

Manual de instruções do Sensor de fluxo de calor HFS

Introdução

Os sensores de fluxo de calor podem ser usados para medir e quantificar a energia térmica por unidade de área, movendo-se por uma superfície de um sistema. Além disso, podem medir a transferência de calor nos sistemas HVAC, realizar análise de isolamento, sistemas de refrigeração, bem como inúmeras outras aplicações térmicas.

Descrição do Sensor de fluxo de calor

Os sensores de fluxo de calor HFS-5, HFS-6 e UHFS-09 utilizam um design termopilha de temperatura diferencial para medir o movimento da energia térmica por área da unidade, ou fluxo de calor, através da superfície do sensor. Cada sensor HFS inclui um termopar tipo T integrado que pode ser usado para medições de temperatura do sensor. A sensibilidade de cada sensor é fornecida com cada unidade registrada em seu respectivo certificado de calibração. Os procedimentos de calibração do sensor estão em conformidade com a norma ASTM C1130 e estão descritos mais adiante neste manual.

Conteúdo do Manual de instruções

Como usar um Sensor de fluxo de calor		
1	Breve visão geral do uso do Sensor de fluxo de calor	3
	Medições de sinal do sensor	3
	Medição da tensão do fluxo de calor	3
	Medição da tensão do termopar	4
	Verificação da funcionalidade do sensor HFS e solução de problemas	4
	Montagem/instalação do sensor	6
	Remoção do sensor das superfícies de medição	6

Conversão de medições para fluxo de calor e temperatura		
2	Medição de temperatura do termopar tipo T	6
	Dependência da temperatura do sensor de fluxo de calor HFS	6
	Cálculo do fluxo de calor	7
	Determinação da sensibilidade do sensor de fluxo de calor	8

3	Conformidades da diretiva	
	Conformidade RoHS	9
	Conformidade REACH	10
	Conformidade CE	11

Lista de símbolos usados neste manual

Termo representado pelo símbolo	Símbolo	Unidades inglesas	Unidades Métricas/SI
Fluxo de calor	q''	BTU/(pés ² -hr)	W/m ²
Resistência elétrica	Ω	Ohms ou kOhms	
Saída de tensão	ΔV	V ou mV ou μV	
Sensibilidade do sensor de fluxo de calor	S	$\mu V / \text{BTU}/(\text{pés}^2\text{-hr})$	$\mu V/(W/m^2)$
Temperatura	T	°F	°C
Diferença de temperatura	ΔT	°F	°C
Sensibilidade do sensor de fluxo de calor a uma temperatura	$S_{@T^{\circ}C}$	$\mu V / \text{BTU}/(\text{pés}^2\text{-hr})$	$\mu V/(W/m^2)$
Fator de multiplicação de sensibilidade	M.F.	Nenhuma unidade	
Gradiente de temperatura	dT/dx	°F/pés	°C/m
Espessura do material	δ	pés	m
Condutividade térmica	λ ou k	BTU/(pés ² -hr)/°F	W/(m-K)
Resistência térmica	R"	°F/BTU/(pés ² -hr)	(m ² -K)/W

Fatores de conversão da unidade

Termo	Método de conversão
Fluxo de calor	$1 \text{ W/m}^2 = 0,317 \text{ BTU/pés}^2\text{-hr}$
Sensibilidade do sensor	$1 \mu V/(W/m^2) = 3,155 \mu V/(\text{BTU}/(\text{pés}^2\text{-hr}))$
	$1 \mu V/(W/m^2) = 10 \text{ mV}/(W/cm^2)$

Seção 1: Como usar um Sensor de fluxo de calor

Veja abaixo detalhes sobre como usar um sensor de fluxo de calor para fazer medições térmicas. Estas instruções são para uso geral e podem ser ligeiramente diferentes, dependendo das condições do teste, a fim de coletar as medições mais precisas para sua aplicação.

Breve visão geral do uso do Sensor de fluxo de calor

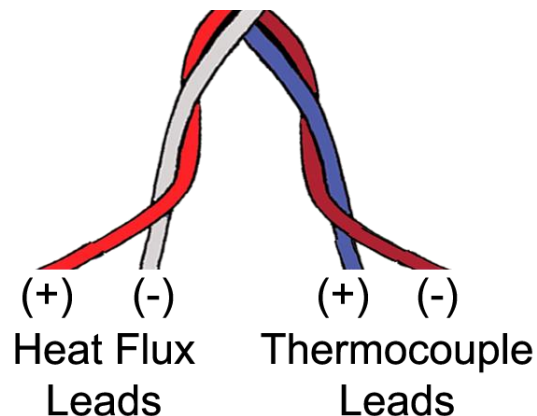
1. Certifique-se de que o sensor esteja funcionando corretamente realizando testes simples de funcionalidade.
2. Monte o sensor na superfície de medição.
3. Conecte os fios do sensor de fluxo de calor e os fios do termopar integrados a um voltímetro de precisão ou dispositivo de aquisição de dados de precisão.
4. Colete as medições lendo os sinais de tensão CC analógicos dos fios.
5. Ajuste a sensibilidade do sensor de fluxo de calor de acordo com a temperatura do sensor e a função de dependência de temperatura (não necessário para os sensores UHFS-09). A sensibilidade do sensor é fornecida com cada unidade em seu respectivo certificado de calibração, além da função de dependência da temperatura.
6. Calcule o fluxo de calor usando a sensibilidade ajustada.

