

CAPÍTULO 5

FONTES DE FORÇA ELETRÔNICA

TIPOS DE FONTES DE FORÇA

Os circuitos que usam transistores, diodos ou circuitos integrados geralmente precisam de uma fonte de força CC para sua operação. Existem basicamente três tipos de fonte de força CC:

- Pilhas e baterias
- Geradores CC
- Fontes de força eletrônica

As pilhas e baterias produzem tensão CC através da ação química. Os geradores CC usam movimento mecânico para girar um condutor em seu campo magnético e assim produzir uma tensão CC pulsante.

Pilhas e baterias são atualmente muito utilizadas, pois os modernos circuitos em estado sólido requerem potências muito baixas comparadas com as necessárias aos antigos equipamentos à válvula. Pilhas e baterias são essenciais aos equipamentos portáteis e aos equipamentos instalados em locais distantes da energia CC.

Porém um equipamento mais potente, nos quais o uso de pilhas ou baterias seria impraticável, a energia CC é fornecida por uma fonte de força eletrônica.

Uma fonte de força eletrônica é um circuito que fornece uma tensão CC para a operação de outros circuitos eletrônicos. Existem as fontes eletrônicas que convertem tensão CA em CC e as que convertem tensão CC em CA, sendo a primeira a mais utilizada.

A energia primária para a maioria das fontes de força eletrônica é a tensão CA de 60 Hz que encontramos nas tomadas. A fonte converte esta tensão em tensão CC, à ser utilizada pelos circuitos eletrônicos, de acordo com as seguintes etapas:

- Ajuste da amplitude da tensão CA
- Retificação
- Filtragem
- Regulagem

A amplitude da tensão CA é ajustada usando-se um transformador de núcleo de ferro.

Este transformador pode ser projetado para elevar a tensão CA aplicada quando uma alta tensão CC de saída for necessária, ou pode ser projetado para reduzir a tensão CA quando uma baixa tensão de saída é requerida.

Após efetuado o ajuste da amplitude da tensão CA, a mesma é convertida em tensão CC. Este processo é chamado de retificação.

A retificação é efetuada por diodos retificadores que, como já sabemos, são dispositivos que oferecem alta resistência ao fluxo de corrente em uma direção (de catodo para anodo) e baixa resistência no sentido oposto (de anodo para catodo).

A tensão de saída no retificador pode ser chamada de tensão CA retificada ou tensão CC pulsante. Como na saída da fonte necessitamos de uma tensão CC sem variações, um circuito de filtro é empregado logo após o estágio retificador. Este circuito eliminará as pulsações existentes na saída do retificador. O filtro normalmente consiste de um capacitor, uma combinação de capacitores e indutores ou uma combinação de capacitores e resistores.

A tensão obtida na saída do filtro pode ser aplicada diretamente à carga. Porém essa tensão poderá variar devido a variações da tensão CA de entrada e da carga. Essas variações poderiam prejudicar o desempenho do circuito em operação.

Para obtermos uma tensão de saída constante um circuito regulador é colocado entre o estágio de filtragem e a carga. O regulador efetua as compensações necessárias causadas pelas variações da tensão CA de entrada e as variações de carga, mantendo a tensão de saída constante.

O regulador é normalmente um circuito de controle por realimentação, composto por transistores e outros semicondutores.

Ao utilizarmos uma pilha ou bateria como fonte de energia a tensão fornecida pode não ser adequada ao circuito a ser alimentado.

Neste caso é necessária uma fonte que converta a tensão disponível na utilizável.

Essas fontes são chamadas de conversores CC-CC. Essa conversão da tensão CC de uma dada bateria em um valor mais alto, implica na conversão da tensão CC da bateria

em tensão CA, através de um dispositivo de chaveamento eletrônico.

Esta tensão é elevada ao valor desejado por meio de um transformador.

A tensão alternada do secundário do transformador é então retificada para a tensão CC pulsante, filtrada e aplicada à carga através de um regulador. Por último, existe o tipo de fonte de força que converte energia CC em CA, este é chamado de conversor.

Este dispositivo é necessário quando se necessita de energia CA e só se dispõe de

baterias e pilhas como fonte de energia, ou seja, só de energia CC. Como no caso de conversor CC-CC a energia CC é transformada em CA, por meio de chaveamento eletrônico, em seguida é elevada ao valor desejado, retificada e filtrada.

Os inversores são muito empregados em aeronaves, onde existem equipamentos que são alimentados com energia CA.

A figura a seguir mostra o diagrama básico em blocos de uma fonte de força eletrônica.

