

Aula de Eletrônica

DIODOS

Prof. Dr. Ricardo Luiz Barros de Freitas

DIODOS

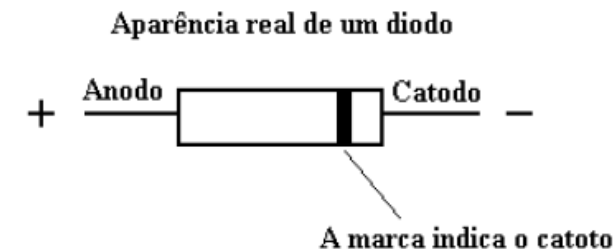
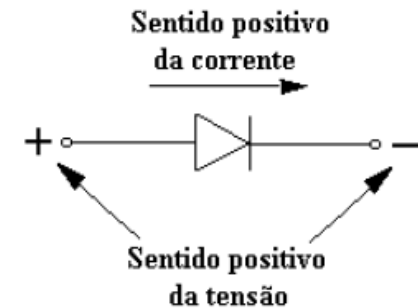
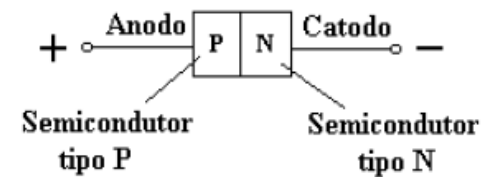
- O diodo é um importante componente eletrônico que, assim como o resistor, possui dois terminais.
- Apesar desta pequena semelhança, existem várias diferenças fundamentais entre o diodo e o resistor.
- Além disso, o diodo é assimétrico, o que significa que ele tem polaridade: diodos não podem ser conectados invertidos com relação ao posicionamento estabelecido no projeto do circuito.
- Os diodos são particularmente úteis na retificação de sinais (transformação de corrente alternada em contínua) e são integrantes importantes da maioria das fontes de alimentação.

DIODOS

- A não linearidade dos diodos pode representar uma dificuldade em algumas aplicações
- Esta propriedade é fundamental em muitos outros casos como por exemplo:
- na elaboração de amplificadores com resposta logarítmica ou exponencial (amplificadores do tipo log e anti-log)
- na confecção de misturadores de sinais para receptores de ondas de rádio.

DIODOS

- A Figura mostra o símbolo esquemático do diodo e também define a convenção dos sentidos positivos da corrente e tensão nos terminais.
- O símbolo esquemático bem sugestivo, no formato de uma seta, facilita o reconhecimento de um diodo em qualquer esquema elétrico.



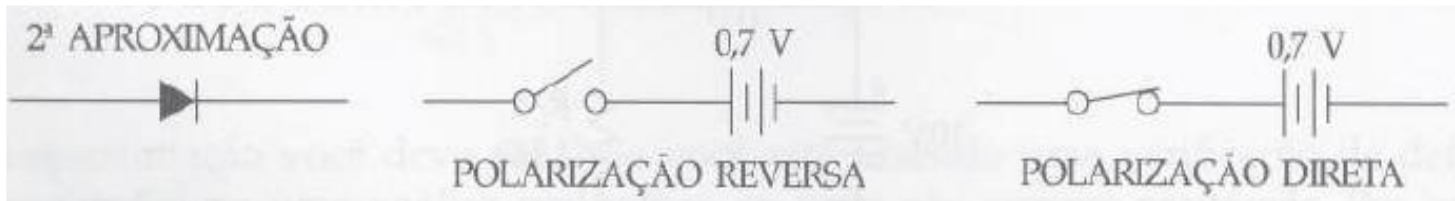
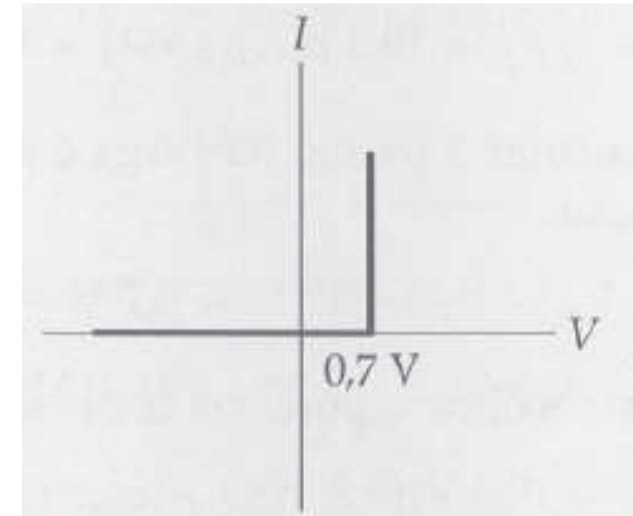
Diodo ideal

- Uma chave comum tem resistência zero quando fechada e resistência infinita quando aberta.
- Portanto, um diodo ideal funciona como uma chave que fecha quando diretamente polarizada e abre quando reversamente polarizada.



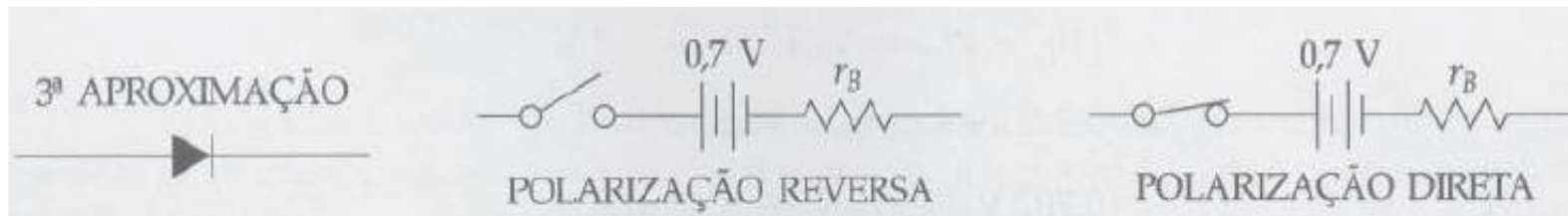
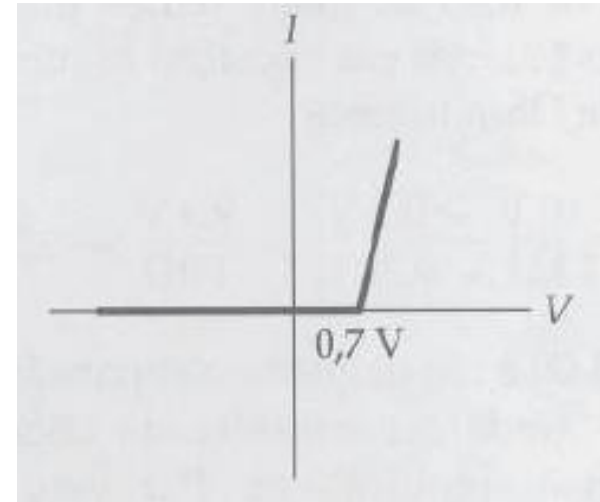
Diodo na segunda aproximação

- O gráfico diz que não há corrente enquanto a tensão no diodo não chegar a 0,7 V (diodo de silício).
- Nesse ponto, o diodo conduz.
- A partir daí, apenas 0,7 V aparece no diodo, não importando o valor da corrente.



Diodo na terceira aproximação

- Na terceira aproximação de um diodo, incluímos a resistência de corpo r_B .
- A Figura mostra o efeito que r_B tem sobre a curva do diodo.
- Após o diodo de silício entrar em condução, a tensão aumenta linear ou proporcionalmente com o aumento da corrente.
- Quanto maior a corrente, maior a tensão, porque a queda I_R em r_B aumenta para a tensão total do diodo.

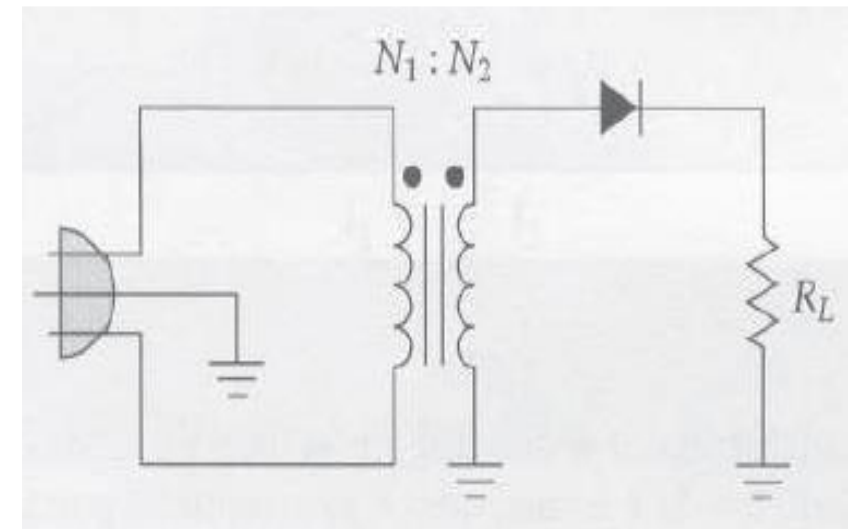


Circuitos com Diodos

- Um diodo retificador é idealmente uma chave fechada quando diretamente polarizado e uma chave aberta quando reversamente polarizado.
- Por isso, ele é muito usado na conversão de corrente alternada em corrente contínua.

Circuitos com Diodos

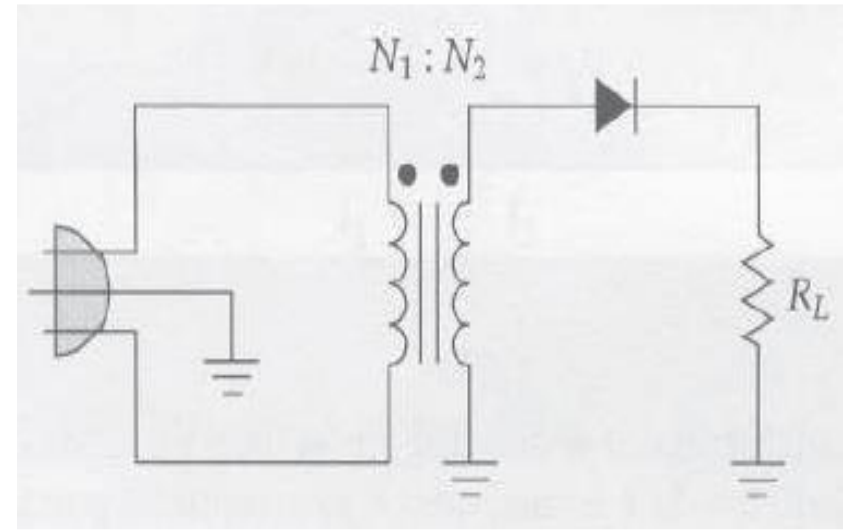
- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- O circuito mais simples capaz de converter uma corrente alternada em corrente contínua é o retificador de meia onda, mostrado na Figura.
- A tensão de linha numa tomada de alimentação é aplicada no enrolamento primário do transformador.
- Em alguns casos, a tomada possui um terceiro pino de formato achatado e de maior comprimento para aterrar o equipamento.



Circuitos com Diodos

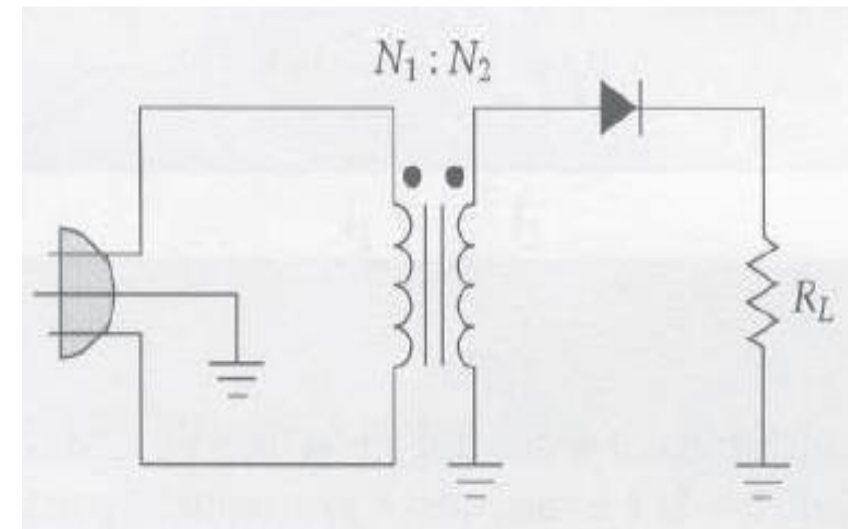
- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- Por causa da relação de espiras, a tensão de pico no enrolamento secundário é:

$$V_{p2} = \frac{N_2}{N_1} V_{p1}$$



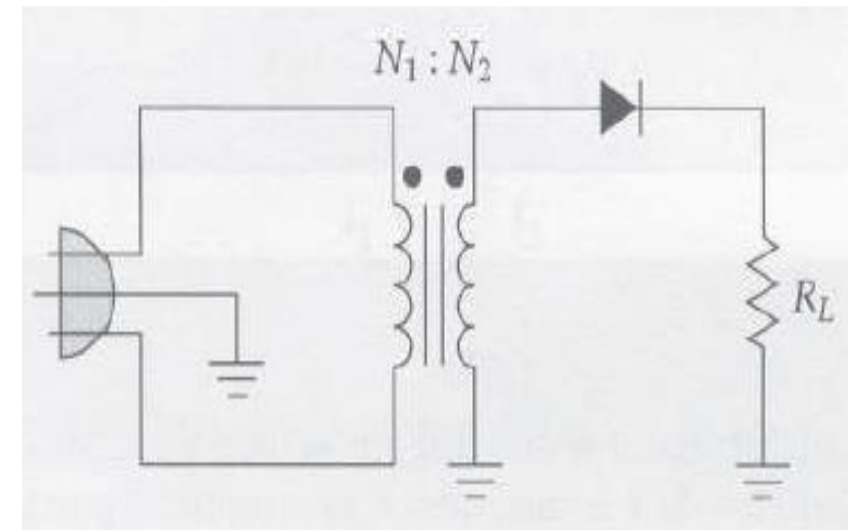
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- Existe uma convenção de pontos usada para os transformadores.
- Os pontos nos terminais de transformador indicam que eles têm as mesmas polaridades num instante qualquer.
- Quando o terminal superior do enrolamento primário for positivo, o terminal superior do enrolamento secundário também será positivo.
- Quando o terminal superior do enrolamento primário for negativo, o terminal superior do enrolamento secundário também será negativo.



