



COMPENSADOR SÍNCRONO

ANDRITZ

A solução para
estabilidade de rede

ANDRITZ

Mantendo a Confiabilidade da Rede

Novos requisitos regulatórios exigentes e uma matriz energética mais limpa e diversificada, impõem novos desafios aos operadores de sistemas elétricos encarregados de manter um fornecimento estável de energia. O compensador síncrono é uma solução confiável, comprovada e econômica.

SETOR DE ENERGIA EM MUDANÇA

O setor de energia enfrenta novos desafios tanto do lado da demanda quanto da geração. Embora a integração de fontes de energia renováveis seja crucial para descarbonizar o setor elétrico, novos consumidores, como data centers e veículos elétricos, também devem ser abastecidos de forma confiável. Esses desafios tornam significativamente mais difícil para os operadores de sistemas garantirem uma rede de transmissão e distribuição estável, confiável e segura.

MENOS RESERVA DE RESPOSTA DE FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA

A frequência de uma rede elétrica é um indicador do equilíbrio entre a geração e a demanda. Grandes desequilíbrios – como quando uma usina de geração se desliga da rede – causam desvios na frequência de seu valor nominal. Uma quantidade suficientemente grande de inércia no sistema elétrico pode atenuar a Taxa de Variação de Frequência (RoCoF).

As usinas térmicas e hidrelétricas convencionais são acopladas à rede elétrica por meio de geradores síncronos, que inerentemente fornecem inércia devido às suas massas rotativas. Em contraste, as usinas eólicas e solares fotovoltaicas (FV), bem como os sistemas de corrente contínua em alta tensão (HVDC), usam inversores eletrônicos de potência para trocar energia com a rede. Devido à ausência de massas rotativas, os equipamentos acoplados por inversores não fornecem inércia física. O nível reduzido de inércia aumenta a RoCoF no caso de grandes desequilíbrios entre gera-

ção e demanda. Os operadores de sistemas buscam, portanto, manter um nível mínimo de inércia para evitar que a RoCoF ultrapasse determinados limites.

ROBUSTEZ DO SISTEMA (SYSTEM STRENGTH)

A robustez do sistema indica a resiliência de um sistema elétrico contra flutuações operacionais e sua capacidade de se recuperar após distúrbios. Quanto

maior a robustez do sistema, maiores serão a resiliência e a capacidade de recuperação.

A robustez do sistema em um ponto específico da rede elétrica é frequentemente definida pelo seu nível de curto-circuito,

que desempenha um papel vital no funcionamento adequado do sistema de proteção e na garantia da estabilidade da tensão. Para receber uma permissão de conexão à rede, normalmente é obrigatório que o nível de curto-circuito disponível no ponto de acoplamento comum (PCC) seja suficientemente alto. Uma alta penetração de geração de energia não síncrona acoplada por inversores, como usinas solares FV, eólicas ou conexões HVDC, fornece pouco ou nenhum nível de curto-circuito, reduzindo assim a robustez geral do sistema.

MAIS FLUTUAÇÕES DE TENSÃO

Os operadores de sistemas são obrigados a manter a tensão da rede dentro de limites definidos, cobrindo tanto a operação em regime permanente quanto distúrbios transitórios (por exemplo, curtos-circuitos em uma linha de transmissão, operações de chaveamento em grandes subestações).

“Os compensadores síncronos são a única solução capaz de fornecer todos os serviços de estabilização de rede.”



A transição para fontes de energia renováveis voláteis leva ao aumento das flutuações de tensão na rede elétrica. Além disso, a diminuição do nível de curto-circuito resulta em menor resiliência contra tais flutuações. O controle de tensão em regime permanente é realizado gerenciando os fluxos de potência reativa no sistema elétrico. No caso de distúrbios transitórios, altas correntes reativas devem ser injetadas durante e após o evento para evitar o colapso da tensão.

