

## 0.1 Métodos de Atenuação de Harmônicas

Existem métodos bem concebidos na literatura com relação à metodologias para mitigar o problema da utilização de cargas não lineares em sistemas senoidais. Pode-se encontrar, basicamente, três abordagens para eliminar as harmônicas de mais alta frequência, e assim, manter a qualidade de energia dentro de níveis aceitáveis para propiciar segurança operacional de uma aeronave. Tais sistemas serão descritos brevemente a seguir, e a escolha da utilização de filtros ativos em aplicação aeronáutica será melhor elucidada.

### 0.1.1 Sistemas Passivos

A caracterização de um sistema passivo dá-se pela ausência de fontes externas de energia para o correto funcionamento de um circuito ou o controle ativo para o mecanismo de comutação ou condicionamento de dispositivos semicondutores, como transistores ou amplificadores operacionais [1]. Para essa classe de dispositivos passivos destacam-se os filtros lineares e os retificadores de alto fator de potência sem a presença de comutadores comandados.

#### 0.1.1.1 Filtros Passivos

Filtros passivos são circuitos dotados de componentes elétricos passivos lineares, como indutores, capacitores e resistores, concebido com objetivo de obter uma função de transferência cujo comportamento típico é atenuar componentes de frequências senoidais específicas. Os filtros são basicamente compostos por impedâncias interligadas e o comportamento destes circuitos depende do valor e da disposição dos elementos lineares envolvidos [2, 3].

Conceitualmente, pode-se considerar a concepção de filtros ideais e reais. De maneira simplificada, os filtros ideais são tais que em determinadas frequências a atenuação é nula e em outras é infinita, ou seja, as amplitudes dos componentes do espectro não se altera em determinadas frequências mas em outras são levadas a zero, respectivamente. Tais filtros não são realizáveis e na prática são utilizados filtros reais. Esses filtros não possuem uma atenuação infinita, e a diminuição das respectivas amplitudes em função da frequência é dada segundo a ordem do filtro. De maneira geral, a ordem do filtro é dada de acordo com o número de elementos armazenadores de energia concebidos no circuito. Assim, para que o filtro real tenha o mesmo comportamento que o ideal haveria de ter ordem infinita, o que o torna inconcebível.

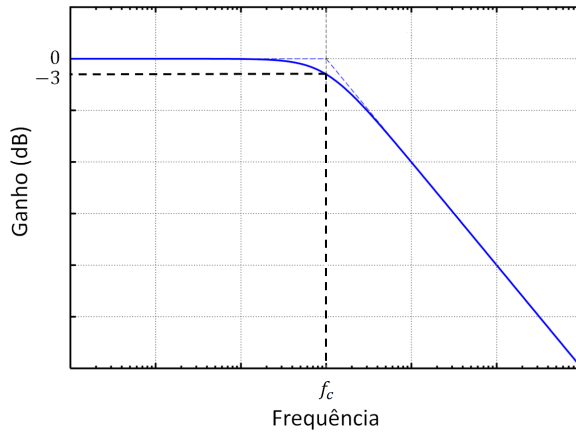
Por definição, a frequência de corte ( $f_c$ ) dos filtros reais é definida segundo qual a potência do sinal de saída é tida como a metade da potência do sinal de entrada, ainda, esta definição pode ser estendida como a frequência a qual a razão dos sinais de saída e entrada é tida como  $\sqrt{2}$ , ou mais, que nessa frequência a atenuação do sinal seja de 3 decibéis.

As principais topologias de filtros passivos podem ser divididos em 4 tipos:

