

# Reatores com núcleo de ar

## Tipo seco

A GE possui mais de 50 anos de experiência no desenvolvimento e produção de reatores com núcleo de ar para vários segmentos de mercado ao redor do mundo, incluindo: geração, transmissão e distribuição de energia, uma grande gama de indústrias, fabricantes de equipamentos originais (OEM) e laboratórios de ensaios elétricos.

Os reatores com núcleo de ar (ACR) fornecem uma resposta linear de impedância versus corrente, que é essencial para inúmeras aplicações. O padrão tipo seco é livre de manutenção e não agride o meio ambiente.

## Soluções de baixo custo

A GE oferece uma ampla gama de soluções econômicas:

- **Reatores limitadores de corrente:** limitam as correntes de falta a níveis compatíveis com os equipamentos de proteção/controlados existentes, proporcionando uma solução extremamente econômica.
- **Reatores de aterramento de neutro:** são conectados entre o neutro de um sistema elétrico de potência e a terra, limitando a corrente entre fase e terra, no caso de um problema de aterramento do sistema elétrico de potência.
- **Reatores de alisamento:** reduzem as correntes harmônicas e sobrecorrentes transitórias (ripple) em sistemas DC
- **Reatores de filtro de harmônicas:** são utilizados juntamente com capacitores e resistores para reduzir o nível de distorção harmônica da rede elétrica, que causa maiores perdas, altas correntes de neutro e interferências em computadores e equipamentos de telecomunicações.
- **Reatores derivância (shunt):** compensam as correntes capacitivas de linhas de transmissão ou cabos, permitindo maior fluxo de energia ativa no sistema.
- **Reatores de amortecimento:** limitam as correntes de energização (inrush) e descarga (outrush) dos bancos de capacitores.
- **Reatores de descarga:** limitam a corrente de descarga de bancos de capacitores nos circuitos de descarga/bypass em sistemas de compensação série.
- **Reatores série de fornos a arco:** proporcionam a necessária correção do fator de potência e limitam a corrente e a tensão, muito instáveis de um forno a arco.
- **Reatores de controle de fluxo de potência:** controlam a corrente em dois ou mais circuitos paralelos, otimizando o fluxo de potência num sistema de transmissão.
- **Reatores para partida de motores:** são conectados em série com um motor para limitar a corrente de partida (inrush) durante a operação de partida do motor.



## Vantagens Principais

- Alta resistência mecânica para suportar elevadas correntes de curto circuito
- Baixa emissão de ruído para aplicações especiais
- Elevação de temperatura conservadora garantindo uma vida útil prolongada
- Soluções customizadas para instalação em áreas compactas
- Tratamento da superfície para proteção contra poluição e radiação UV
- Solução ecológica e manutenção mínima

## Aplicações especiais

- Aplicações especiais para laboratórios de ensaio, principalmente para fins de limitação de corrente.
- Outras aplicações incluem limitadores de corrente duplex, reatores de derivação split-phase e reatores com tolerância zero, etc.



## Induzindo energia com sucesso

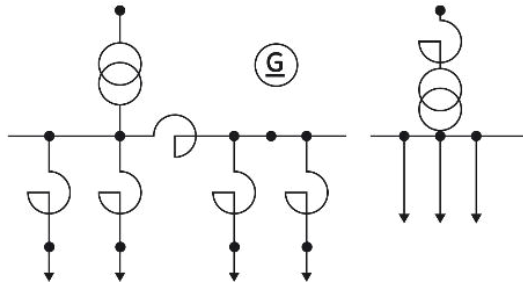
### Aplicações

#### 1.1. Limitação da corrente

Este reator é conectado entre barras ou em série com a linha de transmissão ou com o alimentador para limitar a corrente de curto-circuito aos níveis compatíveis com os equipamentos de proteção do circuito. Trata-se de uma solução muito econômica, uma vez que elimina a necessidade de aumentar a capacidade de todos os equipamentos de manobra e proteção quando a potência de curto-circuito do sistema é aumentada. Este reator é projetado para oferecer uma impedância especificada e suportar a corrente nominal e a de curto-circuito durante um período de tempo especificado.



