que houve rompimento na ligação entre as duas pastilhas semicondutoras, o transistor está danificado.

O **curto** ou a **fuga entre coletor e emissor** são detectados quando qualquer uma das medidas entre coletor e emissor provoca um movimento do ponteiro do ohmímetro (em escala R x 10).

O teste com o multímetro não permite detectar alterações das características no transistor. Porém, se o transistor não passar no teste com o multímetro, é possível garantir que ele está danificado.

Todavia, se o transistor passar no teste, há ainda a possibilidade de que existam alterações nas suas características que não podem ser detectadas no teste e que o torna impróprio para funcionar no circuito.

Encapsulamento

Encapsulamento é o nome dado ao invólucro dos materiais semicondutores, inclusive para os transistores. Ele tem a função de garantir resistência mecânica ao componente, pois o cristal semicondutor é muito frágil e apresenta dimensões muito pequenas.

Os encapsulamentos, que apresentam diversos formatos, são fabricados de epoxi ou

Características: corpo totalmente metálico eletricamente ligado ao coletor

Resistência térmica: $R_{thja} 60^{\circ}\text{C/W}$

Exemplo típico: transistor 2N3055

É importante observar que, em um único tipo de encapsulamento, é possível existir vários posicionamentos dos terminais. A maneira mais simples para se determinar esses terminais é por meio de uma tabela de especificações ou ficha técnica.

Tabela de especificações

As tabelas fornecem uma série de dados sobre os transistores tais como: polaridade, tensão máxima entre coletor e emissor, corrente máxima, potência total, frequência máxima, ganho, aplicação.

Para interpretar esses dados com mais facilidade, deve-se conhecer os símbolos mostrados na tabela a seguir.

Significado dos símbolos

V_{CEO} : Tensão coletor-emissor (base aberta)	V_{CBO} : Tensão base-coletor
I_C : Corrente contínua de coletor (emissor aberto)	I_{CM} : Valor de pico da corrente de coletor
P_{tot} : Potência dissipada total	T_{amb} : Temperatura ambiente
T_{mb} : Temperatura da base de montagem	f_T : Frequência de transição
h_{FE} : Ganho em corrente contínua	h_{fe} ou β : Ganho em corrente alternada
$f_{h_{fe}}$: Frequência na qual h_{fe} cai de 3dB	V_{DS} : Tensão dreno-fonte
I_{DSS} : Corrente de dreno	

Códigos de designação de semicondutores

Os diversos tipos de dispositivos semicondutores (dentre eles os transistores) são identificados por meio de códigos compostos por letras e números.

Os códigos usados pelos fabricantes nacionais são baseados em códigos de fabricantes europeus. Constituem-se de duas ou três letras seguidas por um número de dois ou três algarismos.

Os códigos que apresentam duas letras e três algarismos (de 100 a 999) pertencem a dispositivos semicondutores geralmente empregados em aparelhos eletrônicos domésticos.

Os códigos que apresentam três letras e dois algarismos (de 10 a 99) pertencem a dispositivos semicondutores geralmente utilizados em equipamentos industriais e profissionais de alta confiabilidade.

A primeira letra do código indica o material semicondutor do qual o componente é fabricado, ou seja:

- A - germânio (Ge);
- B - silício (Si);
- C - arseneto de gálio (GAAS) ou arseneto de fósforo e gálio (GAASP);
- D - antimoneto de índio (Inse);
- R - materiais para células fotocondutoras.

A segunda letra do código indica o tipo de dispositivo e sua aplicação:

- A - diodos detetores de comutação e misturadores;
- B - diodos de capacidade variável (VARICAP);
- C - transistores para AF (áudio-freqüência), baixo sinal;
- D - transistores para AF de potência;
- E - diodo-túnel;
- F - transistores para RF (rádio-freqüência), baixo sinal;
- L - transistores para RF de potência;
- N – fotoacopladores;
- P - fotodiodos e fototransistores (dispositivos sensíveis à radiação);
- Q - LED (dispositivo gerador de radiação);
- R - tiristores para comutação de baixa potência;
- S - tiristores para comutação de alta potência;
- T - tiristores de alta potência;
- U - tiristores para comutação de alta potência;
- X - diodos multiplicadores de potência;
- Y - diodos retificadores;
- Z - diodos zener.

A terceira letra e os algarismos indicam apenas a série de fabricação.

Observação

Após o código de identificação de um transistor, pode aparecer mais uma letra maiúscula. Essa letra indica que este componente apresenta características diferentes daqueles sem a letra ou com letra diferente.

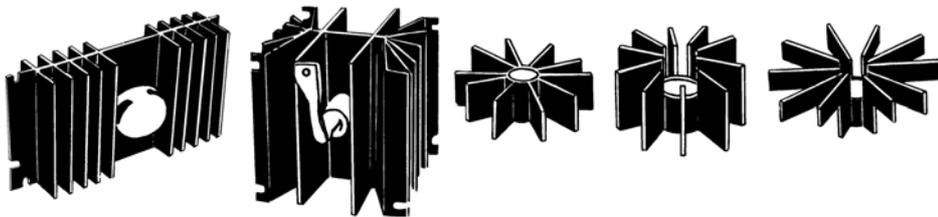
Dissipador de calor

O transistor é sensível à variação de temperatura. Isso torna as especificações de temperatura muito importantes.

No caso específico desse componente, é preciso considerar as temperaturas do ambiente, do invólucro e da junção.

Para evitar que o transistor seja destruído, o calor produzido na junção deve ser dissipado. Em transistores de média e alta potência, esse trabalho é realizado por um dispositivo denominado de dissipador de calor, que permite a troca de calor entre o transistor e o meio ambiente.

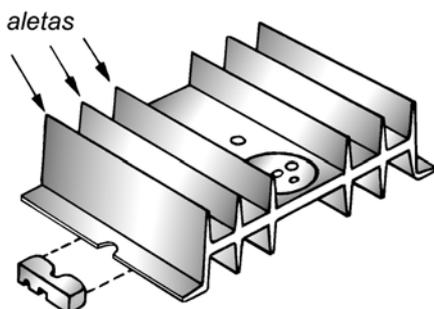
O dissipador de calor é ligado ao encapsulamento do transistor. Isso permite que o calor circule por ele e saia para o ar ambiente, diminuindo a temperatura do componente. Seu formato pode ser observado nas figuras a seguir.