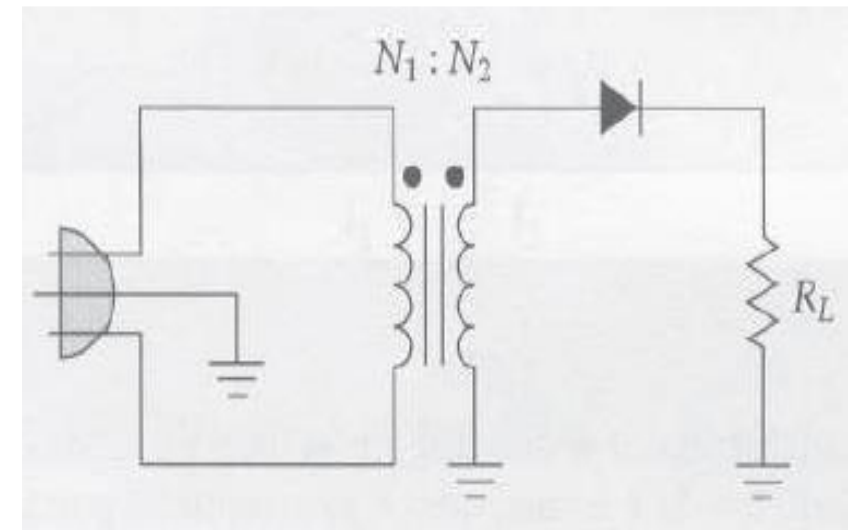
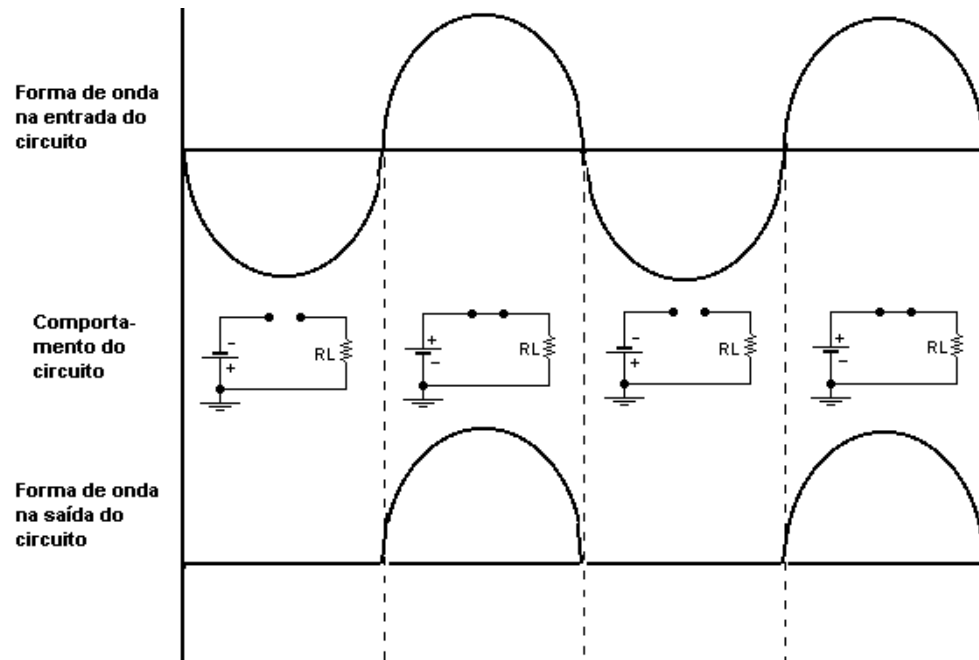
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- No semiciclo positivo da tensão no primário, o enrolamento secundário tem um semiciclo da senóide nos seus terminais.
- Isso significa que o diodo está diretamente polarizado.
- Porém, no semiciclo negativo da tensão no primário, o enrolamento secundário tem um semiciclo negativo da senóide.
- Logo, o diodo fica reversamente polarizado.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- Se você usar a aproximação do diodo ideal para uma análise inicial, perceberá que o semiciclo positivo aparecerá no resistor de carga, mas não no semiciclo negativo.

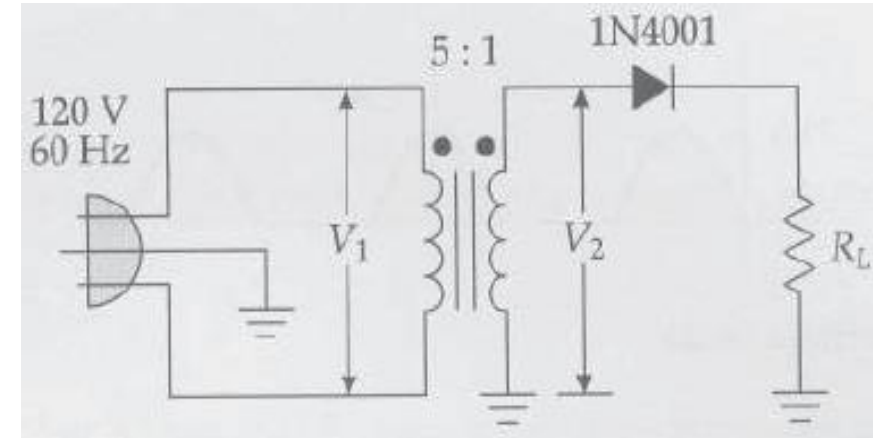


Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- Por exemplo, a Figura mostra um transformador com uma relação de espiras de 5:1.
- A tensão de pico no primário é:

$$V_{p1} = 120 \cdot \sqrt{2}$$

$$V_{p1} = 170V$$



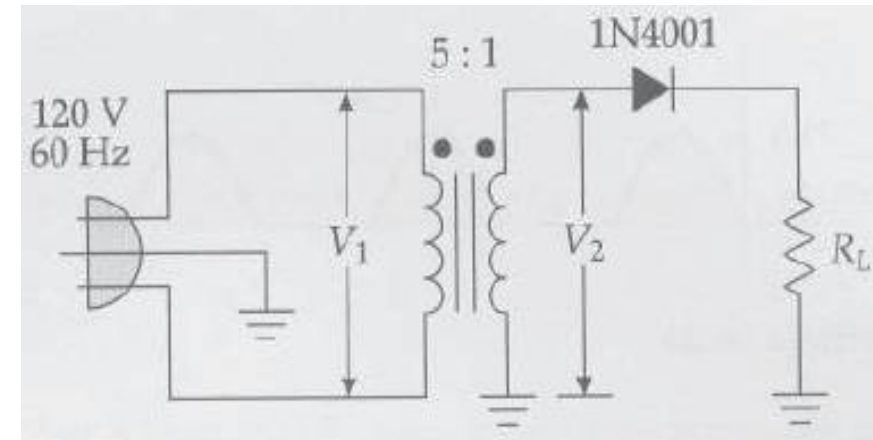
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- A tensão de pico no secundário é

$$V_{p2} = \frac{N_2}{N_1} V_{p1}$$

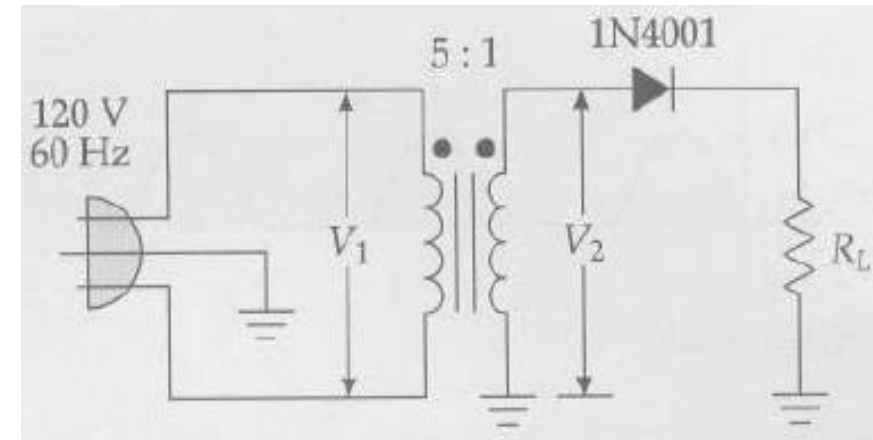
$$V_{p2} = \frac{1}{5} \times 170$$

$$V_{p2} = 34V$$



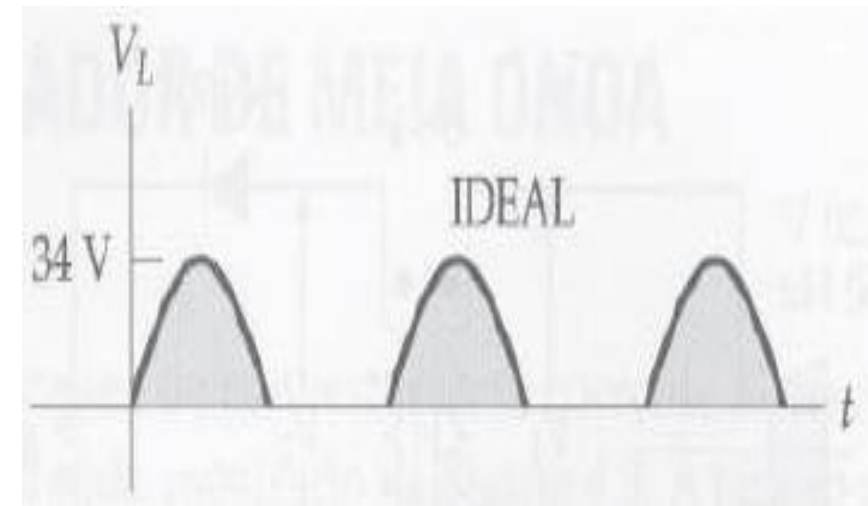
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- Com a aproximação do diodo como ideal, a tensão na carga tem um valor de pico igual a 34 V.
- Considerando um diodo de silício (0,7V):
 - A tensão na carga (V_{RL}) = $34 - 0,7 = 33,3V$



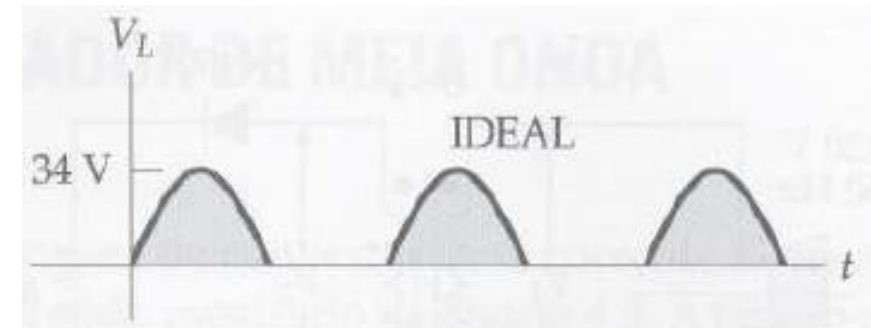
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- A Figura mostra a tensão na carga em um diodo ideal. Esse tipo de forma de onda é chamado sinal de meia onda, porque o semiciclo negativo foi ceifado ou retirado.
- Como a tensão na carga tem apenas os semiciclos positivos, a corrente na carga é unidirecional, o que significa que ela circula apenas num sentido.
- Portanto, a corrente na carga é contínua e pulsante.
- Ela começa no zero do semiciclo, depois aumenta até o valor máximo no pico positivo, em seguida diminui até zero e fica com esse valor durante o semiciclo negativo total.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- **Período**
- A frequência do sinal de meia onda é igual à frequência da linha, que é de 60 Hz.
- Lembre-se de que o período **T** é igual ao inverso da frequência.
- Portanto, o sinal de meia onda tem um período de:
- Esse é o intervalo de tempo entre o início de um semiciclo positivo e o início do próximo semiciclo positivo.
- Isso é o que você observaria se medisse o sinal de meia onda com um osciloscópio.



