

Qualidade de energia Correção de fator de potência e harmônicas em instalações elétricas

Por: Talles Amaral
Engenheiro de Aplicação

Introdução

Os equipamentos elétricos/eletrônicos estão cada vez mais presentes nas indústrias, no comércio e nas residências, proporcionando eficiência e comodidade. Nas instalações elétricas essas cargas absorvem da rede elétrica, energia ativa como fonte de abastecimento de energia (por exemplo: computadores, impressoras, aparelhos de diagnóstico, etc.) ou converte em outra forma de energia (por exemplo: lâmpadas elétricas ou fornos de microondas). Além das cargas já citadas, temos ainda aquelas que consomem energia reativa (por exemplo: motores elétricos, transformadores, cargas não-lineares e etc.). Estas cargas também contribuirão para o aumento da potência total que atravessa a rede elétrica.

A correção do fator de potência é obtida utilizando um banco de capacitores, onde estes terão a capacidade de gerar localmente a energia reativa necessária para suprir o consumo destas cargas.

Além do problema do fator de potência, alguns equipamentos, como: circuitos eletrônicos e acionamentos elétricos presentes na instalação, geram correntes harmônicas que são injetados na rede e como consequência acabam poluindo e distorcendo as formas de onda de outras cargas ali conectadas. Portanto, o uso de filtros de harmônicas dimensionados corretamente, sejam eles passivos ou ativos, contribuem para melhorar a qualidade de energia das instalações.

1. Generalidades sobre a correção do fator de potência

O Fator de Potência ($FP = \cos\varphi$) é definido pela relação entre a potência ativa (P) e a potência aparente (S), como mostra a figura (1.1).



Figura 1.1 – Definição do fator de potência e triângulo das potências

Onde:

Potência ativa (P) representa a energia que está sendo convertida em trabalho no equipamento. Sua unidade é dada em Watts (W).

Potência reativa (Q) representa a energia que está sendo utilizada para produzir os campos elétricos e magnéticos necessários para o funcionamento de alguns tipos de cargas como,

por exemplo, motores, transformadores, cargas não-lineares e etc. Sua unidade é dada em Volt-ampère reativo (Var).

Potência Aparente (S) é obtida pela “soma vetorial” das Potências Ativa e Reativa. Sua unidade é dada em Volt-ampère (VA).

Melhorar o fator de potência significa tomar medidas necessárias para aumentar o FP em uma seção definida da instalação elétrica. Essa melhoria é uma solução que permite vantagens técnicas e econômicas para a instalação, garantindo assim, um melhor aproveitamento da energia drenada da rede de energia elétrica. Isso se deve a redução do valor RMS da corrente para um mesmo valor de Potência Ativa, reduzindo as perdas na fiação e, também, evitando a sobrecarga do sistema de potência da rede elétrica. Além disso, reduzindo a Potência Reativa drenada da rede elétrica, estará também, reduzindo as componentes harmônicas. As medidas legislativas em vigor nos diferentes países permitem que as autoridades nacionais de fornecimento de energia possam definir detalhadamente seu sistema de cobrança de tarifas.

2. Vantagens técnicas e econômicas de correção de fator de potência

Como mencionado anteriormente, corrigindo o fator de potência da instalação é possível reduzir o valor da corrente e, conseqüentemente a energia total absorvida no lado de carga desta instalação. Isto implica em numerosas vantagens, entre as quais uma melhor utilização de máquinas elétricas (geradores e transformadores) e de linhas elétricas (linhas de transmissão e distribuição). A correção do FP permite obter vantagens também, para o dimensionamento de cabos da instalação, em consequência da diminuição da corrente.

No Brasil, a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL estabelece que o fator de potência nas unidades consumidoras deve ser 0,92. Esse limite é determinado pelo Artigo nº 95 da Resolução ANEEL nº 414 de 09 de setembro de 2010, e quem descumprir está sujeito a uma multa que leva em conta o fator de potência medido e a energia consumida ao longo de um mês. É importante lembrar que há um custo de instalação com o investimento de bancos de capacitores para correção de FP. Na prática, as economias obtidas corrigindo o fator de potência, permite a recuperação do custo de instalação do banco de capacitores nos primeiros meses ou em poucos anos de utilização, isso vai depender da característica da planta de cada consumidor final.

