

SIEMENS

Conceitos e definições para correção do fator de potência através de carga capacitiva

Manobra de capacitores

Na ligação de capacitores a uma rede ocorre um processo transitório severo até que seja atingido o valor nominal de carga. Durante este processo, podem surgir picos de corrente elevados (“in rush”), em frequências na faixa de centenas até milhares de Hertz, exigindo muito dos dispositivos de manobra. Os fatores determinantes para a amplitude da frequência e das correntes de ligação são a capacitância dos capacitores, reatâncias do circuito e o valor instantâneo de tensão, no instante da alimentação.

Manobra de capacitores individuais

Na ligação de um capacitor de determinada potência, a corrente de ligação (“in rush”) é determinada basicamente pela potência do transformador e pela impedância da rede em base a potência dos capacitores.

As solicitações para os dispositivos de manobra aumentam proporcionalmente com:

- o aumento da potência dos capacitores
- o aumento da potência do transformador, com correspondente reatância de curto-circuito
- a diminuição da impedância dos cabos

Manobra de bancos de capacitores

No caso de ligação de bancos de capacitores, por exemplo, os dispositivos de manobra, no momento da ligação de um determinado estágio, estarão sujeitos a uma condição especialmente crítica, pois os capacitores já alimentados, de outros estágios, representam uma fonte de energia adicional.

Os picos de corrente serão limitados pela impedância dos cabos e, em condições favoráveis, pela indutância dos capacitores e pelas indutâncias entre os vários estágios dos capacitores.

SIEMENS

A solicitação sobre os dispositivos de manobra será determinada, portanto:

- pela relação entre a potência dos capacitores a serem ligados e os capacitores já alimentados
- pelo comprimento dos cabos de alimentação, ou seja, pela resistência dos cabos entre os capacitores individuais
- pela indutância intrínseca dos capacitores. Por exemplo, no caso de módulo de capacitor de carcaça cilíndrica com baixas perdas, poderá ser desprezada.

Proteção de motores trifásicos assíncronos com correção individual

A correção do fator de potência do motor é feita utilizando-se capacitores conectados aos seus terminais e que são ligados e desligados juntamente com o motor (figura 1). Somente a corrente ativa I_w será fornecida pela rede. Esta corrente fluirá pelo contator e pelo relé de sobrecarga. O ajuste do relé de sobrecarga deverá ser feito em base a esta corrente.

A corrente de ajuste do relé I_r é calculada em base aos dados básicos nas seguintes formas:

Dados básicos: Corrente nominal I_n e $\cos\varphi$ do motor

$$I_r = \frac{I_n \cdot \cos\varphi}{0,9}$$

Exemplo

Motor trifásico assíncrono, quatro pólos, potência 30 cv / 22 kW em 380 V / 60 Hz. Corrente nominal $I_n = 43$ A, e $\cos\varphi = 0,83$. Deverá ser feita correção para $\cos\varphi = 0,9$.

A corrente de ajuste I_r do relé será de:

$$I_r = \frac{43 \cdot 0,83}{0,9}$$
$$I_r = 39,6 \cong 40\text{A}$$

SIEMENS

Dados básicos: Corrente nominal I_n e $\cos\varphi$ do motor, tensão nominal de rede U_n e potência do capacitor Q_c .

$$I_e = I_n \cdot \cos\varphi$$

$$I_L = \sqrt{I_n^2 - I_e^2}$$

$$I_q = \frac{Q_c \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$

$$I_r = \sqrt{I_e^2 + (I_L - I_q)^2}$$

Exemplo:

Motor trifásico assíncrono, quatro pólos, potência 10 cv / 7,5 kW com 380V / 60Hz. Corrente nominal $I_n = 16$ A e $\cos\varphi = 0,87$. Potência do capacitor $Q_c = 3$ kvar.

$$I_e = 16 \cdot 0,87 = 13,92\text{A}$$

$$I_L = \sqrt{16^2 - 13,92^2} = 7,88\text{A}$$

$$I_q = \frac{3 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380} \cong 4,56\text{A}$$

$$I_r = \sqrt{13,92^2 + (7,88 - 4,56)^2}$$

$$I_r = 14,3 \cong 14\text{A}$$

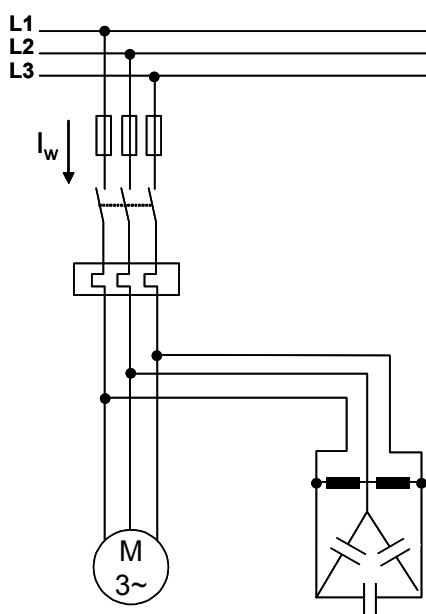


Figura 1

Proteção contra sobrecarga de um motor trifásico assíncrono com correção individual por capacitor

SIEMENS

Proteção de capacitores

Capacitores devem ser dimensionados, segundo a norma DIN EN 60831-1 (VDE 560 Parte 46), para uma corrente eficaz maior de 1,3 vezes a corrente de nominal para tensão e frequência alternada.

