

Atualização sobre a corrente nominal de curto-circuito

A corrente nominal de curto-circuito (short-circuit current rating (SCCR)) não é um tópico novo, mas requer uma consideração cuidadosa, já que, às vezes, pode ser fonte de confusão caso os princípios básicos não sejam entendidos. O National Electrical Code® (NEC)¹ se aplica a todos os equipamentos, enquanto a UL 1995² se aplica aos equipamentos listados. Desde 2005, os dois regulamentos exigem que a maioria dos equipamentos de HVAC indiquem a corrente nominal de curto-circuito para facilitar o trabalho dos fiscais de conformidade. Em 2017, as exigências do NEC foram ampliadas para incluir quase todos os aparelhos de ar-condicionado e refrigeração.

Este boletim apresenta uma visão geral do tópico e da terminologia do setor, além de soluções práticas para os desafios comumente enfrentados em projetos de SCCR.

Definição de SCCR

A corrente nominal de curto-circuito (short-circuit current rating (SCCR)), anteriormente conhecida como valor nominal da resistência a curto-circuito (short-circuit withstand rating (SCWR)), até 1999, é uma consideração importante para determinar se componentes ou equipamentos podem ser aplicados com segurança em um sistema de distribuição elétrica. Embora a SCCR venha sendo uma consideração de projeto contemplada pelos códigos desde a década de 1970, os requisitos que a cercam continuaram a evoluir à medida que a compreensão foi aumentando, junto com a disponibilidade de componentes de classificação nominal mais elevada.

Dois boletins informativos anteriores, publicados respectivamente em 1998³ e 2012⁴, já abordaram as questões relacionadas à corrente nominal de curto-circuito. Como a terminologia pode ser confusa, é preciso abordar vários termos-chave relacionados a esse tópico, entre eles: curto-circuito, corrente de falha,

classificação de interrupção, corrente nominal de curto-circuito e limitação de corrente.

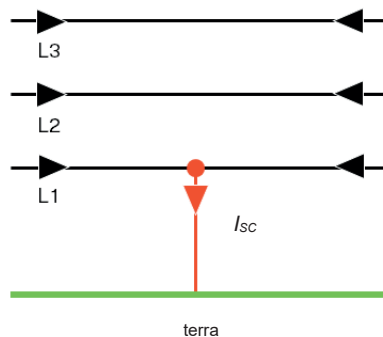
Entender esses termos e aplicá-los corretamente é fundamental para projetar sistemas de distribuição elétrica seguros e confiáveis.

Terminologia

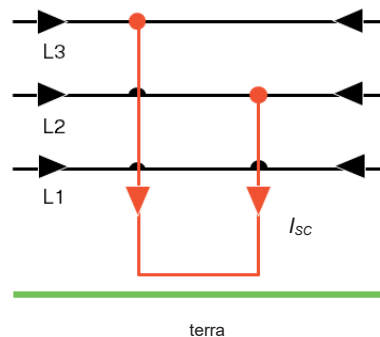
CURTO-CIRCUITO

Um curto-circuito, ou mais comumente "curto", é uma condição de falha causada por um erro de instalação ou falha na qual os condutores acabam conectados entre si (curto-fase) ou ao aterramento (curto fase-terra). Isso cria uma situação perigosa em que a corrente não regulada pode fluir através da conexão em curto sem impedimento, por um breve período. Durante essa condição de falha, os níveis de corrente podem atingir tal magnitude que a dissipação de calor e campos magnéticos destrutivos podem se tornar um problema.

Figura 1. Sistema de alimentação trifásico



A imagem à esquerda mostra um sistema de alimentação trifásico onde há um curto-circuito fase-terra entre o condutor L1 (fase A) e o aterramento.



A imagem à direita mostra um curto-circuito fase-fase no sistema de alimentação trifásico em que o condutor L2 (fase B) e o condutor L3 (fase C) acabaram se conectando. Em ambos os casos a corrente é desviada da carga (motor, compressor etc.) e flui de maneira desimpedida.

Os cabos e os componentes do sistema elétrico são dimensionados com base nas condições de carga total. Ao lidar com uma corrente de carga total em uma operação típica, a quantidade de calor gerada pela resistência interna dos componentes é baixa o suficiente para ser dissipada com facilidade para o ambiente. Uma alta corrente proveniente de uma falha, mesmo que breve, pode gerar níveis extremos de calor nos condutores e componentes, que podem derreter ou explodir. Esses maiores níveis de corrente de falha podem gerar poderosas forças magnéticas capazes de danificar condutores e componentes.