COMPENSADORES SÍNCRONOS COMO UMA CONTRAMEDIDA

As máquinas síncronas podem geralmente ser usadas como geradores ou motores. Um compensador síncrono é uma máquina síncrona convencional operada sem um motor primário, utilizada especificamente para estabilizar a rede. Devido ao seu projeto elétrico e à grande massa rotativa de seus rotores, eles podem fornecer uma variedade de serviços de rede além do fornecimento de potência reativa. Nos últimos anos, observou-se uma mudança distinta nos serviços de rede exigidos dos compensadores síncronos.

Os compensadores síncronos são normalmente instalados em subestações existentes ou novas, fornecendo as seguintes funções principais:

Aumento da reserva de resposta de frequência instantânea: Os compensadores síncronos são o instrumento ideal para fornecer inércia, que é produzida

naturalmente pela massa rotativa da máquina e pode ser ainda mais aumentada através da adição de volantes de inércia (flywheels) externos.

Aumento do nível de curto-circuito: Devido à sua baixa impedância interna, um compensador síncrono aumenta o nível de curto-circuito em seu ponto de acoplamento comum (PCC), aumentando a capacidade da rede de integrar usinas de energia renovável ou sistemas HVDC. Os compensadores síncronos podem fornecer até cinco vezes mais corrente de curto-circuito do que sua capacidade nominal, tornando-se grandes contribuintes para a robustez ao curto-circuito em redes dominadas por geração renovável.

Controle de tensão dinâmico e em regime permanente: Os compensadores síncronos têm sido usados há décadas para fornecer potência reativa para a regulação de tensão em regime permanente. Se a tensão do sistema estiver muito alta, o compensador síncrono opera subexcitado (indutivamente) e absorve potência reativa para reduzir a tensão. Se a tensão do sistema estiver muito baixa, ele opera superexcitado (capacitivamente) e fornece potência reativa para aumentar a tensão.

A injeção de altas correntes reativas durante e após falhas na rede é de fundamental importância para evitar o colapso de tensão. Os compensadores síncronos são projetados para fornecer tal resposta

BURONGA SUBSTATION

Australia



e podem oferecer uma capacidade de sobrecarga estendida e limitada no tempo.

Dispositivos de compensação anteriormente comuns, como Compensadores Estáticos de VAR (SVCs) e Compensadores Síncronos Estáticos convencionais (STATCOMs), contribuem pouco ou nada para aumentar a reserva de resposta de frequência instantânea ou o nível de curto-circuito. Os compensadores síncronos são, portanto, a única solução que pode apoiar os operadores de sistemas em todos os serviços de estabilização de rede simultaneamente. Além disso, eles fornecem resposta de frequência instantânea e contribuição de curto-circuito de forma inerente, sem depender de mecanismos de controle.

Consequentemente, os compensadores síncronos estão se tornando cada vez mais importantes na gestão da estabilidade da rede diante da aceleração da transição energética.

Por que Compensadores Síncronos da ANDRITZ?

O portfólio de máquinas síncronas da ANDRITZ cobre uma gama vasta e complexa de aplicações, demonstrando conhecimento técnico em uma ampla variedade de tecnologias. A ANDRITZ oferece várias séries de compensadores síncronos com potência nominal de até 330 MVA, disponíveis para redes de 50 Hz e 60 Hz. Este amplo portfólio permite à ANDRITZ selecionar a solução ideal para os requisitos específicos de cada cliente.

Com mais de 120 anos de experiência no fornecimento de máquinas síncronas e não síncronas, a ANDRITZ possui aproximadamente 5.000 unidades em serviço em todo o mundo. Nosso histórico global em todo o setor de geração de energia – desde grandes hidrelétricas e armazenamento por bombeamento até sistemas de alta tensão – é inigualável. Com base nessa experiência, os compensadores síncronos projetados e fabricados pela ANDRITZ oferecem várias vantagens exclusivas.