$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{60}$$

$$T = 0,0167s$$

$$T = 16,70ms$$

Circuitos com Diodos

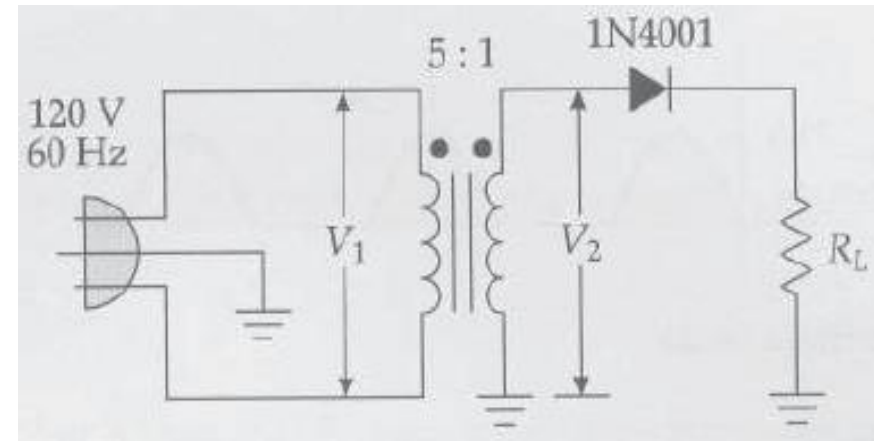
- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- **Valor cc ou Valor Médio**
- Se você ligasse um voltímetro cc no resistor de carga da Figura ele indicaria uma tensão cc de:

$$\frac{V_p}{\pi}$$

- que pode ser escrito como:

$$V_{dc} = 0,318.V_p$$

- onde V_p é o valor de pico do sinal de meia onda no resistor de carga.



Circuitos com Diodos

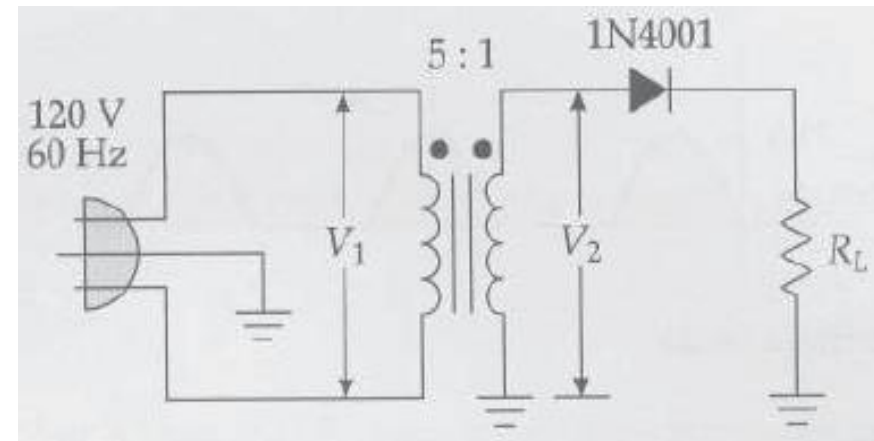
- **RETIFICADOR DE MEIA ONDA.**
- **Valor cc ou Valor Médio**
- Por exemplo, se a tensão de pico fosse de 34 V, o voltímetro cc indicaria:

$$V_{dc} = 0,318.V_p$$

$$V_{dc} = 0,318 \times 34$$

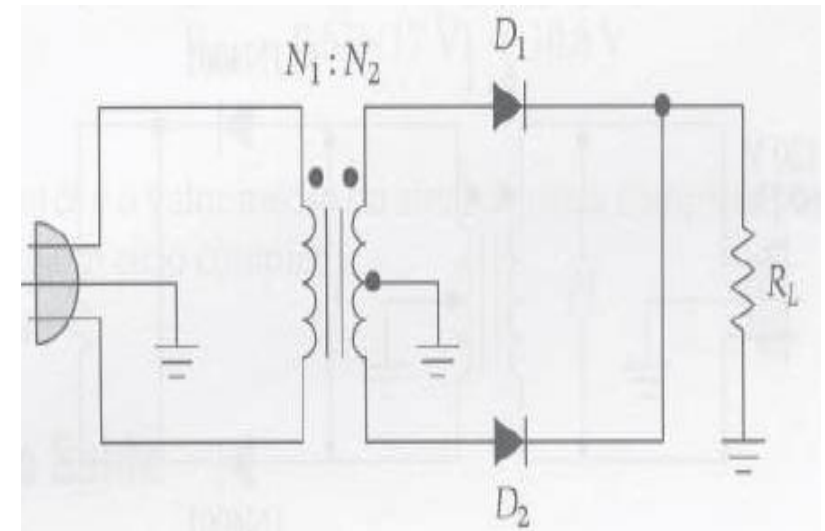
$$V_{dc} = 10,8V$$

- Essa tensão cc algumas vezes é chamada valor médio do sinal de meia onda, porque o voltímetro lê a tensão média de um ciclo completo.



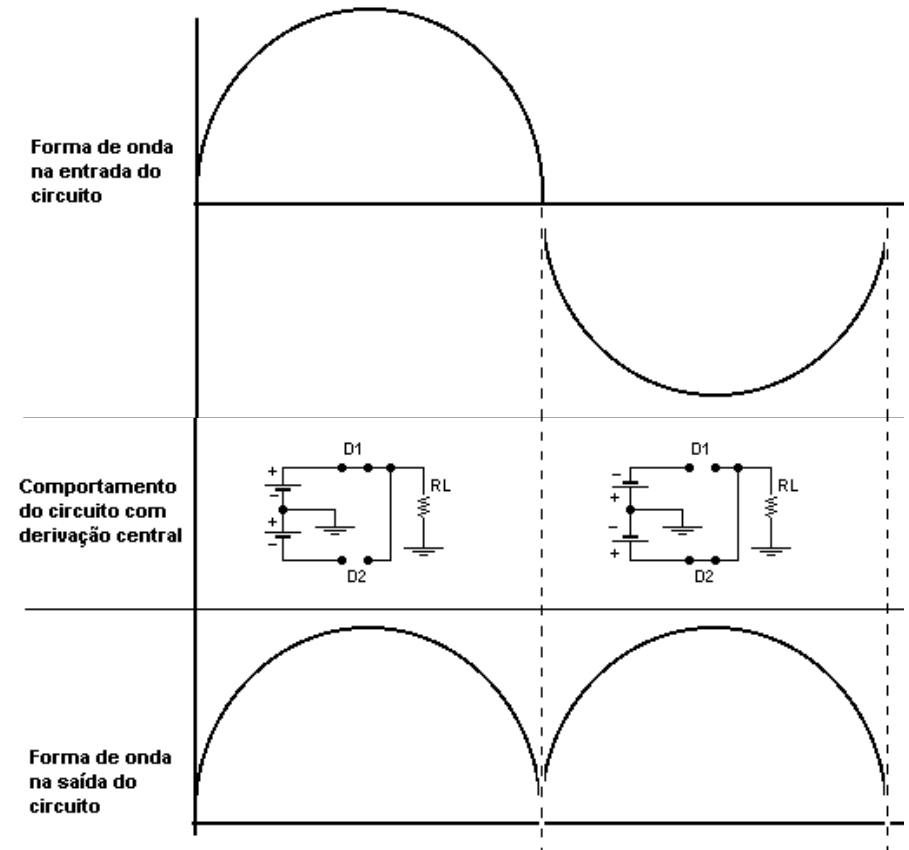
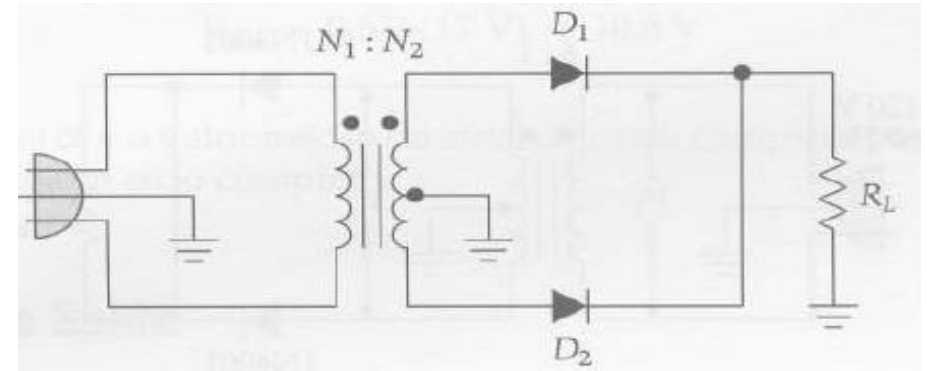
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- A Figura mostra um retificador de onda completa.
- Observe a tomada central (centertrap) no enrolamento secundário.
- Por causa dessa tomada central, o circuito é equivalente a dois retificadores de meia onda.
- O retificador superior retifica o semiciclo positivo da tensão do secundário, enquanto o retificador inferior retifica o semiciclo negativo da tensão do secundário.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTAP)**
- Em outras palavras, D_1 conduz durante o semiciclo positivo e D_2 conduz durante o semiciclo negativo.
- Por isso, a corrente retificada na carga circula durante os dois semiciclos.
- Além disso, a corrente que circula na carga é unidirecional.

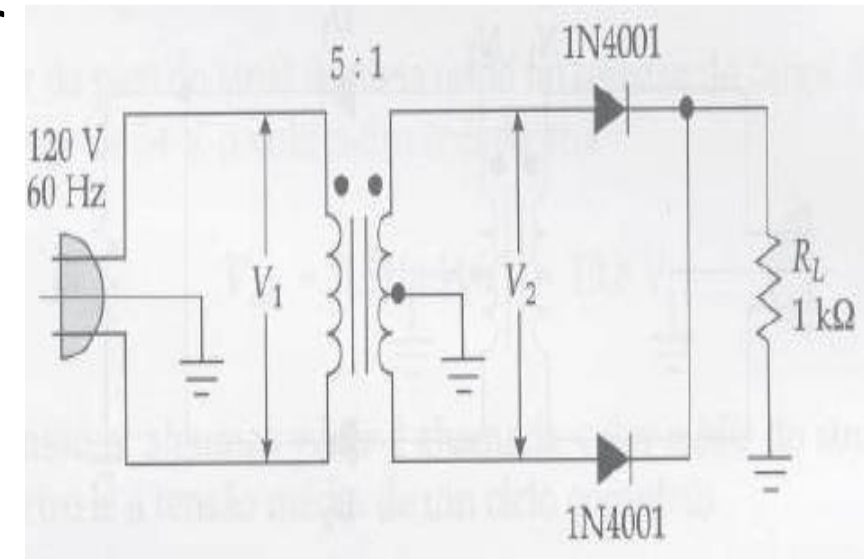


Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- Por exemplo, a Figura mostra um transformador com uma relação de espiras de 5:1.
- A tensão de pico no primário é ainda igual a:

$$V_{p1} = 120.\sqrt{2}$$

$$V_{p1} = 170V$$



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRA_p)**
- Por exemplo, a Figura mostra um transformador com uma relação de espiras de 5:1.
- A tensão de pico no primário é ainda igual a:

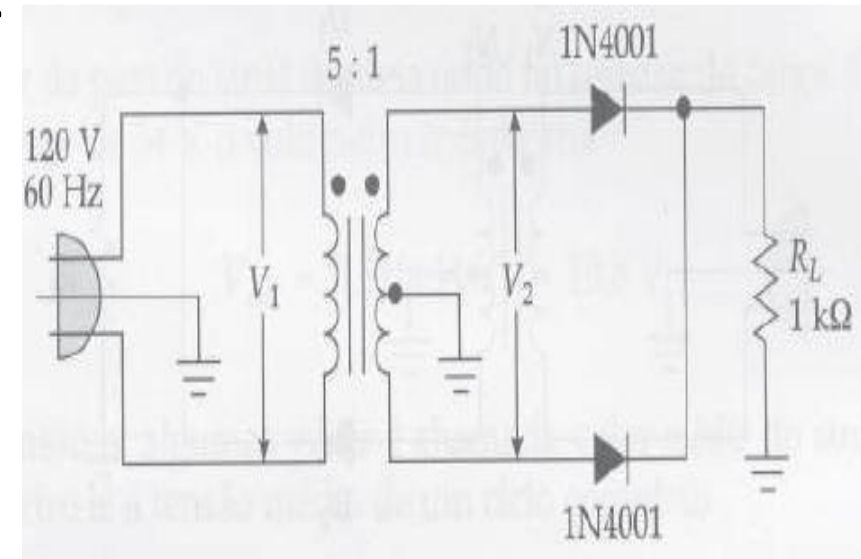
$$V_{p1} = 120.\sqrt{2}$$

$$V_{p1} = 170V$$

- A tensão de pico no secundário é:

