

Circuitos Retificadores

1- INTRODUÇÃO

Os circuitos retificadores, são circuitos elétricos utilizados em sua maioria para a conversão de tensões alternadas em contínuas, utilizando para isto no processo da conversão elementos semicondutores, tais como os diodos e tiristores.

1.1- Diodo de junção PN

O diodo de junção PN ou simplesmente diodo, é um dispositivo eletrônico que permite a passagem da corrente elétrica em apenas um único sentido em um circuito elétrico. O diodo na eletricidade funciona de forma idêntica a uma válvula em um circuito hidráulico, que impede o retorno do fluxo de água em um encanamento quando temos a inversão da pressão da água no mesmo.

A junção PN pode ser considerada de uma maneira bem simples, como a justaposição de dois materiais semicondutores (em sua maioria silício) dopados, um do tipo N (negativo) e outro do tipo P (positivo) que basicamente pode ser considerado como uma retirada e colocada de elétrons nos materiais. Cada material P ou N, representa então um terminal do diodo sendo chamados de anodo e catodo respectivamente, e a junção, o ponto de ligação entre os materiais do tipo P e do tipo N representados na figura 1.1.

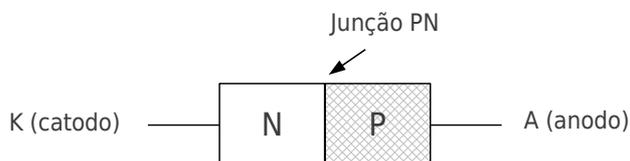


Figura 1.1

1.2- Polarização da junção PN

1.2.1- Junção PN polarizada inversamente

O sentido da polarização é tal que não há fluxo de corrente, sendo assim nesta situação não há corrente elétrica no circuito e o diodo funciona como um circuito aberto.

Quando a junção PN está polarizada inversamente, existe uma pequena corrente reversa no diodo sendo seu valor muito pequeno, que para simplificação de nossa análise a consideraremos desprezível. A figura 1.2 mostra um circuito contendo uma junção PN polarizada de forma reversa.

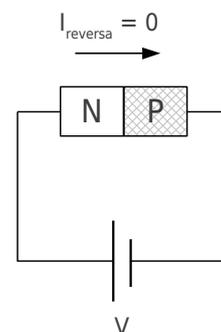


Figura 1.2

1.2.2- Junção PN polarizada diretamente

Neste caso, o sentido da polarização é tal que há fluxo de corrente, sendo assim o diodo funciona como uma chave fechada, permitindo a passagem da corrente elétrica (figura 1.3).

Os diodos ideais, quando estão polarizados diretamente, ou entram em condução, podemos considerá-los como sendo uma chave fechada e desta forma a d.d.p. Em seus terminais será zero. Porém no caso real, quando um diodo entra em condução, aparece uma pequena d.d.p. em seus terminais, sendo $\approx 0,7\text{ V}$ para os diodos de silício e $\approx 0,2\text{ V}$ para diodos de germânio. Essa d.d.p. é praticamente constante para qualquer valor de corrente após o diodo ter entrado em condução.

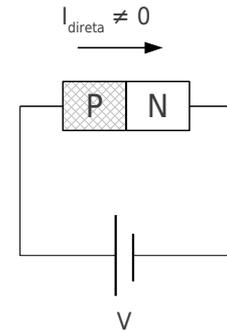


Figura 1.3

O sentido da corrente elétrica através do diodo é o sentido convencional, e seu símbolo representado na figura 1.4, é uma seta que representa o sentido da corrente no diodo quando polarizado diretamente.

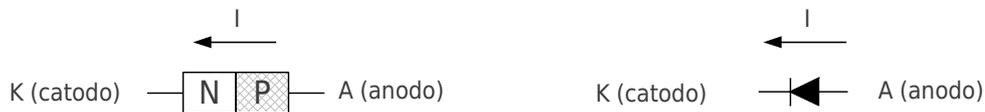


Figura 1.4

1.3- Curvas características reais de um diodo de junção

As curvas características são gráficos da tensão nos terminais do diodo em função de sua corrente. A figura 1.5 representa a curva $V \times I$ para diodos de silício e germânio genéricos. Existem outras curvas fornecidas pelos fabricantes, porém em nosso estudo basta-nos a interpretação de apenas esta curva. No final do capítulo temos algumas curvas disponíveis de alguns diodos de uso geral.