3. Meios de geração de potência reativa

Os principais meios para a geração de energia reativa são:

- Alternadores síncronos
- Compensadores síncronos (SC)
- Compensadores estáticos (SVC)
- Bancos de capacitores estáticos

3.1. Alternadores síncronos

Alternadores síncronos são as principais máquinas usadas para a geração de energia elétrica. Eles destinam-se para fornecer energia elétrica para as cargas finais através de sistemas de transmissão e distribuição. Além disso, sem entrar em detalhes técnicos, agindo sobre a excitação de alternadores, é possível fazer variar o valor a ser gerado de tensão e, conseqüentemente, regular as injeções de potência reativa na rede, de modo que a tensão do sistema possa ser melhorada e as perdas, devido ao efeito de Joule ao longo das linhas, possa ser reduzida.

3.2. Compensadores síncronos

Os compensadores síncronos são motores síncronos em execução sem carga, em sincronismo com a rede e tendo como única função absorver a energia reativa em excesso ou fornecer o ausente dessa energia. Estes dispositivos são utilizados principalmente nos nódulos definidos da transmissão de energia e rede de sub-transmissão para a regulação das tensões e dos fluxos de potência reativa. O uso de compensadores síncronos em redes de distribuição de energia não é favorável em termos econômicos, por causa do seu elevado custo de instalação e manutenção.

3.3. Compensadores estáticos

O compensador estático é uma fonte de energia reativa, que é aplicada no sistema de transmissão ou de distribuição, para controlar e reduzir variações de tensão como quedas, picos e oscilações, e ainda lidar com instabilidades causadas por variações rápidas de demanda de energia reativa.

3.4. Bancos de capacitores estáticos

Um capacitor é um dipolo passivo que consiste em dois condutores, superfícies chamadas de placas, isolados um do outro por um material dielétrico.

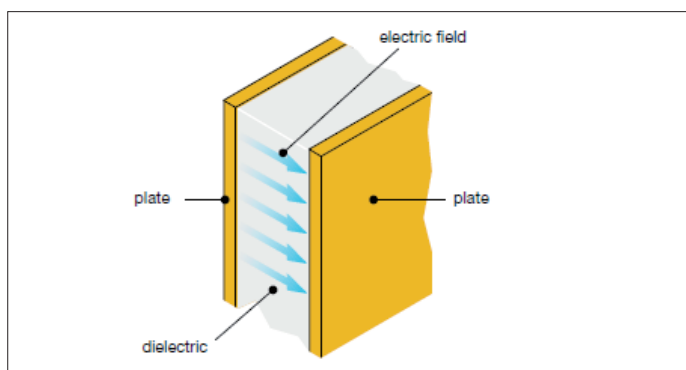


Figura 2 – Estrutura capacitor

O sistema assim obtido é impregnado para evitar a penetração de umidade ou de bolsas de gás que poderiam provocar descargas elétricas. Os capacitores de última geração são do tipo seco e sofrem um tratamento específico que melhoram as suas características elétricas. Usando capacitores do tipo seco não há risco de poluição por causa do vazamento acidental da

substância; em sua maior parte essa substância trata-se de um tipo de óleo.

Quando uma tensão alternada é aplicada entre as placas, o capacitor é submetido a carga e descarga em ciclos, durante os quais ele armazena energia reativa e injeta essa energia para o circuito ao qual ele está conectado (descarregando o capacitor).

Devido à sua capacidade de armazenamento e fornecimento de energia, os capacitores são usados como elemento fundamental para a realização de bancos de correção de fator de potência (para todos níveis de tensão) e de dispositivos estáticos para a regulação da potência reativa. Em particular, os capacitores de correção do fator de potência usados para aplicações de baixa tensão, são constituídos por componentes monofásicos de filme de polipropileno metalizado.