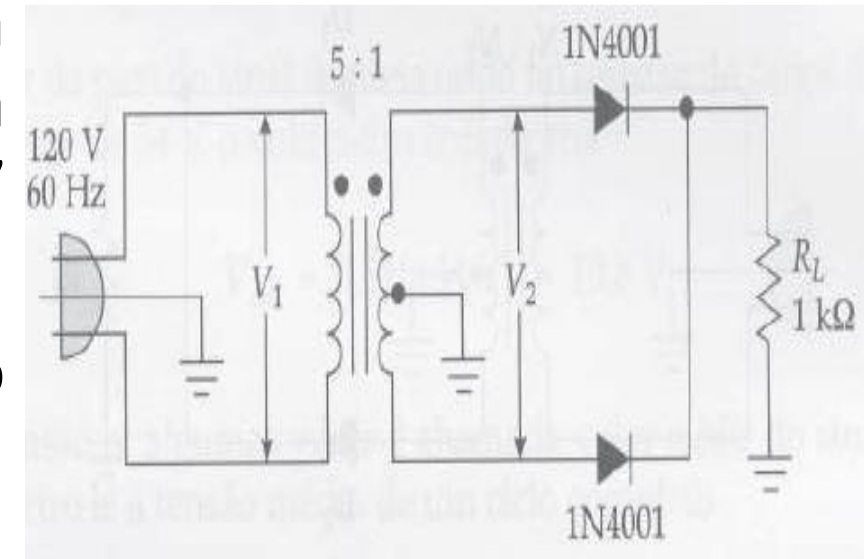
$$V_{p2} = \frac{N_2}{N_1} V_{p1} = \frac{1}{5} \times 170$$

$$V_{p2} = 34V$$



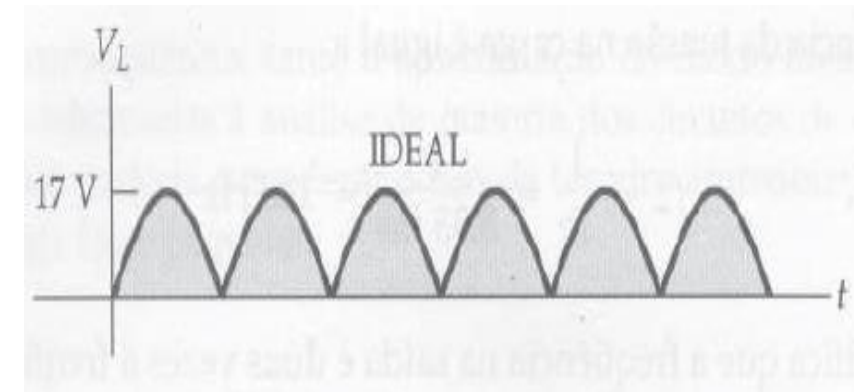
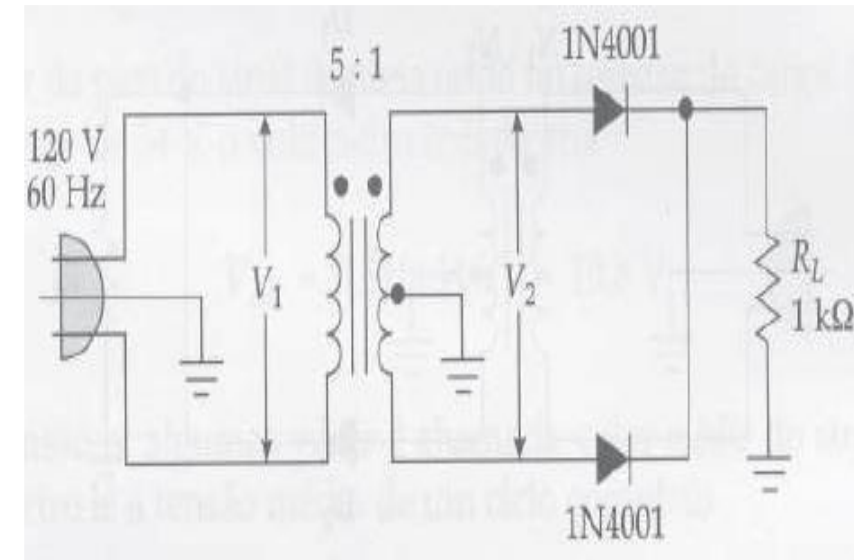
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRA_p)**
- Como a tomada central está aterrada, cada semiciclo do enrolamento secundário tem uma tensão senoidal com um valor de pico de apenas 17 V.
- Portanto, a tensão na carga tem um valor de pico ideal de apenas 17V em vez de 34 V.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- A Figura abaixo do circuito mostra a tensão na carga.
- Esse tipo de forma de onda é chamado sinal de onda completa.
- Ele é equivalente ao inverso dos semiciclos negativos da onda senoidal para obtermos semiciclos positivos.

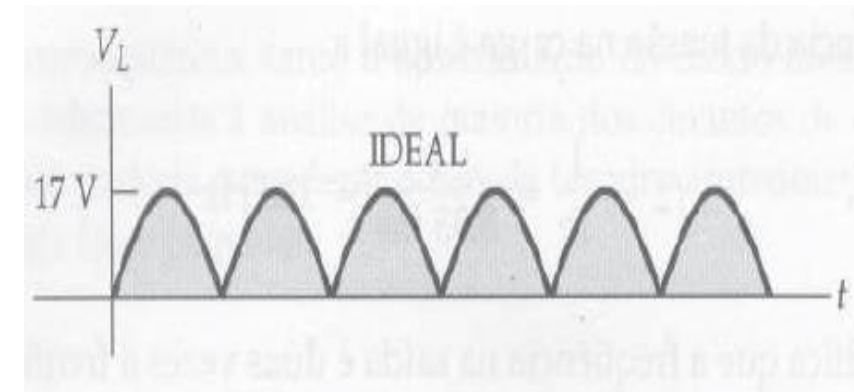
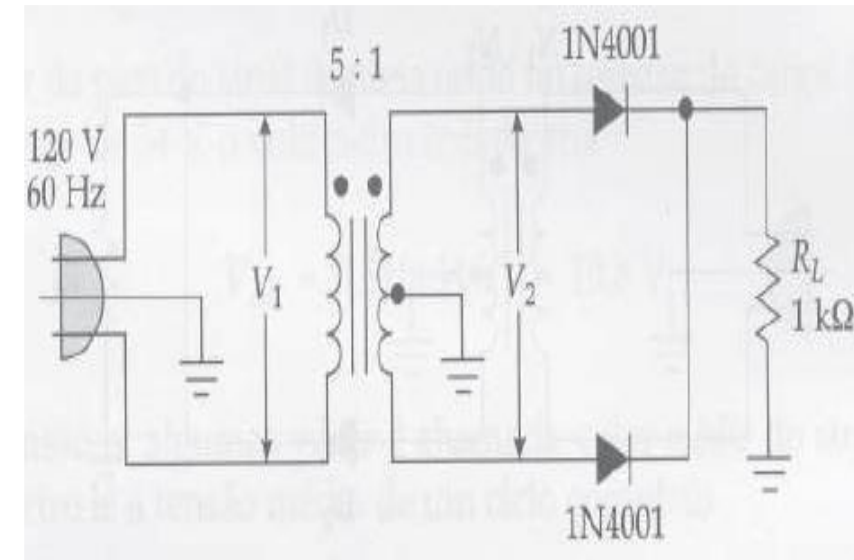


Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTAP)**
- Por causa da lei de Ohm, a corrente na carga é um sinal de onda completa com um valor de pico de:

$$I_{R_1} = \frac{V_{p2}}{R_1} = \frac{34}{1K}$$

$$I_{R_1} = 34mA$$



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**

- **Valor cc ou Médio:**

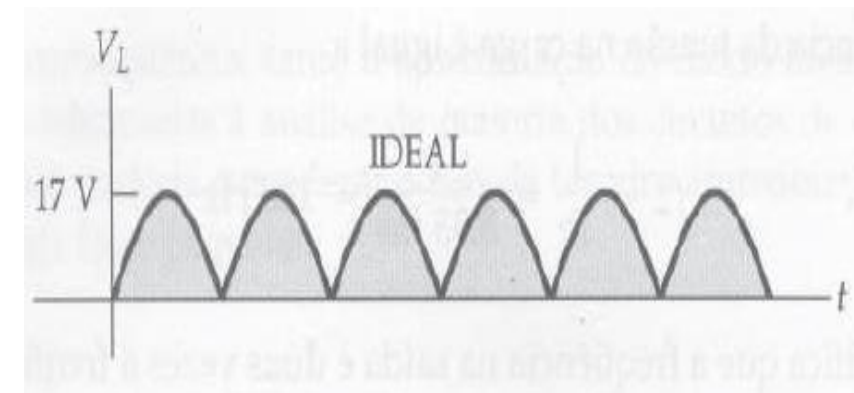
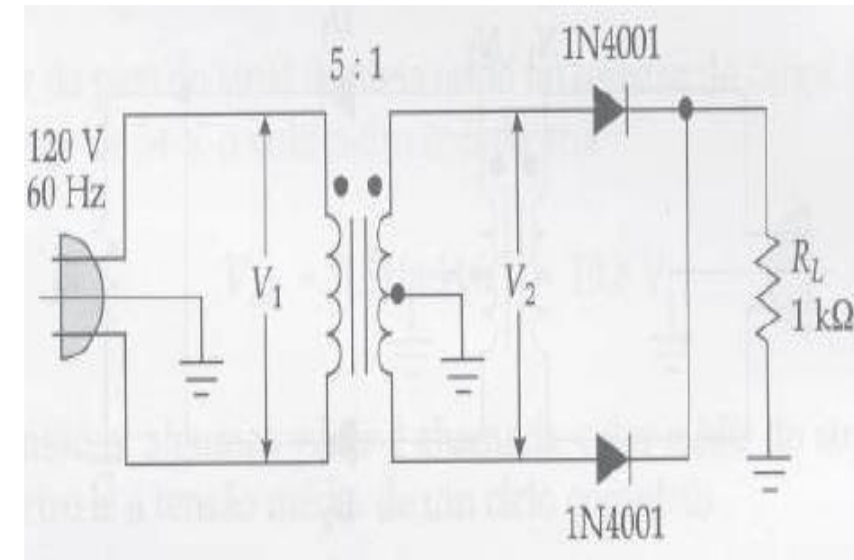
- Se um voltímetro cc fosse conectado à resistência de carga da Figura do circuito, ele indicaria uma tensão cc de:

$$\frac{2.V_p}{\pi}$$

- que é equivalente a:

$$V_{dc} = 0,636.V_p$$

- onde V_p é o valor de pico do sinal de meia onda na resistência de carga.



Circuitos com Diodos

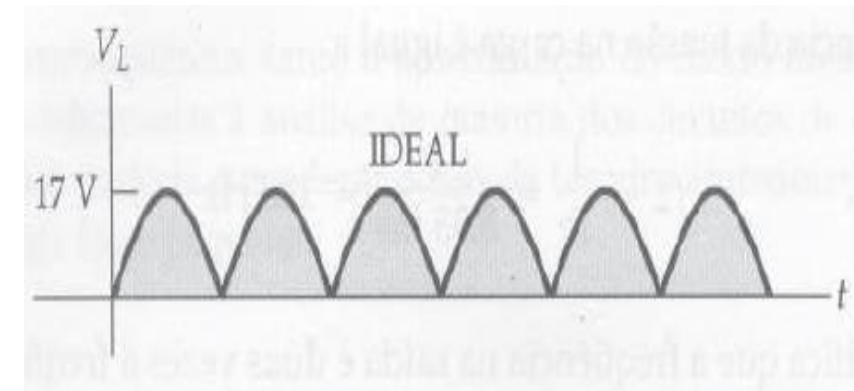
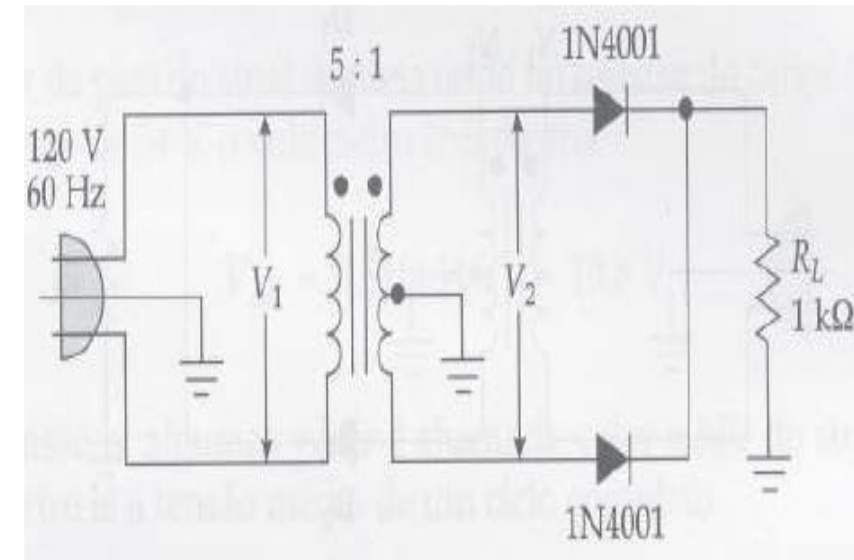
- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- **Valor cc ou Médio:**
- Por exemplo, se a tensão de pico fosse 17 V, o voltímetro cc indicaria:

