

2. CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS PRÉ-REGULADORES DE FATOR DE POTÊNCIA

2.1 Desvantagens do baixo fator de potência (FP) e da alta distorção da corrente

Consideremos aqui aspectos relacionados com o estágio de entrada de fontes de alimentação. As tomadas da rede elétrica doméstica ou industrial possuem uma corrente (RMS) máxima que pode ser absorvida (tipicamente 15A nas tomadas domésticas).

A figura 2.1 mostra uma forma de onda típica de um circuito retificador alimentando um filtro capacitivo. Notem-se os picos de corrente e a distorção provocada na tensão de entrada, devido à impedância da linha de alimentação. O espectro da corrente mostra o elevado conteúdo harmônico, cujas harmônicas excedem as especificações da norma IEC 1000-3-2.

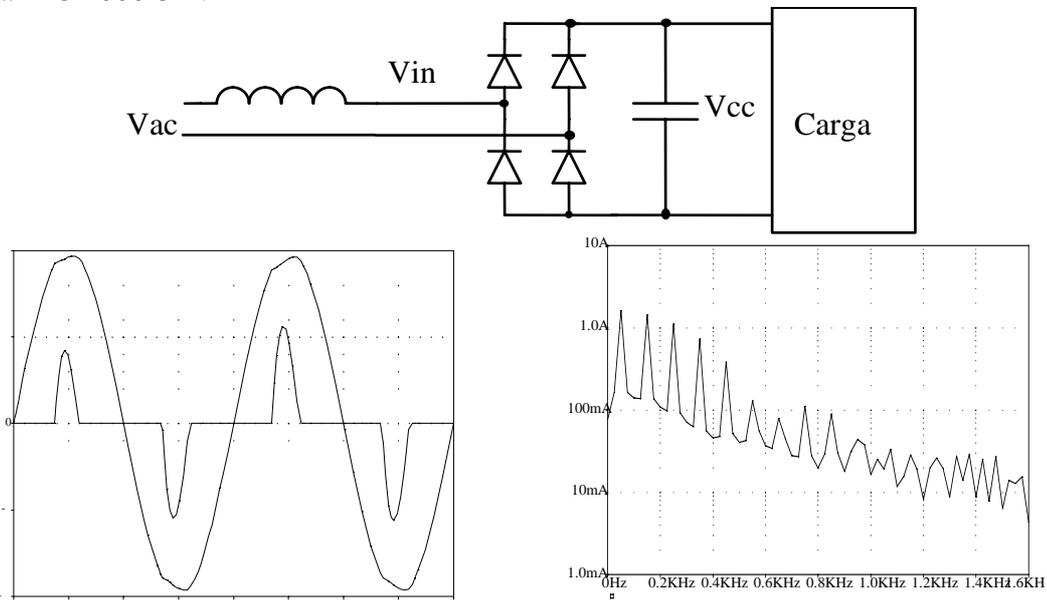


Figura 2.1 Circuito, corrente de entrada e tensão de alimentação (V_{in}) de retificador alimentando filtro capacitivo. Espectro da corrente.

Consideremos os dados comparativos da tabela I [2.1]

Tabela I
Comparação da potência ativa de saída

	Convencional	PFP
Potência disponível	1440 VA	1440 VA
Fator de potência	0,65	0,99
Eficiência do PFP	100%	95%
Eficiência da fonte	75%	75%
Potência disponível	702 W	1015 W

Nota-se que o baixo fator de potência da solução convencional (filtro capacitivo) é o grande responsável pela reduzida potência ativa disponível para a carga alimentada.

Podem ser citadas como desvantagens de um baixo FP e elevada distorção os seguintes fatos [2.1]:

- A máxima potência ativa absorvível da rede é fortemente limitada pelo FP;
- As harmônicas de corrente exigem um sobre-dimensionamento da instalação elétrica e dos transformadores, além de aumentar as perdas (efeito pelicular);
- A componente de 3^a harmônica da corrente, em sistema trifásico com neutro, pode ser muito maior do que o normal;
- O achatamento da onda de tensão, devido ao pico da corrente, além da distorção da forma de onda, pode causar mau funcionamento de outros equipamentos conectados à mesma rede;
- As componentes harmônicas podem excitar ressonâncias no sistema de potência, levando a picos de tensão e de corrente, podendo danificar dispositivos conectados à linha.