Em função deste dimensionamento, na maioria dos casos de aplicação de capacitores, permite-se não utilizar da proteção de sobrecarga.

Somente em redes com elementos que geram harmônicas elevadas (por ex., geradores e acionamentos com semicondutores) os capacitores poderão sofrer sobrecargas. Os capacitores formam um circuito ressonante paralelo, pela ligação em série do transformador como reatância de curto-circuito para rede. Há o surgimento de fenômenos ressonantes quando a frequência própria deste circuito oscilante for a mesma, ou estiver próxima da corrente harmônica gerada por um semicondutor. Para evitar isto, os capacitores deverão ser ligados a reatores. No lugar de um capacitor puro, é utilizado um circuito LC, cuja frequência de ressonância situa-se abaixo da harmônica de corrente de menor ordem (250 Hz). Desta forma, o banco de capacitores assumirá uma característica indutiva para todas as harmônicas de corrente, não podendo mais formar um circuito ressonante com a reatância de rede.

Uma outra possibilidade é a de utilizar filtros para eliminação de componentes harmônicas na rede. Os filtros são circuitos ressonantes em série que, ao contrário do conjunto capacitor-reator, são calculados para filtrarem as componentes harmônicas específicas da rede. A impedância, neste caso, será próxima a zero.

Os capacitores deverão, então, ser ligados a reatores ou deverão ser substituídos por filtros de rede.

No caso de utilização de relés de sobrecarga para a proteção contra sobrecargas, o relé poderá ser ajustado a um valor de 1,3 a 1,43 vezes a corrente nominal do capacitor pois, considerando-se a tolerância permitida do valor de corrente do capacitor, esta poderá atingir o valor de $1,1 \times 1,3 = 1,43$ vezes a corrente nominal do capacitor.

No caso de utilização de relés de sobrecarga de disjuntores com transformadores de corrente poderá ocorrer, através da alteração da relação do transformador causada pelas harmônicas, uma elevação da corrente secundária do transformador. Em função disso, poderão ocorrer desligamentos indevidos, a um valor de corrente mais baixo.

A proteção de curto-circuito de capacitores é normalmente feita através de fusíveis NH de classe gL/gG.

SIEMENS

Para evitar-se uma atuação indevida dos fusíveis em função dos transitórios na manobra dos capacitores, eles deverão ser dimensionados para uma corrente nominal correspondente a 1,6 a 1,7 vezes a corrente nominal do capacitor.

Dispositivos para a manobra de capacitores trifásicos

Manobra com disjuntores

Na manobra de capacitores deverá ser observado que os capacitores, dependendo do teor de harmônicas presentes na rede, acrescerão um determinado valor de correntes harmônicas. O valor eficaz da corrente e suas correntes harmônicas não deverão ultrapassar a corrente nominal do disjuntor. Em função disso, a corrente nominal do capacitor, em geral, não deve ser superior a 75% da corrente nominal do disjuntor.

Manobra com contadores

Na manobra de capacitores através de contadores (veja tabela 1), os capacitores deverão estar descarregados, por meio de resistores de descarga ou por reatores antes da sua ligação.

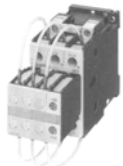

Na ligação de capacitores que não estiverem completamente descarregados, dependendo da duração da ligação, poderão surgir picos de corrente com o dobro da amplitude quando completamente descarregados. Nestes casos, pode haver solda dos contatos dos contadores assim como destruição de outras partes.

Dada a importância de que no religamento os capacitores devem estar descarregados, os tempos de descarga / nível de tensão são orientados pela norma IEC 831-1. Para módulos de capacitores de série MT, o tempo para religamento, ou seja, tempo de descarga é de 3 minutos.