Para este artigo, estamos considerando que qualquer curto-circuito seja do tipo de “elementos aparafusados”, ou seja, uma conexão perfeita com resistência zero, como se os condutores estivessem aparafusados um ao outro, sem nenhum fio apenas se tocando. Isso simplifica a análise e evita problemas de aquecimento ou resistência no circuito.

CORRENTE DE FALHA

A corrente de falha, também chamada de “corrente de curto-circuito” (I_{sc}), descreve a quantidade de fluxo de corrente durante um curto. Ela passa por todos os componentes do circuito afetado. A corrente de falha é geralmente muito alta e, portanto, perigosa. A magnitude da corrente de curto-circuito é limitada apenas pela impedância combinada do objeto que causou o curto, da fiação e do transformador de alimentação

Um dos objetivos do projeto de um sistema de distribuição elétrica é minimizar o impacto de uma falha, tanto em sua extensão quanto em sua duração, nas partes do sistema que não foram afetadas. A seleção adequada da capacidade e do tipo de disjuntores e fusíveis é fundamental para garantir que esses dispositivos isolem apenas os circuitos que estão com problemas. Em outras palavras, isso evita que um curto-circuito em uma tomada desligue a energia de todo o prédio.

O cálculo da corrente de falha é fundamental para escolher os disjuntores, fusíveis e equipamentos adequados. Como o transformador que fornece energia para o equipamento é a origem da corrente de falha e define o valor máximo, o cálculo precisa começar por ele. Usando as informações do transformador, como sua capacidade nominal e impedância interna, é possível determinar a corrente máxima de falha usando a Equação 1 abaixo.

$$I_{sc} = \frac{\text{Classificação do transformador (em VA)}}{\sqrt{3} \times \text{Tensão} \times \text{Porcentagem da impedância}}$$

À medida que uma tendência de maior eficiência energética é observada nos transformadores, a impedância deles deve naturalmente ser reduzida para minimizar as perdas internas. Como observado na Equação 1, uma menor impedância resulta em um potencial mais alto de corrente de falha. Além disso, transformadores maiores geram correntes de falha mais altas, o que pode resultar em uma grande disponibilidade de corrente de falha, mesmo para equipamentos pequenos. Isso reforça a importância de avaliar cuidadosamente os requisitos de SCCR para equipamentos de todos os tamanhos.

A quantidade de corrente de falha possível em qualquer parte do sistema elétrico é afetada não só pela impedância dos cabos e de outros componentes, mas também por quaisquer dispositivos limitadores de corrente entre o transformador de serviço e o local do curto-circuito. A “corrente de falha disponível” é a corrente de falha mais alta possível em um ponto do sistema durante um curto-circuito.

A corrente de falha disponível em cada local do equipamento varia drasticamente de acordo com o local de instalação. Pode ser vantajoso aproveitar a menor corrente de falha disponível nesses locais para especificar com mais precisão os requisitos de SCCR de um equipamento. No entanto, calcular essa corrente de falha reduzida pode ser difícil e trabalhoso, especialmente quando precisamos considerar muitos locais diferentes. Por isso, geralmente