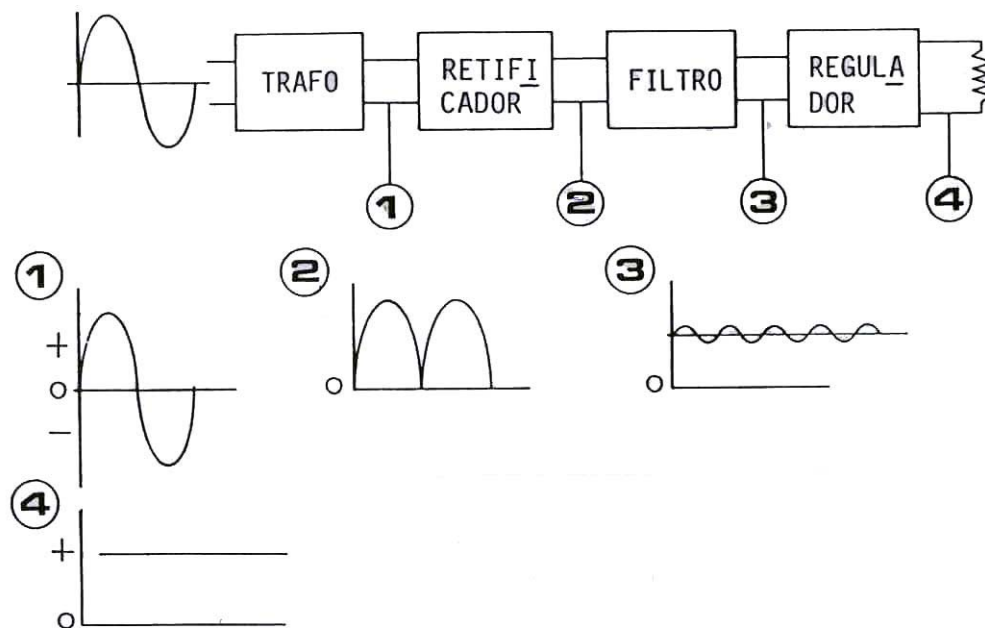


Figura 5-1 Diagrama básico de uma fonte de força eletrônica

CIRCUITOS RETIFICADORES

O retificador é aquela parte da fonte de força que, através de diodos retificadores converte a tensão CA do transformador em CC pulsante.

No retificador os diodos semicondutores, atuam como chaves unidirecionais, sensíveis à polaridade e que permitem o fluxo de corrente através da carga em apenas uma direção.

Existem vários tipos de circuitos retificadores como veremos a seguir.

Retificador de meia onda

No circuito retificador de meia onda apenas um diodo é usado no processo de retificação.

A figura 5-2 mostra o circuito retificador de meia onda.

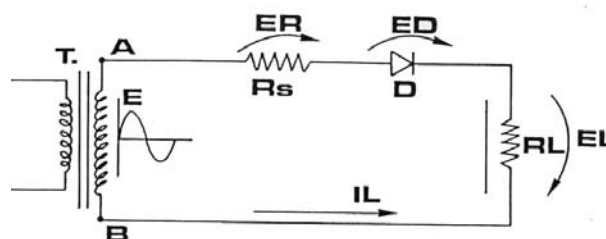


Figura 5-2 Circuito retificador de meia onda

Quando a polaridade da tensão no secundário polariza diretamente o diodo D, ocorre um fluxo de corrente através de RL. Quando a polaridade se inverte no ciclo seguinte, o diodo é polarizado inversamente e não há fluxo de corrente na carga como mostra a figura 5-3.

Pelas formas de onda da figura 5-3 podemos observar que durante o período de t_1 a t_2 , em que o diodo está conduzindo, parte da tensão aparece através do retificador e da resistência do secundário do transformador,

porém sua maior parte aparece sobre a resistência de carga RL. O diodo e o secundário do transformador apresentam uma resistência pequena quando estão conduzindo. A queda de tensão sobre o diodo é de aproximadamente 0,7 V, quando este está conduzindo para diodos de silício e 0,2 V para os diodos de germânio.

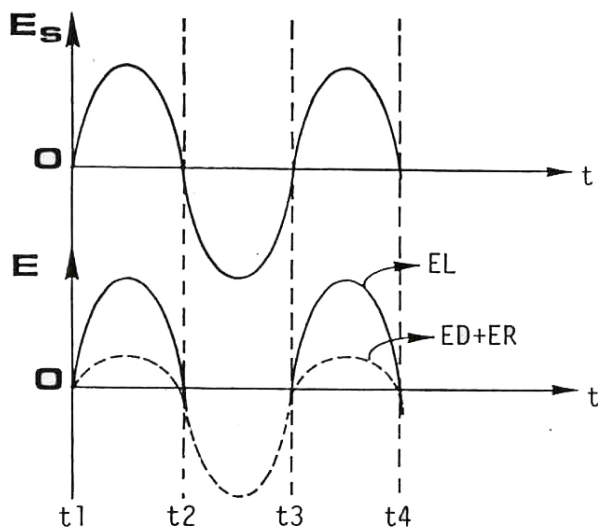


Figura 5-3 Formas de onda em um retificador de meia onda

No período de t2 a t3 o diodo está cortado pois, o ponto A no secundário do transformador (figura 5-2) é negativo em relação ao ponto B, o que polariza o diodo inversamente. Nesta situação nenhuma corrente fluirá através da carga, não havendo também queda de tensão sobre a mesma, e toda a tensão do secundário do transformador cairá sobre o diodo.

No período seguinte, de t3 a t4, o diodo conduzirá novamente e a operação será a mesma verificada no período de t1 a t2, analogamente, a operação de t4 a t5 será a mesma verificada de t2 a t3. Com isso, teremos sobre RL uma tensão que consistirá de uma série de meias ondas senoidais de mesma polaridade. A corrente através da carga RL será uma série de pulsos que ocorrem na mesma frequência da tensão CA da rede.

No circuito da figura 5-2 vemos que a polaridade da tensão de saída através da carga é positiva em relação à terra, porém, se o diodo fosse invertido a saída seria negativa em relação à terra, pois a corrente fluirá em direção oposta à da análise anterior.