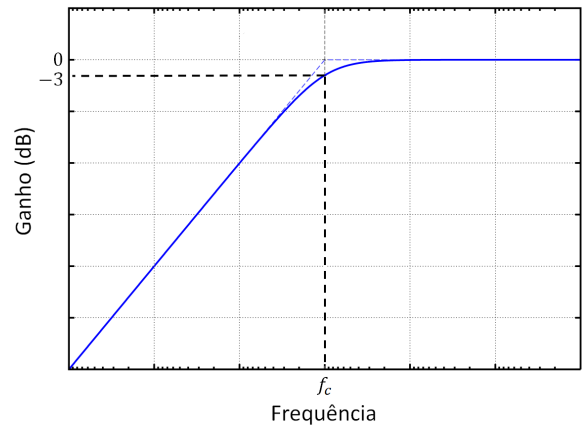
- i) *Filtro Passa Baixa:* A concepção desse tipo de filtro age de forma a criar caminhos de alta impedância entre a entrada e saída do sistema para frequências mais elevadas que  $f_c$  [3]. Desse modo, comparativamente ao sinal da entrada, a saída possui a mesma característica de amplitude e potência para frequências menores que  $f_c$ , mas atenuam componentes do espectro cujo valor é maior que a frequência de corte, ou seja,  $f > f_c$ . Ainda, deve-se ter em mente que quanto maior o valor da frequência das componentes que compõem o sinal, maior a redução em suas amplitudes [2]. A resposta em módulo do sistema de um filtro passa baixa pode ser visto na figura 3a.
- ii) *Filtro Passa Alta:* Analogamente ao filtro passa baixa, os sistemas com a topologia passa alta possuem caminhos de alta impedância para componentes de baixa frequência que são aplicadas na entrada do sistema [3]. Desse modo, a saída possui um espectro com a predominância de componentes de alta frequência. Como ocorre nos filtros passa baixa, a frequência que delimita a atenuação é denominada frequência de corte, e componentes com valores mais elevados possuem ganho unitário, ou seja, não são alterados pelo sistema [2]. O espectro típico de um filtro passa alto pode ser visualizado na figura 3b.
- iii) *Filtro Passa Faixa:* Os filtros passa faixa são caracterizados por circuitos cuja resposta apresenta a passagem de sinais com frequências situadas numa faixa intermediária no espectro, atenuando as amplitude dos sinais que estão fora desse intervalo. A frequências que delimitam esta faixa são denominadas frequência de corte inferior ( $f_L$ ) e frequência de corte superior ( $f_H$ ) [2]. Desse modo, o comportamento do sistema caracteriza-se pela atenuação de componentes que possui frequência abaixo de  $f_L$  e acima de  $f_H$ . Outra característica fundamental dos filtros passa faixa é a largura de banda definida pela intervalo onde o sinal não é atenuado. Em termos numéricos, esse valor é definido por  $f_H - f_L$ . Ainda existe a frequência central  $f_0$  ou frequência de ressonância, a qual é a média geométrica entre a frequência de corte inferior  $f_L$  e a frequência de corte superior  $f_H$  da banda de passagem, ou seja,  $f_0 = \sqrt{f_L \cdot f_H}$ . O módulo da resposta em frequência típica de um filtro passa faixa é mostrada na figura 1c.

arrumar  
esse  
texto  
que  
está  
porco

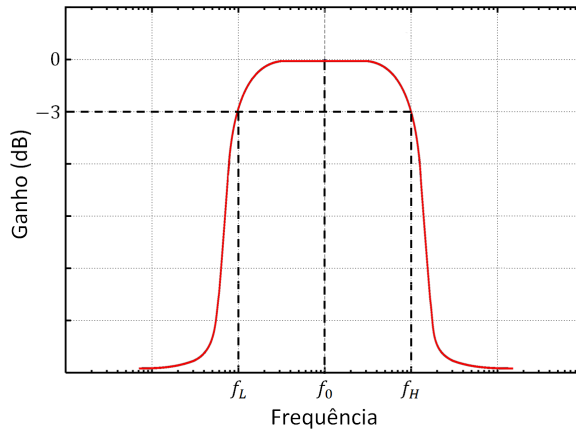
iv) *Filtro Rejeita Faixa*: Ao contrário do filtro passa faixa, este tipo de filtro é definido por atenuar componentes cujas frequências estão contidos em um determinado intervalo, enquanto as amplitudes das componentes fora deste não são alteradas. Analogamente ao passa faixa, existe a frequência de corte inferior e superior definidas por  $f_L$  e  $f_H$ , respectivamente [2]. As componentes com valores de frequência menores que  $f_L$  e maiores que  $f_H$  são mantidas iguais ao sinal de entrada, ao passo que os componentes contidos dentro do intervalo  $f_L - f_H$  possuem as amplitudes atenuadas. O espectro de frequência desse tipo de filtro pode ser visto na figura 1d.



