

SOFTWARE PARA DIMENSIONAMENTO DE BANCOS DE CAPACITORES PARA CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Teófilo M. de Souza, Inácio Bianchi

Departamento de Engenharia Elétrica, Unesp/Guaratinguetá
12516-410, Guaratinguetá-SP, tel/fax: (012) 525-2800 ramal 1801

RESUMO

A utilização de bancos de capacitores automáticos ou fixos aumenta a capacidade do sistema de energia elétrica, minimiza as quedas de tensão e elimina as multas aplicadas às contas de energia elétrica devido ao baixo fator de potência.

As concessionárias exigem dos consumidores que utilizam energia reativa um fator de potência mínimo de 92%, conforme a Portaria 1569 de 23/12/1993 do DNAEE (DNAEE, 1993) que vigorou de abril de 1994 até 29/11/2000 quando passou a vigorar a Resolução n° 456 da ANEEL (ANEEL, 2000).

O software ALTOFP permite o dimensionamento de bancos de capacitores para a correção do fator de potência, e calcula a quantidade de potência ativa liberada para o sistema e foi desenvolvido para ser executado em qualquer microcomputador PC/compatível.

Tem como entradas os seguintes dados: sistema monofásico ou trifásico, tensão de linha U , frequência f , últimos valores de energia ativa e reativa, e o novo fator de potência desejado $\cos\phi_2$.

No bloco de cálculos, são determinadas as médias das potências, ativa, reativa, aparente, antes e depois da correção do fator de potência, e são calculados a corrente e o percentual de potência

ativa liberada para o sistema após a colocação dos capacitores.

O bloco de saída contém um arquivo onde são apresentados, além dos dados de entrada, os resultados de todos os cálculos e a especificação dos capacitores.

O software mostrou-se de fácil uso. Exigindo recursos computacionais mínimos, é uma ferramenta de baixo custo útil para todos aqueles que especificam, vendem, adquirem ou instalam capacitores para a correção do fator de potência.

ABSTRACT

The use of automatic or fixed capacitors banks increases the electrical energy system capacity, minimizes voltage drops and eliminates electrical bill power factor penalties.

The power companies require of reactive energy consumers to maintain at least a 92% power factor, in accordance with the 1569 DNAEE Edict of December 12 1993 (DNAEE, 1993) effective from April 1994 to November 2000, when the ANEEL Resolution n° 456 became effective (ANEEL, 2000).

Software ALTOFP allows the determination of the power factor correction capacitors banks and calculation of the active power released to the

system. It was developed to be running in any PC compatible microcomputer.

The inputs are the following data: single-phase or three-phase system, line voltage U , frequency f , last values of active and reactive energy, and the desired new power factor $\cos\phi_2$.

In the calculation block are determined the average of active, reactive, apparent power before and after the power factor correction. The current and the percentage of active power released to the system after the capacitors banks installation are calculated to.

The output block generates an archive composed by the input data, the results of all the calculations and the capacitors specification.

The software revealed easy to handle. Demanding minimum computational resources, it is a low-cost tool useful for all those that specify, sail, acquire or install power factor correction capacitors.

INTRODUÇÃO

O propósito deste trabalho é apresentar um programa escrito em BASIC, e também, de forma simplificada, os elementos necessários, para o especificação e instalação de bancos de capacitores automáticos ou fixos para correção de fator de potência de instalações elétricas.

Os capacitores variáveis são necessários para suprir a necessidade intermitente de energia reativa gerada pelo ligamento e desligamento de máquinas, principalmente em períodos de refeições, em finais de expedientes, e nos finais de semana. A utilização do banco automático permite que os capacitores e demais componentes somente funcionem quando são necessários. Isso proporciona maior durabilidade aos equipamentos e evita que o sistema elétrico funcione com fator de potência baixo tanto pela falta como pelo excesso de energia elétrica reativa.

Com a portaria da DNAEE (e posterior resolução do ANEEL), desde abril de 1994 a média mensal mínima do fator de potência permitida nas instalações de média e alta tensão subiu de 0,85 para 0,92. Das 6 às 24 horas mede-se a energia reativa indutiva da linha de transmissão para a indústria; das 0 às 6 horas, mede-se a energia reativa capacitiva, da indústria para a linha de transmissão. Em outras palavras, as empresas terão de produzir e consumir menos energia reativa. A partir de 1996, a restrição ficou ainda maior, pois, o fator de potência passou a ser medido de hora em hora.