Se considerarmos o diodo e o transformador como elementos ideais, ou seja, o

diodo apresenta uma queda de tensão igual a zero quando está diretamente polarizado e se comporta como um circuito aberto, quando está inversamente polarizado e o transformador tem uma resistência de enrolamento igual a zero.

Durante os períodos t1, a t2 e t3 a t4, toda a tensão do secundário do transformador seria aplicada sobre a carga RL com estas condições ideais e durante os períodos t2 a t3 e t4 a t5, nenhuma tensão apareceria sobre RL.

O valor médio da forma de onda da corrente ou tensão na saída do retificador de meia onda é igual a 0,318 vezes o valor da corrente ou tensão de pico. Esta seria a tensão ou corrente indicada por um típico medidor CC de D'Arsonval conectado à RL, se todos os componentes fossem ideais. No entanto, na prática esse valor é um pouco menor devido às perdas no diodo e na resistência do enrolamento secundário do transformador.

Retificador de onda completa

Como visto anteriormente o circuito retificador de meia onda produz uma série de pulsos a partir da tensão CA de entrada. Mesmo com o uso de filtros, é difícil de se obter uma tensão CC sem flutuações na saída do mesmo. Um circuito retificador de onda completa utiliza os dois semiciclos da tensão CA de entrada, de tal modo a obter uma tensão de saída mais estável.

Este circuito utiliza um transformador com *center-tape*, dois diodos retificadores e um resistor de carga, como mostra a figura 5-4.

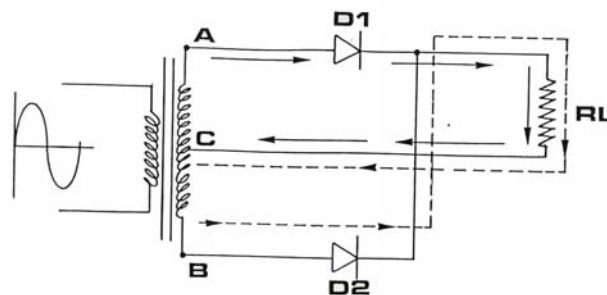


Figura 5-4 Circuito retificador de onda completa

Quando o ponto A, no secundário do transformador é positivo em relação ao ponto C, o ponto B será negativo em relação ao mesmo. Esta condição ocorre de t1 a t2 na figura 5-5. Durante este período o diodo D1 conduzirá e o diodo D2 não. A corrente será como indicado pelas setas cheias da figura 5-4.

Note que a corrente flui somente na metade do enrolamento do secundário do transformador..

Durante o período de t_2 a t_3 , o diodo D_2 conduz e D_1 não. A corrente é indicada pelas setas tracejadas na figura 5-4.

A figura 5-5 mostra as formas de onda das tensões nos pontos A, B e C.

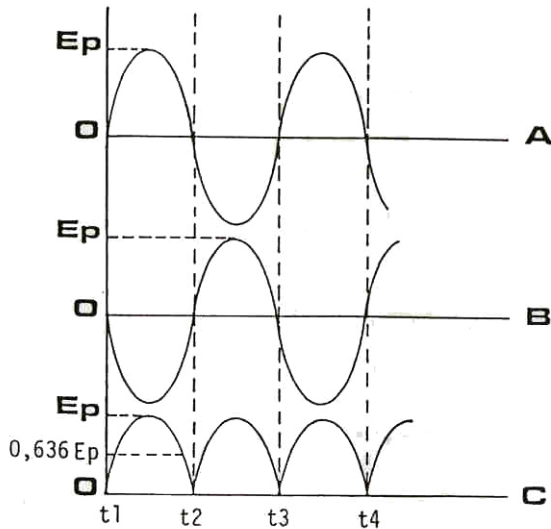


Figura 5-5 Formas de onda em um retificador de onda completa

Vemos na figura 5-5 que a tensão CC através da carga é uma série de pulsos

unidirecionais, porém há o dobro de pulsos que havia no retificador de meia onda.

Portanto, os pulsos de saída ocorrem em uma frequência que é o dobro da de entrada.

Com isso temos que a tensão média através do resistor de carga será o dobro da tensão que era produzida no circuito retificador de meia onda, ou seja, será 0,636 vezes o valor de pico.

Um ponto importante a ser observado no circuito é que apenas um diodo conduz de cada vez, um no semiciclo positivo e outro no semiciclo negativo da tensão de entrada. O diodo que não conduz sofre uma polarização reversa de todo enrolamento, portanto, ambos os diodos devem ser capazes de suportar esta tensão para garantir o bom funcionamento do circuito.

Retificado em ponte

Um retificador em ponte é um circuito formado por quatro diodos conectados de tal forma que é desnecessário o uso de um transformador com *center-tape*. Com essa configuração obtém-se a retificação de onda completa com um enrolamento simples de secundário. A figura 5-6 mostra o circuito retificador em ponte.