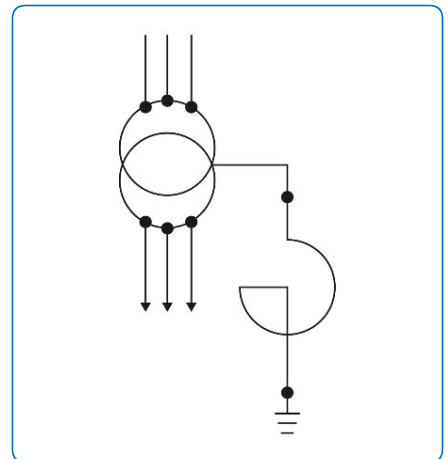
1.1 Reator limitador de corrente com projeto sísmico



1.1 Reatores limitadores de corrente

#### 1.2. Aterramento de neutro

Este reator é usado para aterrar o neutro de sistemas trifásicos, a fim de limitar a corrente na eventual ocorrência de uma falta entre fase e terra. Se o circuito estiver perfeitamente balanceado, o fluxo de corrente pelo reator será nulo e não haverá perdas. Quando conectado ao neutro de reatores, contribui para a aceleração da extinção da corrente de arco secundário, favorecendo o religamento monopolar.



1.2 Reator de aterramento de neutro

#### 1.3. Alisamento

Os reatores para alisamento são usados em sistemas de corrente contínua para reduzir as tensões harmônicas superpostas à tensão contínua e reduzir o nível de corrente no caso da eventual ocorrência de uma falta. Estes reatores são usados em sistemas de transmissão alta tensão em corrente contínua (HVDC) e aplicações industriais, tais como retificadores, sistemas de tração, etc.



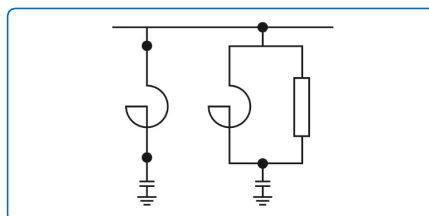
1.3 Reator de alisamento

#### 1.4. Filtragem harmônica

As distorções harmônicas são introduzidas no sistema como resultado da operação de dispositivos de eletrônica de potência, grandes máquinas indutivas, etc.

Estas correntes harmônicas criam vários problemas de rede, como:

- Maiores perdas
- Mau funcionamento dos sistemas de controle
- Altas correntes de neutro
- Interferência em computadores
- Interferência em equipamentos de telecomunicações



1.4 Reator de filtro



1.4 Filtro harmônico de AT (alta tensão)



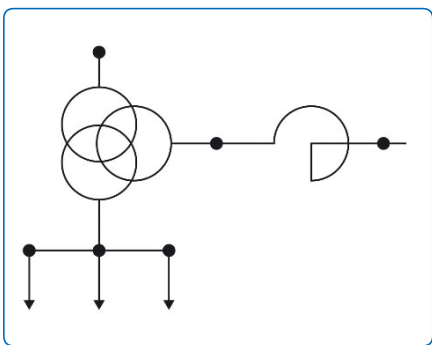
1.5 Reator Shunt

Além disso, a maioria das concessionárias de energia elétrica estabelece elevadas multas quando um determinado nível de distorção harmônica é ultrapassado. Este reator, associado com capacitores e, ocasionalmente, com resistores, forma um filtro sintonizado em certa frequência (frequência de ressonância), para reduzir, bloquear ou prover um caminho de baixa impedância para as correntes harmônicas.

Os filtros de harmônicas são tipicamente instalados em indústrias, em compensadores estáticos (SVCs) e em estações conversoras de sistemas de alta tensão em corrente contínua (HVDC).

Estes reatores são projetados para atender a critérios de projetos específicos como fator de qualidade, tolerância da indutância e do próprio reator.

Projetos especiais para baixo fator de qualidade podem ser obtidos através de circuitos de amortecimento integrados.



