

Filtro Activo Série para Compensação de Tensão

João Sepúlveda, João L. Afonso, Júlio S. Martins

1. Introdução

Actualmente, o uso cada vez mais intenso de equipamentos electrónicos e de lâmpadas de descarga, tanto na indústria como pelos consumidores comerciais e residenciais, tem vindo a degradar a qualidade da energia eléctrica. Estes equipamentos são de natureza não linear, introduzindo harmónicos na rede eléctrica que distorcem as formas de onda das tensões e das correntes. As descargas atmosféricas e alguns tipos de geradores também causam problemas.

Os problemas relacionados com as tensões do sistema são os seguintes: falha de longa duração, falha momentânea, distorção, surto de tensão, desequilíbrio entre fases, flutuação da tensão (subharmónicos), ruído de alta-frequência, subtensões e sobretensões momentâneas.

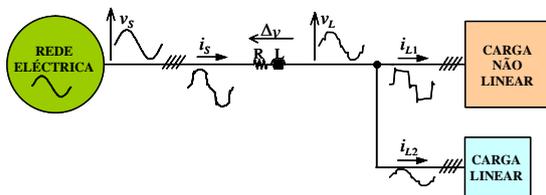


Fig. 1 - Problemas causados por carga não linear.

A Fig. 1 mostra o efeito da ligação de uma carga não linear nas proximidades de outra carga. A carga não linear consome corrente não sinusoidal, esta corrente vai provocar nas linhas uma queda de tensão que também é não sinusoidal, pois a impedâncias das linhas é linear. Como consequência, a carga linear é alimentada com tensão distorcida, consumindo também corrente distorcida.

A distorção das tensões do sistema provoca efeitos imediatos, tais como falhas, mau funcionamento, interferências e diminuição do desempenho dos aparelhos ou equipamentos. Provoca

também efeitos a longo prazo: sobreaquecimento e envelhecimento prematuro dos dispositivos eléctricos.

A Fig. 2 mostra a distorção típica provocada por um circuito rectificador com condensador de filtragem. A maior parte dos equipamentos electrónicos possui na entrada um rectificador deste tipo.

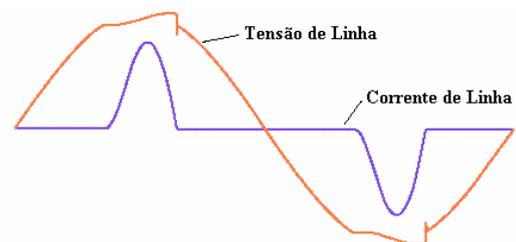


Fig. 2 - Distorção provocada por rectificador.

A Fig. 3 mostra a distorção da tensão na rede eléctrica da universidade numa hora de grande consumo.

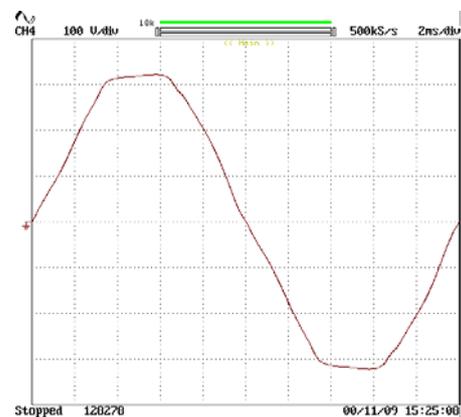


Fig. 3 - Tensão distorcida.

2. Filtro Activo Série

Os problemas mencionados podem ser resolvidos através de filtragem adequada, com excepção das falhas de longa duração e do ruído.

Os filtros passivos têm vindo a ser utilizados para solucionar alguns dos problemas referidos, no entanto têm algumas limitações, sendo de salientar:

apenas filtram as frequências para os quais foram previamente sintonizados, a sua operação não pode ser limitada apenas a um certo equipamento, podem ocorrer ressonâncias e o sistema eléctrico pode passar a operar com um factor de potência capacitivo.