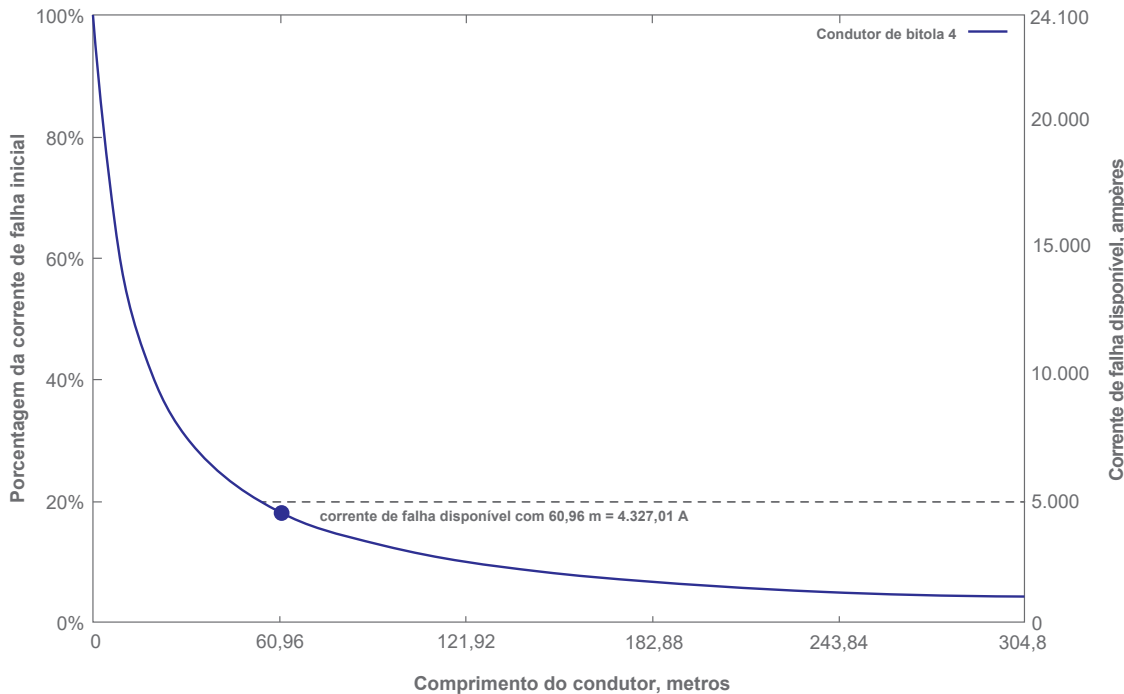
se usa uma abordagem mais simples que ignora o comprimento do fio entre o transformador e o equipamento. Portanto, é possível supor que toda a corrente de falha do transformador está disponível para o equipamento. Essa simplificação conservadora é fonte de erro da perspectiva da segurança, mas aceitável na maioria dos casos, embora possa resultar em requisitos de SCCR mais rigorosos do que o necessário para alguns equipamentos do sistema.

Considere o exemplo de uma unidade de rooftop compacta com uma corrente mínima do circuito (minimum circuit ampacity (MCA)) de 80 ampères sendo alimentada por um transformador de 500 kVA, 480 V, com uma impedância de 2,5%. Usando a Equação 1 e os detalhes do transformador, é possível determinar a máxima corrente de falha do transformador. Observe todas as conversões necessárias.

$$I_{sc} = \frac{1000 \times 500 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \times 480 \text{ V} \times (2,5\% \div 100)} \approx 24.100 \text{ A}$$

Para uma análise mais detalhada, considere a impedância do cabo elétrico do equipamento. A Figura 2 mostra como um determinado condutor pode reduzir a corrente de falha ao longo do seu comprimento. Ignorando outros fatores, esse comprimento do condutor sozinho já tem um efeito drástico. No exemplo, 60,96 m são suficientes para reduzir a corrente de falha disponível de 24.100 ampères para menos de 5.000 ampères (4.327 ampères). A redução da corrente de falha disponível varia de acordo com os detalhes da instalação, tipo e tamanho dos condutores utilizados, o que exige que seja calculada para cada situação. Apesar da grande redução na corrente de falha disponível a ser considerada, coletar os parâmetros para um nível tão detalhado de análise pode ser uma tarefa árdua no caso de um prédio grande, por isso recomenda-se que essa abordagem seja empregada em casos onde a corrente de falha disponível limita a seleção ou disponibilidade de um equipamento.

Figura 2. Corrente de falha disponível ao longo do comprimento da linha (corrente de falha de fonte de 24.100 A, condutores de cobre estanhado AWG 4, classe THHN, multifilares)



O exemplo acima mostra uma redução na corrente de falha disponível com um comprimento de condutor de 4 AWG, com uma corrente de falha de origem de 24.100 A.

A redução na corrente de falha é um aspecto específico dos detalhes do condutor e da instalação e não pode ser usada como generalização.

CLASSIFICAÇÃO DE INTERRUPTÃO

Determinada em condições padrão, a “classificação de interrupção” (também conhecida como capacidade de interrupção de corrente” ou classificação AIC) especifica a quantidade máxima de corrente que um dispositivo de proteção pode interromper com segurança, ou seja, sem acidentes pessoais ou danos ao equipamento, às instalações ou ao próprio dispositivo. Por exemplo, um disjuntor que desarma “com segurança” interrompe com sucesso a falha pode ser reiniciado e funcionará corretamente depois.