2.2 Soluções passivas

Soluções passivas para a correção do FP [2.2] [2.3] [2.4] oferecem características como robustez, alta confiabilidade, insensibilidade a surtos, operação silenciosa. No entanto, existem diversas desvantagens, tais como:

- São pesados e volumosos (em comparação com soluções ativas);
- Afetam as formas de onda na frequência fundamental;
- Alguns circuitos não podem operar numa larga faixa da tensão de entrada (90 a 240V);
- Não possibilitam regulação da tensão;
- A resposta dinâmica é pobre;
- O correto dimensionamento não é simples.

A principal vantagem, óbvia, é a não-presença de elementos ativos.

A colocação de um filtro indutivo na saída do retificador (sem capacitor) produz uma melhoria significativa do FP uma vez que é absorvida uma corrente quadrada da rede, o que leva a um FP de 0,90. Como grandes indutâncias são indesejáveis, um filtro LC pode permitir ainda o mesmo FP, mas com elementos significativamente menores [2.2]. Obviamente a presença do indutor em série com o retificador reduz o valor de pico com que se carrega o capacitor (cerca de 72% num projeto otimizado). A figura 2.2 mostra a estrutura do filtro e formas de onda com os respectivos espectros..

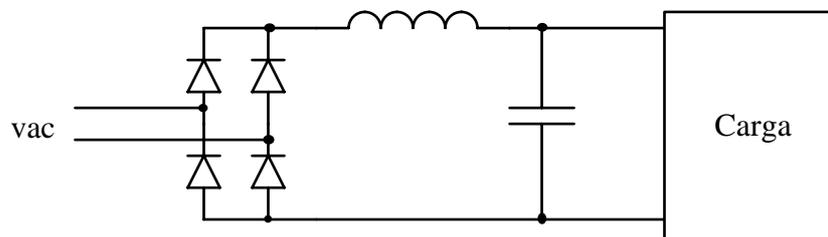


Figura 2.2 a) Filtro LC de saída

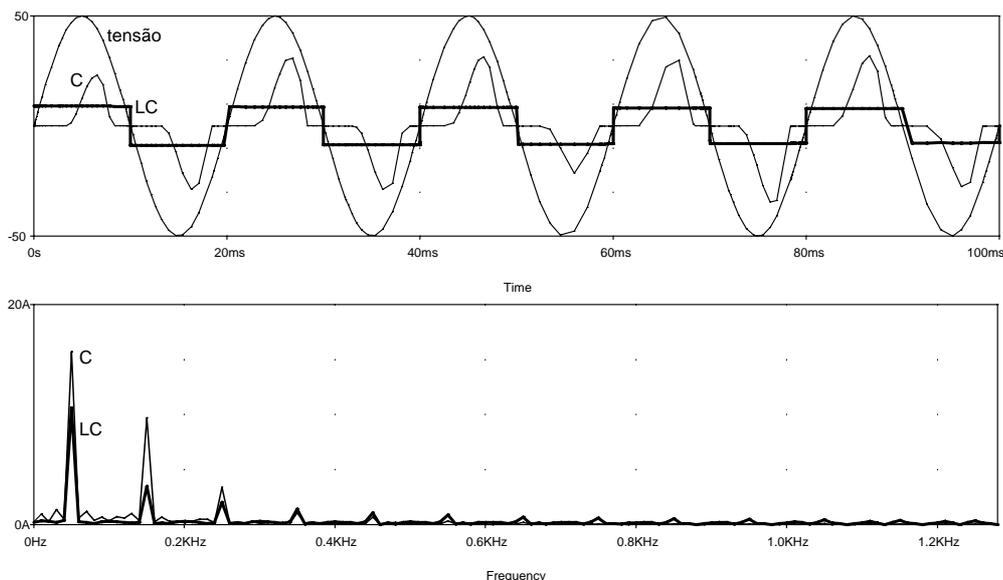


Figura 2.2 b) Formas de onda e espectro da corrente de retificador monofásico com filtro capacitivo e com filtro LC (ideal).

Outras alternativas, que não provocam a redução da componente fundamental da tensão empregam filtros LC paralelo sintonizados (na 3ª harmônica) na entrada do retificador [2.3]. Com tal circuito, mostrado na figura 2.3. chega-se a FP elevado (0,95), especialmente pela redução da terceira harmônica.