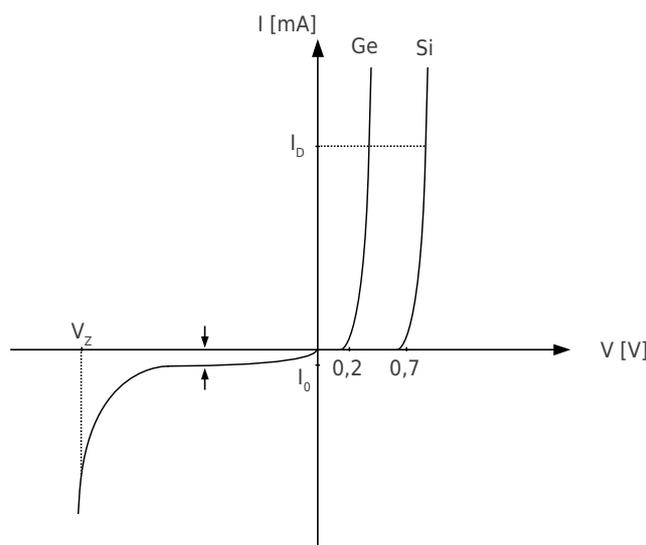


Figura 1.5

Alguns valores que limitam a operação dos diodos, devem ser observados nesta curva que são: a corrente direta (I_D) e sua tensão máxima reversa (V_Z).

A corrente direta (I_D) é o máximo valor de corrente que o diodo pode conduzir em regime contínuo quando polarizado diretamente. Este valor é característico para cada tipo de diodo, podendo ir de alguns miliampéres até centenas de ampéres.

A tensão máxima reversa (V_Z), é o máximo valor de tensão que a junção suporta quando polarizada inversamente sem danificar a junção. Da mesma forma esses valores encontramos em manuais dos fabricantes que podem ir de alguns volts até milhares de volts.

Existem ainda outros parâmetros que não serão mencionados em detalhes aqui, pois nosso objetivo é apenas entender um funcionamento básico do dispositivo e suas aplicações mais comuns em eletricidade e eletrônica.

2- CIRCUITOS RETIFICADORES

Circuitos retificadores, são circuitos cuja finalidade é obter uma tensão contínua a partir de uma tensão ou sinal senoidal. A figura 2.6 mostra um diagrama em blocos de um circuito retificador básico, composto por um transformador, retificador, filtro e carga. Alguns circuitos podem ainda ter uma etapa entre o filtro e a carga que é um regulador ou estabilizador de tensão, que não será abordado em nossos estudos.

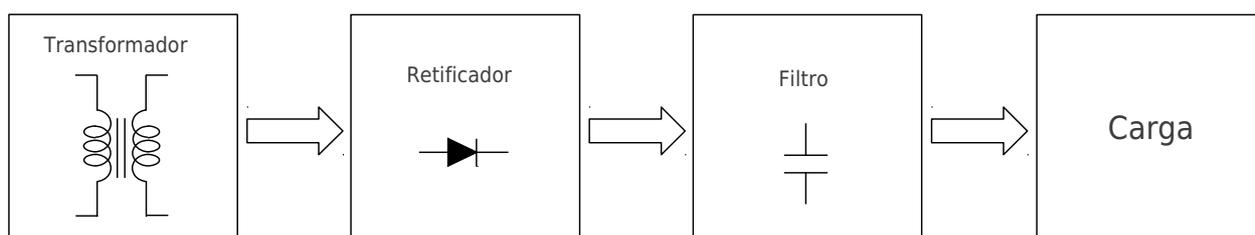


Figura 2.6

O transformador, tem a função de reduzir ou elevar a tensão disponível que será enviada ao retificador. Este por sua vez converte a CA, que é uma corrente bidirecional em uma corrente unidirecional, ou seja, em uma CC. Veremos que esta CC na saída do retificar é do tipo pulsante, ou seja, não possui um valor contínuo constante, tendo assim a necessidade de um filtro que aplaina a tensão de saída deixando-a constante. E por fim a carga, que representa o sistema que será alimentado.

2.1- Transformador

O princípio de funcionamento de um transformador, baseia-se no princípio da indução eletromagnética, ou seja, uma corrente alternada aplicada em um de seus enrolamentos (primário) produz um fluxo magnético variável que corta as espiras do outro enrolamento (secundário) fazendo que assim apareça uma f.e.m. induzida no secundário.

De acordo com a figura 2.7, o primário, um enrolamento de N_1 espiras, é alimentado por uma tensão variável, que produz um fluxo variável ϕ induzindo uma f.e.m. nos terminais do secundário que possui N_2 espiras.