No exemplo da unidade de rooftop, a classificação de interrupção do disjuntor ou dos fusíveis selecionados deve ser de 24.100 ampères ou superior para interromper a falha com segurança.

Um equívoco comum. Antes de deixar este tópico, é necessário esclarecer um equívoco comum. “Basta usar um dispositivo de proteção contra sobrecorrente com uma classificação de interrupção maior que a corrente de falha para cumprir a norma de proteção e curto circuito. **Não é bem assim** : a menos

que se trate também de um verdadeiro dispositivo limitador de corrente, conforme descrito na seção “Limitação de corrente” deste boletim informativo (página 5). Mesmo que o dispositivo interrompa o circuito com sucesso, todos os componentes serão expostos à magnitude total da corrente de falha – tanto tensões térmicas quanto magnéticas – até o dispositivo interromper a corrente de falha por completo.

CORRENTE NOMINAL DE CURTO-CIRCUITO

Embora frequentemente apareçam como sinônimos, “classificação de interrupção” e “corrente nominal de curto-circuito” não são termos intercambiáveis. Ao contrário da classificação de interrupção, que define o limite de desempenho de um dispositivo de proteção contra sobrecorrente (por exemplo, disjuntor ou fusível), a “corrente nominal de curto-circuito” identifica a corrente máxima de curto-circuito (corrente de falha) a que um componente, painel de controle ou equipamento podem ser expostos sem ferir pessoas ou danificar as instalações.

No entanto, a classificação nominal não exige que o componente continue funcionando após um evento de falha.

A UL 508A⁵ define os métodos para determinar a corrente nominal de curto-circuito. Uma corrente nominal de curto-circuito padrão poderá ser determinada se todos os componentes individuais no circuito de alimentação estiverem listados e tiverem uma corrente nominal de curto-circuito certificada. Essencialmente, a classificação nominal do conjunto é a mesma do componente onde ela é a mais baixa. Uma classificação nominal mais alta pode ser obtida testando um dispositivo de interrupção de curto-circuito limitador de corrente (por exemplo, um disjuntor ou fusível limitador de corrente) em combinação com os componentes do painel ou usando combinações pré-testadas de componentes. Devido ao alto custo dos testes de equipamentos de HVAC, os fabricantes geralmente usam combinações pré-testadas para fornecer correntes nominais de curto-circuito mais altas.

A corrente nominal de curto-circuito de equipamentos ou componentes pode depender de elementos pré-existentes específicos, como fusíveis limitadores de corrente, por exemplo. O requisito estará claramente indicado na placa de identificação quando for o caso dos equipamentos listados.

Lembre-se de que, quando ocorre uma falha, todos os componentes do circuito sofrem o impacto do curto-circuito até ele ser interrompido. Portanto, é importante garantir que todos os componentes “em risco” sejam capazes de suportar uma condição de falha sem causar ferimentos ou danos ao ambiente. O NEC⁶ de 2020 estabelece esse requisito na Seção 110-10, “Impedância de circuito, correntes nominais de curto-circuito e outras características”:

Os dispositivos de proteção contra sobrecorrente, a impedância total, as correntes nominais de curto-circuito do equipamento e outras características do circuito a ser protegido devem ser selecionados e coordenados para que os dispositivos de proteção do circuito usados para eliminar uma falha façam isso sem causar danos extensos aos componentes elétricos do circuito. Supõe-se que essa falha ocorra entre dois ou mais condutores do circuito ou entre qualquer condutor do circuito e um de aterramento do equipamento, como permitido em 250.118. Deve-se considerar que os equipamentos listados aplicados de acordo com suas exigências atendam aos requisitos dessa seção.