Os dissipadores são construídos com materiais que conduzem bem o calor como o alumínio, por exemplo.

Além disso, para aumentar sua eficiência, é necessário que o dissipador tenha uma área que permita o máximo de transferência de calor com o mínimo de consumo de material.

Isso é obtido, construindo os dissipadores com aletas que permitem uma área maior em espaço reduzido.



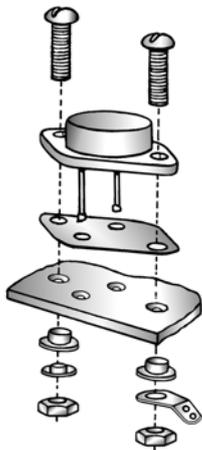
Nos transistores de potência, o terminal do coletor é ligado ao invólucro que é metálico.

Devido ao coletor apresentar tensão diferente do terra, o transistor não deve ter contato elétrico com o dissipador porque este está ligado à carcaça e esta, à terra.

Para evitar o contato elétrico, são usados isoladores entre o transistor e o dissipador. Esses isoladores são feitos geralmente de mica.

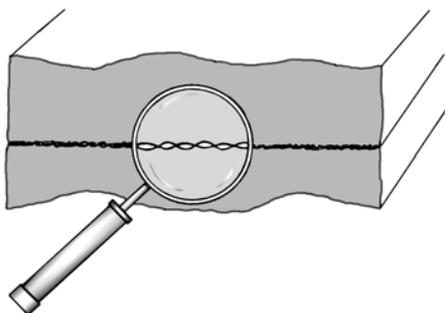
Além da mica, são usadas buchas isoladoras para que os parafusos de fixação também não estabeleçam contato elétrico entre o transistor e o dissipador. Esses parafusos também permitem que neles se fixe o terminal onde está soldado o fio de conexão do coletor.

Uma possível disposição para essa montagem é ilustrada na figura que segue.



Quando é executada a montagem do tipo mostrado na ilustração anterior, os parafusos devem ser muito bem apertados para que a transferência de calor seja adequada.

Todavia, por mais lisas que as superfícies sejam, o contato nunca é perfeito.



Para maximizar a transferência de calor, utiliza-se a graxa de silicone (ou pasta

térmica) que preenche as irregularidades das superfícies.

Essa graxa é isolante, completamente inerte, não reage com o transistor nem com o dissipador, não evapora e não se torna fluída quando aquecida. Além disso, é boa condutora de calor.

Na aplicação, a graxa deve ser espalhada uniformemente sobre todas as superfícies a serem postas em contato.

Observação

Sempre que uma montagem é terminada, é recomendável que se teste a isolação dos terminais do transistor em relação à carcaça e ao dissipador.

Exercícios

1. Responda às seguintes perguntas:

a) Quais são os defeitos mais comuns em um transistor bipolar?

b) Qual é a indicação que comprova que o transistor está com uma junção aberta?

c) Após testar um transistor utilizando um multímetro, pode-se afirmar que não existem alterações nas suas características? Justifique sua resposta.

d) Qual é a função do encapsulamento em um semiconductor?

e) Qual é a função do dissipador de calor?

2. Complete a tabela que segue com os significados das notações apresentadas.

h_{FE}	
I_C	
h_{fe}	
P_{tot}	
V_{CBO}	
β	

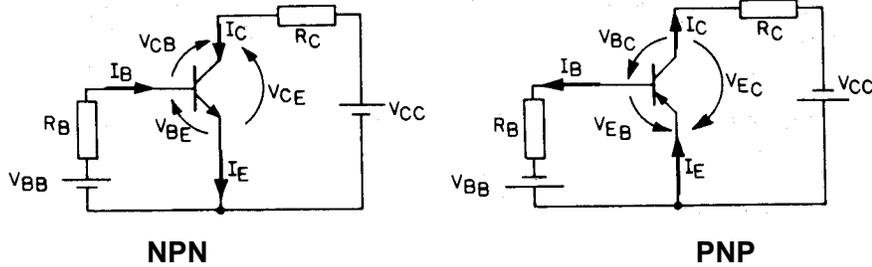
Polarização de Transistores

Objetivos:

Verificar, experimentalmente, os tipos de polarização de um transistor na configuração emissor comum.

Tipos de polarização:

Polarização com duas baterias



Equações:

Malha de entrada: $-V_{BB} = R_B I_B + V_{BE}$

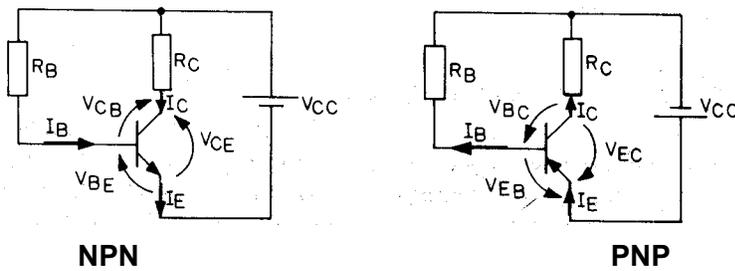
Malha de saída: $-V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_B}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Polarização com uma bateria



Equações:

Malha de entrada: $- V_{CC} = R_B I_B + V_{BE}$

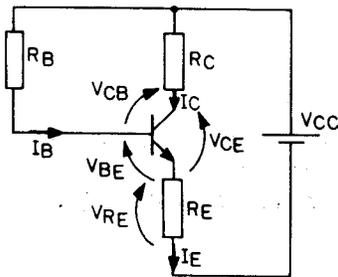
Malha de saída: $- V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_E}$$

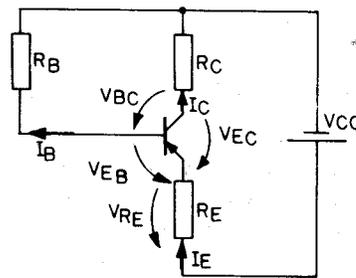
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Polarização de com corrente de base constante.



NPN.



PNP.