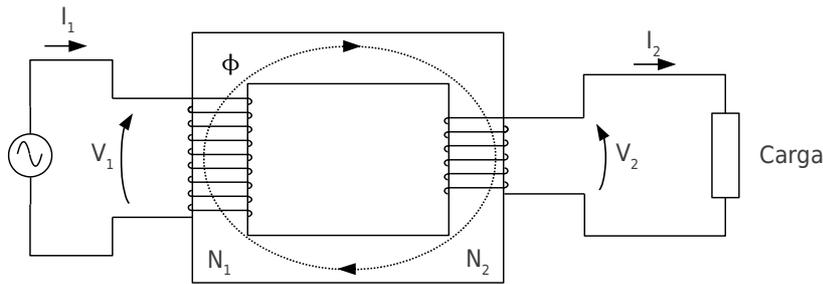


Figura 2.7

O transformador tem a função de transferir a potência do primário para o secundário, sendo assim, podemos dizer que a potência no primário do transformador é igual a potência no secundário, então:

$$P_1 = P_2$$

$$V_1 \cdot I_1 = V_2 \cdot I_2$$

Podendo então escrever a seguinte relação:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Pode-se ainda demonstrar que a relação entre as espiras do primário e secundário estão para a relação entre as tensões no primário e secundário do transformador, ou seja,

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{V_1}{V_2}$$

A relação $\frac{N_1}{N_2}$ também é chamada de relação de espiras do transformador.

Se $\frac{N_1}{N_2} > 1$ dizemos que o transformador é um abaixador, pois $V_2 < V_1$ e se $\frac{N_1}{N_2} < 1$ dizemos que o transformador é um elevador, pois $V_2 > V_1$.

2.2- Retificador

Chama-se de retificador, o circuito que transforma a CA em CC, ou seja, faz com que a corrente na carga circule em um único sentido. Existem dois tipos de retificadores: Retificador de meia onda e retificador de onda completa.

2.2.1- Retificador de meia onda

O retificador de meia onda, permite que apenas um semiciclo da onda circule pela carga. Neste retificador utiliza-se apenas um diodo que conduz em um semi ciclo da corrente quando estiver polarizado diretamente. A figura 2.8a traz o diagrama esquemático deste circuito com uma carga resistiva e a figura 2.8b as formas de onda em cada elemento.

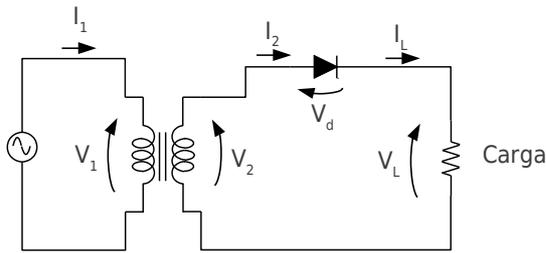


Figura 2.8a

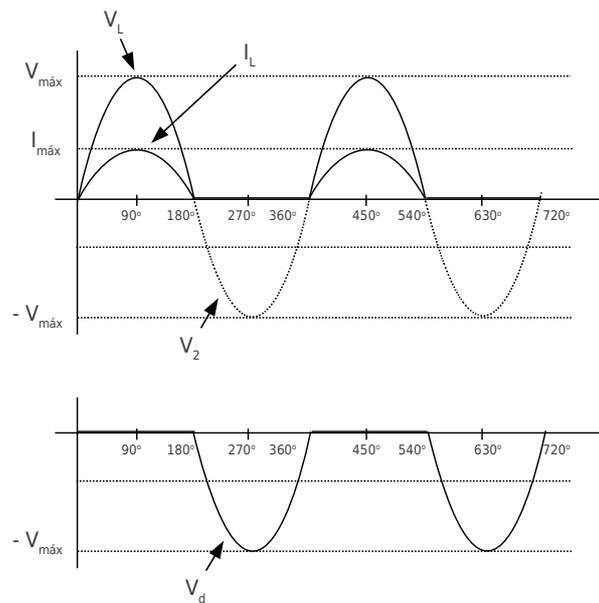


Figura 2.8b

Para este circuito podemos escrever algumas expressões importantes para a determinação das características do nosso diodo. Muitas delas não serão demonstradas e simplesmente apresentadas, pois suas demonstrações necessitam de técnicas matemáticas mais avançadas.

As expressões são:

| | |
|---------------------------------|--|
| Corrente secundária | $I_2 = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{m\acute{e}d} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{CC} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\pi} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{d,m\acute{e}d} = -\frac{V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | $V_{m\acute{a}x}$ |
| Corrente média no diodo | I_{CC} |

2.2.2- Retificador de onda completa com trafo de derivação central

Este circuito, é apresentado no circuito da figura 2.9a. Neste circuito temos apenas dois diodos, onde um dos diodos conduz um semiciclo da corrente e o outro diodo conduz o outro semiciclo da corrente. Isto só é possível porque o transformador possui uma derivação central ou center tape - CT.

Na realidade é como se fosse um transformador com uma primário e dois secundários ligado em série, sendo o ponto de ligação destes o CT. Desta forma, cada enrolamento irá fornecer corrente para um semi ciclo da onda.

A figura 2.9b traz a seqüência de condução dos diodos como sendo ON para diodo conduzindo e OFF para diodo não conduzindo, e a figura 2.9c as formas de ondas nos elementos do circuito.