Os dispositivos de proteção contra sobrecorrente, como fusíveis e disjuntores, devem ser selecionados para garantir que a corrente nominal de curto-circuito dos componentes do sistema não exceda caso ocorra um curto-circuito ou falha de aterramento de alto nível. Qualquer componente exposto a correntes de falha superiores à corrente nominal de curto-circuito provavelmente será danificado ou destruído. Para manter a conformidade com essa

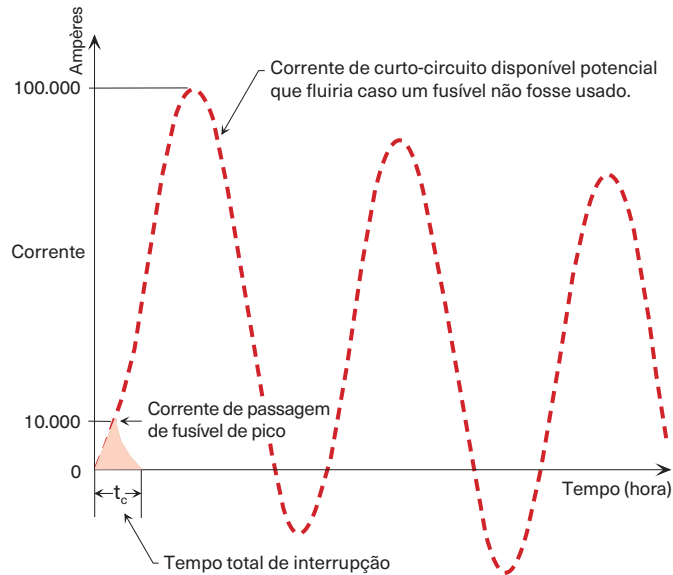
seção do NEC, a placa de identificação da unidade do exemplo deve ter uma corrente nominal de curto-circuito de pelo menos 24.100 ampères, indicando que o circuito de alimentação da unidade de rooftop é capaz de suportar com segurança a corrente de falha.

Requisitos de etiqueta

Desde 2005, o NEC exige que a corrente nominal de curto-circuito venha marcada na maioria dos aparelhos de ar-condicionado e refrigeração para comprovar que a classificação do equipamento atende ou excede a corrente de falha disponível. O NEC de 2017 adicionou o requisito de que, para aparelhos de ar-condicionado e refrigeração, a corrente de falha disponível deve ser documentada para melhorar a coordenação.

O NEC de 2005 incluía uma exceção ao requisito de marcação da corrente nominal de curto-circuito, que abrangia todos os equipamentos com MCA gerando menos de 60 ampères. Essa exceção causou bastante confusão, levando alguns a acreditar que a corrente nominal de curto-circuito não precisava ser considerada em equipamentos abaixo de 60 ampères. Esse nunca foi o propósito da exceção. Ao contrário disso, ela permitia que equipamentos com MCA abaixo de 60 ampères usassem uma corrente nominal mínima de curto-circuito (5kA), a menos que especificado de outra forma. Para ajudar a desfazer a confusão, essa exceção foi removida na versão de 2017 do NEC.

Figura 3. Corrente potencial durante um evento de falha e corrente de passagem do fusível de proteção durante a condição de falha



LIMITAÇÃO DE CORRENTE

Todos os cabos e componentes em um sistema de distribuição elétrica oferecem algum grau de resistência ao fluxo de corrente. Em condições normais, o calor produzido devido ao fluxo de corrente se dissipa rapidamente para o ambiente. Porém, a enorme corrente gerada durante um curto-circuito produz calor prejudicial a uma taxa muito mais rápida do que aquela que permitiria uma dissipação segura. Ao interromper a corrente, o calor para de ser adicionado ao sistema.

A Figura 3 demonstra que o tempo é um fator crítico para a determinação da quantidade de energia acrescida. Começando no tempo zero, a adição de corrente, que resulta em energia na forma de calor, aumenta rapidamente durante uma condição de falha. Um curto elétrico com duração de três ciclos, por exemplo, adiciona seis vezes a energia de um que dura apenas meio ciclo. A Figura 3 também mostra o efeito de um dispositivo limitador de corrente. Um disjuntor ou fusível interromperá o fluxo de corrente, mas para ser classificado como limitador de corrente, o dispositivo de interrupção deve abrir o circuito dentro de um quarto de ciclo (1/240 segundo para 60 Hz ou 1/200 segundo para 50 Hz)⁷. O desarme rápido durante uma falta interrompe o fluxo de corrente antes que a corrente de falha atinja o pico. A maior quantidade de corrente que pode atravessar um dispositivo limitador de corrente antes de este interromper a falha é chamada de corrente de pico admissível

ou corrente de passagem.