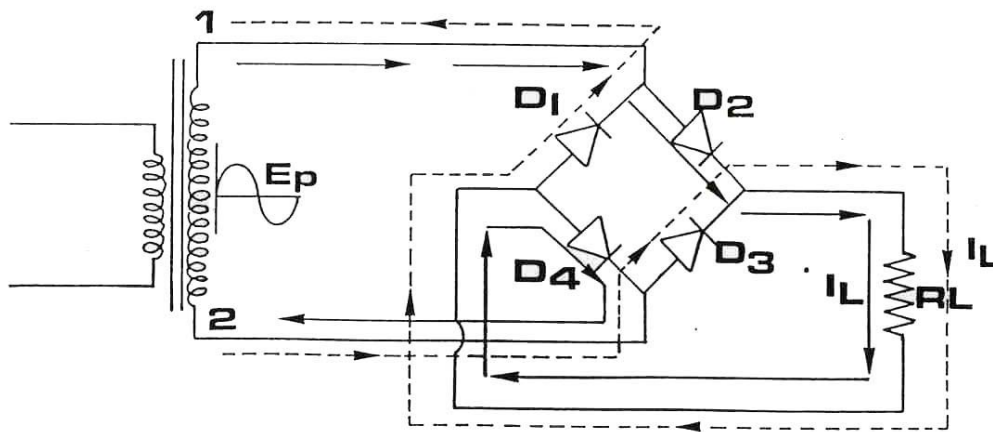


Figura 5-6 Circuito retificador em ponte

No instante em que temos E_p positivo, ou seja o ponto 1 positivo em relação ao ponto 2, os diodos D_2 e D_4 conduzem (ficam em série) pois, as tensões que aparecem sobre eles propiciam um efeito como é mostrado na figura 5-7.

Estes diodos conduzindo farão com que circule uma corrente no circuito, no sentido indicado pelas setas cheias na figura 5-6.



Figura 5-7 Polarização de D_2 e D_4 no semiciclo positivo da tensão de entrada

Quando E_p inverte a polarização, o ponto 1 será negativo em relação ao ponto 2,

devido a estes potenciais os diodos D1 e D3 conduzem (ficam em série) como mostra a figura 5-8.

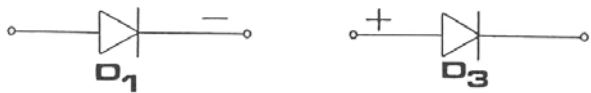


Figura 5-8 Polarização de D1 e D3 no semiciclo negativo da tensão de entrada

Uma vez conduzindo, os diodos D1 e D3 propiciarão a circulação de uma corrente cujo sentido é o indicado pelas setas tracejadas na figura 5-6.

É fácil verificar que mesmo V_s mudando de polaridade a corrente na carga circula sempre no mesmo sentido, isto quer dizer que a corrente I_l possui somente uma polaridade, ou seja, esta corrente é contínua pulsante e conseqüentemente a tensão sobre a carga também o será.

A figura 5-9 mostra as formas de onda no retificador em ponte.

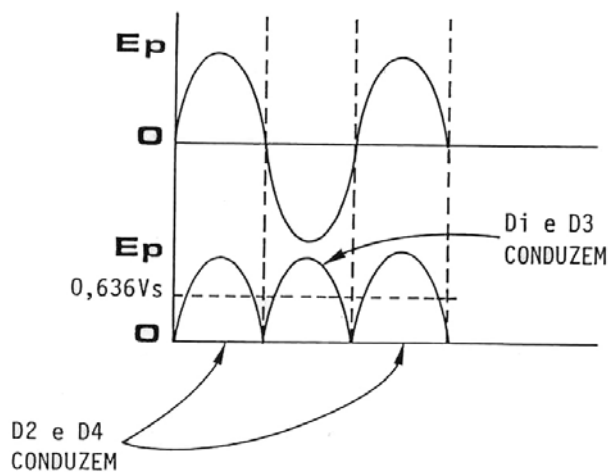


Figura 5-9 Formas de onda da tensão de saída no retificador em ponte

Quando os diodos D2 e D4 conduzem, os diodos D1, D3, o secundário do transformador e a carga R_l estão em paralelo. Desta maneira o circuito comporta-se como mostra o esquema da figura 5-10.

Da maneira que os diodos D1 e D3 se encontram na figura 5-10, eles estão polarizados inversamente e a tensão máxima que ficará sobre eles é a tensão máxima fornecida pelo secundário do transformador.

A tensão na carga também será igual à tensão V_s . Analogamente, quando a tensão V_s muda de polaridade, a tensão reversa sobre os

diodos D2 e D4 será a mesma tensão que aparece no secundário do transformador, e a mesma na carga.

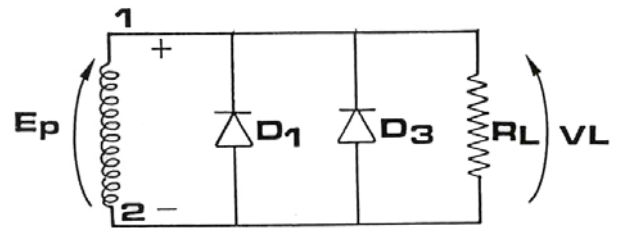


Figura 5-10 Esquema equivalente do circuito em ponte no semiciclo positivo da tensão de entrada

Logo, pode-se concluir que a tensão de pico reversa sobre os diodos terá o mesmo valor da tensão máxima fornecida pelo secundário do transformador.

FILTROS

Como vimos, a saída de qualquer circuito retificador a diodos é uma corrente CC pulsante. Este tipo de corrente é inadequado para alimentar a maioria dos circuitos eletrônicos, os quais geralmente requerem uma tensão CC constante para funcionar.