Equações:

Malha aberta: $- V_{CC} = R_B I_B + V_{BE} + R_E I_E$

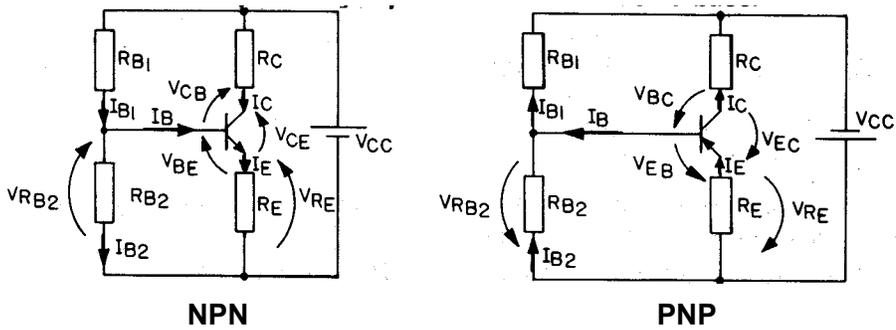
Malha de saída: $- V_{CC} = R_C I_C + V_{CE} + R_E I_E$

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - R_E I_E}{I_B}$$

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE} - R_E I_E}{I_C}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B$$

Polarização por divisor de tensão na base.



Equações:

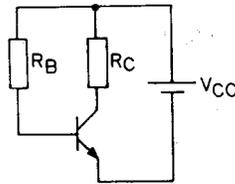
$$I_B \leq \frac{I_B}{10} \quad I_B = I_{B1} - I_{B2}$$

$$V_{TH} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot V_{CC}$$

$$R_{Th} = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Equações simplificadas:

Polarização com corrente de base constante.



$$V_{BE} = 0,7V$$

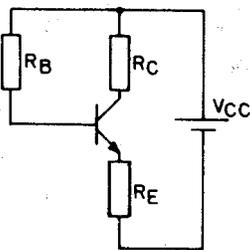
$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE})}{I_B}$$

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_{CE})}{I_C}$$

Polarização com corrente de emissor constante



$$V_{BE} = 0,7V$$

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$V_{RE} = \frac{V_{CC}}{10}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

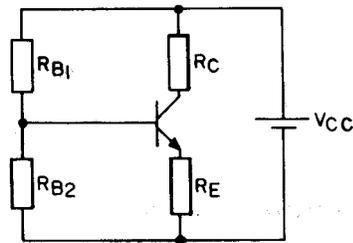
$$R_B = \frac{(V_{CC} - V_{BE} - V_{RE})}{I_B}$$

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_{CE} - V_{RE})}{I_C}$$

Calculo de I_E - I_E = I_B + I_C

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E}$$

Polariza por divisor de tensão:



$$V_{BE} = 0,7$$

$$V_{CE} = \frac{V_{CC}}{2}$$

$$V_{RE} = \frac{V_{CC}}{10}$$

$$I_B = \frac{I_{B2}}{10}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$I_{B2} = 10I_B$$

$$I_{B1} = I_{B2} + I_B$$

$$R_{B2} = \frac{(V_{BE} + V_{RE})}{I_{B2}}$$

$$R_{B1} = \frac{(V_{CC} - V_{BE} - V_{RE})}{I_{B1}}$$

$$R_C = \frac{(V_{CC} - V_{CE} - V_{RE})}{I_C}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$R_E = \frac{V_{RE}}{I_E}$$

Laboratório

Material:

Fonte variável

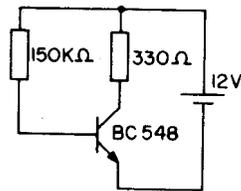
Transformador: BC548 ou equivalente

Resistor: 100Ω , 330Ω , $1,2k\Omega$ $5,6k\Omega$ e $150k\Omega$

Multímetro

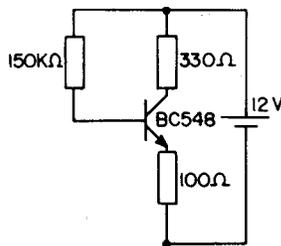
Parte Prática:

1. Monte o circuito. Meça e anote no quadro os valores de I_B , I_C , V_{BE} e V_{CE} .



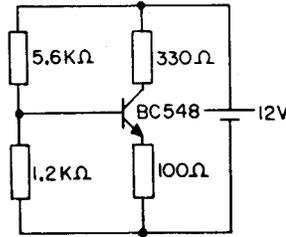
I_B	I_C	I_E	V_{BE}	V_{CE}

2. Monte o circuito. Meça e anote no quadro os valores de I_B , I_C , I_E , V_{BE} , V_{CE} .



I_B	I_C	I_E	V_{BE}	V_{CE}

3. Monte o circuito. Meça e anote no quadro os valores de I_B , I_C , I_E , V_{BE} e V_{CE} .



I_B	I_C	I_E	V_{BE}	V_{CE}

Questões:

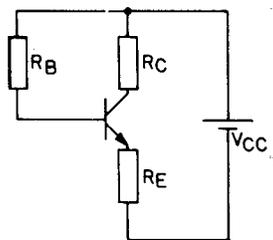
1. Calcule o valor β , utilizando os valores de I_B e I_C , obtidos nos quadros anteriores. Calcule B médio.
2. Dimensione R_B , R_C , R_E para polarizar o transistor do circuito, conforme os dados fornecidos.

Dados do transistor

$\beta=200$
 $V_{BE}=0,7$

Dados do projeto

$V_{CC}= 15V$
 $V_{CE}=V_{CC}/2$
 $V_{RE}=V_{CC}/10$
 $I_C=30mA$

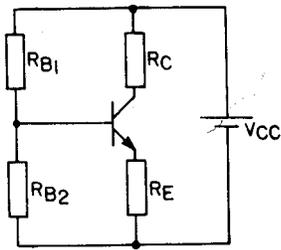


3. Dimensione R_{B1} , R_{B2} , R_C e R_E para polarizar o transistor, conforme os dados fornecidos.

Dados do transistor :

$$\beta=350$$

$$V_{BE}=0,7V$$



Dados do projeto:

$$V_{CC}=15V$$

$$V_{CE}=V_{CC}/2$$

$$V_{RE}=V_{CC}/10$$

$$I_C=5mA$$

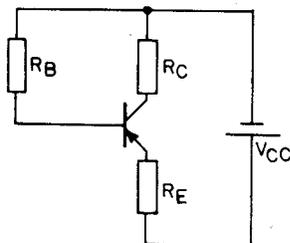
$$I_B=I_C/\beta$$

4. Dimensione R_B , R_C e R_E para polarizar o transistor , conforme os dados fornecidos.

Dados: do transistor

$$\beta=100$$

$$V_{BE}=0,7V$$



Dados do projeto:

$$V_{CC}=15V$$

$$I_B=200\mu A$$

$$V_{CE} \cdot I_C=40mW$$

$$R_C=6 \cdot R_E$$

Verificar o funcionamento do transistor bipolar

Nesta atividade prática, você vai verificar o funcionamento do transistor bipolar, comprovar as polarizações entre base-emissor, base-coletor e coletor-emissor por meio de medições de tensão V_{BE} , V_{BC} e V_{CE} .