SIEMENS

Tabela 1

Escolha de contatores para manobra de capacitores (veja figura 2)

Acionamento em CA	Categoria de emprego AC-6b Manobra de capacitores trifásicos em temperatura ambiente de 60°C				Contatos auxiliares	Tensão de comando nominal Us	Terminais de ligação por parafusos
	Potência dos capacitores em 50/60 Hz em						Tipo
	230 V kvar	400 V kvar	500 V kvar	690 V kvar			
Para fixação por parafusos ou em trilho DIN 35 mm							
3RT16 27-1A.01 	Tamanho S00				2 NA	24 V, 50/60 Hz 110 V, 50/60 Hz 220 V, 50/60 Hz	3RT16 17-1AC21 3RT16 17-1AF01 3RT16 17-1AN21
	4 – 7,5	7 – 12,5	9 – 15	12 – 21			
3RT16 47-1A.01 	Tamanho S0				1 NA	24 V, 50/60 Hz 110 V, 50/60 Hz 220 V, 50/60 Hz	3RT16 27-1AC21 3RT16 27-1AG21 3RT16 27-1AN21
	8 – 15	14 – 25	18 – 30	24 – 42			
	Tamanho S3				1 NA	24 V, 50/60 Hz 110 V, 50/60 Hz 220 V, 50/60 Hz	3RT16 47-1AC21 3RT16 47-1AG21 3RT16 47-1AN21
	16 – 30	28 – 50	36 – 60	48 – 84			

Manobra de bancos de capacitores

Na ligação de capacitores em paralelo com outros já alimentados, estes atuarão como uma fonte de energia adicional, representando uma carga adicional ao contator no período transitório de partida. Para elevar a capacidade de manobra de contatores na ligação dos capacitores, deverão ser utilizados resistores de pré-carga ou reatores (veja figura 2).

Resistores de pré-carga ou reatores permitem atenuar os fenômenos transitórios na ligação de capacitores. A pré-carga ocorre através dos contatos adiantados do contator. O contator possui os resistores de pré-carga incorporados.

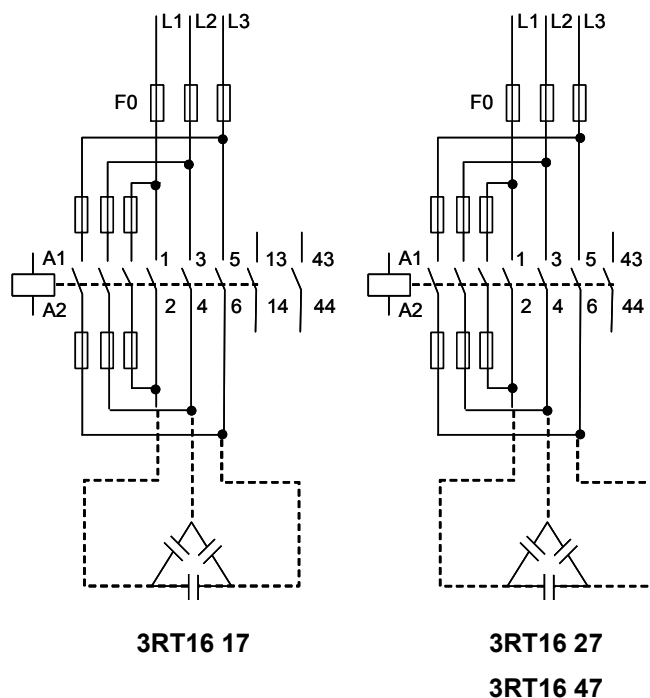


Figura 2

Esquema de ligação de contadores para manobra de capacitores 3RT16

Correção de fator de potência

Princípios básicos

Diversas cargas elétricas absorvem da rede, além da potência ativa, potência reativa necessária, por exemplo, para a magnetização de motores e transformadores, e no caso de semicondutores.

Conduzir potência reativa implica em gastos desnecessários, pois ela não pode ser utilizada. Nos capítulos seguintes são abordados os princípios básicos da compensação da energia reativa, a aplicação prática de sistemas de compensação e a compensação em redes com cargas alimentadas por inversores.

A relação entre a potência ativa P e a potência reativa S é proporcional ao co-seno do ângulo φ (fator de potência) (figura 3):

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

O ângulo φ é idêntico ao ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente.

SIEMENS

A potência reativa Q, que deverá ser compensada, possui a relação:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \text{ (kvar)}$$

Um capacitor com a mesma potência reativa Q_c compensaria esta potência reativa, levando a um valor de fator de potência ($\cos \varphi$) igual a 1.

Na prática não é usual a compensação do fator de potência com capacitor com valor unitário fixo, pois isto poderia provocar uma sobrecompensação nos momentos de flutuação de carga e pela inércia do regulador. Normalmente as concessionárias de energia indicam qual o valor final de fator de potência, para o qual deve ser feita a compensação.