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\text{c}}}}$$

7. Remova o sensor da superfície de medição, se necessário, tomando muito cuidado para não danificá-lo

Medição do sinal do sensor

A saída do HFS é uma tensão CC que é linearmente proporcional ao fluxo de calor absorvido pelo sensor. Da mesma forma, o termopar tipo T usado para medições de temperatura de superfície HFS produz uma tensão CC proporcional à diferença de temperatura entre a superfície do sensor e o local de medição de tensão. Os sinais de tensão CC de saída podem ser medidos com qualquer voltímetro de precisão ou sistema de aquisição de dados de tensão com resolução de microvolt, μV . O design de construção do HFS permite a medição do fluxo de calor e da diferença de temperatura usando quatro fios.



Medição da tensão do fluxo de calor

Para medir a tensão de saída do sensor causada pela absorção de calor do sensor, ΔV_q , conecte o terminal positivo (+) do dispositivo de medição de tensão ao fio vermelho brilhante e o terminal negativo (-) ao fio branco. A polaridade desses fios não importa muito, pois o fluxo de calor será positivo ou negativo, dependendo da orientação do sensor.

Medição da tensão do termopar

Um termopar é integrado em cada sensor de fluxo de calor HFS para fornecer uma medição da temperatura da superfície do sensor. Medir a saída de tensão do termopar fornecerá uma indicação da diferença de temperatura entre o local de medição de temperatura na superfície do sensor superior e o local de medição de tensão. Uma medida adicional de temperatura no local de medição de tensão é necessária para determinar a temperatura absoluta do sensor. Essa temperatura de referência é conhecida como compensação de junção fria e é geralmente incorporada nos sistemas de aquisição de dados.

Conecte o fio constantan vermelho mais escuro a um terminal negativo (-) do dispositivo de medição de tensão. O fio de cobre positivo (+) do dispositivo de medição de tensão deve ser conectado ao fio de cobre azul.

Verificação da funcionalidade do sensor HFS e solução de problemas

É possível realizar alguns testes simples diferentes para garantir que o HFS esteja funcionando corretamente. Recomenda-se fazer isso antes e depois de montar o sensor, de modo que medições imprecisas não sejam tomadas acidentalmente usando um sensor com defeito que possa ter sido danificado enquanto ele estava sendo manuseado.

1. *Verifique a resistência elétrica do Sensor de fluxo de calor:*

Conecte um ohmímetro ao fio vermelho brilhante e os fios brancos para verificar a resistência elétrica do sensor de fluxo de calor. Deve ser $<1.000 \Omega$ para sensores HFS-5 ou $<5 \text{ k}\Omega$ para sensores HFS-6 e UHFS-09. Se a resistência for muito maior do que isso, pode haver um problema com o sensor. A resistência pode ser ligeiramente maior para sensores que têm comprimento de fio de chumbo maior que o padrão de 10 pés/3 m. Resistência elétrica infinita (descontinuidade) é uma indicação de que o sensor de fluxo de calor está quebrado.

2. *Verifique a resistência elétrica do termopar:*

Conecte um ohmímetro de resistência elétrica ao fio constantan vermelho mais escuro e ao fio de cobre azul. A resistência elétrica deve ser de aproximadamente 50Ω para o comprimento de fio padrão de 10 pés/3 metros. A resistência será maior para comprimentos de fios mais longos. A resistência típica do fio é de 5Ω por pé ou 16Ω por metro. Resistência elétrica infinita (descontinuidade) é uma indicação de que o termopar está quebrado.

3. Verifique a tensão de saída com o Sensor de fluxo de calor zero:

Se possível, enquanto um dispositivo de medição de tensão estiver conectado pelos fios do fluxo de calor, meça a tensão do fluxo de calor de saída enquanto o sensor estiver enfrentando zero fluxo de calor absorvido pelo sensor. Um cenário fácil é deixar o sensor permanecer desmontado em condições ambientes, como ficar solto em uma mesa. A leitura de tensão CC analógica para a tensão de saída do fluxo de calor deve ser de aproximadamente 0,0 μV (+/- 5 μV podem ser contribuídas para o ruído elétrico).

4. Verifique a tensão de saída para um Sensor de fluxo de calor induzido:

um método simples para determinar se o HFS está operando corretamente é induzindo fisicamente um fluxo de calor. Coloque o sensor HFS em uma superfície metálica e coloque firmemente a palma da sua mão em toda a superfície do sensor. O valor da tensão de saída CC de pico resultante deve ser em torno de 1,0 mV para um HFS (esse valor pode variar acima de 20% desse valor, dependendo da situação). Você também pode virar o sensor e um sinal de tensão CC de saída semelhante com um sinal oposto (positivo (+) versus negativo (-)) deve ser medido.