O ponto de partida para o desenvolvimento de uma planta de compensador síncrono é a definição de todos os parâmetros críticos, normalmente derivados de estudos de estabilidade transitória e análises de desempenho. A engenharia líder de mercado da ANDRITZ utiliza ferramentas modernas de modelagem e simulação, compatíveis com Modelos de Informação da Construção (BIMs), para entregar a solução mais econômica em todo o portfólio de energia. Isso torna a ANDRITZ uma líder de mercado na implementação de soluções de compensadores síncronos globalmente.

MAIOR RESERVA DE RESPOSTA DE FREQUÊNCIA INSTANTÂNEA

Os compensadores síncronos podem ser projetados com rotor cilíndrico (turbogerador) ou com rotor de polos salientes. Nosso projeto de rotor de polos salientes tem uma clara vantagem em termos de inércia. A constante de tempo de inércia (H) excede 3,5 segundos em nosso projeto de rotor de polos salientes, em comparação com 1,5 a 2,0 segundos em projetos de rotor cilíndrico.

CONTROLE DE POTÊNCIA REATIVA APRIMORADO

Enquanto outros sistemas de compensação (por exemplo, STATCOMs) fornecem faixas de potência reativa subexcitada e superexcitada simétricas, os compensadores síncronos convencionais são geralmente limitados em sua faixa subexcitada, restringindo sua capacidade de reduzir a tensão do sistema. A série de compensadores síncronos da ANDRITZ com rotores de polos salientes e um sistema de excitação estática supera essa limitação: uma menor reatância síncrona e uma tensão de campo negativa permitem uma expansão da faixa de potência reativa subexcitada em comparação com as soluções concorrentes. Como resultado, nosso compensador síncrono pode absorver mais potência reativa do que outros com a mesma potência nominal, melhorando substancialmente a prevenção de sobretensão local no sistema elétrico – particularmente importante durante períodos de alta geração e baixa demanda.

PRINCIPAIS VANTAGENS DOS COMPENSADORES SÍNCRONOS DA ANDRITZ

- Inércia natural superior (sem volante de inércia)
- Faixa de potência reativa estendida
- Maior confiabilidade e durabilidade
- Menor esforço de manutenção
- Projeto de volante de inércia livre de vácuo
- Suporte completo ao ciclo de vida
- Histórico global comprovado
- Menores perdas de sistema

MAIOR TOLERÂNCIA CONTRA OSCILAÇÕES DE TORQUE E CONDIÇÕES DE REDE DESEQUILIBRADAS

Ao equipar nossa série de compensadores síncronos de polos salientes com um enrolamento amortecedor físico, as máquinas se beneficiam de um torque de relutância adicional, levando a um torque de sincronização maior do que os projetos de rotor cilíndrico.

Esta série, portanto, mostra maior tolerância contra oscilações torcionais. Além disso, nosso projeto de enrolamento amortecedor aumenta a capacidade de corrente de sequência negativa contínua da máquina, tornando nosso compensador síncrono mais tolerante a condições de rede desequilibradas, como aquelas próximas a fornos a arco elétrico ou agregações de consumidores monofásicos.

MAIOR CONFIABILIDADE DEVIDO AO PROJETO SIMPLES

Para nossa série de compensadores síncronos, aplicamos a abordagem de projeto mais simples e robusta. Evitamos completamente o resfriamento por hidrogênio (H₂) em nosso sistema, eliminando assim todas as desvantagens

associadas: unidades auxiliares complexas, acessibilidade limitada, vedações especializa-

das, riscos constantes de vazamento e riscos de segurança associados. Em vez disso, sistemas totalmente fechados resfriados a água-ar (TEWAC) ou sistemas de resfriamento a ar aberto (OAC) são usados para manter as temperaturas operacionais ideais, garantindo uma dissipação de calor eficiente e uma vida útil estendida da máquina. Os sistemas TEWAC fornecem adicionalmente proteção aprimorada contra contaminantes como poeira e umidade, reduzindo assim os requisitos de manutenção e melhorando a confiabilidade geral.

Para partida e sincronização, nossa opção padrão usa um conversor de frequência estático, evitando um motor pony de manutenção intensiva. Além disso, nossa inovação patenteada mais recente introduz um novo método de partida que reduz ainda mais os requisitos de manutenção e os custos operacionais, ao mesmo tempo que aumenta consideravelmente a confiabilidade.