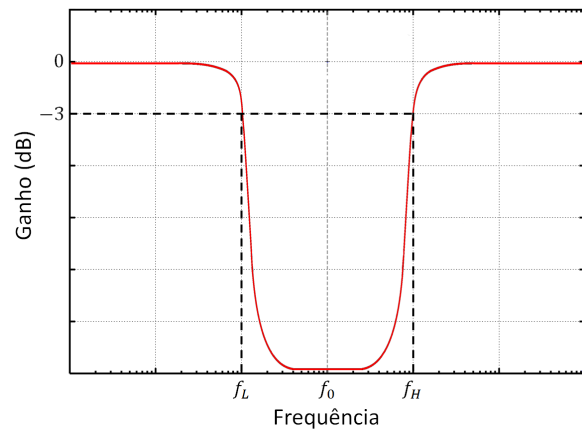
(a) Resposta em frequência de um filtro passa baixa



(b) Resposta em frequência de um filtro passa alta



(c) Resposta em frequência de um filtro passa faixa



(d) Resposta em frequência de um filtro rejeita faixa

FIGURA 1 – Ganho em função da frequência de filtros passivos típicos

Para o problema de atenuar as harmônicas de mais alta frequência que a fundamental, a utilização de filtros passa baixa é mais adequada, pois são os componentes harmônicos que acabam por degradar a qualidade de energia do sistema elétrico.

### 0.1.1.2 Retificadores Multipulso

as figuras estão em 60 hz, porém segundo lobo2005 é possível criar um conversor compatível com o mercado de aviação

Neste tipo de circuito o retificador é concebido utilizando uma filosofia semelhante a um retificador comum com pontes de diodo, porém o arranjo dos semicondutores junto com autotransformadores faz com que a corrente requerida da fonte possua uma forma quase senoidal, tornando o retificador com alto fator de potência. Outra particularidade desse conversor é a ausência de controle externo de comutação, sendo que os semicondutores do retificador são tidos por diodos e seu funcionamento depende apenas das tensões e correntes aplicadas sob seus terminais.

Os mais comumente encontrados são os retificadores de 12 pulsos [4, 5] e os retificadores de 18 pulsos [6]. Em tais conceitos existe a montagem com autotransformadores de modo que o arranjo de diodos passam a conduzir de tal forma que a corrente requerida na entrada tenha um formato com baixa incidência de harmônicas de elevada frequência.