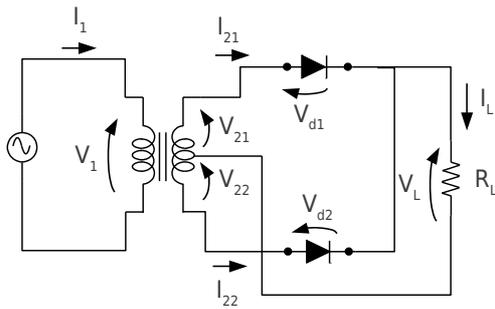


Figura 2.9a

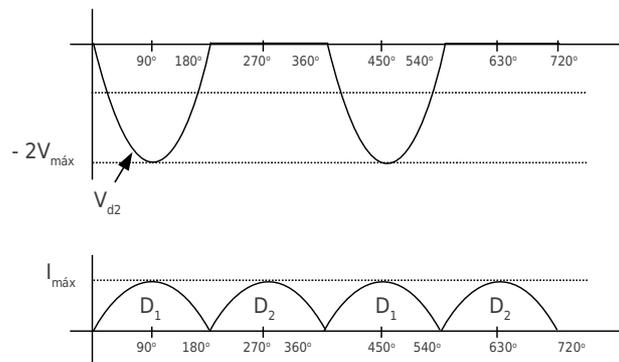
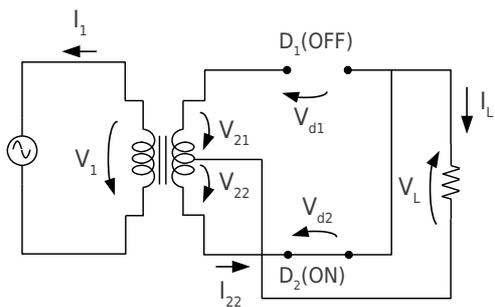
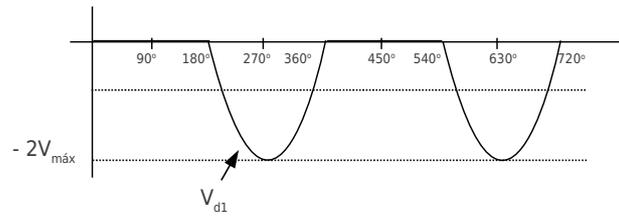
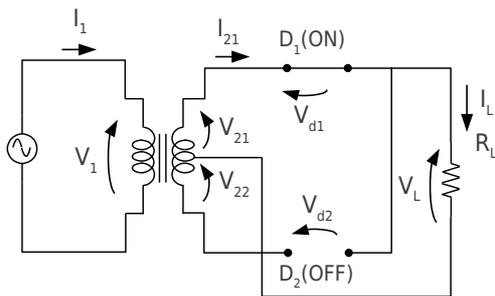
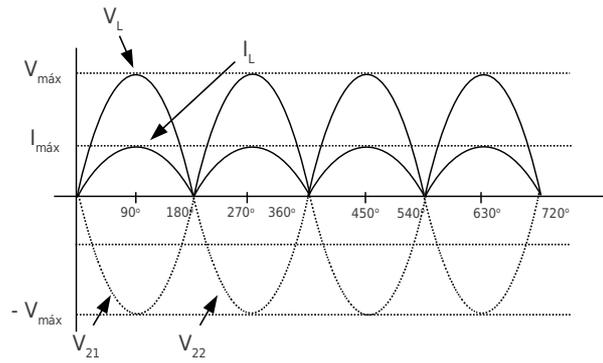


Figura 2.9c

Figura 2.9b

Da mesma forma podemos escrever as expressões para as tensões e correntes nos elementos do circuito e na carga:

| | |
|---------------------------------------|--|
| Corrente secundária (cada secundário) | $I_2 = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{m\acute{e}d} = \frac{2 V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{CC} = \frac{2 I_{m\acute{a}x}}{\pi} = \frac{2 V_{m\acute{a}x}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{d_{m\acute{e}d}} = -\frac{2 V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | $2 V_{m\acute{a}x}$ |
| Corrente média no diodo | $\frac{I_{CC}}{2}$ |

2.2.2- Retificador de onda completa em ponte

O circuito em ponte utiliza quatro diodos ligados conforme mostra a figura 2.10a. Este circuito utiliza uma transformador de secundário simples, tendo como vantagem a não utilização de um transformador com tape central ou center tape.

Na figura 2.10b temos a seqüência de condução dos diodos, e na figura 2.10c as principais formas de onda no circuito. Observe que neste circuito o diodo não possui mais como tensão reversa $2V_{m\acute{a}x}$, e sim a metade deste valor, que em alguns casos é essencial esta situação, pois quanto maior a tensão reversa do diodo mais oneroso pode se tornar o circuito.