4. Tipos de correção do fator de potência

Não existem regras gerais aplicáveis para a instalação de capacitores, em teoria pode ser instalado capacitores em qualquer ponto, mas é necessário avaliar a relevância e viabilidade prática e econômica para tal. De acordo com as modalidades os principais métodos de correção de fator de potência são:

4.1. Correção do fator de potência distribuído por cargas

É conseguido através da ligação de um banco de capacitores corretamente dimensionado diretamente para os terminais de carga, que exigem potência reativa.

4.2. Correção de fator de potência do grupo

Ele consiste em melhorar localmente o fator de potência de grupos de cargas com características de funcionamento semelhantes, através da instalação de um banco de capacitores dedicado.

4.3. Correção de fator de poder centralizado

Para instalações com muitas cargas, em que nem todas as cargas funcionarão simultaneamente e/ou algumas cargas estão ligados por apenas algumas horas por dia, é evidente que a solução de correção do fator de potência distribuída torna-se mais onerosa. Por conseguinte, a utilização de um sistema de compensação localizado somente na origem da instalação, permite uma redução notável da potência total dos capacitores instalados. A solução centralizada permite uma otimização dos custos do banco de capacitores, mas apresenta a desvantagem que as linhas de distribuição no lado da carga do dispositivo de correção do fator de potência devem ser dimensionadas para manter a potência reativa total absorvida pelas cargas.

4.4. Correção do fator de potência combinado

Esta solução deriva de um compromisso entre duas soluções de fator de potência: correção distribuída e correção centralizada e que explore as vantagens que elas oferecem. Dessa forma, a remuneração distribuída é usada em equipamentos elétricos de alta potência e a modalidade centralizada para a parte restante.

4.5. Correção de fator de potência automático.

Na maioria das instalações, não há uma absorção constante

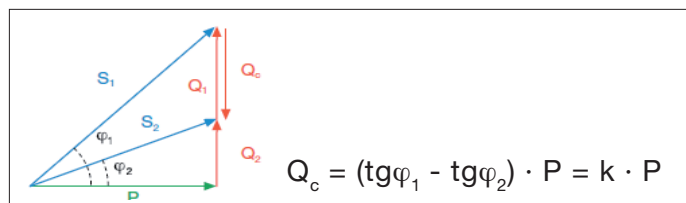
de potência reativa por exemplo, devido a ciclos de trabalho no qual as máquinas são submetidas. Em tais instalações existem sistemas para correção automática do fator de potência, que, graças a um acompanhamento de um dispositivo controlador de fator de potência, permite a comutação automática de diferentes bancos de capacitores, assim seguindo as variações da potência reativa absorvida e mantendo-se constante o fator de potência da instalação. Um sistema de compensação automática é formado por:

- Alguns sensores que detectam sinais de corrente e tensão
- Uma unidade inteligente que compara a potência medida com fator de potência desejado e opera a conexão e desconexão dos bancos de capacitores com a potência reativa necessária
- Dispositivos de proteção
- Alguns bancos de capacitores

5. Cálculo do fator de potência e do banco de capacitores

Para o dimensionamento do banco de capacitor a ser instalado em uma planta é necessário calcular corretamente o fator de potência de acordo com o consumo da planta. Para realizar a devida correção do FP é necessário calcular o $\cos\varphi$ de uma única carga ou do grupo de cargas.