Numa fonte de força eletrônica, é usado um circuito de filtro para converter a onda CC pulsante em uma onda CC pura. A seguir veremos a definição de Ripple e os filtros mais comumente usados bem como o seu dimensionamento.

Fator de Ripple

A saída CC pulsante produzida pelos circuitos retificadores é uma forma de onda complexa que pode ser dividida em componentes CA e CC.

A finalidade do filtro é remover a componente CA que é chamada de ondulação ou *ripple*.

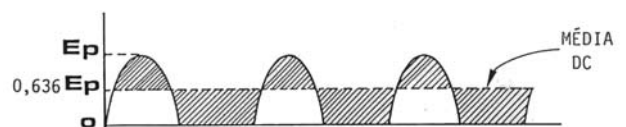


Figura 5-11 Forma de onda de saída de um retificador de meia onda

A figura 5-11 mostra a forma de onda CC pulsante da saída do retificador de meia onda.

A tensão CC média é 0,318 vezes o valor de pico da tensão de entrada CA. O *ripple* ou correspondente CA, é indicado pelas áreas sombreadas abaixo e acima da média CC.

Podemos considerar o *ripple* como sendo uma forma de onda não senoidal sobreposta ao nível médio CC. Note que se a fonte de força opera com uma tensão de linha cuja frequência é 60 Hz, a frequência de oscilação do retificador de meia onda é 60 Hz.

Portanto, o período de oscilação é igual a $\frac{1}{60} = 0,01667$ segundos ou 16,67 milissegundos

A forma de onda da tensão de saída em um retificador de onda completa é mostrada na figura 5-12.

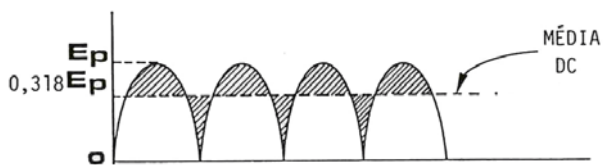


Figura 5-12 Forma de onda de saída de um retificador de onda completa

Pela figura podemos observar que no retificador de onda completa a média CC de saída é o dobro da de um retificador de meia onda ou seja, 0,636 Ep. Isso se deve ao fato de termos mais um pulso CC de saída por ciclo de entrada.

Novamente podemos considerar a ondulação como sendo um sinal não senoidal sobreposto ao nível CC médio.

O valor pico-a-pico da ondulação é igual a Ep, entretanto, a frequência de ondulação é de 120 Hz, quando a frequência da tensão da linha é de 60 Hz.

O período de oscilação é, portanto igual a $\frac{1}{120} = 0,00833$ ou 8,33 ms. O filtro reduzirá a amplitude pico-a-pico da ondulação e aumentará a tensão média CC de saída.

O filtro mais simples e também mais comumente empregado é o filtro a capacitor, que consiste de um capacitor ligado diretamente à carga RL tanto no retificador de meia onda como no de onda completa.

A figura 5-13 mostra o filtro a capacitor.

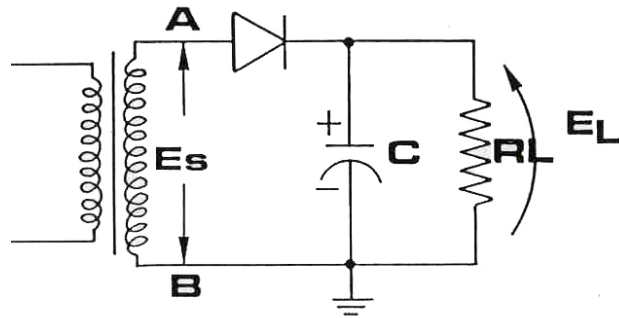


Figura 5-13 Filtro a capacitor

As formas de onda de um circuito retificador com filtro são mostradas na figura 5-14.

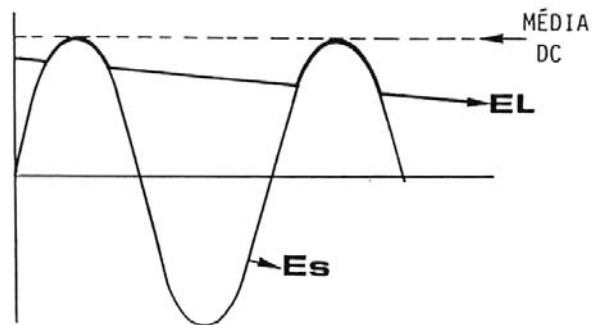


Figura 5-14 Forma de onda de tensão num circuito retificador com filtro

Na figura 5-14 vemos a tensão do secundário do transformador bem como a tensão de saída da fonte de força EL. Inicialmente o capacitor C está descarregado, porém quando nele é aplicada a energia, se carrega rapidamente com o valor da tensão de pico do secundário durante o período de condução do diodo. Sempre que a tensão do secundário excede a tensão de carga do capacitor o diodo conduz.

Quando a tensão do secundário cai abaixo do valor da carga do capacitor, o diodo fica polarizado inversamente e não conduz, com isso o capacitor se descarrega através da resistência RL. Se a constante de tempo RC do capacitor for suficientemente grande, a quantidade de energia que o capacitor descarregará durante os picos da tensão CA será pequena.