O baixo fator de potência em instalações elétricas provoca diversos prejuízos ao sistema e ao consumidor:

- Sobretaxa na conta de energia elétrica por operar com baixo fator de potência.
- Redução da capacidade do sistema elétrico.

- Flutuações de tensão, que podem provocar a queima de equipamentos.

- Aumento das perdas elétricas nas linhas de distribuição por efeito joule.

- Danos em equipamentos causados pelas sobretensões.

- Aumento de desgaste nos dispositivos de proteção e de manobras.

- Aumento do investimento em condutores e equipamentos elétricos sujeitos à limitação térmica de corrente.

- Instabilidades no sistema.

As companhias fornecedoras de energia elétrica exigem que o fator de potência tenha valor mínimo conforme a legislação de 92%, contudo aconselha-se trabalhar com valores próximos a 95% para um melhor aproveitamento da energia e do sistema e minimização dos riscos de multa.

As principais causas do baixo fator de potência são:

- Motores e ou transformadores operando em vazio ou com pequenas cargas.

- Motores e ou transformadores superdimensionados.

- Lâmpadas de descarga com reatores de baixo fator de potência.

- Grande quantidade de motores de pequena potência.

- Motores de baixo rendimento e baixo fator de potência.

CORREÇÃO DO FATOR DE POTÊNCIA

Para especificar um banco automático ou fixo de capacitores deverão ser conhecidos alguns dados importantes sobre a instalação elétrica tais como (MAMEDE FILHO, 2002):

- Consumo em quilowatt-hora.

- A energia reativa em quilovolt-ampère-reactivo-hora.

- Demanda registrada em quilowatt.

- Número de horas trabalhadas durante o período de tempo das medições.

- Tipo de carga instalada.

DEFINIÇÕES IMPORTANTES

A seguir são definidas as grandezas mais importantes utilizadas para os cálculos de correção de fator de potência em instalações elétricas (COTRIM, 1992), (CREDER, 1995).

A potência ativa P é aquela que efetivamente produz trabalho útil, normalmente expressa em quilowatt.

A potência reativa Q é aquela utilizada para criar o fluxo magnético necessário ao funcionamento dos equipamentos que armazenam energia no campo magnético, como motores e transformadores, e para criar fluxo elétrico em equipamentos que armazenam

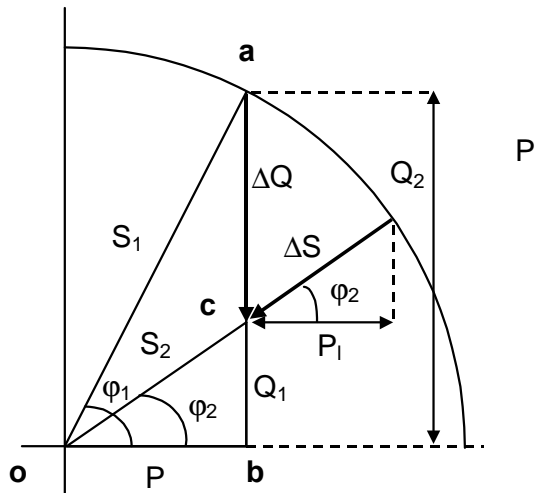


Figura 1 - Triângulos das potências: oab antes, ocb após a correção do fator de potência.

energia no campo elétrico, com os capacitores. É normalmente expressa em quilovolt-ampère-reactivo.

A potência aparente S é a potência total, ativa e reativa, absorvida por uma instalação elétrica, usualmente expressa em quilovolt-ampère.

A energia é a utilização da potência integrada em um intervalo de tempo. Assim, a energia ativa E_a é o gasto da potência ativa integrado no tempo expressa em kWh, e a energia reativa E_r é a utilização da potência reativa integrada no tempo expressa em kVarh.

A potência reativa Q e a potência ativa P fluem através de motores, transformadores, reatores, capacitores, etc. A adição geométrica (em quadratura) destas duas potências determina o que se chama de potência aparente S . A razão entre a potência ativa e a potência aparente determina o que se chama de fator de potência, assim, por definição o fator de potência é dado por:

$$FP = \cos \phi = \frac{\text{kWh}}{\text{kVAh}} = \frac{\text{kW}}{\text{kVA}} \quad (1)$$

A figura 1 mostra os triângulos das potências para dois casos de mesma potência ativa entregue a uma carga. O triângulo oab equivale à situação antes da correção do fator de potência, onde uma carga demanda potência ativa P , potência reativa Q_1 , potência aparente S_1 , e fator de potência $\cos \phi_1$. Após a correção, triângulo ocb da figura, o consumo de potência ativa continuou sendo o mesmo, porém, a potência reativa diminuiu ΔQ passando para Q_2 , e o fator de potência passou a ser $\cos \phi_2$. Com auxílio de (1) e da figura 1 nota-se que $\cos \phi_2$ será maior do que $\cos \phi_1$.