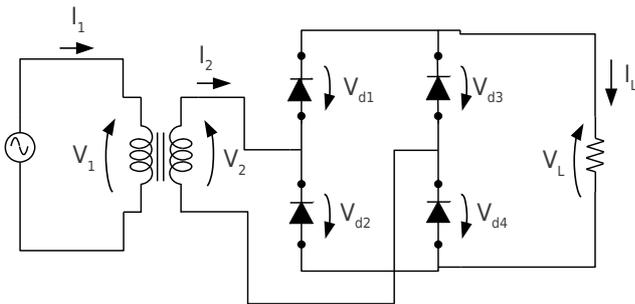


Figura 2.10a

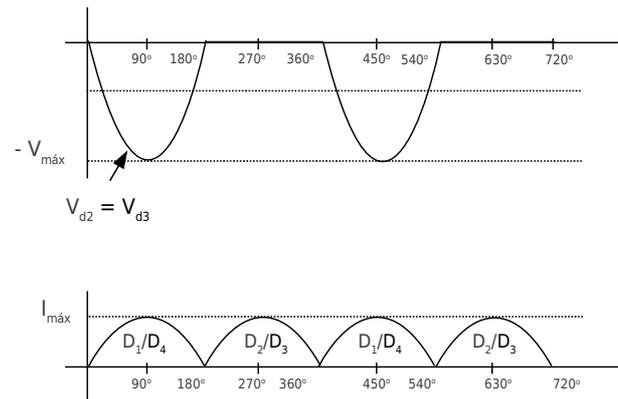
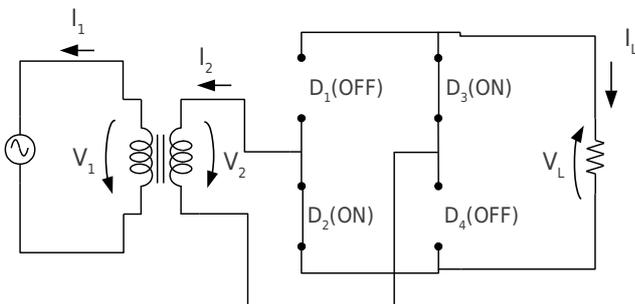
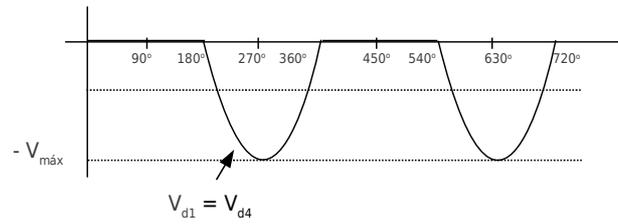
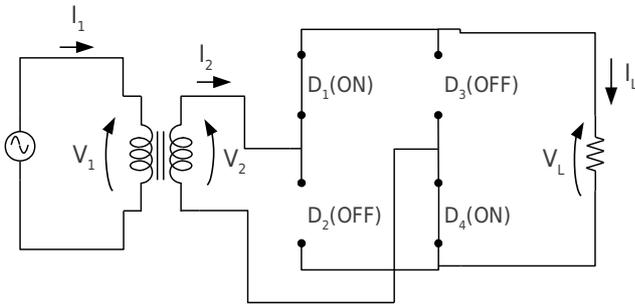
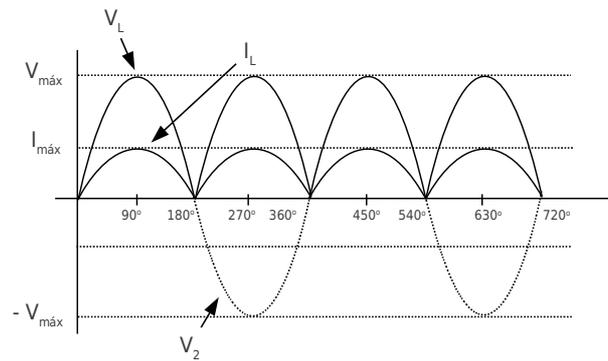


Figura 2.10b

Figura 2.10c

As expressões para as tensões e correntes nos elementos do circuito e na carga são dadas na tabela a seguir.

| | |
|---------------------------------|--|
| Corrente secundária | $I_2 = \frac{V_{m\acute{a}x}}{R_L}$ |
| Tensão média na carga | $V_{m\acute{e}d} = \frac{2V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Corrente média na carga | $I_{CC} = \frac{2I_{m\acute{a}x}}{\pi} = \frac{2V_{m\acute{a}x}}{R_L \cdot \pi}$ |
| Tensão eficaz na carga | $V_{rms} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$ |
| Corrente eficaz na carga | $I_{rms} = \frac{I_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$ |
| Tensão inversa média no diodo | $V_{d_{m\acute{e}d}} = -\frac{V_{m\acute{a}x}}{\pi}$ |
| Tensão de pico inversa no diodo | $V_{m\acute{a}x}$ |
| Corrente média no diodo | $\frac{I_{CC}}{2}$ |

2.2.3- Filtro capacitivo

Os elementos reativos, no caso capacitores, possuem a propriedade de armazenar energia em seu interior. Esta propriedade é bem utilizada nos circuitos retificadores, pois esta energia armazenada no capacitor pode ser utilizada para amenizar as ondulações na saída do retificador, deixando assim a tensão de saída mais plana e proporcionando assim um maior valor médio na tensão de saída.