Ela é uma função dos dispositivos e da corrente de falha disponível e deve ser determinada através de testes.

Dispositivos limitadores de corrente podem oferecer vantagens importantes. Voltando ao exemplo da unidade de rooftop, se não houver uma unidade disponível com uma corrente nominal de curto-circuito superior a 24.100 ampères, uma das seguintes ações precisará ser realizada para garantir a conformidade com a Seção 110-10 do NEC:

- Adicionar um dispositivo limitador de corrente, geralmente um fusível ou disjuntor, que possa restringir a corrente de falha a um valor inferior à corrente nominal de curto-circuito da unidade.
- Reprojetar o sistema de distribuição elétrica para reduzir a corrente de falha. Normalmente, isso é feito selecionando um transformador de serviço diferente, alterando o equipamento de entrada de serviço ou adicionando um transformador de isolamento. Optar por essa abordagem garante uma análise mais detalhada da corrente de falha.
- O cálculo mais detalhado da corrente de falha disponível, incluindo a impedância do condutor, seria garantido aqui. Como mostrado na Figura 2, a inclusão dessa impedância adicional pode reduzir bastante a corrente de falha disponível e, portanto, a corrente nominal de curto-circuito necessária do equipamento. Esse cálculo deve ser documentado para garantir que a coordenação adequada possa ser confirmada por um fiscal de obra.

Resumo

A proteção do equipamento de HVAC é um elemento vital do projeto do sistema de distribuição elétrica. A seleção e coordenação adequadas dos dispositivos de proteção contra sobrecorrente devem ser feitas no início do processo de projeto e abordar tanto a operação normal quanto as condições de falha.

Ocasionalmente, a corrente de falha calculada excede a nominal de curto-circuito listada na placa de identificação do equipamento. Esses casos exigem que um dispositivo limitador de corrente apropriado seja adicionado ou que o sistema elétrico seja reprojetoado para reduzir a corrente de falha disponível.

A análise da corrente de falha no cenário da unidade de rooftop consistiu em um cálculo simplificado do pior caso. Embora um cálculo similar seja, muitas vezes, suficiente para selecionar os componentes de um sistema, pode haver bons motivos para uma análise mais detalhada que inclua a impedância adicional do circuito.

Para saber mais, consulte The IEEE® *Buff Book: Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*⁸, publicado pelo The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Autor: Bob Coleman, engenheiro de desenvolvimento de sistemas, Trane. Para assinar ou ver edições anteriores do Boletim dos Engenheiros, acesse trane.com. Envie seus comentários para ENL@trane.com.

Referências

- [1] National Fire Protection Association. 2020. NFPA 70. *National Electrical Code Handbook*. 2020 ed. Quincy, MA: NFPA.
- [2] Underwriters Laboratories Inc. 2015. UL 1995. *Standard for Safety: Heating and Cooling Equipment*. 5th ed. Northbrook, IL: UL.
- [3] Guckelberger, D. and Bradley, B. 1998. "Protecting the Electrical Distribution System... Short-Circuit Withstand Ratings Demystified." *Boletim dos Engenheiros da Trane*, 27-3.
- [4] Guckelberger, D. 2012. "Atualização sobre corrente nominal de curto-circuito", *Boletim dos Engenheiros da Trane*, 41-2.
- [5] Underwriters Laboratories Inc. 2018. UL 508A. *Industrial Control Panels*. 3rd ed. Northbrook, IL: UL.
- [6] National Fire Protection Association. 2020. NFPA 70. *National Electrical Code Handbook*. 2020 ed. Quincy, MA: NFPA.
- [7] Underwriters Laboratories Inc. 2011. UL 248-1. *Low-Voltage Fuses – Part 1: General Requirements*. 3rd ed. Northbrook, IL: UL.
- [8] The Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2001. Norma IEEE 242-2001. *The IEEE Buff Book: IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. Nova Iorque, NY: IEEE.

planeje sua participação em 2022...
BOLETIM DOS ENGENHEIROS AO VIVO!