Verificará, também, como a tensão V_{BE} influencia na corrente I_B e o controle que I_B exerce sobre I_C e determinará o ganho do transistor.

Equipamentos

- multímetro digital;
- multímetro analógico
- fonte de CC ajustável.

Procedimento

1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e data book de transistores bipolares.

2. Verifique se o transistor está em bom estado, medindo suas junções com o

multímetro. Anote se a polarização é PNP ou NPN.

Polarização direta:

R_{BE} Ω R_{BC} Ω

Polarização inversa:

R_{BE} Ω R_{BC} Ω

Tipo de polarização:

3. A polarização determinada com o multímetro confere com a da tabela?

() sim () não

4. Teste a resistência entre coletor e emissor nos dois sentidos.

R_{CE} Ω R_{EC} Ω

5. Veja o código do transistor e pesquise no “databook” as seguintes características:

Polarização $I_{Cm\acute{a}x}$

$V_{CEOm\acute{a}x}$ $P_{m\acute{a}x}$

h_{fe} Invólucro

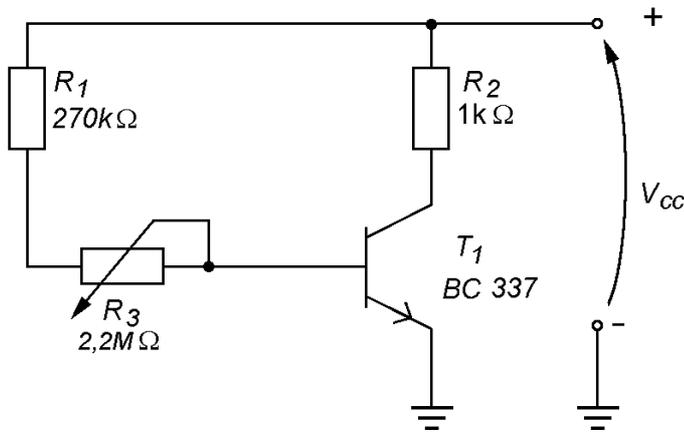
Aplicações típicas

.....

6. Com o código do invólucro, pesquise qual é o terminal base do transistor.

Desenhe-o no espaço a seguir e identifique seus terminais.

7. Monte o circuito da figura a seguir



8. Ajuste a fonte para 12 V_{CC} e conecte-a ao circuito.

9. Conecte o multímetro digital sobre o resistor R₂.

10. Ajuste o potenciômetro de forma a obter 6 V de queda de tensão no resistor R₂.

11. Meça as tensões entre base e emissor, coletor e base e entre coletor e emissor.
 $V_{BE} = \dots\dots\dots$ V $V_{CB} = \dots\dots\dots$ V $V_{CE} = \dots\dots\dots$ V

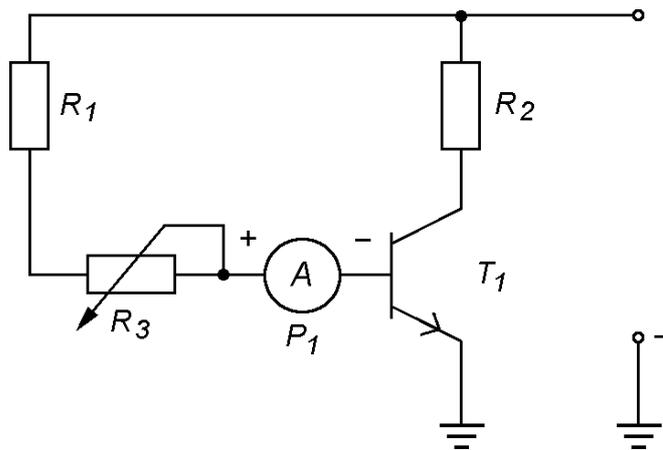
12. Aplique os valores de V_{BE} , V_{CB} e V_{CE} à equação: $V_{CE} = V_{CB} + V_{BE}$, e verifique se o resultado obtido está correto.

13. Ajuste o potenciômetro de forma a obter 3 V no resistor R₂.

14. Meça as tensões V_{BE} , V_{CB} e V_{CE} e aplique na equação para verificar a correção dos valores.

15. Desligue a fonte.

16. Insira um microamperímetro de 0 a 100μA no circuito montado, conforme a figura a seguir.



Observação

O microamperímetro fornecerá a indicação de I_B .

17. Conecte o multímetro digital entre a base e o emissor do transistor. O multímetro fornecerá a tensão V_{BE} .

18. Ajuste o potenciômetro na metade do curso total do cursor.

19. Ligue a fonte.

20. Leia e anote os valores de V_{BE} e I_B .

$V_{BE} = \dots\dots\dots V$ $I_B = \dots\dots\dots \mu A$

21. Atue no potenciômetro R_3 de modo que o V_{BE} do transistor seja o maior possível.

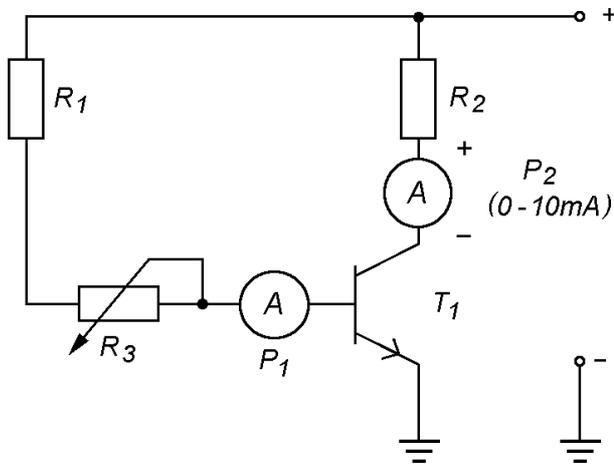
22. Leia e anote os valores de V_{BE} e I_B .