1.5 Reator Shunt conectado ao terciário do transformador de alta tensão



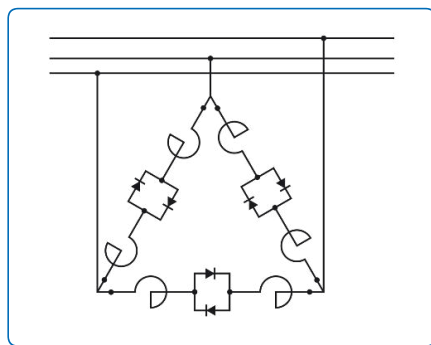
1.5.1 Static Var Compensator (SVC)

### 1.5. Derivação (shunt)

Estes reatores são utilizados para compensar as correntes capacitivas de longas linhas ou cabos de transmissão. Assim, é possível aumentar o fluxo de potência ativa nos ramos do sistema. Em uma situação de baixa carga também são utilizados para controlar o aumento da tensão devido à capacitância da linha de transmissão, o que contribui para a redução das perdas por efeito corona. Em muitas instalações, os reatores são conectados ao terciário do transformador de alta tensão.

#### 1.5.1. Static Var Compensator (SVC)

Os compensadores estáticos de reativos (CER) proporcionam estabilidade dinâmica de tensão, melhoram a estabilidade angular e fornecem suporte de tensão em regime permanente. Também podem ser necessários para balanceamento da carga dinâmica em instalações industriais utilizando grandes motores elétricos e outros equipamentos com cargas variáveis. As aplicações típicas incluem trabalhos com aço, fábricas de papel, mineração, etc.



1.5.1 Reatores controlados por tiristores

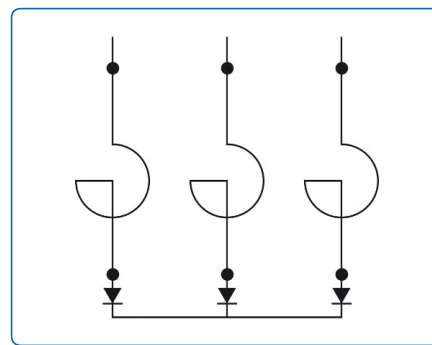


1.5.1 Reator TCR

Os SVC fornecem compensação dinâmica de potência reativa para instalações de transmissão e industriais. Os principais benefícios são: suporte dinâmico de tensão, melhoria da estabilidade do sistema, amortecimento das oscilações de potência, balanceamento de energia reativa, controle de flicker e redução de perdas. Um SVC normalmente consiste numa combinação de reatores controlados por tiristores (TCR), reatores e capacitores chaveados por tiristores (TSR e TSC), bancos de capacitores chaveados mecanicamente (MSC) e filtros de harmônicas (HF).

### 1.6. Reator de amortecimento

Este reator é conectado em série com um ou mais bancos de capacitores, para limitar as correntes transitórias que ocorrem durante a operação de manobra dos capacitores. É um reator projetado para oferecer uma impedância especificada e suportar a corrente nominal e a de um eventual curto-circuito, associado com uma corrente de descarga de alta frequência do banco de capacitores.



1.6 Reatores de amortecimento

### 1.7. Reator de descarga

Este reator é utilizado em sistemas de compensação série usando bancos de capacitores em série com as linhas de transmissão. O reator de descarga é utilizado para:

- aumento na capacidade de transmissão das linhas
- melhor estabilidade angular do sistema
- melhor regulação de tensão
- redução de perdas elétricas e vantagens econômicas.

### 1.8. Reatores em série do forno a arco elétrico

O reator para forno a arco é conectado em série com os eletrodos de um forno a arco usado para fusão de metais (ferro, aço, alumínio, etc.). É um reator que provê a necessária correção do fator de potência e limita a corrente e a tensão (flicker) muito instável do forno a arco, especialmente durante o processo de derretimento. O enrolamento deste reator tem elevada resistência mecânica para suportar as rápidas operações de chaveamento do arco elétrico e o elevado nível de distorção harmônica que lhe é inerente.