$$V_{dc} = 0,636.V_p$$

$$V_{dc} = 0,636 \times 17$$

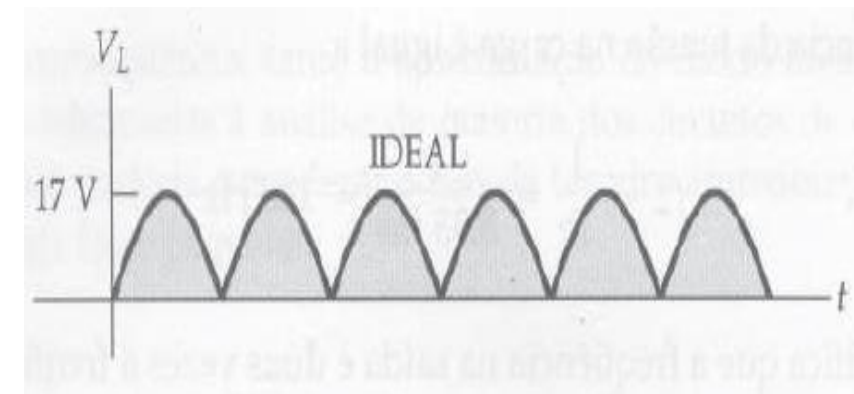
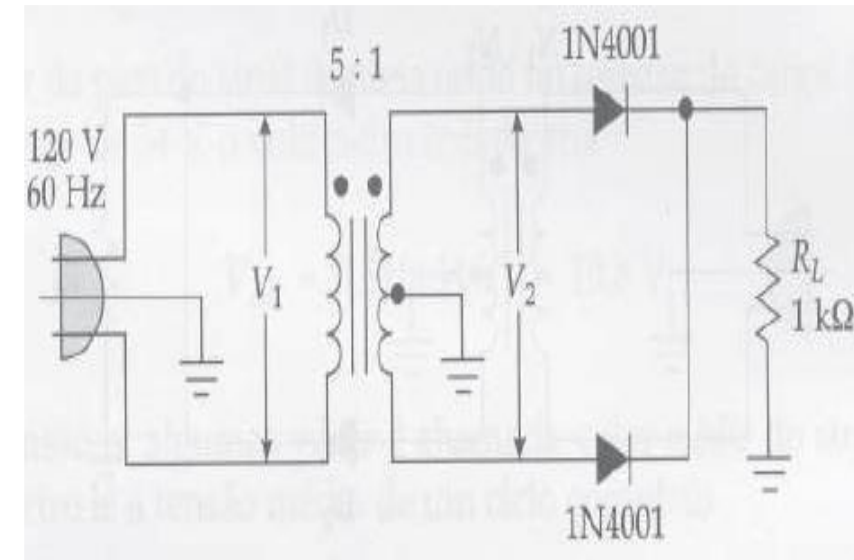
$$V_{dc} = 10,8V$$

- Essa tensão cc é o valor médio do sinal de onda completa porque o voltímetro lê a tensão média de um ciclo completo.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTAP)**
- **A Frequência de Saída:**
- A frequência do sinal de onda completa é o dobro da frequência de entrada. Por quê?
- Lembre-se da definição de um ciclo completo.
- Uma forma de onda completa seu ciclo quando ela começa a repeti-lo.
- Na Figura, a forma de onda retificada começa a repetição após um semiciclo da tensão do primário.



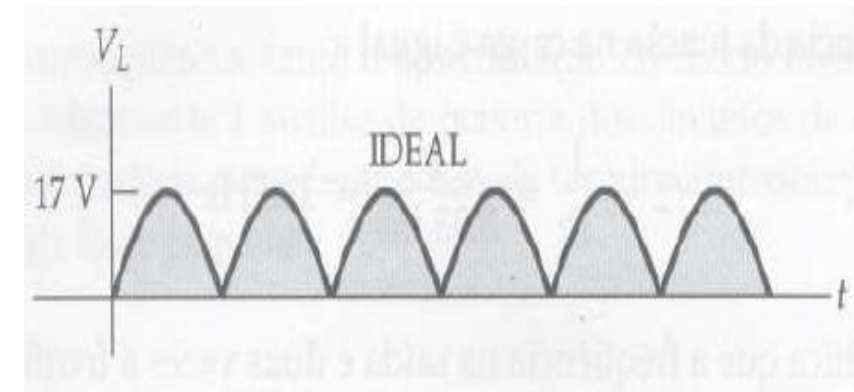
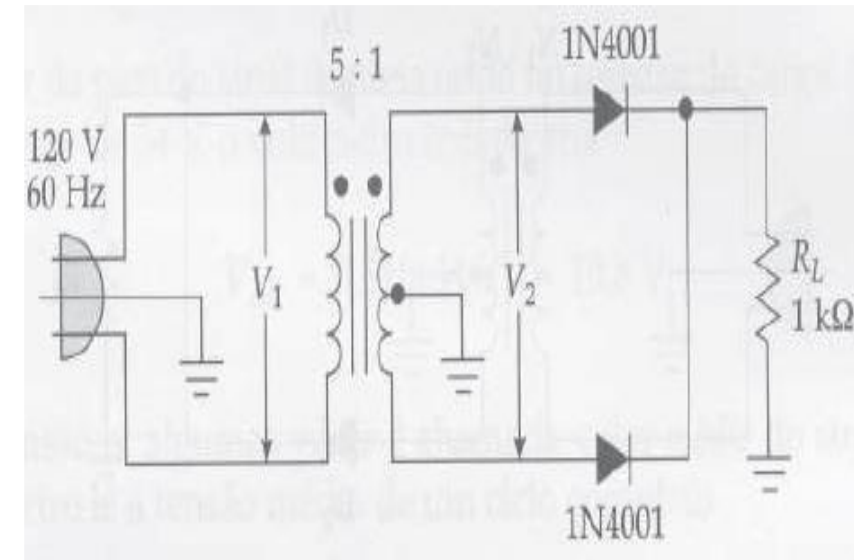
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- **A Frequência de Saída:**
- Como a tensão da linha tem um período de:

$$T_1 = \frac{1}{f} = \frac{1}{60}$$

$$T_1 = 0,0167s$$

$$T_1 = 16,70ms$$

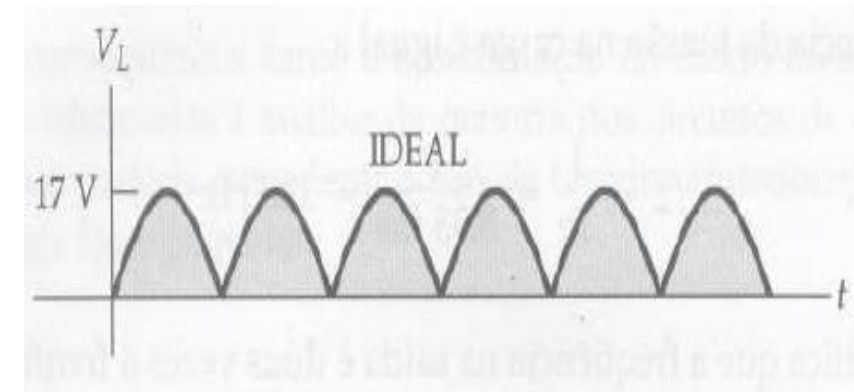
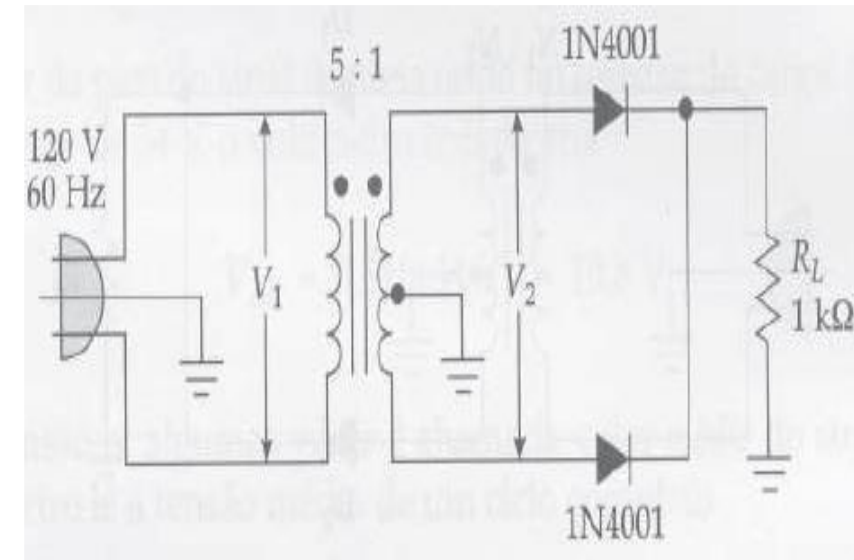


Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- **A Frequência de Saída:**
- A tensão retificada na carga tem um período de

$$T_2 = \frac{T_1}{2} = \frac{16,70}{2}$$

$$T_2 = 8,33ms$$



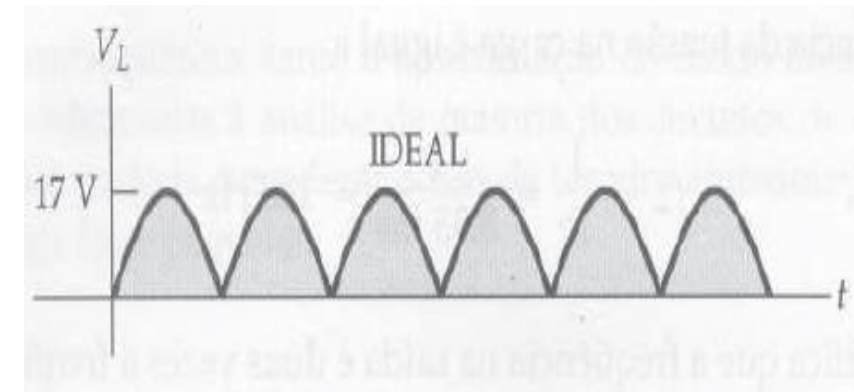
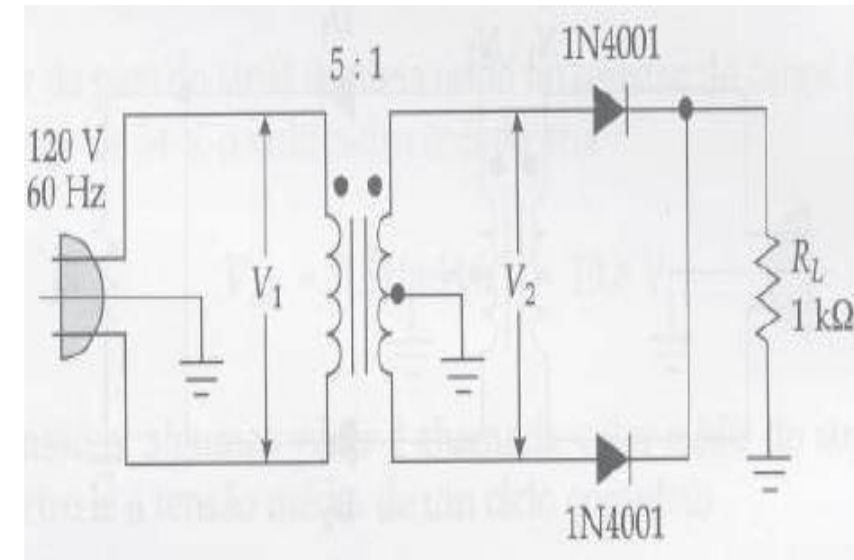
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA COM TOMADA CENTRAL (CENTERTRAp)**
- **A Frequência de Saída:**
- A frequência da tensão na carga é igual a:

$$f_2 = \frac{1}{T_2} = \frac{1}{8,33m}$$

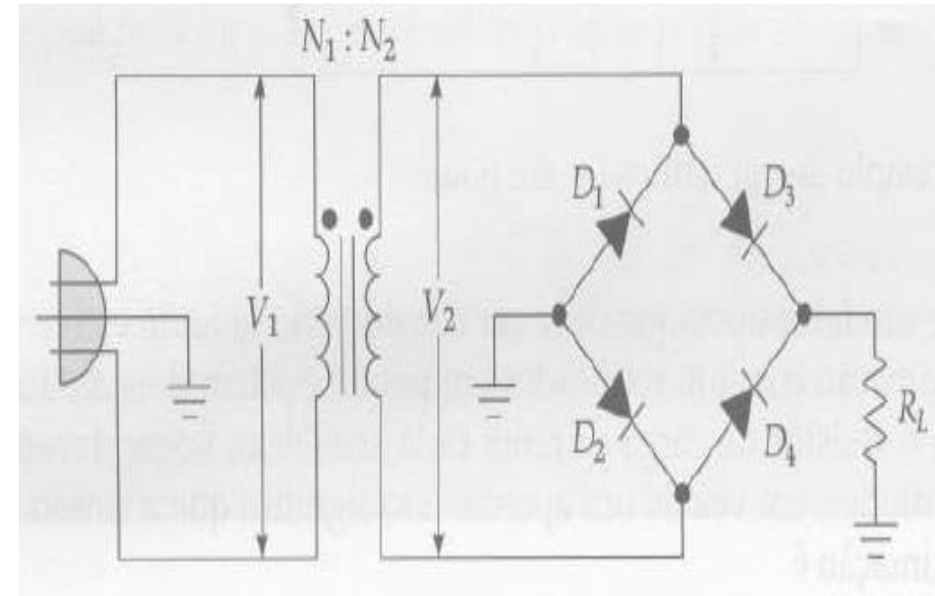
$$f_2 = 120Hz$$

- Isso significa que a frequência na saída é duas vezes a frequência da entrada.
- Em símbolos: $f_{out} = 2 \cdot f_{in}$