Considere o circuito da figura 2.11. O circuito retificador representado pelo bloco abaixo, contém o transformador e o circuito retificador de meia onda ou onda completa. O capacitor C representa o filtro colocado em sua saída que iremos analisar sua influência no mesmo.

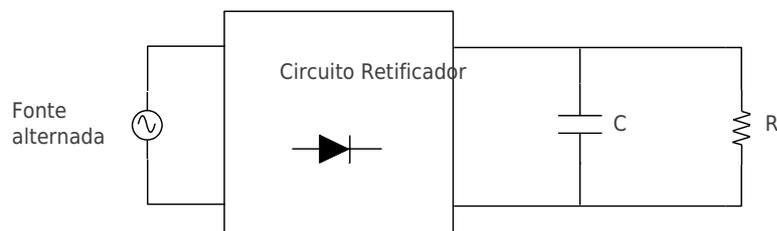


Figura 2.11

As figura 2.12a e 2.12b, representa graficamente a ação do filtro capacitivo na saída de um retificador de meia onda e onda completa respectivamente.

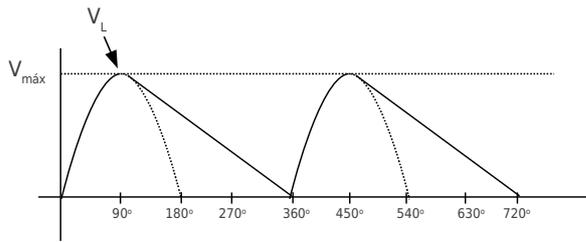


Figura 2.12a

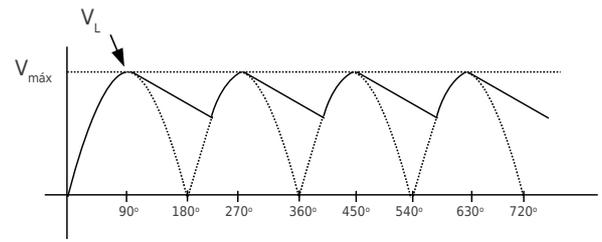


Figura 2.12b

Observe que o efeito da capacitância reduz as ondulações mantendo a tensão de saída mais constante. Se quisermos uma tensão praticamente plana devemos aumentar o valor da capacitância do filtro, pois quanto maior a capacitância em um circuito, maior seu tempo de descarga e conseqüentemente teremos uma saída com uma tensão contínua constante. A figura 4.13a e 4.13b representam graficamente o efeito do aumento da capacitância em um circuito retificador de meia onda e onda completa respectivamente.

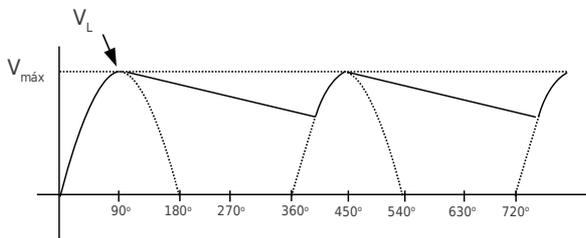


Figura 2.13a

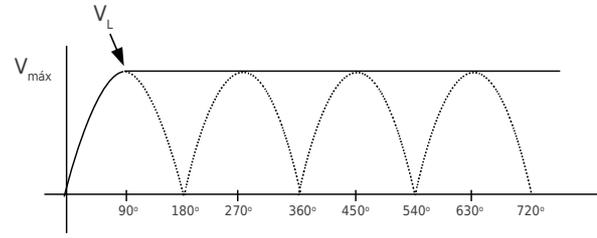


Figura 2.13b

Sendo assim, a expressão da tensão de saída na carga será dada por:

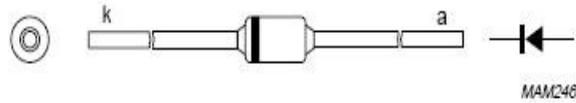
$$V_L = V_{máx}$$

Devemos estar atentos a isto, pois as saídas de tensões dos transformadores são dadas em função de seus valores eficazes ou rms, e com o filtro capacitivo a tensão na carga passa a ser a tensão de pico na saída do transformador.