### 1.9. Controle de fluxo de potência

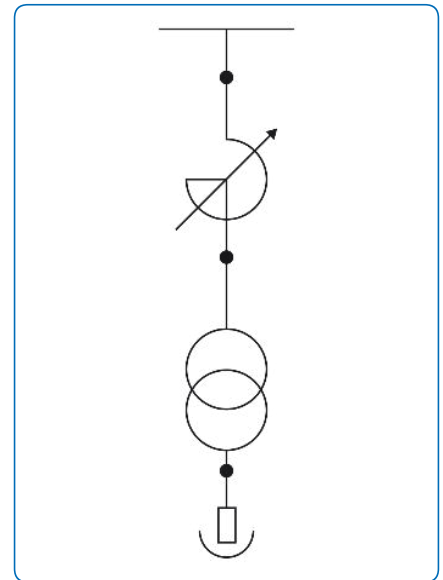
Estes reatores são conectados em série com linhas de transmissão para otimizar o fluxo de potência em um determinado sistema. Através da modificação do valor da impedância de transferência da linha, as correntes são redistribuídas, assegurando um maior carregamento de linhas de transmissão adjacentes.

### 2.0. Partida de Motores

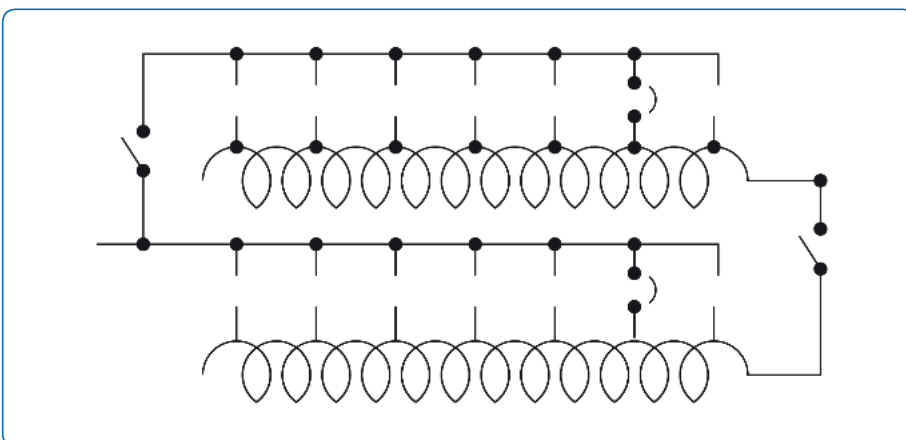
Reator conectado em série com um motor para limitar a corrente de inrush durante a operação de partida do motor. Após a partida, o reator é tipicamente retirado do circuito para limitar perdas na operação contínua. O reator pode ser dimensionado para suportar ou não o curto-circuito.

### 2.1 Reatores para laboratórios

Freqüentemente, os laboratórios de ensaio elétrico necessitam de reatores versáteis com vários valores de indutância e, conexões flexíveis para conectar o reator em série ou paralelo, de acordo com as exigências do teste. Em geral, para este tipo de aplicação especial, o valor de corrente nominal é baixo, mas o valor do NBI ou da corrente de curto-circuito é elevado.



1.8 Reator de forno a arco elétrico

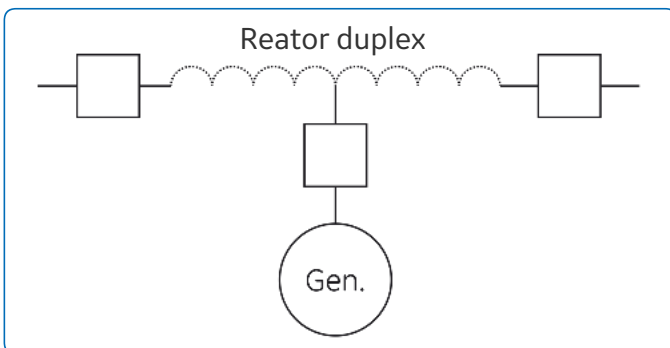


2.1 Reator especial para laboratórios



## 2.2 Reatores limitadores de corrente duplex

Estes reatores são projetados para apresentar baixa impedância em condição normal de operação e impedâncias maiores em condições de falta no sistema. Estes reatores tem a vantagem de limitar a queda de tensão em condição normal de operação.