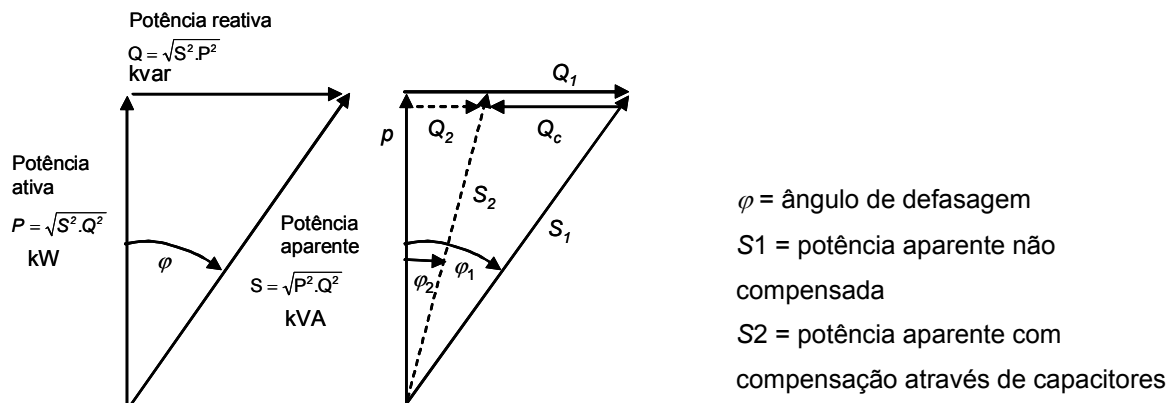


Figura 3

Fator de potência em função da potência ativa e da potência aparente

A potência dos capacitores (Q_c) é determinada pela fórmula:

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

(vide também em projeto na página 14)

SIEMENS

Formas de correção do fator de potência

Em redes com cargas indutivas (por ex., motores), o fator de potência $\cos \varphi$ altera-se com manobras e flutuações da carga. A concessionária exige que a relação entre a potência ativa P e a potência reativa S não ultrapasse determinado valor.

Escolha da forma mais econômica da correção do fator de potência

Na decisão para escolha se o fator de potência de cargas individuais deva ser corrigido com capacitores fixos ou através de sistema de banco de capacitores centralizado, aspectos econômicos e técnicos devem ser levados em conta. Sistemas para compensação automática centralizada do fator de potência possuem um custo mais alto por carga instalada. Se for considerado, porém, que na maioria das plantas elétricas as cargas não estarão ligadas simultaneamente, um sistema de compensação automático centralizado terá um valor menor do que o necessário para compensar toda a potência instalada.

Correção individual

Na correção individual os capacitores são conectados diretamente aos terminais das cargas individuais, sendo ligados simultaneamente (figura 4).

Recomenda-se uma compensação individual para os casos onde haja grandes cargas de utilização constante e longos períodos de operação.

Desta forma pode-se reduzir a bitola dos cabos de alimentação da carga.

Os capacitores geralmente podem ser conectados diretamente aos terminais das cargas, sendo manobrado por meio de um único contator.

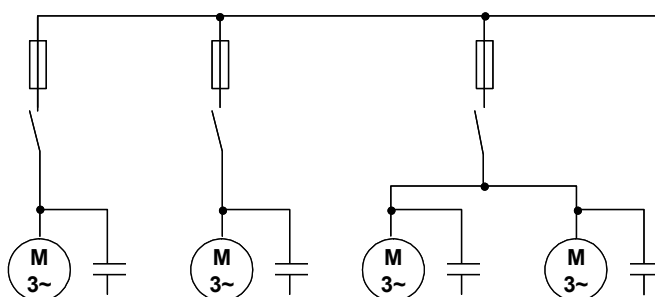


Figura 4

Correção individual

Correção para grupo de cargas

Na compensação de um grupo de cargas, o sistema de compensação de reativos estará relacionado a um grupo de cargas, que poderá ser composto, por ex., de lâmpadas fluorescentes, que serão manobradas por meio de um contator ou de disjuntor (figura 5).

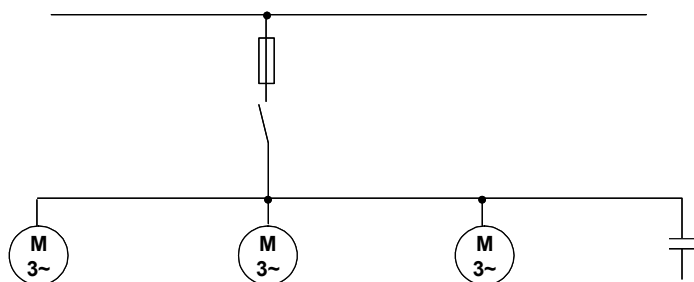


Figura 5

Correção para grupo de cargas

Correção centralizada das cargas

Para a compensação centralizada são normalmente utilizados bancos de capacitores ligado diretamente a um alimentador principal (figura 6). Isto é particularmente vantajoso quando a planta elétrica for constituída de diversas cargas com diferentes potências e períodos de operação.