Os filtros activos têm algumas vantagens, como por exemplo: acção automática de compensação, não têm risco de ressonâncias, bom desempenho, possibilidade de correcção do factor de potência, possibilidade de compensar desequilíbrios entre as fases e pode ser combinado com filtros passivos (topologias híbridas) com vista a diminuir a sua potência ou para coabitação com filtros passivos já instalados.

Os filtros activos possuem no entanto duas desvantagens: a sua elevada complexidade e a resposta em frequência limitada, que impossibilita a filtragem de surtos de tensão ou corrente.

Os filtros activos podem ser do tipo paralelo, para filtrar correntes ou do tipo série para filtrar tensões (é também possível combinar os dois tipos).

O filtro activo série representado na Fig. 4 funciona como uma fonte de tensão controlada, de forma a eliminar os harmónicos das tensões de alimentação e a tornar o sistema de tensões equilibrado, se este for trifásico.

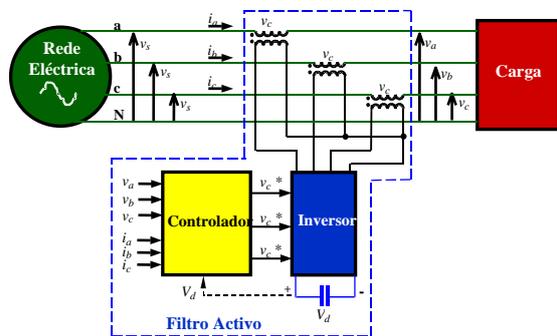


Fig. 4 - Filtro activo série.

3. Teoria p-q

Uma das várias teorias para implementação de sistemas de controlo

para filtros activos é a “teoria geral da potência reactiva instantânea em sistemas trifásicos”, desenvolvida pelo Prof. Akagi e designada por teoria p-q [1]. Fundamentalmente, esta teoria decompõe as potências de um circuito trifásico em *potência real instantânea*, *potência imaginária instantânea* e *potência de sequência zero*. Actuando de forma a anular a potência de sequência zero, a potência imaginária e a componente oscilante da potência real, consegue-se o efeito de filtragem desejado.

A grande vantagem desta teoria deve-se ao facto de operar com valores instantâneos e à relativa simplicidade dos cálculos que envolve, tornando-se bastante apropriada para um sistema de controlo em tempo real.

A Fig. 5 representa dois ciclos das tensões de um sistema trifásico que apresentam uma distorção elevada.

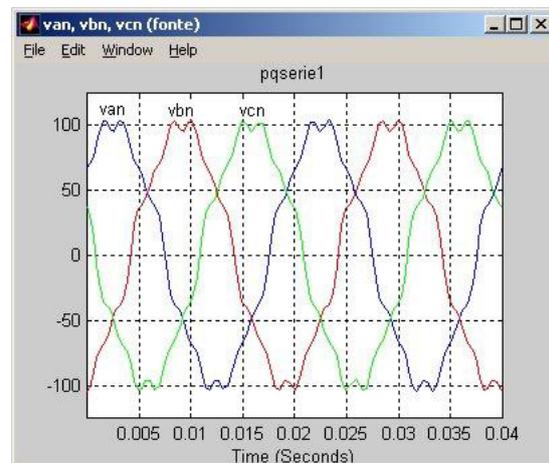


Fig. 5 - Tensões de entrada distorcidas.

Usando o algoritmo de controlo baseado na teoria p-q, calculam-se as tensões de compensação que o filtro série deve adicionar ao sistema para corrigir as formas de onda.

Depois de compensar as tensões de entrada obtém-se um sistema trifásico equilibrado e sem distorção, como se pode ver na Fig. 6.