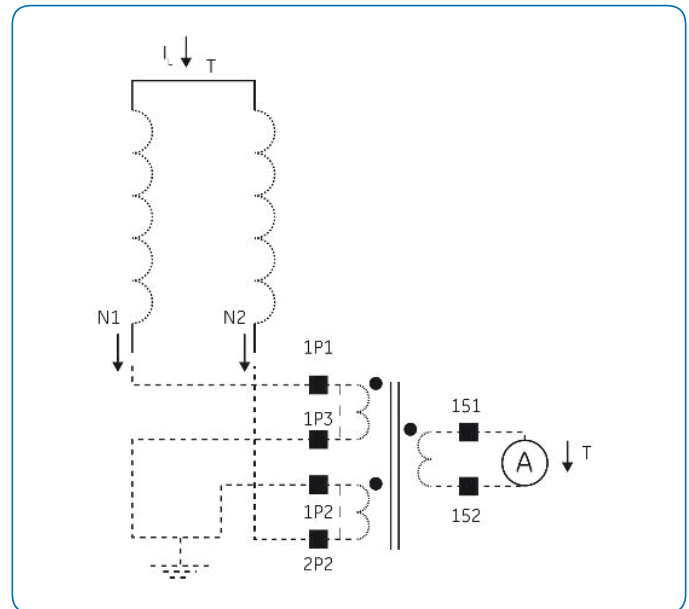
2.2 Reator duplex

Este reator é composto por duas bobinas empilhadas, conectadas de tal forma que o acoplamento magnético resulte em baixas quedas de tensão em regime permanente quando as duas bobinas estão igualmente carregadas (isto é, conduzindo a mesma corrente).

Durante as faltas no sistema, a corrente de curto-circuito passa somente por uma das bobinas, o que irá, efetivamente, reduzir a corrente de curto-circuito devido ao tipo de acoplamento magnético com a outra bobina. O reator duplex pode ser aplicado em sistemas que possuem dois circuitos de alimentação separados, os quais são igualmente carregados e permanecem sempre isolados um do outro.

## 2.3 Reatores de compensação de fase dividida

Dependendo dos dados nominais especificados, os reatores shunt podem ser fabricados com fase dividida, o que permite a utilização de um sistema de proteção contra faltas internas de alta sensibilidade, através do monitoramento da corrente de desequilíbrio entre as duas metades do enrolamento. Nestes casos, a corrente de desequilíbrio pode ser informada para ajustes dos relés de proteção a serem utilizados no reator.



2.3 Reator de fase dividida

## 2.4 Reatores de tolerância zero

Para tolerâncias sobre a indutância reduzidas (até 0), os reatores podem ser projetados com duas bobinas empilhadas para permitir o ajuste da indutância através da variação do acoplamento magnético entre elas, que é dependente da distância entre as duas bobinas.

## Fabricação

O enrolamento do reator consiste em vários condutores de alumínio ou cobre conectados em paralelo. Estes condutores podem ser compostos por fios isolados, cabos isolados ou perfis extrudados de alumínio separados por espaçadores de fibra de vidro.

A melhor solução técnica e econômica, tais como a definição da tecnologia e/ou do material condutor do enrolamento, depende das características especificadas para o equipamento.

Na tecnologia encapsulada, os condutores são mecanicamente imobilizados por um encapsulamento de filamentos de fibra de vidro formando cilindros. Dependendo das características do reator, um ou mais destes cilindros são conectados em paralelo entre cruzetas de alumínio (ou cobre).

Os cilindros são distanciados por meio de espaçadores de fibra de vidro, formando canais de resfriamento.

GE tem um experiente time de especialistas em compensação reativa prontos para fornecer soluções customizadas para atender as necessidades dos clientes.

## Acessórios

### 3.1. Anéis de coroa

Quando for necessário eliminar o efeito corona, os reatores GE são fornecidos com anéis anti-corona adequados feitos de tubo de alumínio.

### 3.2. Barreiras de pássaro

Para casos especiais, a GE pode prover os reatores com tela de proteção contra pássaros. Estas telas são feitas de plástico reforçado com fibra de vidro resistente à radiação UV e à elevada temperatura. Este acessório não prejudica o resfriamento do reator.

### 3.3. Isoladores

A GE pode fornecer todos os isoladores suporte necessários para a montagem dos reatores.