Uma compensação centralizada possui ainda as seguintes vantagens:

- os bancos de capacitores, por estarem centralizados, podem ser supervisionados mais facilmente
- ampliações futuras tornam-se mais simples
- a potência dos capacitores pode ser adaptada constantemente por aumento de potência da planta elétrica
- considerando-se o fator de simultaneidade, geralmente a potência reativa necessária é inferior à potência necessária para a compensação das cargas individualmente

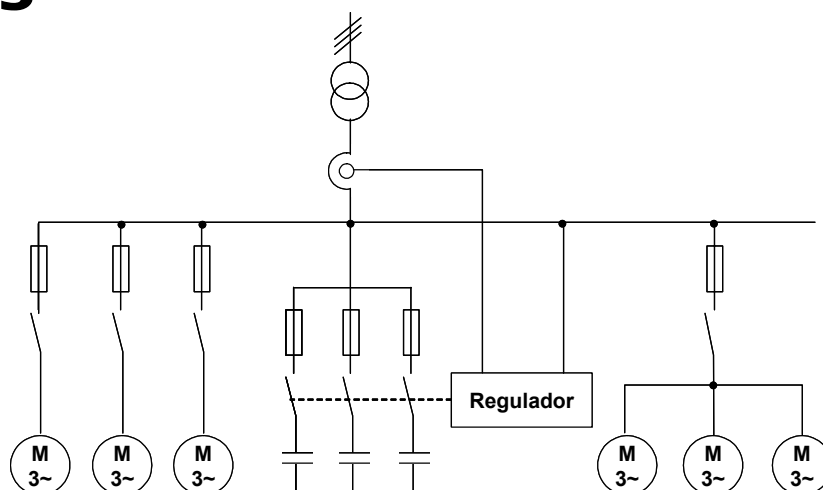


Figura 6

Correção centralizada das cargas

Correção de fator de potência para uma planta elétrica

Numa planta elétrica pode-se partir do princípio que as cargas operem, de forma usual com um fator de potência médio de $\cos \varphi = 0,7$. Para a correção para $\cos \varphi = 0,9$, será necessária uma potência reativa Q_c , correspondente a cerca de 50% da potência ativa P . Assim:

$$Q_c = 0,5 \cdot P$$

A potência necessária para o banco de capacitores para a correção do fator de potência, em função do fator de potência atual do sistema, pode ser determinada pela tabela 2.

Exemplo

O fator de potência atual de uma instalação, de $\cos \varphi_1 = 0,76$, deverá ser corrigido para $\cos \varphi_2 = 0,9$. De acordo com a tabela 2, para cada kW de potência ativa, são necessários 0,37 kvar para correção.

Para uma potência total ativa (por ex., obtidos por medição) de 140 kW, será necessário um banco de capacitores de potência: $140 \times 0,37 = 51,8$ kvar; será selecionado então um banco de 50 kvar.

Correção de fator de potência para motores assíncronos trifásicos

A potência Q_c de bancos de capacitores para motores assíncronos trifásicos não poderá exceder 90% da potência reativa em vazio do motor, pois neste caso poderá ocorrer auto-excitação do motor no desligamento do mesmo, ocasionando uma elevada sobretensão nos terminais do motor.

SIEMENS

Na prática, é válido:

$$Q_c \cong 0,3 \text{ a } 0,35 \cdot P_{nM}$$

P_{nM} Potência nominal do motor.

Tabela 2 – Fatores de kvar por kW

Fator de potência atual da rede $\cos \phi 1$	Potência do banco de capacitores em kvar por kW de potência ativa para fator de potência desejado $\cos \phi 2$				
	0,8	0,85	0,9	0,95	1
0,4	1,54	1,67	1,81	1,96	2,29
0,42	1,41	1,54	1,68	1,83	2,16
0,44	1,29	1,42	1,56	1,71	2,04
0,46	1,18	1,31	1,45	1,6	1,93
0,48	1,08	1,21	1,34	1,5	1,83
0,5	0,98	1,11	1,25	1,4	1,73
0,52	0,89	1,02	1,16	1,31	1,64
0,54	0,81	0,94	1,08	1,23	1,56
0,56	0,73	0,86	1	1,15	1,48
0,58	0,66	0,78	0,92	1,08	1,41
0,6	0,58	0,71	0,85	1	1,33
0,62	0,52	0,65	0,78	0,94	1,27
0,64	0,45	0,58	0,72	0,87	1,2
0,66	0,39	0,52	0,66	0,81	1,14
0,68	0,33	0,46	0,59	0,75	1,08
0,7	0,27	0,4	0,54	0,69	1,02
0,72	0,21	0,34	0,48	0,64	0,96
0,74	0,16	0,29	0,43	0,58	0,91
0,76	0,11	0,24	0,37	0,53	0,86
0,78	0,05	0,18	0,32	0,47	0,8
0,8	-	0,13	0,27	0,42	0,75
0,82	-	0,08	0,21	0,37	0,7
0,84	-	0,03	0,16	0,32	0,65
0,86	-	-	0,11	0,26	0,59
0,88	-	-	0,06	0,21	0,54
0,9	-	-	-	0,15	0,48

Correção do fator de potencia individual para motores assíncronos trifásicos

Na correção do fator de potencia individual em motores com partida direta, os capacitores podem ser conectados diretamente nos terminais do motor. Motor e capacitores são ligados simultaneamente.