Uma vez definido o fator de potência ($\cos\varphi$) da instalação e o fator de potência a ser obtido ($\cos\varphi_2$), é possível calcular a potência reativa do banco de capacitor necessária para corrigir o fator de potência através da equação apresentada abaixo:



Onde:

- **P** é a potência ativa instalada;
- φ_1 é o ângulo de defasagem antes da correção do FP
- φ_2 é o ângulo de deslocamento de fase a ser obtido
- **Qc** é a capacidade do banco de FP
- Fator K (kvar/kW instalado)

6. Efeitos harmônicas em instalações elétricas

Quando a relação entre corrente e tensão num determinado componente não é descrita por uma equação linear, esta carga é denominada não-linear. Ela absorve uma corrente não senoidal e, portanto, correntes harmônicas, mesmo quando é alimentada por uma tensão puramente senoidal. Os efeitos harmônicas são os componentes de uma forma de onda distorcida e seu uso permite analisar qualquer onda não senoidal decompondo-a em vários componentes senoidais. A presença de harmônicas no sistema elétrico é um indicador da distorção da forma de onda da tensão ou corrente, e esta implica uma tal distorção da energia elétrica que pode causar o mau funcionamento dos equipamentos.

Lâmpadas fluorescentes, conversores estáticos, inversores, máquinas de solda e etc, são alguns dos aparelhos que produzem harmônica na rede.

6.1. Efeitos harmônicas

A presença de harmônicas na rede elétrica pode ser a causa do mau funcionamento do equipamento, tal como no caso de sobrecarga do condutor neutro, de aumento de perdas nos transformadores, de distúrbios no torque do motor, etc. Em particular, harmônicas é o fenômeno que mais afeta fortemente os capacitores na correção do fator de potência.

6.2. Filtros de harmônicas

Bancos de capacitores podem ser usados combinado com indutores, a fim de limitar os efeitos das harmônicas em uma rede. Na realidade, a combinação de capacitor e um indutor constitui um filtro para harmônicas. A instalação de filtros de correntes harmônicas, surge como outra possibilidade para adequação dos valores registrados de distorção de tensão por conta do controle das correntes harmônicas. De uma forma geral, os filtros evitam que as harmônicas circulem pelas fontes, reduzindo, portanto, as tensões harmônicas à montante e, por consequência, reduzindo também as distorções de tensão nos barramentos de baixa tensão. Os filtros mais comumente aplicáveis são os filtros passivos e filtros ativos.

O filtro da figura 3 é conhecido como filtro passivo e consiste em um capacitor ligado em série com um indutor, de modo que a frequência de ressonância é totalmente igual à frequência da harmônica a ser eliminada. A função dos filtros passivos é de absorver as correntes harmônicas da carga, impedindo que elas circulem pela rede.

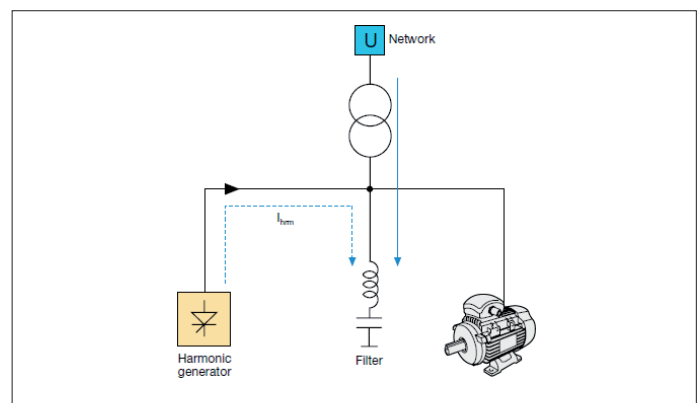


Figura 3. Exemplo de filtro passivo de harmônica

Os filtros ativos por sua vez, podem eliminar automaticamente as correntes harmônicas através do poder da tecnologia eletrônica; eles podem injetar um sistema de harmônicas defasadas adequadamente, daquelas geradas pelas cargas capazes de neutralizar os presentes na rede.

A ilustração 4 apresenta a operação de um filtro ativo.