ANEXO: Características gerais de diodos de silício

Diodo de pequeno sinal

1N4148



Principais características

| Parâmetros | 1N4148 |
|-------------------------|------------------|
| Corrente direta | 200 mA |
| Tensão máxima reversa | 75 V |
| Tensão máxima direta | 0,7 V |
| Temperatura da junção | 200 °C |
| Temperatura de operação | - 65 °C a 200 °C |

Diodos de potência

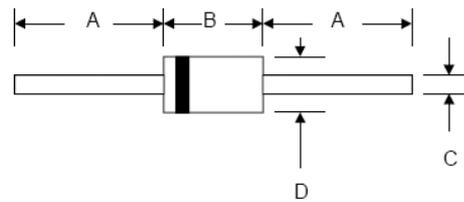
1N400X



Principais características

| Parâmetros | 1N4001 | 1N4002 | 1N4003 | 1N4004 | 1N4005 | 1N4006 | 1N4007 |
|-------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Corrente direta | 1,0 A | | | | | | |
| Tensão máxima reversa | 35 V | 70 V | 140 V | 280 V | 420 V | 560 V | 700 V |
| Tensão máxima direta | 0,7 V | | | | | | |
| Temperatura da junção | 220 °C | | | | | | |
| Temperatura de operação | - 65 °C a 200 °C | | | | | | |

1N540X

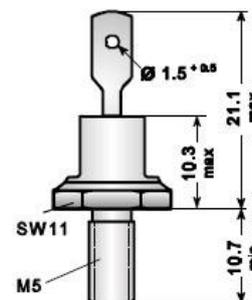


| DO-201AD | | |
|----------------------|------|------|
| Dim | Min | Max |
| A | 25.4 | — |
| B | 8.50 | 9.50 |
| C | 1.20 | 1.30 |
| D | 5.0 | 5.60 |
| All Dimensions in mm | | |

Principais características

| Parâmetros | 1N5400 | 1N5401 | 1N5402 | 1N5404 | 1N5406 | 1N5407 | 1N5408 |
|-------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Corrente direta | 3,0 A | | | | | | |
| Tensão máxima reversa | 35 V | 70 V | 140 V | 280 V | 420 V | 560 V | 700 V |
| Tensão máxima direta | 1,0 V | | | | | | |
| Temperatura da junção | 200 °C | | | | | | |
| Temperatura de operação | - 65 °C a 125 °C | | | | | | |

1N120X



Principais características

| Parâmetros | 1N1200 | 1N1202 | 1N1204 | 1N1206 |
|-------------------------|------------------|--------|--------|--------|
| Corrente direta | 12 A | | | |
| Tensão máxima reversa | 100 V | 200 V | 400 V | 600 V |
| Tensão máxima direta | 1,5 V | | | |
| Temperatura da junção | 200 °C | | | |
| Temperatura de operação | - 65 °C a 175 °C | | | |

SERIE 70/300U(R)

Principais características

| Parametros | 70UX | 300UX |
|-----------------------|------------------|-----------|
| Corrente direta | 250 A | 300 A |
| Temperatura | 150 °C | 130 °C |
| Tensão máxima reversa | 100 a 1000 | 50 a 1000 |
| Tensão máxima direta | 1,5 V | |
| Temperatura da junção | - 65 °C a 200 °C | |

| Série | Código da tensão máxima reversa (X) | Tensão máxima reversa |
|-------|-------------------------------------|-----------------------|
| 70U | 10 | 100 V |
| | 20 | 200 V |
| | 40 | 400 V |
| | 60 | 600 V |
| | 80 | 800 V |
| | 100 | 1000 V |
| 300U | 5 | 50 V |
| | 10 | 100 V |
| | 20 | 200 V |
| | 30 | 300 V |
| | 40 | 400 V |
| | 60 | 600 V |
| | 80 | 800 V |
| | 100 | 1000 V |



case style
DO-205AB (DO-9)

EXERCÍCIOS PROPOSTOS

2.1- Um transformador abaixador sem tape central, é alimentado por uma rede de 127 V em seu primário. Seu secundário é ligado a um circuito retificador de meia onda que alimenta uma carga resistiva de 10Ω de impedância.

- desenhe o circuito elétrico que representa a situação.
- calcule a tensão de saída no secundário do transformador sendo sua relação de espiras igual a 10.
- calcule a tensão máxima e a corrente máxima na carga.
- calcule a tensão máxima reversa no diodo.
- calcule a tensão e a corrente médias na carga.
- calcule a corrente média no diodo.