A melhor forma de se obter um fator de potência dentro do valor fixado por norma é projetar uma instalação ou sua ampliação, dimensionando e utilizando corretamente os equipamentos elétricos,

adotando sempre que possível aqueles que aumentem o consumo de energia ativa sem demandar reativa, tais como motores síncronos, motores de alto fator de potência e desempenho, motores que sempre operem muito próximos da plena carga, fornos e outros equipamentos de aquecimento por resistência, caldeiras elétricas, lâmpadas de descarga com reatores de alto fator de potência, etc.

Existem instalações onde é impossível se seguir às regras anteriores, ou mesmo que seguidas, o fator de potência fica abaixo do desejado, nestes casos, o software ALTOFP, cujo fluxograma é mostrado na figura 2, pode ser usado para especificar os capacitores a serem usados para elevar o fator de potência.

DESCRIÇÃO DO PROGRAMA

Uma descrição funcional simplificada do programa é dada a seguir.

No bloco de entrada de dados, uma tela textual pede que sejam digitados os seguintes dados: Sistema monofásico ou trifásico, tensão de linha U em V, frequência do sistema f em Hz, dez últimos valores de energia ativa em kWh, dez últimos valores de energia reativa kVarh, horas trabalhadas em cada período e o novo fator de potência desejado $\cos \phi_2$ em notação percentual (recomenda-se $\geq 95\%$).

No bloco de cálculos inicialmente calculam-se os seguintes valores antes da colocação dos capacitores de correção:

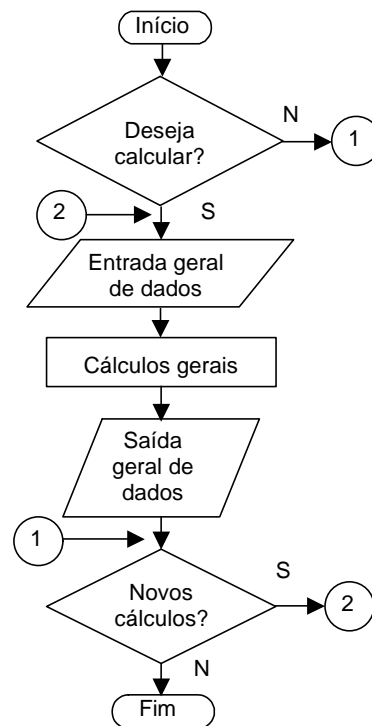


Figura 2 – Fluxograma do software ALTOFP.

Média da potência ativa P , dada pela razão entre a energia ativa total no período considerado e o número de horas trabalhadas no período.

Média da potência reativa Q_1 dada pela razão entre a energia reativa total no período considerado e o número de horas trabalhadas no período.

Média da potência aparente S_1 dada pela equação:

$$S_1 = \sqrt{P^2 + Q_1^2} \quad (2)$$

O fator e o ângulo de potência:

$$\cos j_1 = \frac{P}{S_1} \quad (3)$$

$$j_1 = \arccos\left(\frac{P}{S_1}\right) \quad (4)$$

Partindo-se do valor desejado do fator de potência FP_2 , são calculados os novos valores após a colocação do banco de capacitores:

$$j_2 = \arccos(FP_2) \quad (5)$$

$$Q_2 = P \operatorname{tg} j_2 \quad (6)$$

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q_2^2} \quad (7)$$

Potência reativa do capacitor, ou do banco de capacitores, e a potência aparente liberada serão dadas por:

$$\Delta Q = Q_1 - Q_2 \quad (8)$$

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (9)$$

Potência ativa liberada P_1 após a colocação do capacitor será dada por:

$$P_1 = \Delta S \cos j_2 \quad (10)$$

Os valores da corrente total e da capacitância do banco a ser colocado, para sistema monofásico serão dados por:

$$I_2 = \frac{S_2}{U} \quad (11)$$

$$C = \frac{\Delta Q}{6,2832 f U^2} \quad (12)$$

e para sistema trifásico serão dados por:

$$I_2 = \frac{S_2}{1,7321 U} \quad (13)$$

$$C = \frac{\Delta Q}{10,8828 f U^2} \quad (14)$$

O percentual de potência ativa liberada será dado por:

$$P_1(\%) = 100 \frac{P_1}{P} \quad (15)$$

No bloco de saída geral de dados é gerado um arquivo onde são apresentados, além dos dados de entrada, os resultados de todos os cálculos efetuados com a especificação do capacitor através de seu valor, sua potência e sua tensão de operação.