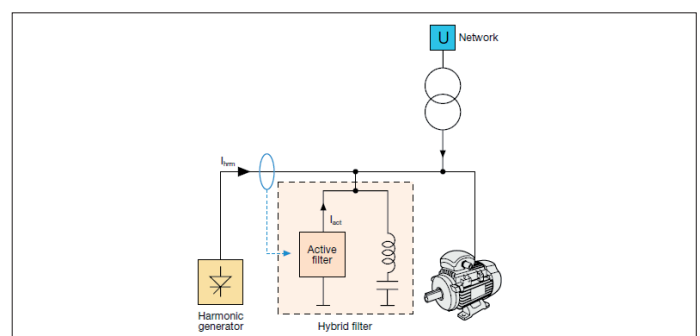


Figura 4. Exemplo de filtro ativo de harmônica

A solução de escolha entre filtros ativos e passivos dependerá fundamentalmente da aplicação relacionada ao custo-benefício da escolha. O entendimento que parece bastante aplicável nesta fase de custos das tecnologias no nosso mercado, é o de que filtros passivos compensam energia reativa e fator de potência e, também, filtram as correntes harmônicas, enquanto filtros ativos filtram as harmônicas e, também, compensam o fator de potência. Ainda, a especificação dos filtros passivos é normalmente feita em potência reativa (kvar) e a dos filtros ativos em corrente (A). Sendo assim, a escolha dependerá da necessidade específica de cada caso.

7. Comutação e proteção de bancos de capacitores

Um sistema para a correção do fator de potência é constituído, essencialmente, por:

- Um dispositivo de proteção
- Um dispositivo de comutação (contator)
- Um ou mais capacitores adequadamente conectados
- Resistores para descarregar dos capacitores

No caso de um sistema de compensação automática, há também, uma unidade de estação de controle para comandar a mudança de estado dos capacitores.

7.1. A escolha do dispositivo de comutação (contator)

Capacitores ou bancos de capacitores são geralmente comutada por um contator, que deve ser escolhido de modo que ele possa operar corretamente. O contator deve ser dimensionado de modo que ele possa sustentar uma corrente igual ao I_{max} do banco de capacitor e sustentar sem danos, a corrente de partida dos capacitores.

Além disso, o contator deve ser protegido contra curto-circuito pelo dispositivo de proteção.

7.2. Escolha do capacitor

O capacitor fornece a energia reativa necessária para aumentar o fator de potência até o valor desejado. As características de um capacitor apresenta informações sobre sua placa de identificação:

- U_n - tensão nominal
- Classificação de frequência de f
- Potência reativa Q_c , expressa em kvar (potência reativa do banco de capacitores)

Ao instalar um capacitor é necessário verificar se, no momento em que este é desconectado ele tem a capacidade de descarregar a energia armazenada.

Em conformidade com a IEC 60252-2, para a correção do fator de potência de motores, dispositivos de descarga não são muitas vezes necessários, em particular quando os capacitores são permanentemente ligados aos terminais do enrolamento do motor, este acaba funcionando como resistências de descarga. Quando um dispositivo de descarga é fornecido, deve reduzir a tensão nos terminais do capacitor para um valor de pico de tensão de 50 V, ou menos, no primeiro minuto, a partir do momento em que o capacitor está desligado. O dispositivo de descarga, por vezes, pode ser especificado, não por razões de segurança, mas para evitar sobretensão elétricas nos capacitores. Resistores têm o propósito de anular, dentro de

um curto tempo, a carga residual sobre as placas do capacitor, uma vez que tenha sido desconectado da rede.

8. Oferta ABB

8.1. Disjuntores

ABB oferece os seguintes tipos de disjuntores caixa moldada e disjuntores para proteção contra sobrecargas e desconexão dos bancos de capacitores:

Disjuntor caixa moldada – linha Tmax XT e Tmax



Figura 5. Linha Tmax XT e Tmax

Disjuntor Trifásico em caixa moldada linha Tmax XT e Tmax está em conformidade com a norma IEC 60947-2, equipado com relés termomagnéticos ou eletrônicos, com aplicação de 1,6 a 1600 A e níveis de ruptura de 10 kA a 200 kA @ 400 V.