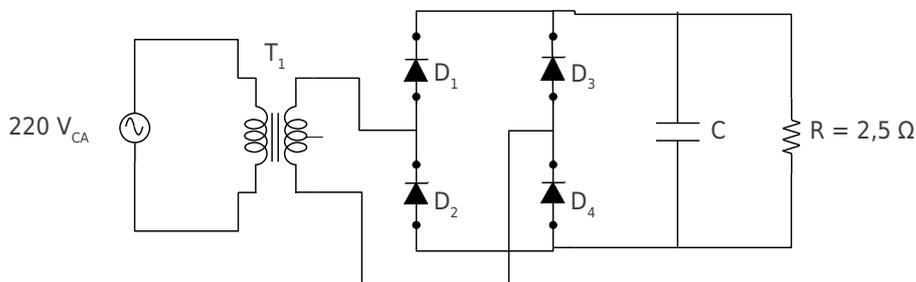
2.2- Um transformador abaixador com tape central, é alimentado por uma rede de 127 V em seu primário. Seu secundário é ligado a um circuito retificador de onda completa que alimenta uma carga resistiva de 10Ω de impedância.

- desenhe o circuito elétrico que representa a situação.
- calcule a tensão de saída em cada secundário do transformador sendo sua relação de espiras igual a 10.
- calcule a tensão máxima e a corrente máxima na carga.
- calcule a tensão máxima reversa no diodo.
- calcule a tensão e a corrente médias na carga.
- calcule a corrente média em cada diodo.

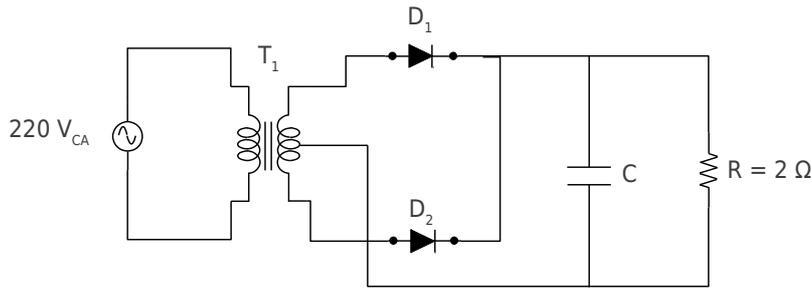
2.3- Um transformador abaixador sem tape central, é alimentado por uma rede de 127 V em seu primário. Seu secundário é ligado a um circuito retificador de onda completa que alimenta uma carga resistiva de 10Ω de impedância.

- desenhe o circuito elétrico que representa a situação.
- calcule a tensão de saída no secundário do transformador sendo sua relação de espiras igual a 10.
- calcule a tensão máxima e a corrente máxima na carga.
- calcule a tensão máxima reversa no diodo.
- calcule a tensão e a corrente médias na carga.
- calcule a corrente média no diodo.

2.4- Nos circuito 1 e circuito 2 abaixo, foram utilizados filtros capacitivos que mantêm a tensão de saída com uma ondulação desprezível. O transformador nos dois circuitos é idêntico 220 V / 6+6 V. Determine:



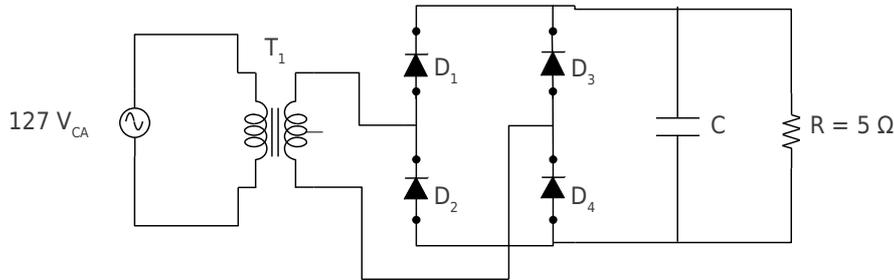
Circuito 1



Circuito 2

- a) a tensão na carga para o circuito 1 e o circuito 2.
 b) a corrente na carga para o circuito 1 e o circuito 2.

2.5- No circuito abaixo T_1 é um transformador 127 V / 12+12 V utilizado para construir um conversor CA - CC com saída constante. Determine as características que os diodos da ponte devem ter e especifique-os de acordo com as características de alguns diodos de uso comercial que se encontram no anexo deste capítulo e a potência mínima do trafo.



Respostas

- | | | | | | |
|------|---------------------|---------------------|------------|---------------------|-----------|
| 2.1- | b) 12,7 V | c) 17,96 V e 1,79 A | d) 17,96 V | e) 5,71 V e 0,57 A | f) 0,57 A |
| 2.2- | b) 12,7 V | c) 17,96 V e 1,79 A | d) 35,91 V | e) 11,42 V e 1,14 A | f) 0,57 A |
| 2.3- | b) 12,7 V | c) 17,96 V e 1,79 A | d) 17,96 V | e) 11,42 V e 1,14 A | f) 0,57 A |
| 2.4- | a) 16,97 V e 8,48 V | b) 6,79 A e 4,24 A | | | |