### 3.4. Pedestais

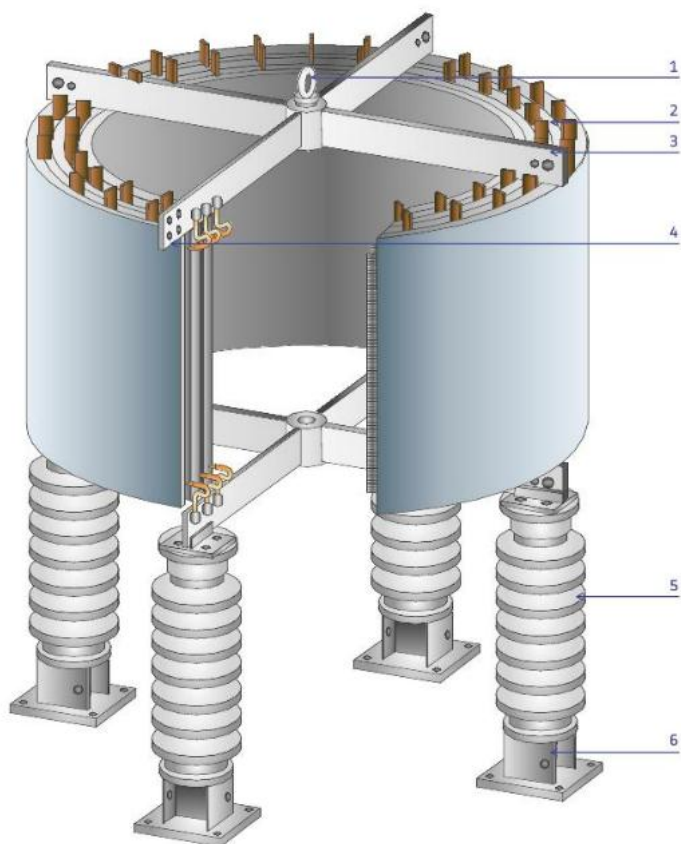
Os pedestais fornecidos com os reatores da GE garantem as distâncias elétricas e magnéticas requeridas pelo projeto, para minimizar as perdas induzidas em partes metálicas na base do equipamento.

### 3.5. Cubículos

Em casos especiais, a GE pode projetar e fornecer reatores com cubículos.

### 3.6. Derivações (Tapping)

Os reatores podem ser fornecidos com derivações para prover indutâncias variáveis.



### Construção do reator com núcleo de ar

- 1 - Olhal de içamento
- 2 - Espaçadores (dutos de resfriamento)
- 3 - Cruzeta (aranha)
- 4 - Terminal
- 5 - Isolador suporte
- 6 - Pedestais suporte