$V_{BE} = \dots\dots\dots V$ $I_B = \dots\dots\dots \mu A$

23. O que acontece com a corrente de base (I_B) se a tensão de base-emissor (V_{BE}) aumenta?

24. Desligue a fonte.

25. Para verificar o controle de I_B sobre I_C , insira o miliamperímetro no circuito montado (multímetro digital em escala I_{DC}) conforme o diagrama da figura



26. Ajuste o potenciômetro para a máxima resistência.

27. Ligue a fonte.

28. Varie o potenciômetro enquanto observa as correntes de base e de coletor.

29. Responda:

a) O que acontece com I_C quando I_B aumenta?

b) É correto afirmar que I_C é diretamente proporcional a I_B ?

() sim () não

30. Ajuste R_3 de forma que I_C seja de 6 mA.

31. Leia e anote o valor da corrente de base nesta condição.

$I_B = \dots\dots\dots \mu A$

32. Determine o ganho β_{dc} do transistor. Lembre-se de que $\beta_{dc} = I_C / I_B$.

33. Com o valor de ganho calculado, determine qual será a I_B necessária para se obter um valor de I_C de 4mA.

$$I_B = \dots\dots\dots \mu A$$

34. Ajuste o potenciômetro até obter o valor calculado. O valor de I_C é de 4mA?

(Considere que pequenos erros são admissíveis devido ao uso do microamperímetro)

() sim () não

35. Desligue a fonte.

36. O ganho está dentro da faixa que você anotou no passo 5?

() Sim () Não

37. Responda

a) Quais são suas conclusões sobre a relação entre I_B e V_{BE} e entre I_C e I_B ?

b) Como a base está polarizada em relação ao emissor?

() diretamente polarizada
() inversamente polarizada

c) Como a base está polarizada em relação ao coletor?

() diretamente polarizada
() inversamente polarizada

d) Considerando o ensaio realizado, como pode ser definido esse transistor?

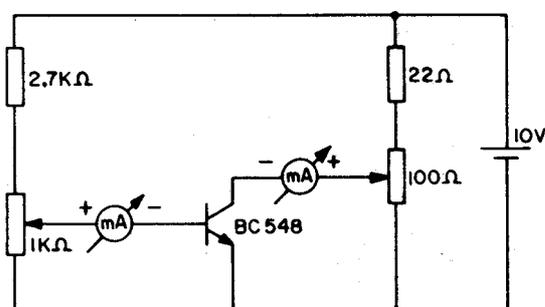
38. Desenhe no espaço abaixo o circuito do passo 7 para um transistor PNP e polarize-o corretamente.

Laboratório – Segunda Parte:

1. Meça com o ohmímetro e anote no quadro, a resistência direta e reversa entre base-emissor e entre base-coletor.

	Base-emissor	Base-coletor
Rdireta		
Rreversa		

2. Monte o circuito:



3. Varie a tensão V_{BE} através do potenciômetro de $1k\ \Omega$, conforme o quadro. Para cada caso meça e anote a corrente de base, mantendo constante, através do potenciômetro de $100\ \Omega$, a tensão V_{CE} em $3V$.

Vbe(v)	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,75
Ib(mA)									

4. Ajuste a corrente de base em 0 mA através do potenciômetro de $1k\Omega$.
 Varie a tensão V_{ce} , conforme o quadro, através do potenciômetro de 100Ω .
 Para cada.

V_{CE} (V)	0	1	2	3	4	5	I_B (mA)
I_C (mA)							0
							0,5
							0,1
							0,15
							0,2
							0,25
							0,3

5. Repita o item 4 para os demais valores de I_B , conforme o quadro, mantendo-o constante para os valores ajustados de V_{ce} .

Questões:

1. Como você testaria um transistor com ohmímetro?
2. Com os dados do quadro, construa a característica de entrada do transistor
 $I_B=f(V_{CE})$.
3. Com os dados do quadro, construa a característica de saída do transistor
 $I_C=f(V_{CE})$
4. Escolha cinco pontos da característica de saída e para um calcule o parâmetro β .
5. Através dos parâmetros β das questões 4 , determine os parâmetros A correspondentes.

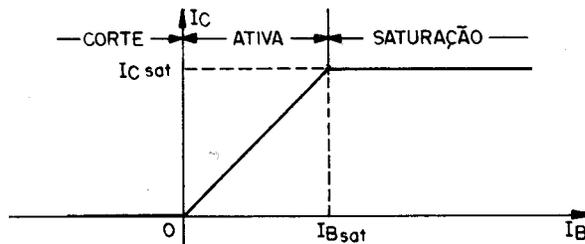
Transistor como chave

Objetivo:

Verificar, experimentalmente, o funcionamento de um transistor como chave.

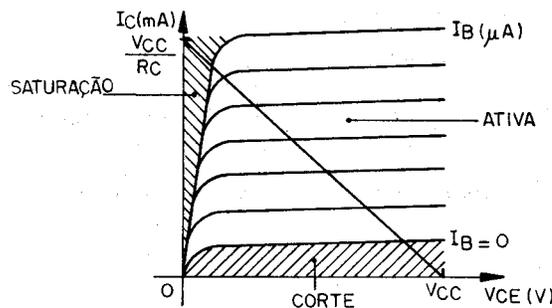
Teoria:

Conforme a polarização, um transistor pode operar em três regiões distintas, a de corte, a ativa e a de saturação. Na região ativa, o transistor é utilizado, com a devida polarização, como amplificador. Nas regiões de corte e saturação, é utilizado como chave, ou seja, serve apenas para comutação, conduzindo ou não. Nesta situação, o transistor é utilizado, principalmente, no campo da eletrônica digital, sendo célula básica de uma série de dispositivos, normalmente agrupados dentro de circuitos integrados.