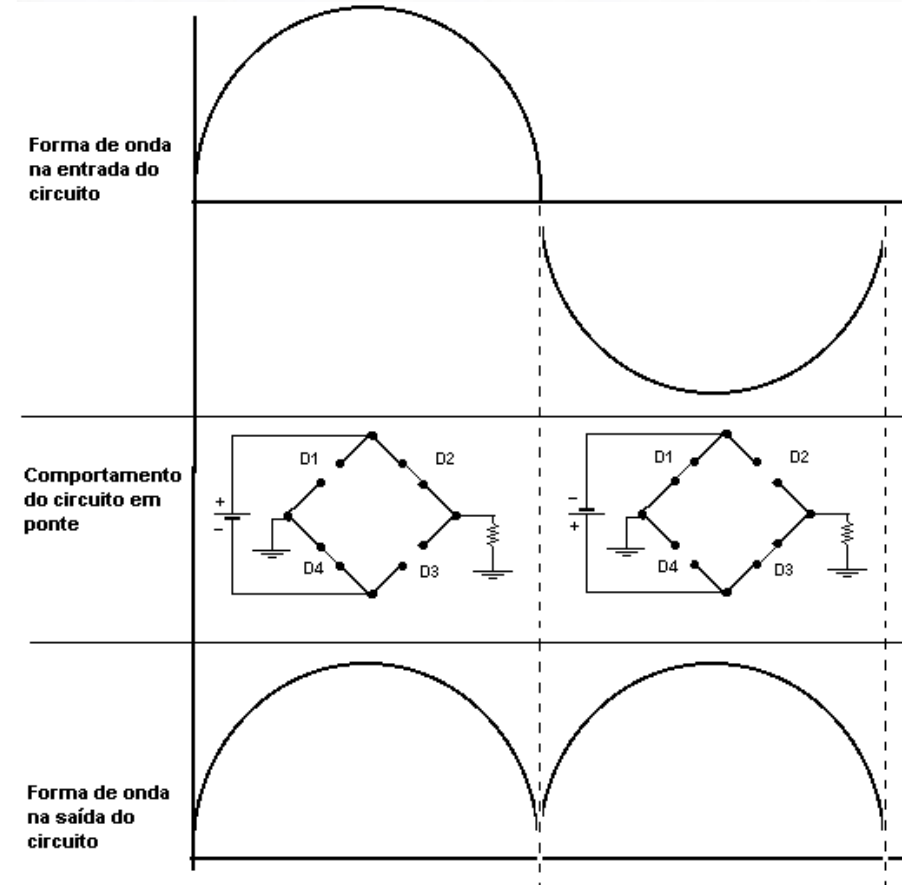
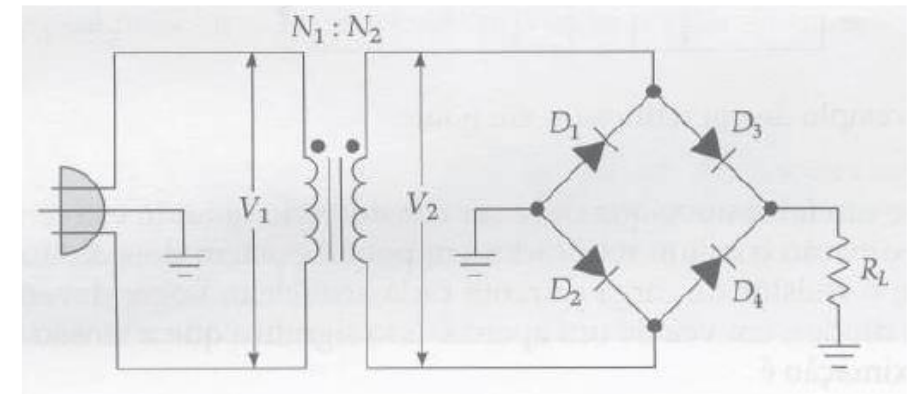
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**
- A Figura mostra um retificador de onda completa em ponte.
- Se usarmos quatro diodos em vez de dois, poderemos eliminar a necessidade de uma tomada central aterrada.
- A vantagem de não usarmos uma tomada central é que a tensão retificada na carga é o dobro daquela que teria o retificador de onda completa com tomada central.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**
- Durante o semiciclo positivo da tensão de linha, os diodos D_2 e D_3 conduzem, o que produz um semiciclo positivo no resistor de carga.
- Durante o semiciclo negativo da tensão de linha, os diodos D_1 e D_4 conduzem, produzindo outro semiciclo positivo no resistor de carga.
- O resultado é um sinal de onda completa no resistor de carga.



Circuitos com Diodos

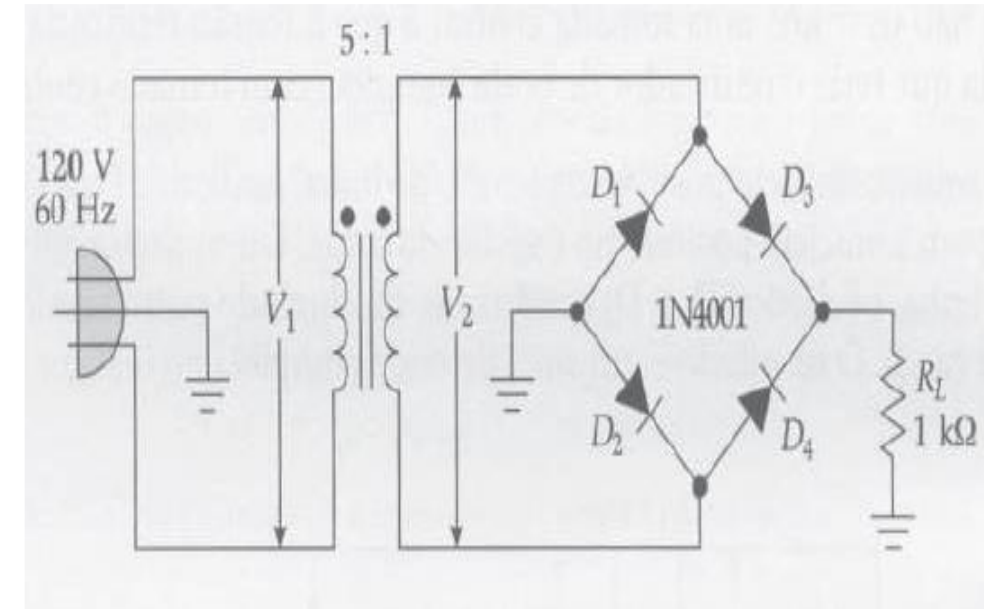
- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**

- Por exemplo, a Figura mostra um transformador com uma relação de espiras de 5:1.
- A tensão de pico no primário é igual a:

$$V_{p1} = 120 \cdot \sqrt{2}$$

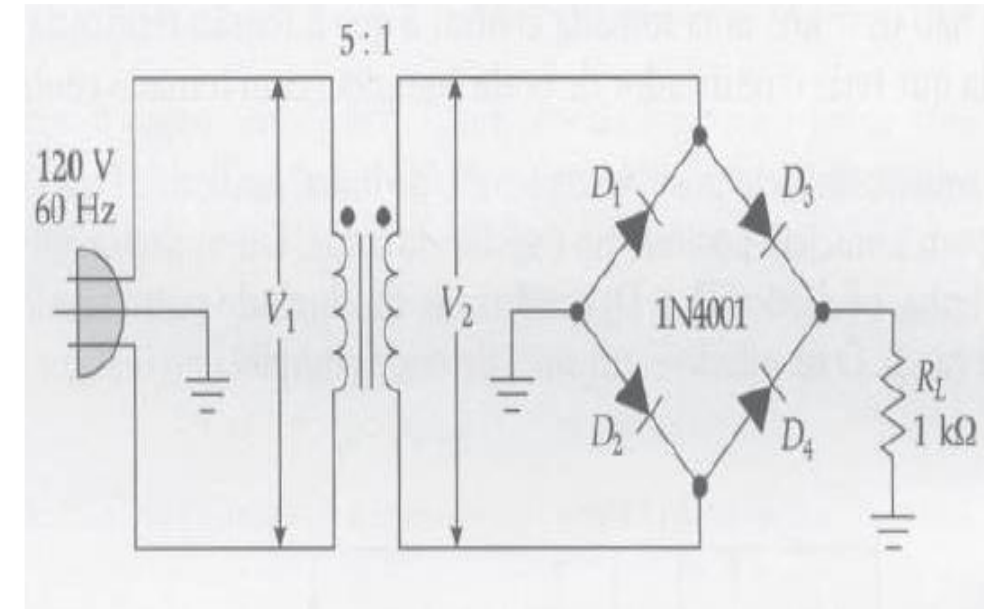
$$V_{p1} = 170V$$

- A tensão de pico no secundário é $V_{p2} = \frac{N_2}{N_1} V_{p1} = \frac{1}{5} \times 170$
 $V_{p2} = 34V$



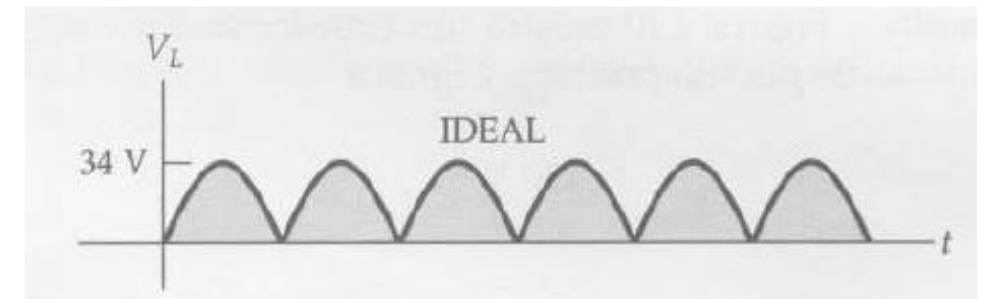
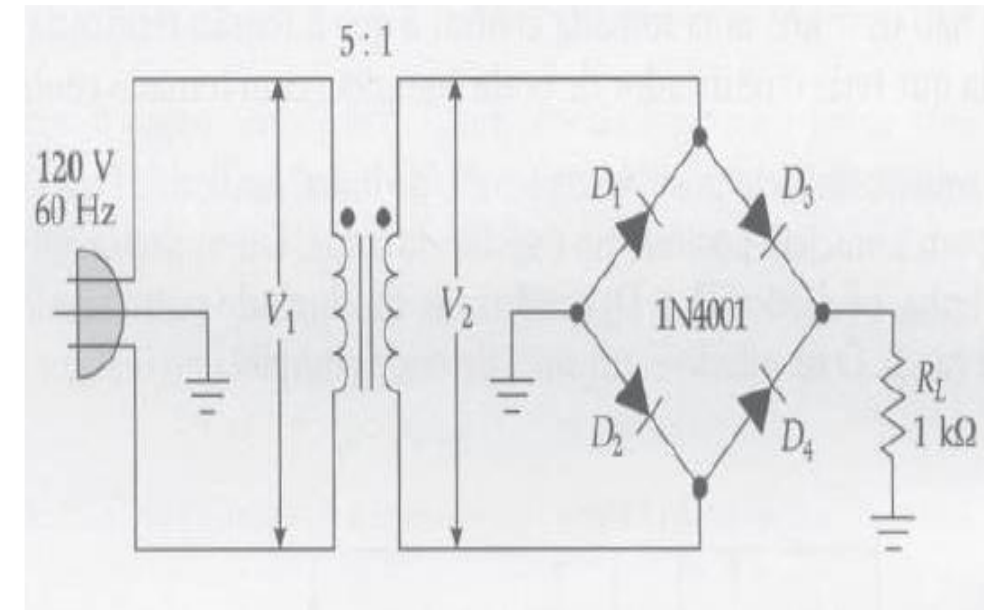
Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**
- Como a tensão total do secundário está aplicada aos diodos em condução que estão em série com o resistor de carga, a tensão na carga tem um valor ideal de pico de 34 V, que é o dobro do retificador em onda completa discutido antes.



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**
- A Figura abaixo do circuito mostra a tensão ideal na carga.
- Como você pode ver, a forma é idêntica à do retificador de onda completa com tomada central.
- Portanto, a frequência do sinal retificado é igual a 120Hz, duas vezes a frequência da linha.