Disjuntor caixa aberta – linha Emax e Emax 2

Emax



Figura 6. Linha Emax X1 e Emax

Disjuntores caixa aberta Emax linhas E1 ... E6 atendem a norma IEC 60947-2, com faixa de aplicação de 400 A para 6300 A, com capacidade de ruptura de 42 à 150 kA @ 400 V e equipados com relés eletrônicos tipo PR121/P, PR122/P e PR123/P.

O Disjuntor Emax X1, possui uma faixa de aplicação de 400 A à 1600 A, capacidade de ruptura de 42 à 65 kA @ 400 V e equipados com relés eletrônicos tipo PR331/P, PR332/P e PR333/P.

Emax 2



Figura 7. Linha Emax 2

O Emax 2 é a nova referência mundial de disjuntores abertos de baixa tensão, para correntes nominais de até 6.300 A e níveis de ruptura de até 200 kA.

O produto não somente protege mas, também, monitora a

alimentação e controla as instalações elétricas com eficiência e simplicidade, desde as mais tradicionais, até as mais complexas, tornando-se um gerenciador de energia completo. Os disjuntores Emax 2 são equipados com uma nova geração de relés de proteção que são fáceis de programar e ler. Os relés de proteção Ekip Touch medem a potência e a energia com precisão, e registram os alarmes, eventos e medições mais recentes, a fim de impedir falhas na instalação ou no desarme de maneira efetiva, se necessário. A série de disjuntores Emax 2 é constituída de quatro versões: E1.2, E2.2, E4.2, E6.2.

8.2. Contatores



Figura 8. Linha UA, UA..RA

A ABB oferece três versões diferentes de contatores de acordo com o valor de corrente de pico:

- Contatores UA..RA, 3 polos com ilimitada corrente de pico
- Contatores UA, 3 polos com pico de corrente menor ou equivalente a 100 vezes o valor eficaz da corrente nominal
- Contatores AF, padrão de 3 polos, com pico de corrente menor ou igual a 30 vezes o r.m.s. valor da corrente nominal

8.3. Controladores de Fator de Potência

A ABB possui 2 linhas de controladores automáticos de fator de Potência: RVC e RVT.

RVC

- Tensão de operação: 100 V à 440/690 Vc.a.
- $\cos \varphi$ ajustável de 0,7 indutivo à 0,7 capacitivo
- Sensibilidade (C/K) entre 0,05 a 3
- Corrente do contato de saída 1,5 A (máximo pico de corrente de 5 A)
- Possui 3, 6, 8, 10 ou 12 saídas;
- Temperatura de operação: - 10° à 60° graus
- Grau de proteção IP40
- Medição e exibição de parâmetros importantes como tensão, corrente, fator de potência, thdv e thdi
- Parâmetros permanecem salvos em memória não volátil

RVT

O RVT é um controlador de fator de potência e um multimídia integrados no mesmo sistemas de controle.

- Potência ativa (kw), aparente (kva) e reativa (kvar) - 3Ø/1Ø
- Tela: 3,5", QVGA colorido
- Capaz de controlar bancos de baixa, média e alta tensão
- Linha comum para todas as tensões: 100 - 460/690 Vc.a.
- Comunicação modbus RS-485 mediante utilização de acessório
- Conexão com PC via USB e Ethernet (RVT12-3P) com software PQ Link
- Limites de proteção configuráveis, o que permite a proteção do banco de capacitores contra sobre e sub-tensão, altas temperaturas e excessivas distorções harmônicas
- Exibição de gráficos e espectros harmônicas

8.4. Capacitores

A ABB possui 2 linhas de capacitores: CLMD e Qcap.