MARÇO
Aplicação de VRF em uma solução de edifício completa – Parte II

MAIO
Descarbonização de sistemas HVAC – Parte II

SETEMBRO
Projeto para sistema de bomba de calor ar-água

NOVEMBRO
Chillers e bombas de calor com armazenamento de energia

Inscriva-se em trane.com/EN

APRENDER É TÃO FÁCIL QUANTO

1 SE INSCREVER usando o link de convite no e-mail

2 APRENDER as mais novas tendências de projeto e controle de HVAC

3 OBTER créditos de educação continuada (PDH, AIA)

Cronograma do programa Boletim dos Engenheiros de 2022 *Ao Vivo!*

MARÇO

Aplicação de VRF em uma solução de edifício completa Parte II.

Este programa se baseia no ENL de dezembro de 2020, que cobria sistemas de vazão variável de refrigerante. Este programa aprofundará o tópico sobre controles integrados e analisará dicas e truques de software de modelagem de energia exclusivos para VRF. Também discutiremos o conceito de sistemas VRF aplicados que combinam conceitos de sistema tradicionais enquanto usam refrigerante em vez de água, bem como uma breve análise de vários requisitos aplicáveis das normas ASHRAE® 62.1-2019 e 90.1-2019.

MAIO

Descarbonização de sistemas HVAC Parte II. Neste programa, veremos possíveis soluções de eletrificação para três aplicações diferentes: escritório pequeno, escola de ensino fundamental e uma unidade de saúde. Vamos modelar essas soluções de eletrificação para locais em todo o país, fornecer resultados relacionados a reduções de energia e emissões, e comparar diferentes projetos eletrificados com soluções tradicionais de aquecimento a gás.

SETEMBRO

Projeto para sistema de bomba de calor ar-água. Com base nos dois ENLs de descarbonização de sistemas HVAC anteriores, este programa abrangerá sistemas de aquecimento de edifícios eletrificados utilizando bombas de calor ar-água. Os tópicos abordados incluirão características operacionais de equipamentos de bomba de calor ar-água, considerações de dimensionamento de carga e unidade do sistema, considerações de temperatura do projeto de água quente do sistema, configurações e opções do sistema, incluindo recuperação de calor, armazenamento e aquecimento auxiliar, bem como considerações de controle do sistema.

NOVEMBRO

Chillers e bombas de calor com armazenamento de energia.

Adicionar armazenamento de energia a edifícios não apenas economiza energia, custos de energia e água, mas também economiza carbono. Neste programa, revisitaremos os benefícios e as técnicas para integrar o armazenamento de energia térmica para resfriamento. Além disso, exploraremos maneiras de usar o armazenamento para minimizar o impacto que a descarbonização dos edifícios e a eletrificação do aquecimento devem ter nos custos de energia.

Entre em contato com o escritório local da Trane para obter mais informações ou acesse www.trane.com.



2022 marca o aniversário de 50 anos do *Boletim dos Engenheiros Trane!*

Lançamos uma série mensal de blogs comemorando o 50º aniversário do Boletim dos Engenheiros Trane. A cada mês, o blog apresenta um tópico sobre sistemas diferentes, assinado por um de nossos excepcionais membros da equipe de Engenharia de aplicações.

Na segunda semana de cada mês, o artigo mais recente será compartilhado no blog da Trane e nos canais das redes sociais da marca. Você encontrará abaixo a lista completa de tópicos aguardados para 2022!

JANEIRO

História do Boletim dos Engenheiros

FEVEREIRO

Padrões e códigos

MARÇO

Elétrica

ABRIL

Sistemas VAV

MAIO

Sistemas IAQ

JUNHO

Sistemas DX

JULHO

Refrigerantes

Agosto

Recuperação de calor

SETEMBRO

Centrais de água gelada

OUTUBRO

Estratégias de ventilação

NOVEMBRO

Armazenamento térmico

DEZEMBRO

Acústica



Trane – por Trane Technologies (NYSE: TT), uma empresa de climatização global e inovadora – cria ambientes internos confortáveis que economizam energia por meio de um amplo portfólio de sistemas, controles, serviços, peças e suprimentos para aquecimento, ventilação e condicionamento de ar. Para obter mais informações, consulte trane.com ou tranetechnologies.com.

A Trane acredita que os fatos e as sugestões apresentados aqui são precisos. No entanto, as decisões finais de projeto e aplicação são de sua responsabilidade. A Trane se isenta de qualquer responsabilidade por ações tomadas com relação ao material apresentado.

Todas as marcas registradas mencionadas neste documento são marcas registradas de seus respectivos proprietários.