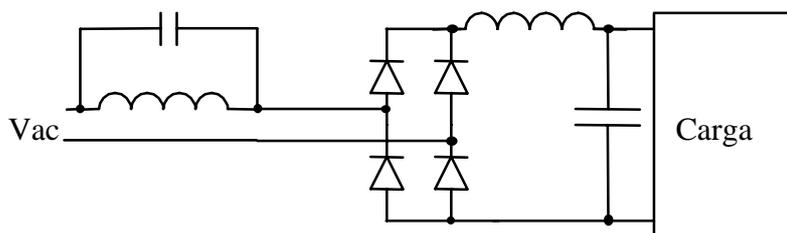


Figura 2.3 a) Filtro LC de entrada, sintonizado na 3ª harmônica

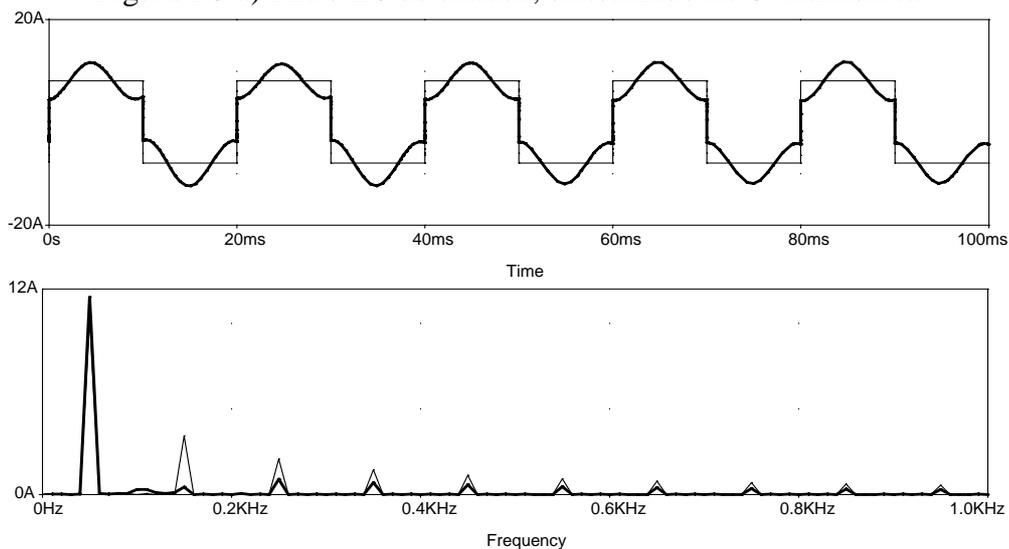


Figura 2.3 b) Correntes na rede e na entrada do retificador e respectivos espectros.

2.3 Soluções ativas

Os pré-reguladores de FP ativos empregam interruptores controlados associados a elementos passivos.

Algumas topologias operam o interruptor na frequência da rede (retificada), o que implica no uso de indutores e capacitores dimensionados para baixa frequência. A figura 2.4 mostra as formas de onda referentes a um conversor funcionando desta maneira [2.5]. O interruptor é acionado de modo a iniciar a corrente de linha antecipadamente (em relação a quando aconteceria a carga do capacitor de saída).

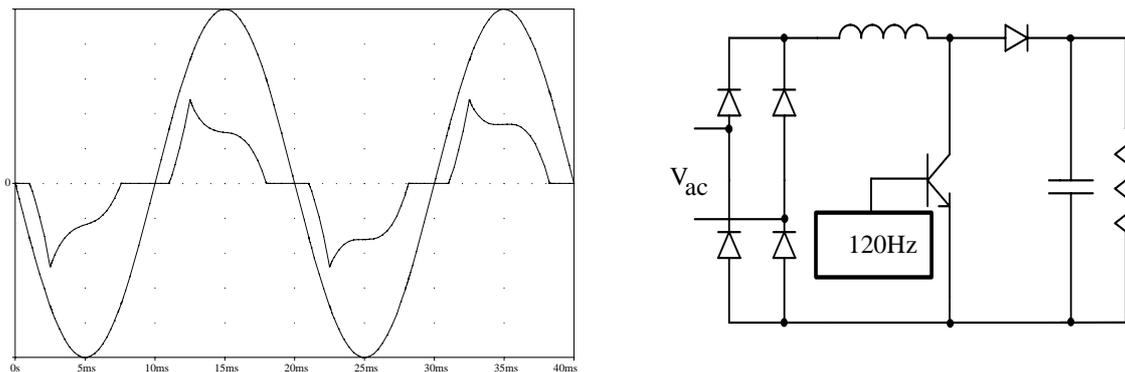


Figura 2.4 Formas de onda e circuito com interruptor controlado na frequência da rede

O emprego de um chaveamento em alta frequência, no entanto, é mais utilizado, uma vez que leva a uma drástica redução nos valores dos elementos passivos (indutores e capacitores) utilizados.