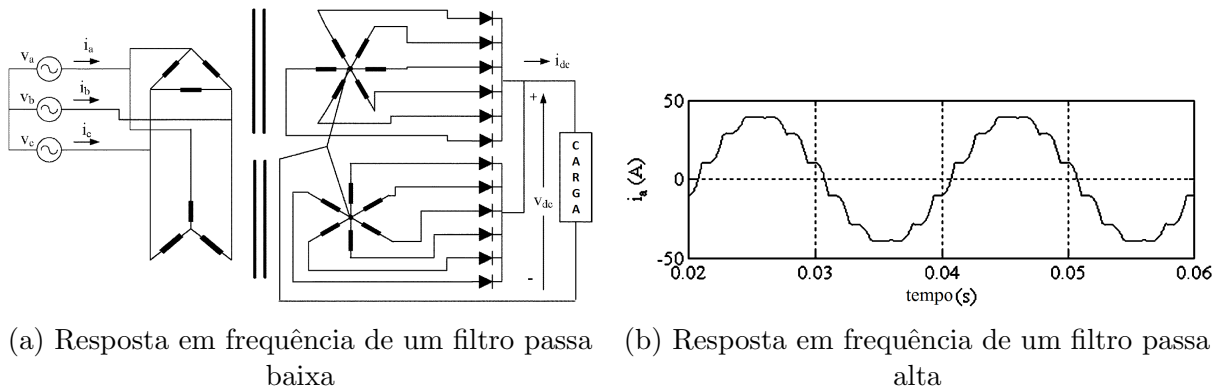


FIGURA 2 – 12 pulso

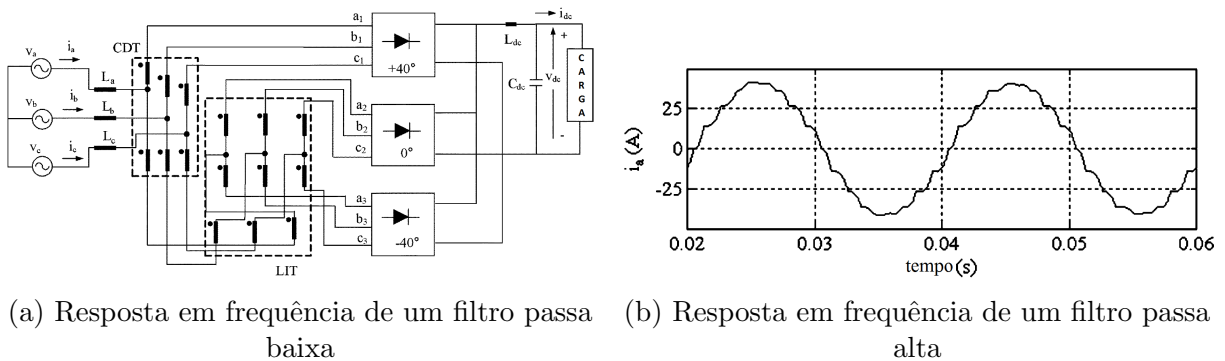


FIGURA 3 – 18 pulso

## 0.1.2 Sistemas Ativos

### 0.1.2.1 Conversores com Correção de Fator de Potência

### 0.1.2.2 Filtros Ativos

## 0.2 Vantagens e Desvantagens dos Sistemas de

Melhorar o título visto que alguns métodos não atenuam e sim já implementam a solução com alto fator de potência.

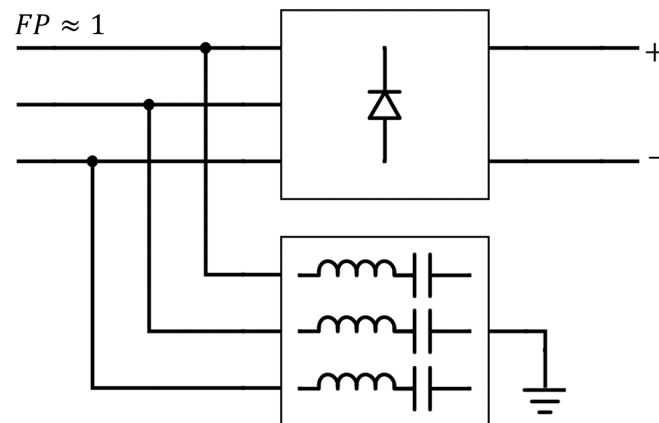


FIGURA 4 – Filtro Passivo



FIGURA 5 – Filtro PFC

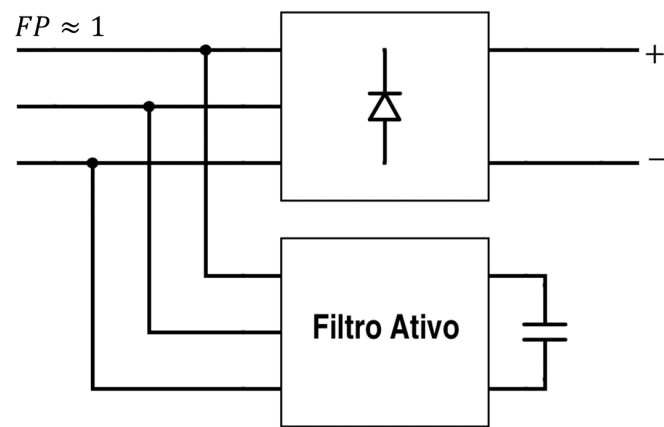


FIGURA 6 – Filtro Ativo

## Referências Bibliográficas

- [1] LACANETTE, K. *A Basic Introduction to Filters: Active, Passive, and Switched-Capacitor*. 1991. National Semiconductor. AN779.
- [2] MUSSOI, F. L.; ESPERANÇA, C. *Resposta em frequência: Filtros passivos*. 2. ed. Florianópolis, 2004. Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina.
- [3] KASSICK, E. V. *Harmônicas em Sistemas Industriais de Baixa Tensão*. Florianópolis, Abril 2010. Instituto de Eletrônica de Potência. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [4] GONG, G. et al. Comparative evaluation of three-phase high-power-factor ac-dc converter concepts for application in future more electric aircraft. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, IEEE, v. 52, n. 3, p. 727–737, 2005.
- [5] GONG, G.; DROFENIK, U.; KOLAR, J. 12-pulse rectifier for more electric aircraft applications. In: IEEE. *2003 IEEE International Conference on Industrial Technology*. Maribor, 2003. v. 2, p. 1096–1101.
- [6] BARBI, I.; SEIXAS, F. J. M. de. A new 12 kw three-phase impulse high power factor ac-dc converter with regulated output voltage for rectifier units. In: IEEE. *Telecommunication Energy Conference, 1999. INTELEC'99. The 21st International*. Copenhagen, 1999.