LOCALIZAÇÃO DOS CAPACITORES

A localização dos capacitores no circuito pode seguir vários critérios dependendo da finalidade para a qual estão sendo aplicados.

Instalando-se capacitores junto aos motores, transformadores e reatores, limita-se o fluxo de energia reativa através dos circuitos elétricos. A energia reativa necessária à magnetização passa a ser fornecida pelos capacitores próximos ao invés de ficar fluindo através dos circuitos de alimentação das referidas cargas.

Algumas considerações práticas quanto à localização dos capacitores para correção do fator de potência devem ser observadas:

- Capacitores instalados junto a motores de indução devem ter potência reativa com valor aproximadamente igual ao da potência aparente do motor trabalhando em vazio.

- Capacitores instalados junto a transformadores devem ter potência reativa com valor aproximadamente igual ao da potência aparente do transformador trabalhando em vazio.

- Capacitores instalados junto a agrupamentos de cargas. Geralmente não é viável instalar capacitores individuais junto às cargas menores que 35 kW, porém, cargas menores podem ser agrupadas e receber um capacitor. Motores e transformadores geralmente são corrigidos em conjunto.

CAPACITORES FIXOS E BANCOS AUTOMÁTICOS DE CAPACITORES

A correção ideal do fator de potência a ser aplicada a um sistema elétrico consiste em instalar

capacitores fixos para as cargas de funcionamento ininterrupto, e bancos automáticos de capacitores para suprir a energia reativa necessária às cargas variáveis.

Como a verificação do fator de potência deve ser feita a cada hora, a correção do fator de potência deve ser dinâmica, logo, o uso de bancos automáticos de capacitores deve ser feito sempre que possível.

Os bancos automáticos de capacitores são disponíveis em diversas configurações e características. Podendo ser instalados tanto em locais abrigados quanto ao tempo. Atualmente aliam modularidade, tamanho compacto, e custos competitivos com os fixos (INEPAR, 2002), (GE, 2002).

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A tabela 1 apresenta os dados para um caso fictício de uma instalação que opera com fator de potência abaixo do limite de 92 % para o qual o software ALTOFP foi executado e representa basicamente a interface textual com o operador usada pelo programa. Os valores em negrito significam os dados que o usuário digitou como entrada antes da tecla ENTER.

A tabela 2 apresenta os dados obtidos após a execução do software utilizando os dados mostrados na tabela 1 como entradas e corresponde basicamente ao arquivo de saída textual que o programa gera.

Tabela 1 – Exemplo de entrada do programa.

```

CÁLCULO PARA CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA
DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES

Deseja fazer os cálculos? Digite S(Sim) ou N(Não):
S
Para dados em disco, digite NOMEARQUIVO.DAT:
CORR-FP.DAT
Qual o tipo de sistema? Digite M(Monofásico) ou
T(trifásico)
M
Tensão eficaz da linha (em V):
220
Frequência do sistema (em Hz):
60
Número de medições que serão considerados (N):
10
N últimos valores de kWh, kVarh, horas de trabalho
no formato kWh espaço kVarh espaço horas:
18975 18247 730
19010 18280 730
18930 18230 730
18980 18250 730
18985 18253 730
18900 18200 730
19030 18270 730
18980 18250 730
19060 18300 730
18950 18220 730
Fator de potência desejado após a correção (em %):
93
Deseja calcular novamente? S(Sim) ou N(Não):
N

```

Tabela 2 – Exemplo de saída do programa.

CÁLCULO PARA CORREÇÃO DE FATOR DE POTÊNCIA DIMENSIONAMENTO DO BANCO DE CAPACITORES	
Tensão eficaz do sistema:(V).....	220
Frequência do sistema:(Hz).....	60
Potência ativa antes da correção:(kW).....	26
Potência reativa antes da correção:(kVar)..	25
Potência aparente antes da correção:(kVA)..	36,07
Fator de potência antes da correção:(%)...	72,08
Corrente na linha antes da correção:(A)...	163,95
Potência ativa depois da correção:(kW).....	26
Potência reativa depois da correção:(kVar)..	10,28
Potência aparente depois da correção:(kVA)..	27,96
Fator de potência depois da correção:(%)...	93
Corrente na linha depois da correção:(A)...	127,08
Potência ativa liberada:(kW).....	7,54
Potência ativa liberada:(%).....	29,02
Capacitância do capacitor a ser ligado em paralelo com a carga:(micro F).....	806,91
Potência reativa do capacitor:(kVar).....	14,72
Corrente do capacitor:(A).....	66,91
Tensão do capacitor:(V).....	220