2.3.1 Elementos de armazenamento de energia

A figura 2.5 mostra tensão e corrente senoidais e em fase, características ideais de um PFP. A potência instantânea é também indicada. Usualmente as cargas alimentadas consomem uma potência ativa constante, cujo valor é a média do produto da tensão pela corrente (em 1/2 ciclo da rede). Quando a energia absorvida da rede é superior à consumida pela carga, a diferença deve ser armazenada, de modo que possa ser recuperada no intervalo em que a entrada é menor do que a saída.

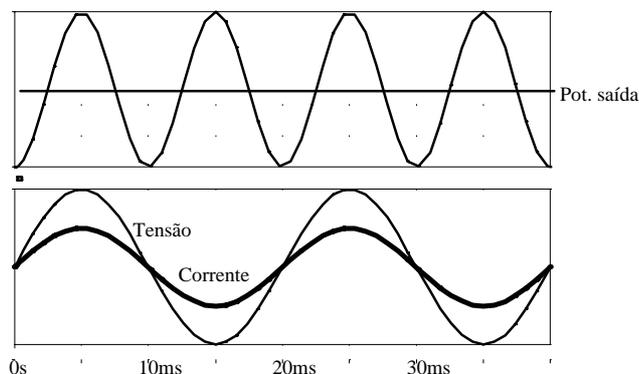


Figura 2.5 Potência instantânea de entrada para tensão e corrente senoidais.

A energia consumida pela carga em 1/4 do período da rede é dada por:

$$W_{dc} = P_{out} \frac{T}{4} \quad (2.1)$$

A energia absorvida da rede no mesmo intervalo é:

$$W_{ac} = \int_0^{T/4} P_{out} \cdot (1 - \sin(2\omega t)) dt = P_{out} \left(\frac{T}{4} - \frac{T}{2\pi} \right) \quad (2.2)$$

A mínima energia a ser armazenada é a diferença entre os 2 valores anteriores:

$$W_{min} = W_{dc} - W_{ac} = P_{out} \frac{T}{2\pi} = \frac{P_{out}}{\omega} \quad (2.3)$$

A energia pode ser acumulada num indutor ou num capacitor. A mínima indutância é:

$$L_{min} = \frac{P_{out}}{\omega \cdot I_{pk}^2} \quad (2.4)$$

onde I_{pk}^2 é a corrente de pico pelo indutor.

A mínima capacitância é:

$$C_{min} = \frac{P_{out}}{\omega \cdot V_{pk}^2} \quad (2.5)$$

onde V_{pk}^2 é a tensão de pico sobre o capacitor.

Note-se que se os valores mínimos fossem utilizados, a energia acumulada nos elementos se esgotaria (por exemplo, a tensão cairia a zero no capacitor). Tal situação, em geral, não é admissível para a carga ligada após o PFP, o que leva à exigência de componentes com valor muito maior do que o mínimo.

Devido ao elevado valor das indutâncias geralmente necessário para o uso de acumulação indutiva (possível nos conversores abaixador e abaixador-elevador de tensão), tal tipo de solução não é normalmente usada. Desta forma, o estágio de saída dos PFP utiliza capacitores, cuja função é manter razoavelmente constante a tensão em sua saída, mesmo com a elevada variação da tensão de entrada (retificador monofásico). Ou seja, este capacitor deve ser capaz de absorver toda a ondulação em 120Hz.

2.4 Referências Bibliográficas

- [2.1] J. Klein and M. K. Nalbant: "Power Factor Correction - Incentives, Standards and Techniques". PCIM, June 1990, pp. 26-31
- [2.2] S. B. Dewan: "Optimum Input and Output Filters for a Single-Phase Rectifier Power Supply". IEEE Trans. On Industry Applications, vol. IA-17, no. 3, May/June 1981
- [2.3] A. R. Prasad, P. D. Ziogas and S. Manlas: "A Novel Passive Waveshaping Method for Single-Phase Diode Rectifier". Proc. Of IECON '90, pp. 1041-1050
- [2.4] R. Gohr Jr. and A. J. Perin: "Three-Phase Rectifier Filters Analysis". Proc. Of Brazilian Power Electronics Conference, COBEP '91, Florianópolis - SC, pp. 281-286.
- [2.5] I. Suga, M. Kimata, Y. Ohnishi and R. Uchida: "New Switching Method for Single-phase AC to DC converter". IEEE PCC '93, Yokohama, Japan, 1993.