Notamos que, se trabalharmos com uma corrente de base menor ou igual a zero, o transistor operará na região de corte, ou seja, a corrente de coletor será nula. Se trabalharmos com uma corrente de base entre zero e um valor limite (I_{Bsat}), operará na região ativa, ou seja, como uma corrente de coletor, conforme o valor de β ($I_C = \beta \cdot I_B$). Para uma corrente de base acima de I_{Bsat} , operará na região de saturação, ou seja, circulará pelo coletor uma corrente limite (I_{Csat}), imposta de acordo com a polarização.

Estas mesmas condições podem ser observadas na característica $I_C = f(V_{CE})$ do transistor, onde também podemos representar a reta de carga de um circuito de polarização. A figura mostra essa característica, bem como a reta de carga.



A reta de carga é obtida a partir da equação da malha de saída do circuito de polarização, no caso para fins de chaveamento, utilizaremos o circuito de corrente de base constante. Escrevendo a equação da malha temos:

$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

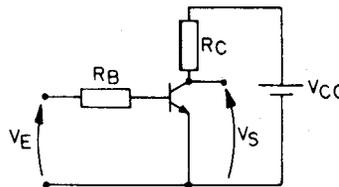
Onde: $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$

Fazendo: $I_C = 0$, temos: $V_{CE} = V_{CC}$

Fazendo: $V_{CE} = 0$, temos $I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$

Para fins de aplicação, o ponto de trabalho será localizado na região ativa. Em operação como chave, o ponto será localizado na região de corte ou ativa. Em operação com chave, o ponto será localizado na região de corte ou na região de saturação (área hachurada da característica $I_C = f(V_{CE})$).

O circuito mostra a configuração básica de um transistor operando como uma chave.



Para o transistor operar na situação de corte, ou seja, como chave aberta é necessária que o potencial V_E seja menor que V_{BE} ou nulo. Nesta situação, não circulará corrente de coletor, sendo V_S igual a V_{CC} .

Para o transistor operar na situação de saturação, ou seja, como chave fechada é necessário que o potencial V_E seja maior que V_{BE} , dependendo do dimensionamento de R_B . Nesta situação, a corrente de coletor será máxima possível, conforme o valor de R_C e R_B para a saturação do transistor, temos:

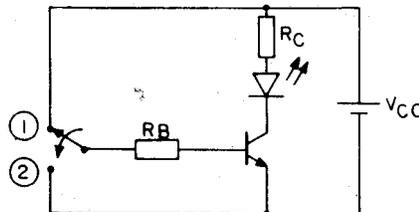
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE_{SAT}}}{I_C}$$

$$I_{Bsat} = \frac{I_C}{\beta_{sat}} \text{ onde: } \beta_{sat} = 10 \text{ (pior caso possível de } \beta \text{ para garantia da saturação)}$$

$$R_B = \frac{V_E - V_{BE}}{I_{Bsat}}$$

$$\text{Se } V_E = V_{CC}, \quad R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{Bsat}}$$

Para exemplificar, vamos dimensionar R_B e R_C para que no circuito, estando a chave S na posição 1 sature o transistor, acendendo o led (diodo emissor de luz) e na posição 2 corte o transistor, mantendo o led apagado.



Dados do transistor	Dados do led	Dados do projeto
$\beta_{sat} = 10$	$V_L = 1,7V$	$V_{CC} = 12V$
$V_{BE} = 0,7V$	$I_L = 20mA$	
$V_{C_{sat}} = 0,3V$		

$$1- \quad \text{Cálculo de } R_C = \frac{V_{CC} - V_{C_{sat}} - V_L}{I_C} = \frac{12 - 0,3 - 1,7}{20 \times 10^{-3}} = 500\Omega$$

$$R_{C_{dotado}} = 470\Omega$$

2- Cálculo de I_{Bsat} :

$$I_{Bsat} = \frac{I_C}{\beta_{sat}} = \frac{20 \times 10^{-3}}{10} = 2 \text{mA}$$

3- Cálculo de R_B :

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{I_{Bsat}} = \frac{12 - 0,7}{2 \times 10^{-3}} = 5,6 \text{k}\Omega$$

$$R_{badotado} = 5,6 \text{k}\Omega$$

Material Experimental:

Fonte variável

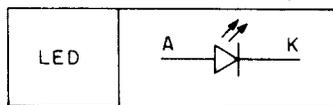
Resistor :470Ω e 5,6kΩ

Transistor:BC548 ou equivalente

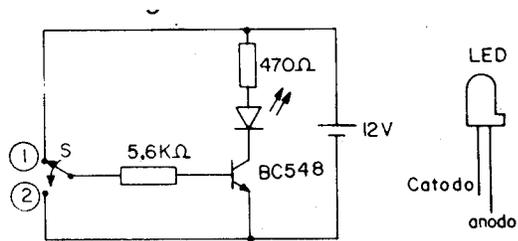
Led:FLV110

Multímetro

Simbologia:



1-Monte o circuito



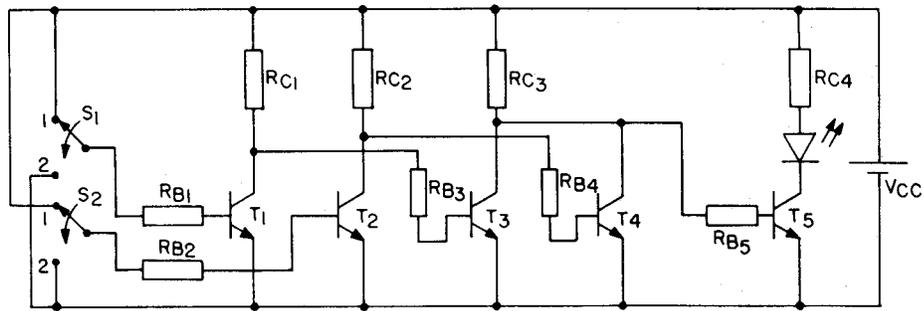
2- Com a chave na posição 1 , meça e anote no quadro, os valores de I_B , I_C , V_{BE} .Repita as medições com a chave na posição 2 , anotando os valores no mesmo quadro.

Chave S	I_B	I_C	V_{BE}	V_{CE}
Pos 1				
Pos 2				

Questões:

1-No circuito , modifique a posição do led para este acender quando a chave S for comutada para posição 2 e apagar na posição 1.