Por simplicidade, como pode ser notado na tabela 1, foram usados números de horas trabalhadas idênticos para todos as dez linhas de entradas de valores de ativos e reativos. O valor usado equivale ao número médio de horas que os meses de um ano têm considerando-se 24 horas de trabalho por dia, isto é, $365 \text{ dias} \times 24 \text{ h} / 12 \text{ meses} = 730$.

O fator de potência do valor médio das dez cargas, como pode ser visto na tabela 2, é de 72,08 %, bem abaixo dos 92 %. No pior caso entre os dez valores de cargas que foram usados como entrada, o fator de potência será de 72,03 %, ou seja, pior do que o fator de potência do valor médio das cargas, porém, como o banco de capacitores foi calculado para corrigir para 93 %, ele será suficiente para corrigir até mesmo o pior caso observado entre as cargas, como pode ser facilmente verificado fazendo-se as contas.

Como mostra a tabela 2, o valor liberado da potência ativa na instalação é de 7,54 kW. Isto significa que com a mesma potência aparente, ou seja, sem nenhuma modificação no circuito de alimentação, tomando como base o valor médio da potência ativa consumida, o sistema pode oferecer, imediatamente após a correção do fator de potência, 29,02 % de potência a mais para o consumidor, que é um valor considerável.

COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

A instalação de dispositivos de correção do fator de potência é necessária não só para a otimização do sistema de potência, como é para evitar gasto de dinheiro desnecessário com multas por operar com fator de potência abaixo de 92 %.

Com o objetivo de ajudar a tarefa de correção do fator de potência o programa ALTOFP foi elaborado para o cálculo e especificação de capacitores a serem instalados em paralelo com as cargas ou alimentadores de grupos de cargas.

Feito para ser executado no DOS o programa apresenta uma interface textual pouco

atrativa para o usuário. Isto pode ser resolvido portando-se o código para uma linguagem visual, como por exemplo DELPHI, o que pode dar a ele uma interface para ser executada dentro do ambiente WINDOWS, porém, isso faria com que ele perdesse uma de suas principais vantagens que é a leveza. Uma solução para o dilema é sem dúvida criar a versão para WINDOWS e manter também a versão para DOS funcionando.

O programa mostrou-se de fácil uso, exigindo os mínimos recursos computacionais, facilmente encontrados atualmente, assim, trata-se de uma ferramenta de baixo custo ideal para ser utilizado em comunidades urbanas e rurais, em cursos e treinamento em escolas técnicas/profissionalizantes, de engenharia, de arquitetura, empresas privadas ou públicas, indústrias, e como ferramenta de trabalho por projetistas, instaladores, fabricantes e revendedores de material e equipamento elétricos.

Sabe-se que sob certas condições o chaveamento de bancos de capacitores pode causar problemas como ressonância na rede. Por enquanto este problema não é abordado pelo software.

Uma técnica recente para compensação de reativos é a substituição de motores de indução convencionais pelos seus equivalentes de alto fator de potência e desempenho. Isto também ainda não é abordado pelo programa, o que se pretende fazer em versões futuras.

Quanto ao funcionamento do programa cabe ainda observar que, caso se queira fazer a correção considerando apenas os piores casos de uma conta de energia elétrica, basta selecionar os valores e entrar com N igual ao número a ser considerado antes dos valores de ativos e reativos.

PALAVRAS CHAVES

Correção de fator de potência, potência ativa, potência reativa, potência aparente, banco automático de capacitores, multa por baixo fator de potência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] DNAEE - DEPARTAMENTO NACIONAL DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA, **Portaria 1569**, dezembro; 1993.
- [2] ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, **Resolução nº 456**, Novembro, 2000.
- [3] MAMEDE FILHO, J., Instalações Elétricas Industriais, 6ª ed.; LTC; 2002.
- [4] COTRIM, A.A.M.B., Instalações Elétricas; 3ª ed.; MAKRON BOOKS; 1992.
- [5] CREDER, H., Instalações Elétricas; 13ª ed.; LTC; 1995.
- [6] INEPAR, **Catálogo de Capacitores para Compensação de Reativos**; 2002.
- [7] GE, **Catálogo de Capacitores para Compensação de Reativos**; 2002.