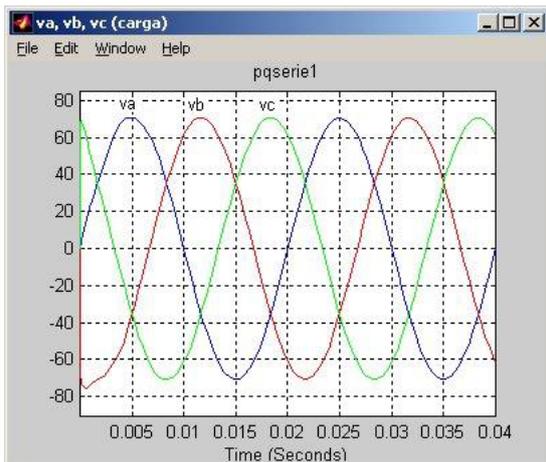


Fig. 6 Tensões de saída compensadas

4. Controlo por computador

O circuito de controlo utilizado baseia-se num computador pessoal munido de uma placa de aquisição de dados de uso geral.

As vantagens deste sistema são o relativo baixo custo, a elevada capacidade de processamento e o número ilimitado de possibilidades que o uso de um computador pessoal permite.

O computador utilizado é um Pentium III a 733MHz. A placa de aquisição de dados é fabricada pela *National Instruments* (PCI-MIO-16E-4), para barramento PCI, sendo mostrada na Fig. 7.

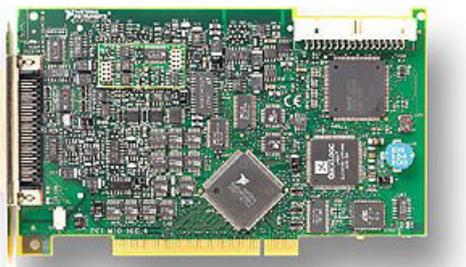


Fig. 7 - Placa de aquisição de dados.

A sequência executada pelo circuito de controlo é a seguinte: os valores instantâneos das tensões e correntes da rede são adquiridas pela placa, o processador do computador faz os cálculos do algoritmo de controlo, de seguida, os sinais de compensação são introduzidos no circuito de *drive* através das saídas analógicas da placa de aquisição.

A rapidez de execução do ciclo de controlo, e o facto do atraso provocado pelo controlador ser pequeno, são essenciais para a viabilidade da solução baseada em computador pessoal. Foram ensaiadas duas soluções, uma baseada em *Microsoft Windows* e num *driver* da placa fornecido pelo fabricante, e outra em *Red Hat Linux* munido de módulo de tempo real e um *driver* desenvolvido por terceiros especialmente para aplicações em tempo real.

Os resultados obtidos foram os seguintes (com os cálculos da teoria p-q em vírgula flutuante e dupla precisão):

- Em *Windows* (não tempo real): os cálculos demoram 4 μ s, o ciclo de controlo é efectuado aproximadamente 120 vezes por cada ciclo da tensão da rede (50 Hz), correspondendo a uma frequência de amostragem de 6 kHz, e o atraso introduzido pelo controlador é cerca de 200 μ s.
- Em *Linux* tempo real: os cálculos demoram sensivelmente o mesmo tempo, mas o ciclo é executado exactamente 200 vezes, correspondendo a uma frequência de amostragem de 10 kHz e o atraso introduzido é de 50 μ s.

É interessante comparar estes valores com os obtidos com um microcontrolador *Intel* 80296SA com *clock* de 40 MHz [2]: os cálculos em números inteiros e 8 bit de precisão demoram 50 μ s. Por outro lado, o número de amostras por ciclo é 300.

5. Referências

- [1] H. Akagi, Y. Kanazawa and A. Nabae, "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-Phase Circuits", IPEC'83 – Int. Power Electronics Conf., Tokyo, Japan, 1983, pp. 1375-1396.
- [2] João L. Afonso, "Filtro Ativo Paralelo com Controlo Digital para a Melhoria da Qualidade de Energia Eléctrica", Tese de Doutoramento, Universidade do Minho, 2000.