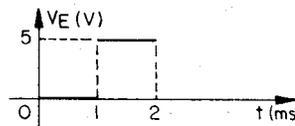
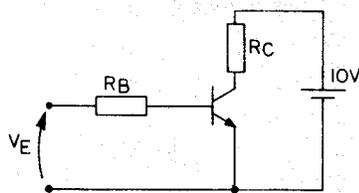
2- No circuito , sabendo-se que todos os resistores de base estão dimensionados para a saturação dos transistores , preencha o quadro, indicando a situação de led em função da posição das chaves S1 e S2.



S1	S2	LED
1	1	
1	2	
2	1	
2	2	

3-Dimensione R_C e R_B para o circuito, de tal forma a saturar o transistor na mudança de nível, conforme a característica da tensão de entra.

Dados do transistor	Dados do projeto
$V_{BE} = 0,7V$	$I_C = 10mA$
$\beta_{sat} = 10$	
$V_{Cesat} = 0,3V$	



Estabilizadores

Objetivos:

Comprovar, experimentalmente, os parâmetros de uma fonte estabilizada.

Parte pratica:

Material utilizado:

Transformador: 110/ 12+12 / 1AMP ou 220/ 12+12 / 1 AMP.(verificar rede local)

Diodos: 1N4001 (dois) ou equivalente.

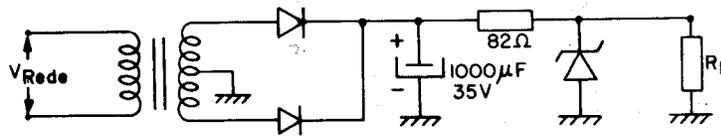
Capacitor: 1000 μ F/35V

Diodo Zener: 12V/1W

Fonte variable

Resistor: 82 Ω /1,15W – 1K Ω –3,3K Ω – 4,7K Ω –8,2K Ω e 10K Ω /0,5W.

1- Monte o circuito.



circuito 1

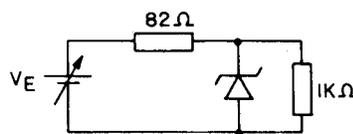
2-Conecte a saída do circuito estabilizador, valores de RL conforme o quadro.

Para cada valor, meça e anote a tensão(VS) e a corrente (IL) na carga.

RL (k Ω)	VS (V)	IL(mA)
1		
3,3		
4,7		
8,2		
10		

Quadro1

3- Monte o circuito.



circuito 2

4- Varie a tensão V_E , conforme o quadro. Para cada valor meça e anote a tensão de saída.

V_E (V)	V_S (V)
0	
2	
4	
6	
8	
10	
12	
14	
16	

Quadro 2

5- Compare o valor de V_{min} , obtido na questão anterior, como o valor determinado pelo gráfico.

6- Dimensione um circuito estabilizador, alimentado com $12V \pm 10\%$ utilizando um diodo Zener de $8,2V - 2,5W$. Calcule $I_{máx}$ e quando ligado ao circuito, uma carga igual a 220Ω , calcule V_{min} e $V_{máx}$.

Verificar o funcionamento de fonte regulada

Como já sabemos, as fontes não-reguladas apresentam variações na tensão de saída, quando a carga varia, e também quando há variações na tensão entrada. Isso é indesejável quando se trata de aparelhos eletrônicos, pois a alimentação dos circuitos deve ser a mais estável possível.

A utilização de transistores veio resolver esse problema e neste ensaio você vai analisar o comportamento de um circuito regulador de tensão série com transistor.

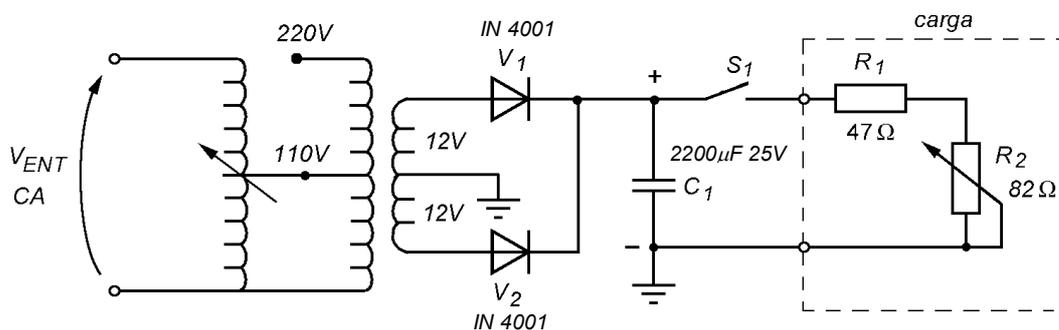
Equipamentos

- varivolt;
- osciloscópio;
- multímetro digital;
- multímetro analógico;
- fonte de CC ajustável;
- transformador 110/220V, 12 V + 12V - 0,5 A.

Procedimento

1. Faça a lista de materiais necessários, de acordo com os passos deste ensaio. Consulte catálogos de fabricantes e data book de transistor bipolar e diodo zener.

2. Monte o circuito a seguir.



Observações

1. O varivolt será usado para simular variações na tensão de entrada.
2. Não ligar a carga diretamente na matriz de contatos
3. Gire o cursor do varivolt totalmente em sentido anti-horário.
4. Alimente os terminais de entrada do varivolt.
5. Ajuste o varivolt de forma a obter $7 V_{CA}$ no secundário do transformador, entre o terminal central e o terminal extremo.
6. Ajuste R_2 para o valor máximo de resistência.
7. Ligue a chave S_1 .
8. Meça a tensão sobre a carga e a ondulação. Anote os resultados.
 $V_{R1} = \dots\dots\dots V$ $V_{ondpp} = \dots\dots\dots V$
9. Mantendo o voltímetro conectado à carga, diminua lentamente o valor de R_2 (aumentando a carga).

10. O que acontece com a tensão de saída quando a carga aumenta?

11. Retorne o cursor de R_2 à posição de máxima resistência.

12. O que deve acontecer com a tensão de saída se a tensão de entrada na fonte (fornecida pelo varivolt) variar?

13. Movimente o cursor do varivolt um pouco em cada sentido, variando a tensão de entrada, e observe a tensão de saída.

14. Responda:

a) A tensão de saída fica constante quando a tensão de CA varia?