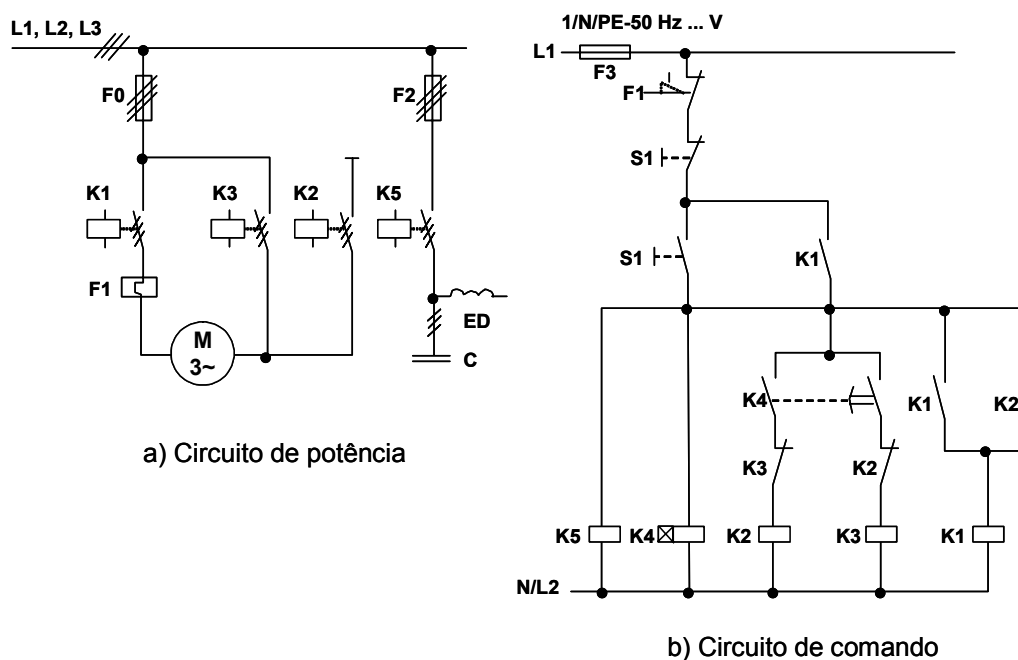
Na partida estrela- triângulo, se o banco de capacitores for conectado diretamente nos terminais do motor, poderá ocorrer uma auto-excitação perigosa no motor no desligamento da rede na transição de estrela para triângulo. O motor torna-se gerador, sendo excitado pelos capacitores.

SIEMENS

Durante o intervalo de comutação de estrela para triângulo, no qual o motor momentaneamente estará desconectado da rede, o capacitor permanecerá carregado. No momento do religamento da rede, a tensão poderá estar em oposição de fases com a tensão dos capacitores.

Neste momento, o transiente de tensão ocasionará correntes transitórias instantâneas, que provocarão elevadas sobrecargas no motor e no capacitor acarretando, acima de tudo e principalmente soldagem nos contatos dos contatores. Na utilização de partidas estrela-triângulo, para evitar a auto-excitação, a ressonância série e sua ligação à rede em oposição de fases deve ser utilizado um contator próprio para manobra dos capacitores (figura 7).

Pelo esquema o contator (K5) deve ser preferencialmente comandado pelo botão de partida da estrela-triângulo. Deverá ser previsto um elemento de descarga (ED) do capacitor.



K1	Contator de rede	K2	Contator estrela
K3	Contator triângulo	K4	Relé temporizado
K5	Contator do capacitor	C	Capacitor
ED	Elemento de descarga	F1	Relé de sobrecarga
F0, F2, F3	Fusíveis		

Figura 7

Esquema de ligação de capacitor na partida estrela- triângulo de um motor

SIEMENS

Correção de fator de potência de transformadores (em vazio)

Para a correção de fator de potência de transformadores em vazio, o banco de capacitores é selecionado de acordo com a corrente em vazio do transformador:

$$Q_0 \cong S_0 = \frac{i_0 \cdot S_r}{100}$$

Q_0 Potência em vazio do transformador em kvar

S_0 Potência aparente em vazio em kVA

i_0 Corrente em vazio em % da corrente nominal do transformador

S_r Potência aparente nominal do transformador em kVA

Projeto

Existem várias possibilidades para a determinação da potência Q_c do banco de capacitores. Uma delas consiste em determiná-la pelos valores da tangente do ângulo (tabela 3), pela fórmula:

$$Q_c = P \cdot (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$$

Correção centralizada automática do fator de potência

Em plantas elétricas onde diversas cargas são manobradas durante o processo produtivo, o valor de $\cos \varphi$ altera-se constantemente. Neste caso aconselha-se a implantação de um sistema de correção de fator de potência centralizado automático com regulador, que verifica constantemente os valores instantâneos da rede, comandando os estágios do banco de capacitores. Em função do processo produtivo, poderá ser adotada solução mista, na qual os fatores de potência das grandes cargas, que tenham longos períodos de operação, são corrigidos individualmente, enquanto que as demais cargas serão corrigidas de forma centralizada.