## Soluções Econômicas

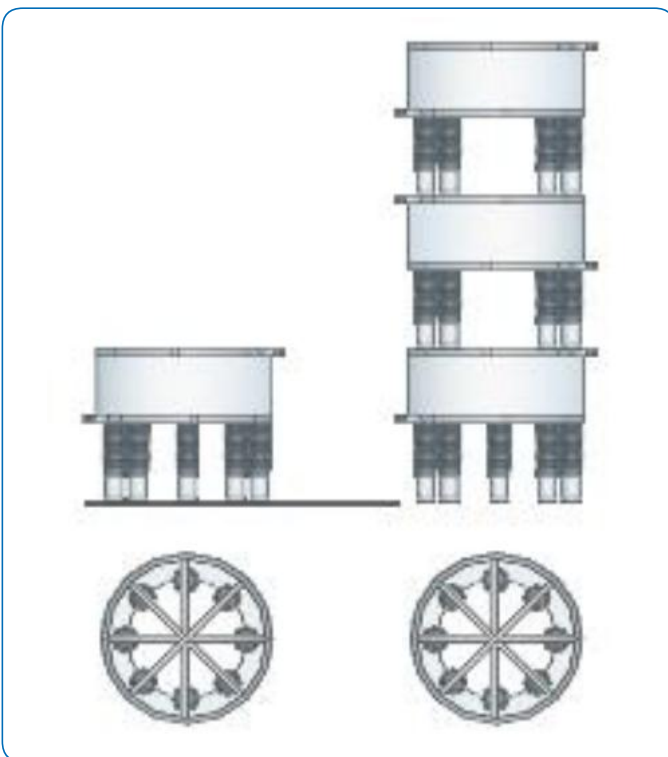
### Instalação

#### 4.1. Localização

Os reatores GE são adequados para instalação interna ou externa. Frequentemente, reatores são instalados em subestações existentes ou para substituir outros já existentes. A GE pode projetar reatores para atender às limitações de espaço disponível ou para montar diretamente sobre as fundações existentes. No caso de reatores instalados em cubículos, o projeto é feito para evitar aquecimento excessivo.

#### 4.2. Montagem

Os reatores podem ser montados individualmente em arranjos monofásicos, lado a lado ou em triângulo, ou com as bobinas sobrepostas (arranjo trifásico). Arranjos especiais podem ser propostos nos casos de limitação de espaço. A figura 2 ilustra estas opções.



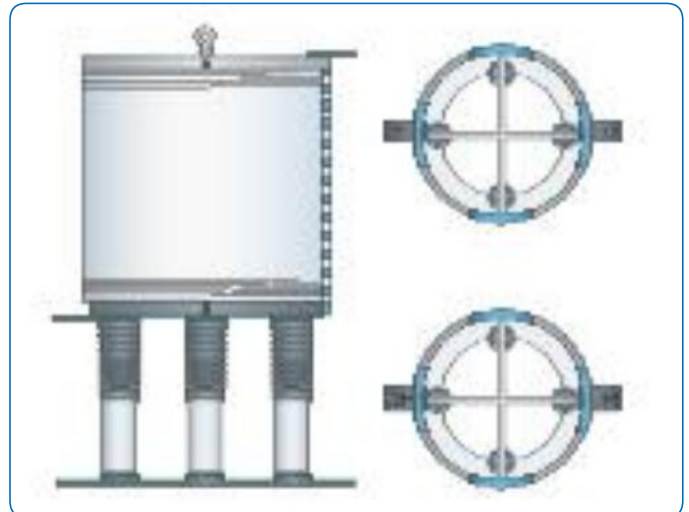
Disposições de montagem

#### 4.3. Distâncias magnéticas

Curvas de campo magnético dos reatores GE podem ser fornecidas, se requerido pelo cliente e/ou aplicação.

### 5. Orientação do terminale e padrões de furo

Os reatores da GE são fornecidos com terminais de barra chata de alumínio (ou cobre) com padrão NEMA ou IEC (outros padrões disponíveis sob consulta). As figuras 4 e 5 ilustram as orientações dos terminais e os padrões de furação típicos. Caso seja solicitado, outros padrões de orientações e furação podem ser fornecidos. Para a montagem de conectores de cobre são fornecidas placas estanhadas.

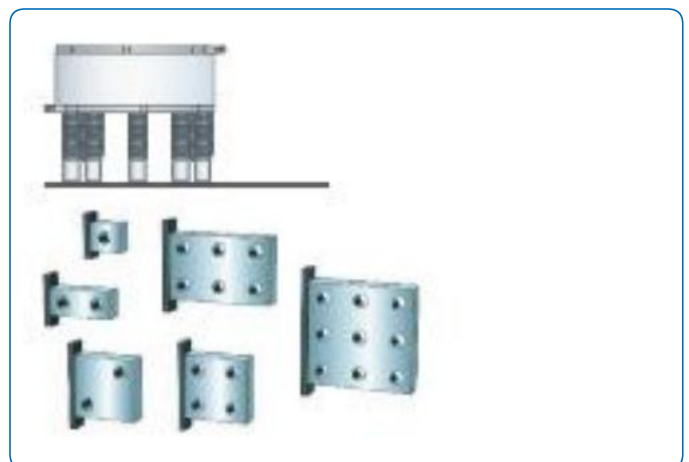


Orientação do terminal

### 6. Pintura

Após o processo de cura do reator, sua superfície é cuidadosamente preparada, para garantir que as posteriores camadas de esmalte e tinta de alta qualidade tenham perfeita aderência e proporcionem uma prolongada proteção contra a radiação UV. As cores típicas são cinza Munsell N6.5 grey, ANSI 70, RAL 7037 e RAL 5024. Outras tonalidades podem ser aplicadas, se solicitado.