CLMD

Os capacitores CLMD contam internamente com células capacitivas monofásicas. É um capacitor totalmente a seco, constituído por elementos capacitivos (bobinas) e com dielétrico de filme de polipropileno metalizado a zinco, impregnado com resina dura, encapsulado em um invólucro plástico. Destaca-se abaixo algumas características técnicas deste produto:

- Capacitor 100% a seco. Pode ser instalado na horizontal ou na vertical
- Expectativa de vida útil: 130.000 horas
- Dispositivo de descarga incorporado
- Grau de proteção IP42 (sem chave) e IP30 (com chave)
- Faixa de tensão 220 a 525 V (até 1.000 V sob consulta)
- Potências disponíveis 1,5 a 100 kvar
- Tempo de descarga 50 V em 1 minuto

Qcap

O QCap é constituído de três elementos capacitivos monofásicos fabricados com filme de polipropileno metalizado com zinco, preenchido com uma resina especialmente formulada que, além de não apresentar risco de vazamento e ser biodegradável, torna o capacitor bastante robusto e resistente. Contém o resistor de descarga incorporado em uma tampa IP20, proporcionando segurança e praticidade durante a instalação do capacitor. Possui as seguintes características:

- Capacitor 100% a seco
- Expectativa de vida útil: 130.000 horas
- Faixa de tensão 220 a 600 V
- Potências disponíveis 12 a 30 kvar
- Dispositivo de descarga incorporado
- Tempo de descarga 50V em 1 minuto
- Pode ser instalado na horizontal ou na vertical
- Grau de proteção IP20
- Frequência 60 Hz (50 hz sob consulta)

8.5. Filtros para qualidade de energia

Os filtros ABB (PQF - filtros de qualidade de energia) executam tripla função de filtragem: harmônica, compensação de energia reativa e balanceamento de carga. A linha PQF de filtros ativos monitora a corrente de linha em tempo real e processa a medição das harmônicas como sinais digitais em uma alta potência, através da saída DSP (Processador de Sinal Digital). O controlador digital gera sinais PWM (modulação de largura de pulso) que dirigem módulos de potência IGBT, os quais, através de reatores de linha, injetam harmônicas de corrente com a fase exatamente oposta àquelas que deverão ser filtradas.

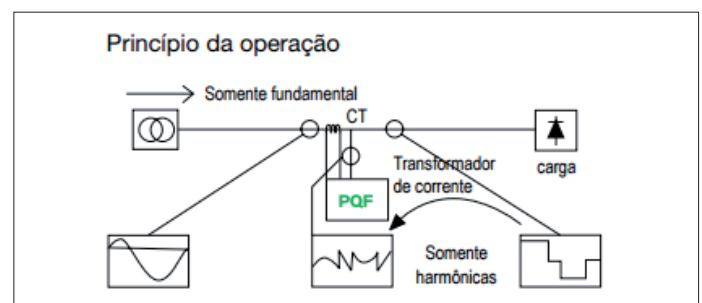


Figura 9. Princípio de operação filtro PQF

Vantagens do PQF

- Filtragem de até 20 harmônicas simultâneas
- Filtragem até a 50ª harmônica
- Eventos e falhas informadas em tempo real
- Facilidade de comissionamento e autodetecção da polaridade do TC
- Funções stand-by e re-start programáveis
- Interface digitais I/O programáveis
- Permite balancear a corrente da carga, através das fases
- Permite filtrar sem gerar potência reativa
- Permite gerar potência reativa e controlar o fator de potência
- Possui prioridades de tarefas programáveis
- Não requer transformador de corrente especial
- Fácil para instalar e ampliar no local
- Vem testado da fábrica
- Auto adaptação às mudanças de impedância na rede
- Compatibilidade com comunicação ModBus

Filtros PQF podem ser divididos em:

- Filtros PQFI - filtros ativos para cargas industriais pesados
- Filtros PQFM - filtros ativos para cargas industriais de menor capacidade
- Filtros PQFK - filtros ativos para cargas comerciais
- Filtros PQFS - filtros ativos para comercial, residencial T e cargas industriais leves para instalações com ou sem neutro. Filtros ativos para redes trifásicas

Contato

ABB Ltda

Produtos de Baixa Tensão

Rodovia Senador Jose Ermirio de Moraes, km 11, s/nº
18087-125 - Aparecidinha - Sorocaba-SP

Contact center: 0800 0 14 9111

Dúvidas sobre produtos, serviços e contatos ABB.

www.abb.com.br