Para a determinação da potência do banco de capacitores em uma instalação nova, deverá ser somada a potência reativa total das cargas individuais, considerando-se um fator de simultaneidade a .

SIEMENS

No cálculo deverão ser considerados os valores reais de potência ativa e fator de potência $\cos \varphi$ durante a operação do sistema. Os valores poderão diferir substancialmente dos valores nominais, por exemplo, para os casos de acionamentos controlados.

Em geral, um cálculo aproximado da potência do banco de capacitores é suficiente. A seguinte fórmula empírica pode ser utilizada:

$$Q_c = 0,3 \cdot a \cdot S.$$

a Fator de simultaneidade

S Potência aparente instalada.

Nesta fórmula empírica, parte-se do princípio de que será feita compensação do fator de potência médio de $\cos \varphi_1 = 0,75$ a um valor corrigido de $\cos \varphi_2 = 0,9$.

Em plantas elétricas já em operação, os valores necessários para correção do fator de potência podem ser determinados através de medições. Esta é a forma mais fácil, quando houverem medidores de potência ativa e reativa disponíveis.

Exemplo

Consumo de reativos (energia reativa)

Consumo de ativos (energia ativa)

$$\frac{131670 \text{ k var(h)}}{99000 \text{ kW(h)}} = 1,33 = \tan \varphi$$

O $\cos \varphi_1 = 0,6$ é obtido da tabela 3. Isso significa que, durante o período de medição, o sistema operou com $\cos \varphi_1$ médio de 0,6.

Para corrigir este valor para $\cos \varphi_2 = 0,9$, deve-se determinar a potência do banco de capacitores através da fórmula $Q_c = P \times (\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2)$. O valor de P é calculado a partir dos valores da potência ativa e do intervalo de medição:

$$\frac{99000 \text{ kWh}}{180 \text{ h}} = 550 \text{ kW}$$

SIEMENS

Com o valor da tabela 3 para $\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2$ ($\cos \varphi_1 = 0,6$; $\cos \varphi_2 = 0,9$) de 0,85, é obtida a potência do banco de capacitores:

$$550 \cdot 0,85 = 467,5 \text{ kvar}$$

O cálculo pela fórmula abaixo resulta no mesmo valor:

$$Q_c = \frac{\text{energia reativa} - (\text{energia ativa} \cdot \tan \varphi_2)}{\text{tempo}}$$

$$= \frac{131670 - (99000 \cdot 0,48)}{180} = \frac{131670 - 47520}{180} = 467,5 \text{ k var}$$

Esta fórmula, porém, é válida se a instalação operar com carga aproximadamente constante. No caso de haver alta variação de carga - por ex., durante o dia por motores (cargas indutivas) e, durante a noite, somente aquecimento e iluminação (cargas Ôhmicas) - a potência do banco de capacitores obtida pela medição não será suficiente para os casos de picos de cargas indutivas. Nestes casos, sugere-se efetuar a medição, por ex., durante uma hora no período com grandes cargas indutivas ou determinar os valores instantâneos exatos com medidores de corrente, tensão e $\cos \varphi$.

Tabela 3

Determinação da potência do banco de capacitores para correção de $\cos \varphi_1$ a $\cos \varphi_2$

Fator de potência da instalação			Fator de potência desejado									
			cos φ_2									
cos φ_1	sen φ	tan φ	1,00	0,98	0,96	0,94	0,92	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70
			tan $\varphi_1 - \tan \varphi_2$									
0,40	0,92	2,29	2,29	2,09	2,00	1,93	1,86	1,81	1,67	1,54	1,41	1,27
0,45	0,89	1,99	1,99	1,79	1,70	1,63	1,56	1,51	1,37	1,24	1,11	0,97
0,50	0,87	1,73	1,73	1,53	1,44	1,37	1,30	1,25	1,11	0,98	0,85	0,71
0,55	0,83	1,52	1,52	1,32	1,23	1,16	1,09	1,04	0,90	0,77	0,64	0,50
0,60	0,80	1,33	1,33	1,13	1,04	0,97	0,90	0,85	0,71	0,58	0,45	0,31
0,65	0,76	1,17	1,17	0,97	0,88	0,81	0,74	0,69	0,55	0,42	0,29	0,15
0,70	0,71	1,02	1,02	0,82	0,73	0,66	0,59	0,54	0,40	0,27	0,14	-
0,75	0,66	0,88	0,88	0,68	0,59	0,52	0,45	0,40	0,26	0,13	-	-
0,80	0,60	0,75	0,75	0,55	0,46	0,39	0,32	0,27	0,13	-	-	-
0,85	0,53	0,62	0,62	0,42	0,33	0,26	0,19	0,14	-	-	-	-
0,90	0,44	0,48	0,48	0,28	0,19	0,12	0,05	-	-	-	-	-