() sim

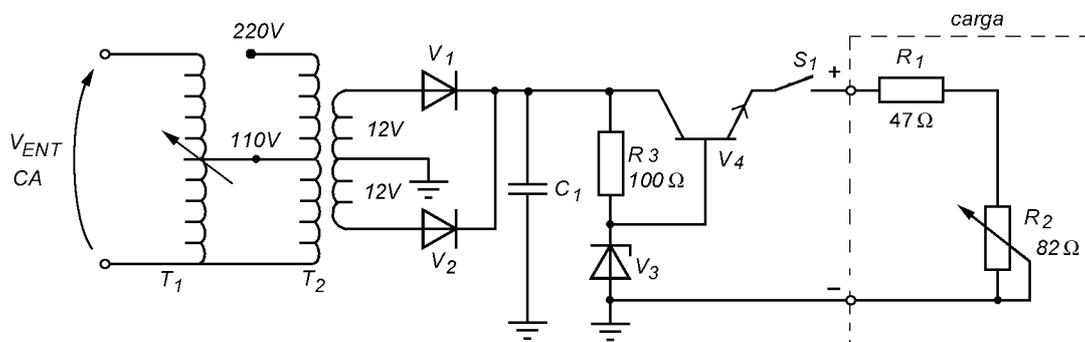
() não

b) O que acontece com a tensão de saída nas fontes sem estágio regulador?

15. Desligue o varivolt da rede elétrica.

16. Desligue a carga da fonte e a chave S_1 .

17. Monte o estágio regulador com o dissipador de calor e conecte a fonte à carga conforme figura que segue.



18. Ligue a chave S_1

19. Conecte o varivolt à rede elétrica.

20. Ajuste o varivolt de forma a obter 11 V_{CA} no secundário do transformador.

21. Posicione o cursor do resistor de R_2 na posição média ($\cong 40 \Omega$).

22. Meça a tensão na saída da retificação filtrada. Anote o resultado.

$$V_{C1} = V_{CC \text{ (não regulado)}} = \dots\dots\dots V$$

23. Meça com o osciloscópio a tensão de ondulação pico a pico na saída da retificação filtrada. Anote o resultado.

$$V_{Ondpp} = \dots\dots\dots V$$

24. Meça e anote a tensão na saída.

$$V_S = V_{RL} = \dots\dots\dots V$$

$$R_L = R_1 + R_2$$

25. Sobre qual componente está presente a diferença de tensão que existe entre

$V_{CC \text{ não-regulada}}$ e $V_{CC \text{ regulada}}$?

26. Meça e anote o valor de V_{CE} .

$$V_{CE} = \dots\dots\dots V$$

27. Meça e anote o valor da tensão de ondulação pico a pico na saída do regulador (carga).

$$V_{Ondpp} = \dots\dots\dots V$$

28. Responda:

a) Quantas vezes a tensão de ondulação pico a pico é maior no filtro que na carga?

b) Qual a relação entre a tensão do diodo zener e a tensão sobre a carga?

29. Com o auxílio do varivolt, aumente a tensão de entrada em 15%.

30. Meça a tensão na carga.

$$V_{R1} = \dots\dots\dots V$$

31. Com o auxílio do varivolt, diminua a tensão de entrada em 15%.

32. Meça a tensão V_{CE} do transistor.

$$V_{CE} = \dots\dots\dots V$$

33. Responda:

b) O que acontece com V_{CE} do transistor quando a tensão na saída do filtro se torna mais alta?

b) E se a tensão do filtro se tornar mais baixa?

c) Considerando que a ondulação na tensão de entrada é uma variação de tensão, a tensão V_{CE} do transistor deve apresentar essa variação? Por quê?

34. Observe a forma de onda entre coletor e emissor do transistor, com o osciloscópio (ponta de prova principal no coletor e terra no emissor). Comente o que você observou.

35. Ajuste o varivolt para obter 12 V sobre o filtro de retificação.

36. Desligue o varivolt da rede elétrica

37. Instale um miliamperímetro de 10 mA (multímetro) em série com a base do transistor (observe atentamente a polaridade).

38. Instale um miliamperímetro (multímetro) de 250 mA em série com a carga.

39. Conecte o varivolt à rede elétrica.

40. Leia e anote os valores das correntes de base e de carga.

$$I_B = \dots\dots\dots \text{ mA} \quad I_{R1} = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

41. Determine a corrente no resistor do zener, usando a tensão no resistor R_3 e a Lei de Ohm.

$$I_{R3} = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

42. Determine a corrente no diodo zener ($I_Z = I_{R3} - I_B$).

$$I_Z = \dots\dots\dots \text{ mA}$$

43. Mude a posição do cursor do resistor R_2 de forma a obter a mínima resistência.

Leia e anote os valores das correntes de base e de carga.

$$I_B = \dots\dots\dots \text{ mA} \quad I_{R1} = \dots\dots\dots \text{ mA (carga máxima)}$$

44. Responda

b) O que acontece com a corrente de base do transistor quando a carga exige maior corrente? Por quê?

c) O que acontece com a corrente no diodo quando a corrente de base aumenta?

45. Mude a posição do cursor do resistor R_2 para obter a máxima resistência.

46. O que acontece com os valores listados abaixo quando a carga exige menor corrente?

I_C I_B
 I_Z V_{R1}
 V_{CC}

47. Pesquise no “databook” de circuitos lineares as características do regulador 7812.

48. Retire o estágio regulador e substitua-o pelo C.I. regulador com dissipador.

49. Posicione R_2 na resistência mínima.

50. Ligue o circuito e ajuste o varivolt para obter 16 V sobre o filtro de retificação.

$V_S =$ V

51. Meça e anote a tensão de saída do regulador.

$V_S =$ V

52. Calcule a ddp sobre o regulador.

53. Diminua lentamente a tensão do varivolt até que a tensão de saída fique menor que o valor de regulação. Anote o valor da tensão de entrada do regulador.

$V_{C1} = V_{EN} =$ V

54. O valor anotado no passo anterior está compatível com as características anotadas no passo 47?

() sim () não

55. Ajuste o varivolt para que a tensão sobre o filtro seja 18 V e meça a tensão sobre o regulador.

$V_{Reg} =$ V

56. Responda:

a) Qual é o inconveniente da tensão no regulador permanecer alta?

b) Qual é a vantagem da utilização do regulador de tensão em relação aos reguladores com transistores e diodo zener?