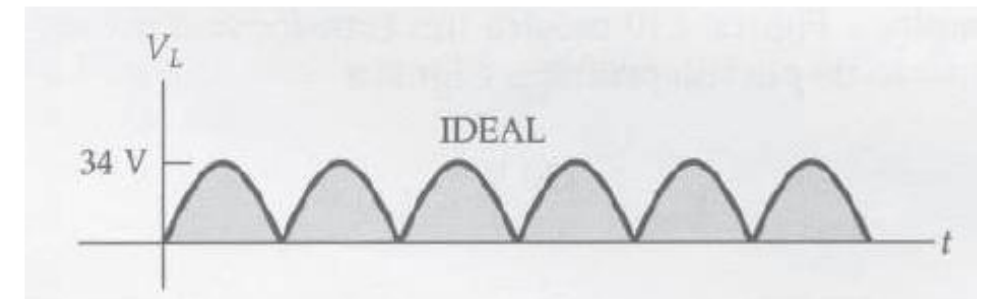
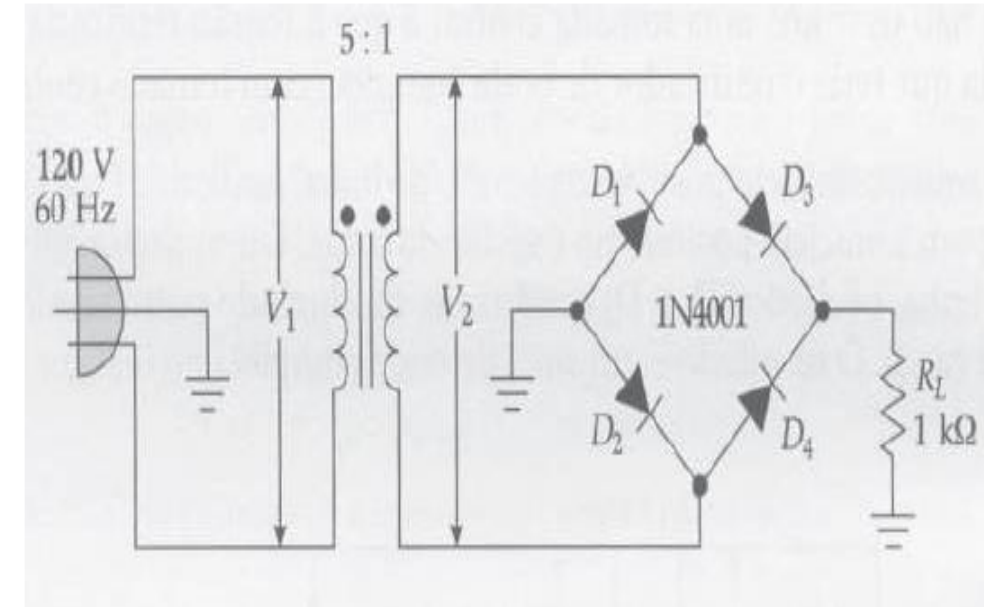


Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**
- Por causa da lei de Ohm, a corrente na carga é um sinal de onda completa com um valor de pico igual a

$$I_{R_1} = \frac{V_{p1}}{R_1} = \frac{17}{1K}$$

$$I_{R_1} = 17mA$$



Circuitos com Diodos

- **RETIFICADOR DE ONDA COMPLETA EM PONTE**

- Existe um fator novo que deve ser considerado quando estivermos usando a segunda aproximação com um retificador em ponte:

- existem dois diodos em série em condução com o resistor de carga durante cada semiciclo.

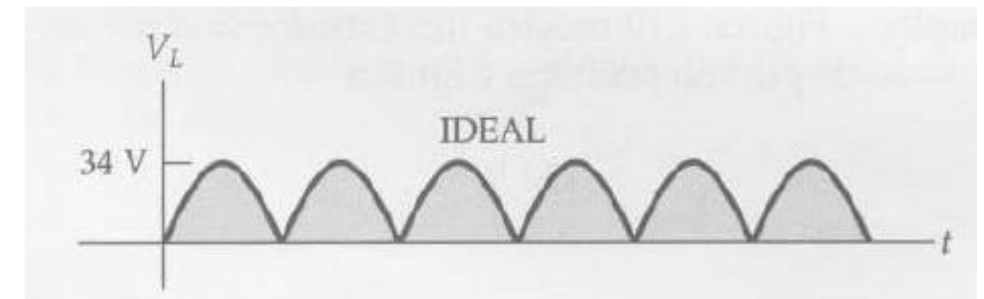
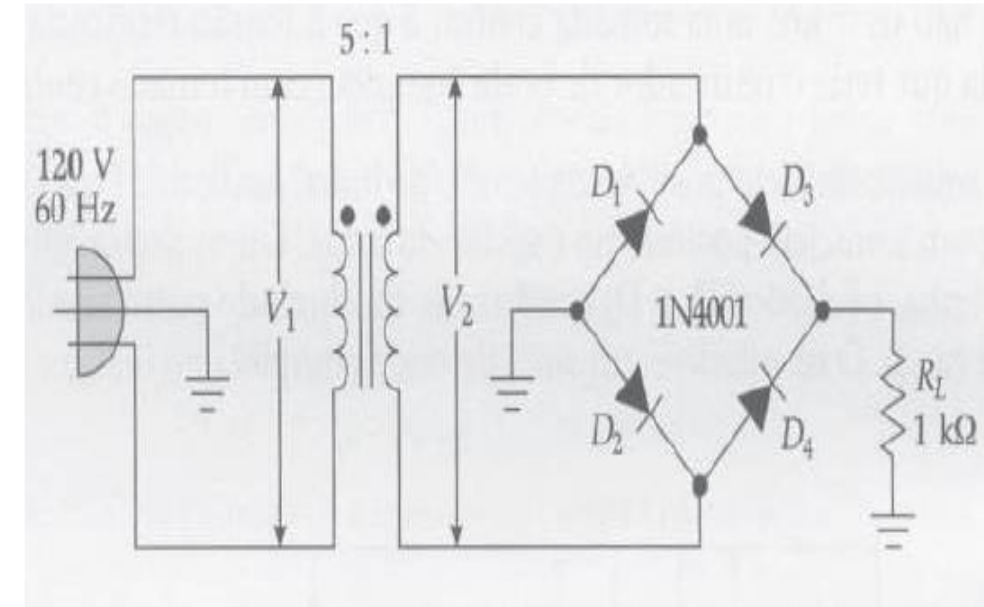
- Logo, devemos subtrair a queda de dois diodos, em vez de um apenas.

- Isso significa que a tensão de pico com a segunda aproximação é:

$$V_{R1} = V_{P2} - 2xV_D$$

$$V_{R1} = 34 - 2x(0,7)$$

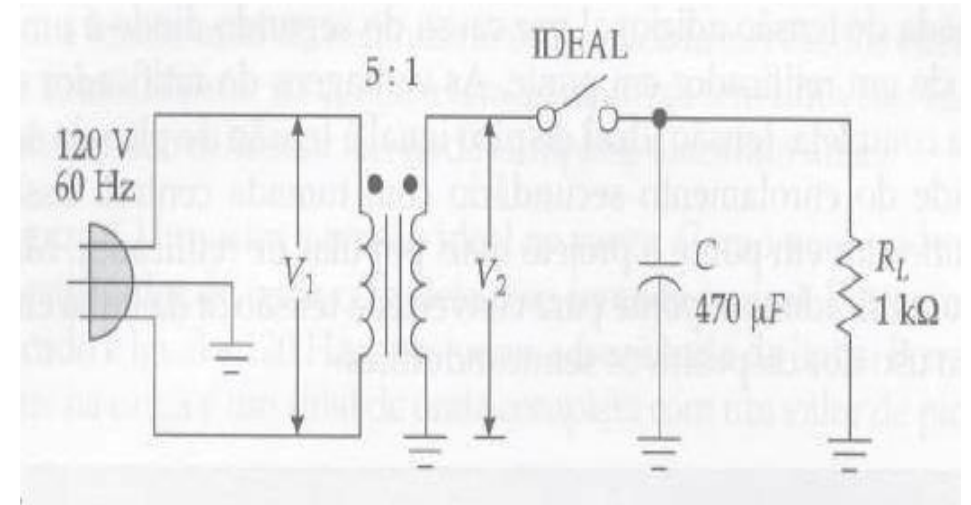
$$V_{R1} = 32,60V$$



Circuitos com Diodos

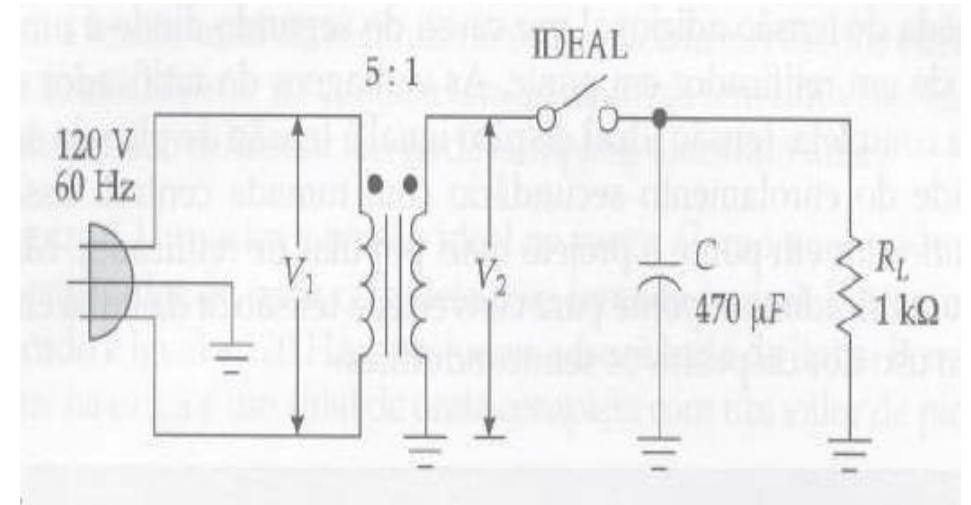
- **FILTRO CAPACITO DE MEIA ONDA**

- A tensão de saída de um retificador aplicada numa carga é pulsante em vez de ser estável.
- Por exemplo, observe o circuito.
- Durante um ciclo completo na saída, a tensão na carga aumenta a partir de zero até um valor de pico e depois diminui de volta a zero.
- Esse não é o tipo de tensão cc de que a maioria dos circuitos eletrônicos precisa.
- É necessária uma tensão estável ou constante similar à produzida por uma bateria.
- Para obter esse tipo de tensão retificada na carga, precisamos de filtro.



Circuitos com Diodos

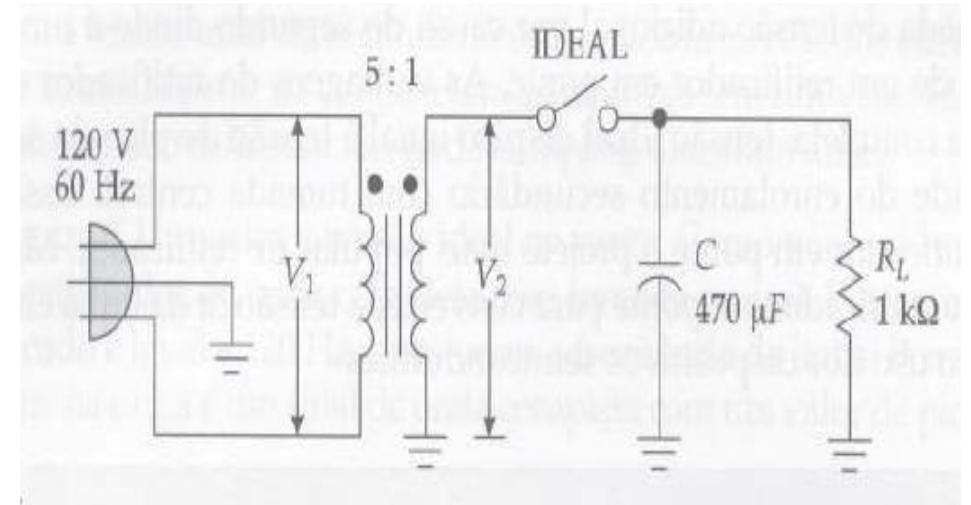
- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**
- O tipo mais comum é o filtro com capacitor mostrado no circuito.
- Para simplificar a explicação inicial sobre os filtros, estamos representando um diodo ideal como uma chave.
- Como você pode ver, um capacitor foi ligado em paralelo ao resistor de carga.
- Antes de ligarmos a alimentação, o capacitor está descarregado, logo, a tensão de carga é zero.