Como resultado teremos uma tensão CC na saída aproximadamente constante. O capacitor reduz bastante a ondulação bem como aumenta a tensão média nos terminais de saída. A tensão CC de saída se aproxima do valor de pico do secundário. A redução na ondulação é

proporcional ao tamanho do capacitor. Quanto maior a capacitância, menor será a descarga do capacitor durante o tempo em que o diodo não conduz. O processo de filtragem da tensão de saída do retificador de onda completa é idêntico ao usado no retificador de meia onda, entretanto no retificador de onda completa o capacitor de filtro tem um tempo de descarga menor, antes de ser carregado novamente, visto que neste circuito cada semiciclo da entrada CA produz um pulso através da carga.

No circuito de meia onda, o tempo de descarga é aproximadamente igual a um período completo da onda senoidal de entrada, ou seja, aproximadamente 16 ms, para uma entrada CA de 60 Hz.

Com isso temos que no circuito retificador de onda completa, para a mesma carga, o mesmo capacitor de filtro e tensão de entrada, a ondulação será muito menor e a tensão média CC de saída maior do que no retificador de meia onda. A figura 5-15 mostra a saída do retificador de onda completa com filtro.

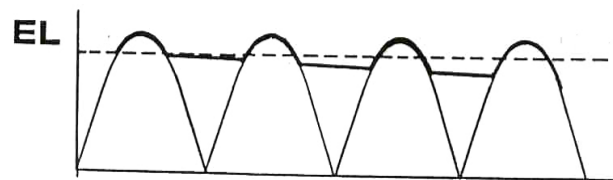


Figura 5-15 Saída do retificador de onda completa com filtro

Teoria de funcionamento do filtro a capacitor

Um método de analisar o funcionamento do filtro é considerar as variações de corrente e tensão em relação ao tempo.

A figura 5-16 mostra um circuito equivalente simplificado de um retificador de meia onda com filtro capacitivo.

Neste esquema simplificado, a fonte CA é representada por um gerador e sua resistência interna R_s , o diodo é representado por uma chave S que é sensível à polaridade e o capacitor C é o filtro através da carga R_L .

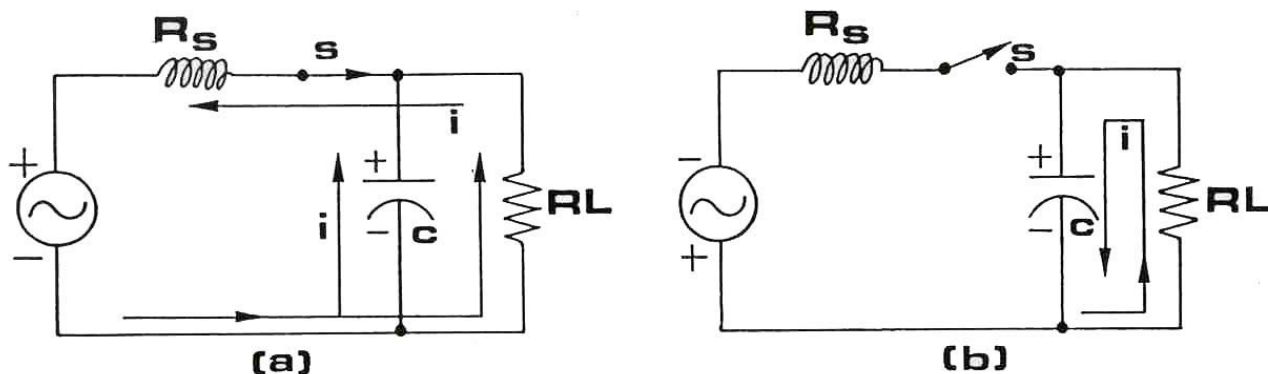


Figura 5-16 Circuito equivalente de um retificador de meia onda

Quando a polaridade do sinal CA for a apresentada na figura 5-16a, o diodo conduzirá e atuará como uma chave fechada. Tem-se então corrente circulando que fará com que o capacitor se carregue com a polaridade indicada. Durante o semiciclo seguinte, a polaridade se inverte e o diodo fica polarizado inversamente, podendo ser considerado como uma chave aberta, como mostrado na figura 5-16b. Nesse período o capacitor se descarrega através da carga R_L . No circuito de carga, o capacitor se carrega de R_s para o pico da tensão aplicada. Como R_s é muito pequena, o capacitor se carrega rapidamente. Durante o semiciclo

seguinte, quando o diodo não conduz, o capacitor se descarrega através da carga.

Como a resistência de carga R_L é muito maior que R_s , na descarga a constante de tempo é maior. Para melhor filtragem e mínima ondulação, a constante de tempo de descarga deve ser grande. Este grande tempo de descarga pode ser conseguido com um alto valor de capacitância e resistência, portanto o capacitor deve ser o maior possível.

Com isso a constante de tempo RC será grande o bastante para tornar mínima a descarga do capacitor, durante os períodos em que o diodo não conduz.

Cálculo do capacitor de filtro

Embora filtros mais complexos possam ser construídos, para a maioria das aplicações, o simples capacitor de filtro é mais adequado para atender a filtragem requerida.