GESTÃO DO CICLO DE VIDA DE ATIVOS & SERVIÇOS DIGITAIS

A Gestão do Ciclo de Vida de Ativos representa a

abordagem sistemática da ANDRITZ para gerenciar o ativo ao longo de toda a sua vida útil, maximizan-

"A ANDRITZ fabrica os maiores compensadores síncronos resfriados a ar com projeto de polos salientes do mundo até o momento."



do o valor, o desempenho e a longevidade, ao mesmo tempo que minimiza custos e riscos. Este processo abrange o planejamento, o suporte operacional, a manutenção e a eventual renovação do ativo.

A ANDRITZ oferece uma gama abrangente de serviços que visam otimizar a eficiência e a confiabilidade da operação do compensador síncrono, incluindo:

- Monitoramento remoto 24 horas por dia, 7 dias por semana, complementado por suporte especializado.
- Suporte local colaborativo de primeira linha, bem como intervenções no local de segundo nível, conforme necessário.
- Uso da plataforma customizada da ANDRITZ, Metris DiOMera, para facilitar a detecção proativa de problemas e permitir a avaliação em tempo real do envelhecimento dos componentes, melhorando os cronogramas de manutenção, a disponibilidade da planta e a vida útil do equipamento.
- Uma estratégia de manutenção meticulosamente desenvolvida e adaptada às necessidades do cliente.
- Uma estrutura robusta para a gestão da planta e de peças de reposição, certificada de acordo com as normas ISO 55000.

O conceito de gestão de ciclo de vida de plantas da ANDRITZ é projetado para garantir o desempenho e a disponibilidade ao longo de toda a vida

útil da planta, e para permitir uma vida útil estendida por meio da otimização contínua baseada na manutenção preditiva.

GÊMEO DIGITAL DA PLANTA (PLANT DIGITAL TWIN)

O Gêmeo Digital da Planta redefine como os clientes interagem com seus compensadores síncronos. Projetado como uma réplica virtual 3D dinâmica da planta física, ele integra dados de engenharia, métricas operacionais e registros de manutenção em um ambiente digital único e inteligente.

Esta solução oferece insights em tempo real, visualização 3D intuitiva e análises preditivas que permitem às equipes antecipar problemas, otimizar o desempenho e reduzir o tempo de inatividade. Com assistentes baseados em IA e interfaces imersivas, o Gêmeo Digital torna dados complexos acessíveis e acionáveis. O Gêmeo Digital da Planta suporta a integração perfeita com outras plataformas operacionais, oferecendo soluções e serviços flexíveis. Ele otimiza o acesso à documentação, permite suporte remoto e possibilita a simulação de cenários operacionais. Ao transformar dados brutos em insights estratégicos, o Gêmeo Digital da Planta ajuda as partes interessadas a operar de forma mais inteligente, segura e sustentável.



Volantes de Inércia para Maior Inércia

Os compensadores síncronos da ANDRITZ, quando combinados com um volante de alta inércia moderno, garantem um fornecimento seguro de energia e uma vida operacional longa e confiável do seu ativo.

A modularidade da série de volantes de inércia da ANDRITZ é baseada em discos padronizados com um diâmetro externo constante. Os clientes podem escolher o número de discos (um, dois ou três) dependendo da inércia necessária. O sistema oferece efeitos de sinergia significativos ao utilizar componentes já disponíveis, e é caracterizado por uma operação confiável, segura e manutenção otimizada.

Os sistemas de volante de inércia da ANDRITZ podem aumentar a inércia disponível em até 16 segundos. Por exemplo, um compensador síncrono de 250 MVA possui uma inércia natural de mais de 1.000 MWs e pode ser aumentada para até 4.000 MWs adicionando um volante de inércia compacto. Ao fornecer mais inércia ao sistema elétrico, a RoCoF pode ser significativamente reduzida no caso de mudanças repentinas na geração ou na carga..