Em ambientes com elevado índice de poluição, os reatores GE podem ser fornecidos com um revestimento à base de silicone (RTV) e/ou com uma cobertura na parte superior para limitar os efeitos adversos da poluição.



Padrões de furação dos terminais

## Fórmulas

Algumas fórmulas úteis:

$X_L$  Reatância indutiva ( $\Omega$ )

$f$  Frequência (Hz)

$L$  Indutância nominal (H)

$Q_L$  Potência nominal (VAr)

$I_n$  Corrente nominal (A)

$Q$  Fator de qualidade (Fator Q)

$R_{ac}$  Resistência efetiva ( $\Omega$ ) à frequência industrial ou de sintonia

$$X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$$

$$Q_L = I_n^2 \cdot X_L$$

$$Q = \frac{X_L}{R_{ac}}$$

$$\text{Losses} = \frac{Q_L}{Q}$$

## Controle de qualidade

Com um sistema de melhoria contínua da qualidade, aliado a uma equipe experiente e altamente especializada, a GE produz equipamentos que satisfazem todas as necessidades e expectativas dos clientes. Através do estabelecimento de procedimentos em todas as áreas da empresa, todas as unidades fabris da GE são certificadas nas normas internacionais ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001.

## Testes

O programa de testes de rotina dos reatores é realizado com sistemas de medição especificamente desenvolvidos para esta finalidade. Os testes são realizados de acordo com as normas IEC, ANSI e ABNT, dentre outras. Inúmeros testes de tipo foram realizados nos reatores GE em renomados laboratórios, como KEMA (Holanda), CESI (Itália), IREQ (Canadá), CEPEL (Brasil) e LAPEM (México). Relatórios de teste de tipo estão disponíveis sob consulta.



## Dados para consulta

- Indutância nominal (mH) ou impedância ( $\Omega$ )
- Corrente nominal (A)
- Correntes harmônicas (A)
- Tensão do sistema (kV)
- Nível de Isolamento (NBI) (kVp)
- Frequência nominal (Hz)
- Corrente de curto-circuito térmica (kArms)/ duração (s)
- Corrente de curto-circuito dinâmica (kAp)
- Disposição de montagem
- Potência nominal (MVar), para reatores de compensação
- Informações adicionais: condições sísmicas, velocidade do vento, nível de poluição, salinidade, limitação de espaço, altitude, norma aplicável, temperatura ambiente, umidade, ciclo de operação, necessidade de derivações (tapes), níveis de ruído, fator de qualidade (e respectiva frequência), etc.

## Atividades de Pesquisa & desenvolvimento (P&D)

A GE está na vanguarda da inovação. A empresa possui uma equipe internacional de especialistas em P&D, com muitos anos de experiência em tecnologias de ponta provenientes de diversas empresas antecessoras. Seu objetivo é desenvolver tecnologias inovadoras e avançadas que melhor atendam às necessidades do mercado a um custo acessível e que respeite o meio ambiente. A comunidade de P&D da GE trabalha com uma equipe dedicada e focada em compensação reativa e filtragem de harmônicas. Uma de suas principais ambições é a liderança contínua na fabricação de soluções com Reatores com Núcleo de Ar.

For more information please contact  
GE Energy Connections  
Grid Solutions

### Worldwide Contact Center

Web: [www.GEGridSolutions.com/contact](http://www.GEGridSolutions.com/contact)  
Phone: +44 (0) 1785 250 070

## GEGridSolutions.com

IEC is a registered trademark of Commission Electrotechnique Internationale. IEEE is a registered trademark of the Institute of Electrical Electronics Engineers, Inc.

GE and the GE monogram are trademarks of General Electric Company.

GE reserves the right to make changes to specifications of products described at any time without notice and without obligation to notify any person of such changes.

Grid-PEA-L3-ACR-0585-2017\_04-PT. © Copyright 2017, General Electric Company. All rights reserved.



Imagination at work