As relações entre corrente de carga, tensão de ondulação, valor do capacitor e tempo de descarga, podem ser formulados através de uma simples equação, que é apresentada a seguir:

$$C = \frac{I \cdot t}{E_R}$$

onde:

C = Valor do capacitor de filtro em Farads

I = Corrente CC, na carga, em ampères

t = Período da tensão de ondulação CA, em segundos

E_R = Máxima tensão de ondulação pico-a-pico permitida, em volts.

Para determinarmos I, devemos conhecer o valor da resistência de carga e a tensão CC de saída desejada. O tempo t é o período de descarga do capacitor de filtro e é igual ao período de ondulação CA.

Nos circuitos retificadores de meia onda, a frequência de oscilação é de 60 Hz, tornando t = 0,01667 s.

Nos circuitos retificadores de onda completa, a frequência de oscilação é de 120 Hz tornando t = 0,00833 s.

Exemplo: Considere uma fonte de força com retificador de onda completa, que tenha uma tensão CC de saída igual a 5 V, sendo a máxima ondulação pico-a-pico permitida de 1 %. A corrente de carga é 200 mA. Qual o valor mínimo do capacitor a ser usado?

$$I = 0,2 \text{ A}$$

$$t = 0,00833 \text{ s}$$

$$E_R = 0,01 \times 5 = 0,05 \text{ V}$$

$$C = \frac{I t}{E_R} = \frac{0,2 \times 0,00833}{0,05} = 0,0333 \text{ Farads}$$

$$C = 33,33 \text{ MF}$$

Na prática deve-se usar um capacitor de valor um pouco superior a esse.

Um outro fator importante a ser considerado na utilização do capacitor de filtro é a tensão de operação do mesmo. Os capacitores em sua maioria são projetados para operarem com tensão abaixo de um limite máximo.

Quando escolhermos a especificação da tensão máxima do capacitor, devemos ter certeza que ela é maior que a tensão de saída da fonte de força. Geralmente é aconselhável deixarmos uma faixa de segurança de 20 %.

O tipo de capacitor mais comumente usado em filtros é o eletrolítico de alumínio. Porém para aplicações em pequenas correntes, algumas vezes são usados capacitores de tântalum.

Tanto os capacitores eletrolíticos como os de tântalum, são capacitores polarizados e devem ser conectados no circuito com a polaridade correta, para que funcionem adequadamente.

Filtros LC e RC

Embora o filtro a capacitor seja o mais simples, pode-se melhorar a filtragem usando-se indutores (Choques) e resistores em combinação com ele.

Um choque pode reduzir muito a amplitude de ondulação, visto que ele se opõe às variações de corrente através dele.

A figura 5-17 mostra um filtro típico com choque de entrada.

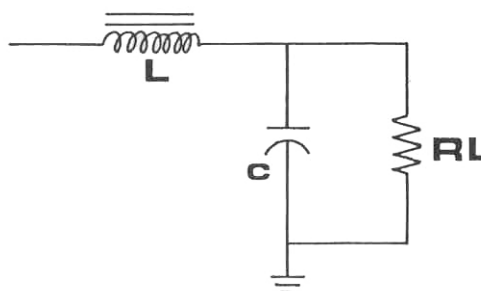


Figura 5-17 Filtro típico com choque de entrada

Para a mesma carga e mesmo retificador, este circuito proporciona maior tensão de saída e ondulação (*ripple*) mais baixa.

Os choques de filtro consistem de um enrolamento feito sobre um núcleo de ferro laminado. Em consequência, os choques são grandes, pesados e caros, o que os tornam

geralmente incompatíveis com os circuitos de estado sólido, que são pequenos e leves.

Pode-se também melhorar a qualidade da filtragem usando-se resistores associados a capacitores.

Usando-se resistores no lugar do choque no circuito (figura 5-17), a tensão de ondulação de saída pode ser reduzida a um valor menor que aquele obtido com apenas um capacitor.

Quanto maior o valor do resistor, menor a tensão de ondulação, porém, uma certa quantidade da tensão produzida pela fonte cai sobre esses resistores, o que reduz a tensão disponível na saída.

TIPOS DE PROTEÇÃO CONTRA SOBRECARGA

A sobrecarga é uma das condições anormais mais comuns de ocorrer no emprego de fontes de força. Ela pode ser resultado de um curto-circuito nos terminais da fonte ou mesmo devido ao mau funcionamento de algum componente do circuito. O método mais usado para proteger as fontes de força contra sobrecarga é o emprego de fusíveis, que é um elemento sensível à corrente, ou seja, ele se abre quando a corrente que o atravessa excede um valor específico.

Fusíveis

Como vimos, o fusível é um elemento dimensionado para proteger o circuito contra uma corrente exclusiva. Ele consiste de um dispositivo condutor conectado em série com o circuito ao qual deverá proteger. Caso a corrente no circuito exceda a um valor pré-determinado para o fusível, o mesmo se romperá, interrompendo o fluxo de corrente. Durante o funcionamento normal, enquanto a corrente estiver abaixo da especificação do fusível, o mesmo simplesmente atuará como um resistor de valor muito baixo.

Um ponto a ser considerado é que os fusíveis não se abrem, ou se queimam exatamente no instante em que a corrente excede o valor especificado. Esse tempo de rompimento dependerá da magnitude e da duração da sobrecarga. Se a corrente através do fusível exceder a sua especificação apenas ligeiramente, ele levará muito tempo até se aquecer, fundir e se romper.