Circuitos com Diodos

- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**

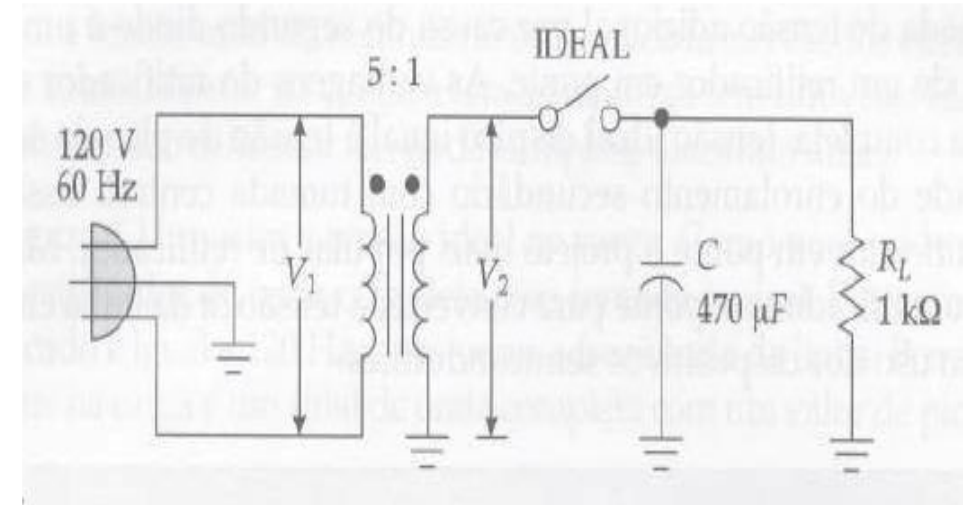
- Durante o primeiro quarto de ciclo da tensão no secundário, o diodo está diretamente polarizado.
- Idealmente, ele funciona como uma chave fechada.
- Como o diodo conecta o enrolamento secundário diretamente ao capacitor, ele carrega até o valor da tensão de pico V_p .



Circuitos com Diodos

- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**

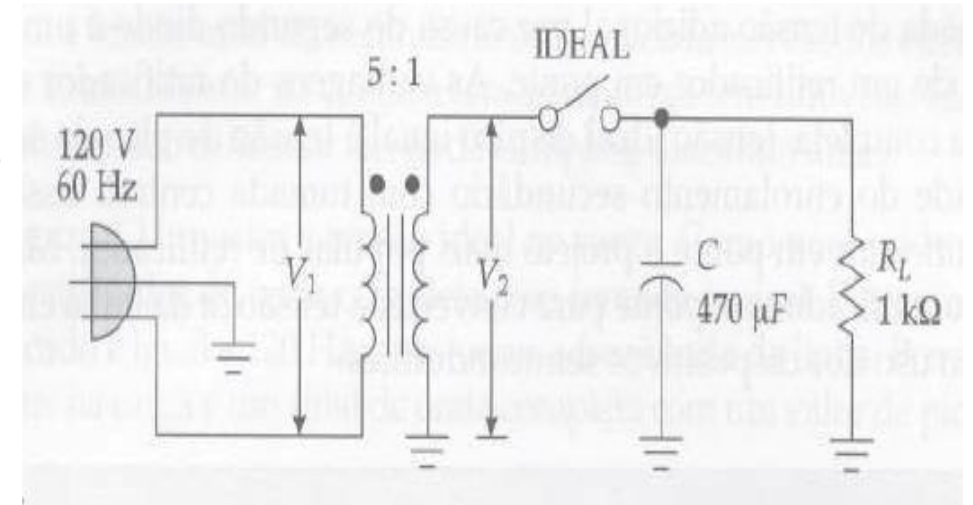
- Logo após o pico positivo, o diodo pára de conduzir, o que significa uma chave aberta.
- Por quê? Porque o capacitor tem uma tensão V_p .
- Como a tensão no secundário é ligeiramente menor que V_p , o diodo fica com polarização reversa.
- Com o diodo agora aberto, o capacitor descarrega por meio da resistência de carga.



Circuitos com Diodos

- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**

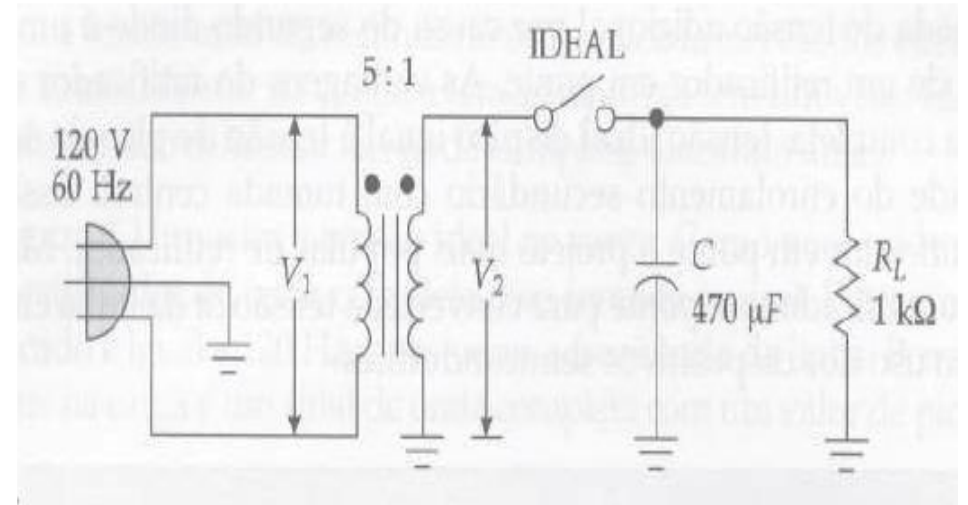
- Mas aqui está a idéia principal sobre o filtro com capacitor: por um projeto deliberado, a constante de tempo de descarga (que é o produto de R_L e C) é muito maior que o período T do sinal de entrada.
- Por isso, o capacitor perderá apenas uma parte de sua carga durante o tempo que o diodo estiver em corte



Circuitos com Diodos

- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**

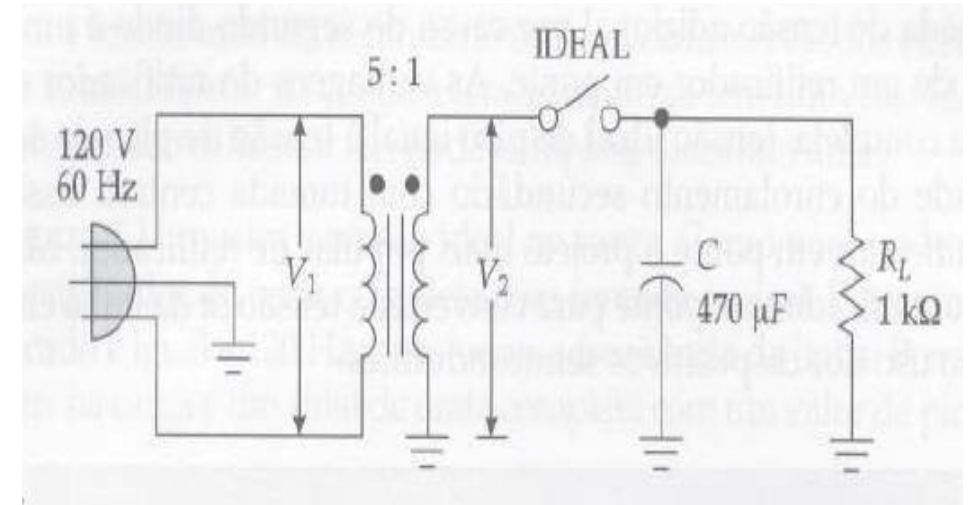
- Quando a tensão da fonte atingir novamente seu valor de pico, o diodo conduzirá brevemente e recarregará o capacitor até o valor da tensão de pico.
- Em outras palavras, após o capacitor ter sido inicialmente carregado durante o primeiro quarto de ciclo, sua tensão será aproximadamente igual à tensão de pico do secundário.



Circuitos com Diodos

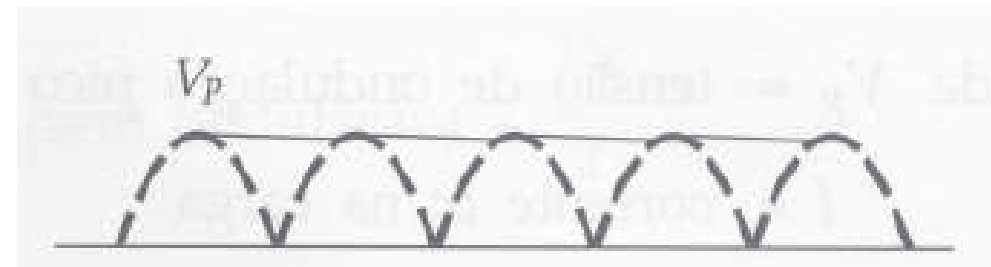
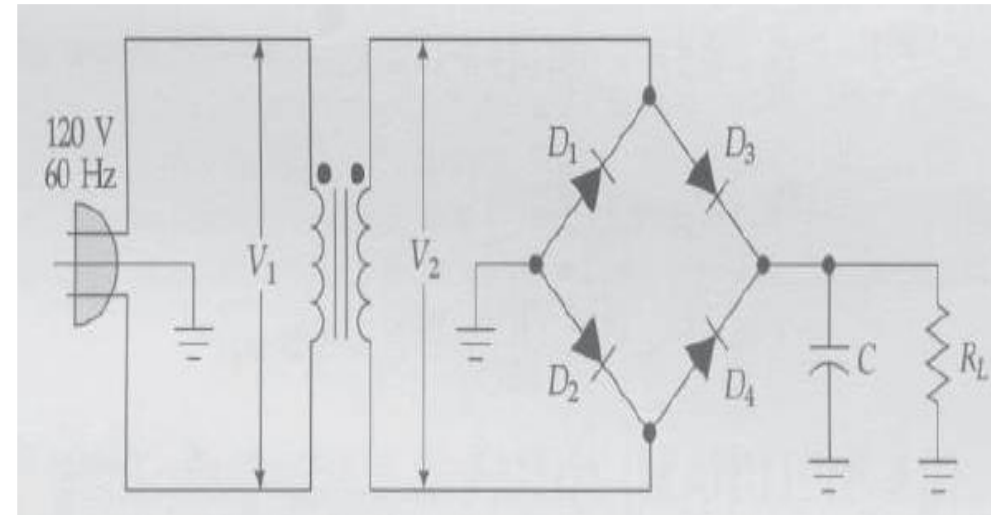
- **FILTRO CAPACITOR DE MEIA ONDA**

- A tensão na carga é agora uma tensão cc mais estável ou quase constante.
- A única diferença para uma tensão cc pura é a pequena ondulação (ripple) causada pela carga e descarga do capacitor.
- Quanto menor a ondulação, melhor.
- Uma forma de reduzir essa ondulação é pelo aumento da constante de tempo de descarga que é igual a RLC .



Circuitos com Diodos

- **FILTRO CAPACITOR DE ONDA completa**
- Um outro modo de reduzir a ondulação é pelo uso de um retificador de onda completa com tomada central ou em ponte; portanto, a frequência de ondulação é de 120 Hz em vez de 60 Hz.
- Nesse caso, o capacitor é carregado duas vezes e descarrega-se apenas metade do tempo.
- Como resultado, a ondulação é menor e a tensão cc na saída é mais próxima da tensão de pico.

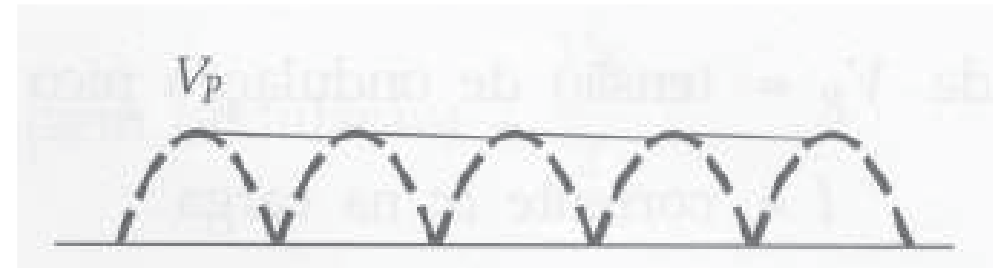


Circuitos com Diodos

- **Tensão de Ripple (V_R)**
- Aqui está uma fórmula para a tensão de ondulação expressa em termos de valores do circuito medidos facilmente:

$$V_R = \frac{I}{f \cdot C}$$

- onde V_R = tensão de ondulação pico a pico
- I = corrente cc na carga
- f = frequência de ondulação
- C = capacitância



Diodo ZENNER

- Os diodos de pequeno sinal e retificadores nunca operam intencionalmente na região de ruptura porque isso danifica-os.
- Um diodo Zener é diferente.
- Ele é um diodo de silício que o fabricante otimizou para operar na região de ruptura.
- Algumas vezes chamado diodo de ruptura, o diodo Zener é o elemento principal dos reguladores de tensão, circuitos que mantêm a tensão na carga quase constante, independentemente da alta variação na tensão de linha e na resistência de carga.

Diodo ZENNER

- Os diodos de pequeno sinal e retificadores nunca operam intencionalmente na região de ruptura porque isso danifica-os.
- Um diodo Zener é diferente.
- Ele é um diodo de silício que o fabricante otimizou para operar na região de ruptura.
- Algumas vezes chamado diodo de ruptura, o diodo Zener é o elemento principal dos reguladores de tensão, circuitos que mantêm a tensão na carga quase constante, independentemente da alta variação na tensão de linha e na resistência de carga.