CONCEITO DE MONTAGEM SIMPLES

As dimensões e o peso dos discos do volante de inércia da ANDRITZ estão dentro dos limites praticáveis para transporte e montagem. Os componentes do rotor do volante de inércia são montados na área de pré-montagem antes que todo o rotor do volante de inércia seja içado para os rolamentos.

Tanto a montagem do compensador síncrono quanto a do volante de inércia podem ser realizadas de forma rápida e eficiente. Sem a necessidade de invólucros de vácuo, nosso volante de inércia livre de vácuo pode ser instalado sem contenção especial ou sistemas de pressão. Isso resulta em menores custos iniciais de infraestrutura e montagem mais rápida..

PROJETO SEGURO E ROBUSTO

O rotor é projetado para ser à prova de curto-circuito, e o comportamento dinâmico do rotor apresenta alta estabilidade. Usando dispositivos de centralização apropriados, os eixos e discos do volante de inércia são usinados com precisão e parafusados juntos para formar uma unidade de rotor compacta. A ANDRITZ emprega os métodos mais avançados, incluindo Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) e Transferência de Calor Conjugada (CHT), ao longo do processo de desenvolvimento. Nosso sistema de volante de inércia



A estabilidade da rede não é um desafio futuro – é a prioridade de hoje. Os compensadores síncronos da ANDRITZ oferecem estabilização de rede comprovada, confiável e econômica para um mundo cada vez mais alimentado por fontes renováveis.

www.andritz.com/syncon



elimina completamente o uso de vácuo, reduzindo os riscos associados a falhas de vácuo, como implosão ou degradação da vedação. Os sistemas livres de vácuo são inerentemente mais robustos sob condições ambientais flutuantes e são mais seguros de manusear e manter, tornando-os particularmente adequados para aplicações onde a confiabilidade e a segurança são primordiais.

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Um número considerável de componentes auxiliares já disponíveis para o compensador síncrono também pode ser usado para a operação do volante de inércia - incluindo o suprimento de óleo para os rolamentos de pedestal - gerando efeitos de sinergia notáveis e reduzindo custos.

Os sistemas de automação, controle, proteção e monitoramento da ANDRITZ garantem uma operação confiável e segura, bem como uma manutenção otimizada. Nosso projeto de volante de inércia livre de vácuo reduz o número de componentes que requerem inspeção ou substituição regular, tornando as rotinas de manutenção menos complexas e mais econômicas ao longo da vida útil do sistema.



O Mundo dos Compensadores Síncronos da ANDRITZ

Os seguintes projetos representam uma seleção de referências globais da ANDRITZ - uma prova de nossa presença mundial em quase todos os continentes, onde os operadores de sistemas confiam nos compensadores síncronos da ANDRITZ para fornecer uma estabilidade de rede confiável

GLENCLOOSAGH & QUARRY LANE, IRLANDA / COLERAINE & COOLKEERAGH, REINO UNIDO

A ANDRITZ está fornecendo quatro sistemas de compensadores síncronos e quatro volantes de inércia para os projetos do Serviço de Inércia de Baixo Carbono em Glencloosagh e Quarry Lane (Irlanda), e Coleraine e Coolkeeragh (Reino Unido). Todas as quatro unidades fornecerão potência de curto-circuito, inércia e potência reativa, melhorando a estabilidade da rede e permitindo a integração de fontes de energia renováveis nos sistemas de transmissão operados pela EirGrid e SONI.

Potência nominal do compensador:

3 x 250 MVA e 1 x 110 MVA (Coleraine)

Tensão nominal: 15,5 kV, 50 Hz

Contribuição de inércia para o PCC: 4 x ~2.000 MWs (incl. volante de inércia)

Tensão nominal do sistema: 110-275 kV



BAKERSFIELD, EUA

A ANDRITZ fornece dois sistemas de compensadores síncronos para o projeto da LCRA Transmission Services Corporation na subestação de 345 kV de Bakersfield, no oeste do Texas. Eles ajudam a gerenciar o fluxo de eletricidade e a evitar interrupções de energia, aumentando a robustez do curto-circuito, garantindo um fornecimento de energia consistente e confiável para residências e empresas.