Porém, se a sobrecarga é muito maior que o valor especificado para o fusível, seu aquecimento e queima serão rápidos. Quanto à velocidade os fusíveis são disponíveis em três faixas: ação retardada, retardo médio e alta velocidade.

Os fusíveis de ação retardada são dimensionados para circuitos que algumas vezes devem suportar sobrecargas de 200 a 400% acima da corrente nominal. Se essa sobrecarga durar menos de 10 segundos, esse tipo de fusível a suportará sem abrir.

Os fusíveis de ação retardada têm sua maior aplicação em circuitos que são submetidos a sobrecargas temporárias, tais como: circuito de partida de motores e circuitos de carga de capacitores.

Os fusíveis de retardo médio são geralmente usados em circuitos que podem suportar uma sobrecarga superior a 200% do valor especificado, por cerca de um segundo. Esses fusíveis são usados em aplicações onde os componentes a serem protegidos poderão ser, ocasionalmente, submetidos a uma corrente ligeiramente superior ao valor máximo de operação, sem se danificarem.

Os fusíveis de retardo médio se abrirão em poucos segundos mediante sobrecargas de 100 a 200% do valor nominal. Os fusíveis de ação rápida são projetados para abrir muito rapidamente, mesmo com sobrecargas bem pequenas. São geralmente empregados na proteção de circuitos delicados ou críticos.

Numa fonte de força a principal aplicação do fusível é na proteção do transformador de força e dos diodos semicondutores. Os fusíveis para a proteção do transformador de força são conectados no circuito do enrolamento primário. Usa-se normalmente o de retardo médio. Qualquer sobrecarga no secundário será refletida como um aumento de corrente no primário e se não forem removidas poderão danificar o transformador.

Se a corrente de carga for excessiva, ou se o capacitor de filtro entrar em curto, por exemplo, pode-se usar um fusível para efetuar a proteção apenas dos diodos retificadores.

Esse fusível é de ação rápida e é conectado em série com a saída do circuito retificador.

A figura 5-18 mostra a fonte de força com os dois diodos de proteção.

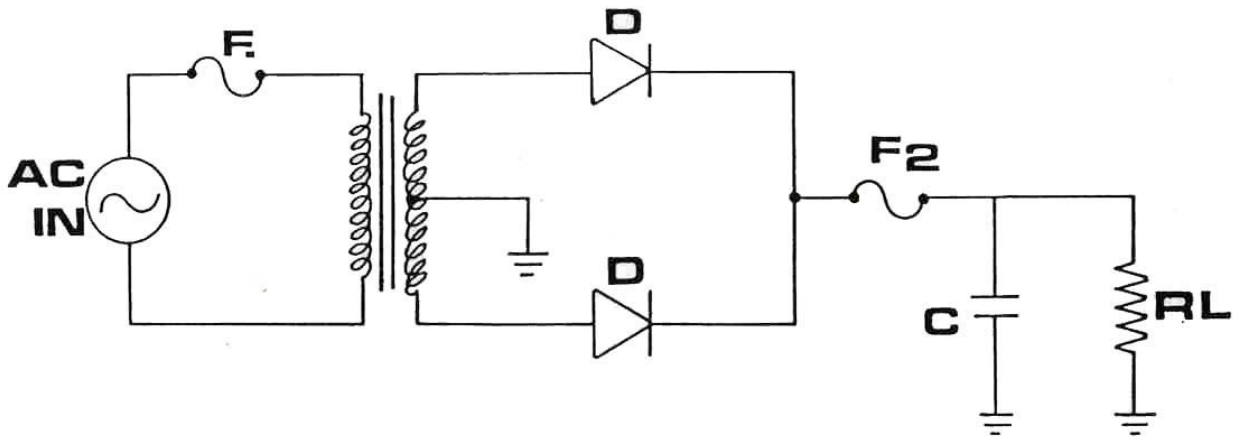


Figura 5-18 Fonte de força com diodos de proteção

No cálculo do fusível a ser utilizado, podemos adotar uma das fórmulas abaixo e adquirir o valor padrão imediatamente superior do encontrado.

Para o fusível de retardo médio:

$$\frac{\text{Máxima corrente permitida}}{0,75}$$

Para o fusível de ação retardada:

$$\frac{\text{Máxima corrente permitida}}{0,85}$$

Disjuntores (*Circuit Breakers*)

Disjuntores são dispositivos usados para proteção de circuitos. Quando há uma sobrecarga no circuito o disjuntor se abre interrompendo o mesmo. A diferença entre o disjuntor e o fusível é que o primeiro pode ser rearmado mecanicamente, isto é o disjuntor não se queima, ele se desarma.

Os disjuntores podem ser acionados (desarmados) por magnetismo ou por efeito térmico. Normalmente é por efeito térmico.

Os disjuntores ou *circuit breakers* têm grande aplicação na aeronáutica. Na linha de alimentação elétrica das aeronaves geralmente cada equipamento possui seu *circuit breaker* correspondente.

Quando houver o desarme de um disjuntor, o mecânico ou o piloto poderá verificar se existe alguma anormalidade no circuito e, se nada for constatado, o dispositivo poderá ser rearmado. No caso de novo desarme, a existência de defeito está comprovada, exigindo assim uma pesquisa mais detalhada no circuito.

A figura 5-19 mostra os símbolos usados na representação dos disjuntores.



Figura 5-19 Simbologia dos disjuntores