SIEMENS

Exemplo

Tensão	U = 380V
Corrente (aparente)	I = 1400A
cos φ1	0,6

O produto da tensão e corrente (aparente) resulta na potência aparente

$$S = \frac{U \cdot I \cdot \sqrt{3}}{1000} = \frac{380 \cdot 1400 \cdot 1,73}{1000} = 920 \text{kVA}$$

$$P = S \cdot \cos \varphi_1 = 920 \cdot 0,6 \cong 550 \text{kW}$$

Potência reativa

$$Q_1 = S \cdot \sin \varphi_1$$

$$Q_1 = 920 \cdot 0,8 \cong 736 \text{kvar}$$

Para uma correção com cos φ2 ≅ 0,9, a potência aparente será

$$S_2 = \frac{P}{\cos \varphi_2}$$

$$S_2 = \frac{550}{0,9} \cong 610 \text{kVA}$$

A potência necessária do banco de capacitores será

$$Q_c = Q_1 - Q_2,$$

$$Q_2 = S_2 \cdot \sin \varphi_2$$

$$Q_2 = 610 \cdot 0,44 \cong 268 \text{kvar}$$

ou

$$Q_2 = P \cdot \tan \varphi$$

$$Q_2 = 550 \cdot 0,48 \cong 264 \text{kvar}$$

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$Q_c = 736 - 266 = 470 \text{kvar}.$$

SIEMENS

Elevação de tensão pelos capacitores

Quando uma corrente capacitiva flui através de um elemento indutivo, a tensão de saída será elevada, em relação à tensão de entrada, em um valor proporcional à queda de tensão presente no elemento indutivo.

Na prática, uma situação desta se dá quando um banco de capacitores estiver ligado após um transformador e a carga indutiva, alimentada pelo trafo, e esta for desligada, sendo que os capacitores permanecem ligados.

Dependendo da potência do banco de capacitores em relação à potência do transformador, haverá o surgimento de sobretensões, cuja amplitude pode ser calculada com exatidão, em valores percentuais, através da fórmula:

$$\Delta U = \frac{u_{kr} \cdot Q}{S_r} (\%)$$

ΔU Elevação de tensão em %

u_{kr} Valor medido da impedância de curto circuito do transformador em %

Q Potência do banco de capacitores em kvar

S_r Potência aparente nominal do transformador em kVA.

Exemplo

Transformador: potência nominal de 630 kVA.

$u_{kr} = 6\%$

Carga capacitiva: 200 kvar

$$\Delta U = \frac{6 \cdot 200}{630} = 1,9\%$$

ou seja, a tensão de saída U_2 será elevada em relação à tensão em vazio U_1 em 1,9%

Na prática, nos dias de hoje, o surgimento de sobretensões perigosas estão limitadas em circuitos com a utilização de bancos de capacitores que são manobrados automaticamente de forma controlada.

SIEMENS

Correção do fator de potência em redes com presença de harmônicas

Com o constante desenvolvimento da eletrônica de potência, a quantidade de cargas alimentadas por semicondutores tem aumentado significante. Semicondutores provocam perturbações na rede de alimentação, pelo fato de freqüentemente absorverem potência indutiva e conduzirem correntes não-senoidais. Em função disso, analisaremos mais detalhadamente a corrente de rede, na entrada do semicondutor.

Um semicondutor tem condições de variar continuamente sua tensão de saída, através do corte da tensão. Desta forma, as correntes dos semicondutores tornam-se cada vez mais indutivas, quanto maior for o ângulo de disparo α .

A isso soma-se a potência reativa de manobra, que gera uma elevação limitada da corrente dos semicondutores, estando presente também em ponte de semicondutores não- controladas. Para um ângulo de superposição u , uma ponte de semicondutores absorve da rede uma potência reativa fundamental de:

$$Q_1 = P_1 \cdot \tan\left(\alpha + \frac{u}{2}\right)$$

Surgimento e efeito das harmônicas

A corrente de uma ponte de semicondutores é composta de diversas componentes senoidais de corrente, sendo uma componente fundamental com freqüência de rede, e de uma série de componentes harmônicas, cujas freqüências são múltiplos da freqüência de rede.

As correntes harmônicas impõem-se na rede. Como conseqüência da impedância de rede, surgem tensões harmônicas que se sobrepõem à tensão fundamental da rede, ocasionando uma distorção na forma de onda da tensão. Isto pode acarretar defeitos na rede e no desligamento de outras cargas alimentadas por ela.

As freqüências das harmônicas são proporcionais ao número de pulsos do semicondutor. O número de pulsos indica quantas vezes, dentro de um período de senóide, ocorrerá uma operação.

A ordem da harmônica indica com qual múltiplo da freqüência de rede ela oscila.

Uma ponte de semicondutores a seis pulsos pode, portanto, gerar harmônicas de ordem 5., 7., 11., 13., etc.