Potência nominal do compensador:

2 x 210 MVA

Tensão nominal: 15,0 kV, 60 Hz

Contribuição de inércia para o PCC: 2 x 1.100 MWs (natural)

Tensão nominal do sistema: 345 kV



CRATEÚS E SÃO JOÃO DO PARAÍSO, BRASIL

A ANDRITZ fornece dois sistemas de compensadores síncronos de 330 MVA para o Brasil. Um apoia as linhas de transmissão entre a Bahia e Minas Gerais; o outro apoia a região de Ceará Crateús. Essas instalações representam um passo importante para a estabilização do sistema elétrico brasileiro e para garantir um fornecimento de energia mais confiável para o futuro.

Potência nominal do compensador:

2 x 330 MVA, +300/-200 Mvar @ PCC

Tensão nominal: 18,0 kV, 60 Hz

Contribuição de inércia para o PCC:

2 x ~1.200 MWs (natural)

Tensão nominal do sistema: 500 kV

BURONGA E DINAWAN, NSW AUSTRÁLIA

A ANDRITZ forneceu quatro unidades de compensadores síncronos, incluindo sistemas de energia elétrica (EPS), para duas subestações em Buronga e Dinawan, em Nova Gales do Sul. O fornecimento está relacionado ao projeto EnergyConnect, construído pela Elecnor Australia para a Transgrid, um projeto de infraestrutura de importância nacional vital para a transição da Austrália para a energia renovável.

O interconector EnergyConnect aumenta o compartilhamento de energia renovável entre Nova Gales do Sul, Victoria e Austrália Meridional, com as quatro unidades de compensadores síncronos fornecendo serviços de resiliência ao sistema – incluindo inércia, contribuição de curto-circuito e compensação de potência reativa – para manter

a estabilidade da rede e permitir que a Rede Nacional de Energia conecte fontes adicionais de energia renovável em larga escala. A ANDRITZ também fornece um serviço de manutenção de longo prazo, cobrindo a manutenção anual, monitoramento de condições e manutenção preditiva.

Potência nominal do compensador:

4 x 120 MVA, +100 / -50 Mvar @ PCC

Tensão nominal: 12,0 kV, 50 Hz

Contribuição de inércia para o PCC:

4 x ~840 MWs (natural)

Tensão nominal do sistema: 330 kV

TUCUMÃ, BRASIL

Para a Transmissora Acre II, parte do Grupo Zopone, a ANDRITZ forneceu um compensador síncrono na subestação de 230 kV de Tucumã, perto de Rio Branco, capital do Acre, apoiando a expansão da rede de transmissão no norte do Brasil. O fornecimento incluiu a unidade rotativa, sistemas de energia elétrica e um sistema digital de controle e proteção.

Potência nominal do compensador:

165 MVA, +150 / -90 Mvar @ PCC

Tensão nominal: 11,0 kV, 60 Hz

Contribuição de inércia para o PCC:

~400 MWs (natural)

Tensão nominal do sistema: 230 kV





ANDRITZ HYDRO GmbH
contact-hydro@andritz.com

ANDRITZ.COM / SYNCON

ANDRITZ

Todos os dados, informações, declarações, fotografias e ilustrações gráficas contidos nesta brochura são sem qualquer obrigação e não geram responsabilidades nem fazem parte de quaisquer contratos de venda da ANDRITZ AG ou de quaisquer afiliadas para equipamentos e/ou sistemas aqui referidos. © ANDRITZ HYDRO 2026. Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra protegida por direitos autorais pode ser reproduzida, modificada ou distribuída sob qualquer forma ou por qualquer meio, ou armazenada em qualquer banco de dados ou sistema de recuperação, sem a permissão prévia por escrito da ANDRITZ HYDRO ou de suas afiliadas.