5. Verifique a tensão do termopar de saída:

Se o sensor e o local de medição de tensão estiverem em temperaturas iguais, a tensão de saída do termopar deve ser de aproximadamente zero microvolts (este cenário de teste é geralmente difícil de alcançar). Este teste raramente é necessário, pois a resistência elétrica do termopar deve ser suficiente para um teste.

6. Certifique-se de que o número de série do sensor registre o certificado de calibração

Você deverá verificar duas vezes se o número de série do sensor de fluxo de calor corresponde ao indicado no certificado de calibração. Isso garantirá que você use a sensibilidade correta do sensor apropriada para o seu sensor. O número de série do sensor deve estar localizado em uma etiqueta nos fios.

Montagem/instalação do sensor

A maneira como o sensor de fluxo de calor é montado depende da aplicação para a qual ele está sendo usado. Os melhores resultados são obtidos com a montagem do sensor em superfícies limpas e lisas. O objetivo geral da montagem do HFS é fazer com que o sensor se fixe com força e entre em contato totalmente com a superfície de medição o mais uniformemente possível. Isso reduz a quantidade de resistência de contato térmico entre a superfície de medição e o sensor e, portanto, aumenta a precisão das medições. Recomenda-se o uso de uma das técnicas de montagem a seguir, mas pode ser ajustado de acordo com a configuração do teste.

Método de montagem nº 1: fita adesiva dupla face

A fita dupla face disponível comercialmente é ideal para montagem temporária em superfícies sólidas. Ao usar fita dupla face, certifique-se de que a superfície de medição esteja limpa, cubra a área de montagem desejada com fita dupla face e pressione firmemente e uniformemente o sensor na fita. Se estiver usando vários pedaços de fita adesiva dupla face, evite sobrepor a fita em si mesma.

Método de montagem nº 2: cola térmica condutora

A cola térmica condutora pode ser usada para montagem permanente do HFS. Antes de montar, limpe a superfície de medição e a superfície do sensor. Espalhe uma camada fina e uniforme da cola térmica condutora sobre a superfície do sensor. Aplique pressão constante e uniforme ao sensor até que a cola seque. Remover o sensor da superfície após colar, provavelmente destruirá o sensor.

Método de montagem nº 3: pasta térmica condutora

A pasta térmica condutora só é apropriada se o sensor estiver sendo mantido no lugar com uma pressão constante e uniforme enquanto ele estiver fazendo medições. Um exemplo de um cenário de medição apropriado é se o sensor for usado para medições de transferência de calor condutivas enquanto estiver sendo colocado entre duas superfícies que o expulsam e o mantêm no lugar. A pasta térmica condutora pode ser colocada entre o sensor e cada uma das superfícies para minimizar a resistência do contato térmico. Um produto recomendado é o uso de pasta condutora OmegaTherm 201 disponível no Omega. Como alternativa, até creme dental foi usado quando nada mais estava disponível e funciona bem.

Outro método é aplicar uma fina camada de pasta térmica condutora entre o sensor e a superfície de medição. Em seguida, use uma fita adesiva sobre todo o sensor para mantê-lo pressionado sobre a superfície.

Remoção do sensor das superfícies de medição

A remoção do HFS da superfície de medição só é recomendada se um adesivo temporário, como pasta condutora ou fita dupla face, tiver sido usada para a montagem. É possível que métodos de maior resistência de aderência incluam a integridade do sensor se ele for removido deles.

IMPORTANTE: ao remover o sensor, remova com muito cuidado o lado com os fios com uma mão e descole o lado oposto com a outra mão para evitar dobrar o máximo possível. Uma ligeira curvatura do sensor não afetará seu desempenho, mas deve-se evitar arrancá-lo das superfícies e forçá-lo a dobrar bruscamente

Seção 2: Conversão de medições para fluxo de calor e temperatura

Medição de temperatura do termopar tipo T

As medições de temperatura do termopar podem ser registradas com um medidor termopar capaz de ler termopar tipo T, com compensação de junção fria. (Medidor sugerido: Omega DP41-TC)

Dependência da temperatura do sensor de fluxo de calor HFS

Os sinais de saída dos sensores de fluxo de calor HFS-5 e HFS-6 têm alguma dependência da temperatura do próprio sensor. Essa dependência significa que a sensibilidade do sensor muda ligeiramente em temperaturas diferentes. **Os sensores UHFS-09 não experimentam essa dependência; portanto, ignore esta seção se estiver usando este modelo de sensor.**

Cada sensor é calibrado com uma temperatura base do sensor de 25 °C ou 77 °F. A sensibilidade nessa temperatura é registrada na folha de calibração fornecida com cada sensor de fluxo de calor individual. Um exemplo da sensibilidade da calibração, S_{Calib} , é mostrado abaixo circulado em vermelho.

Se você estiver usando o sensor de fluxo de calor a uma temperatura diferente de 25 °C ou 77 °F, sugerimos que você ajuste a sensibilidade para compensar a dependência da temperatura usando as etapas a seguir.

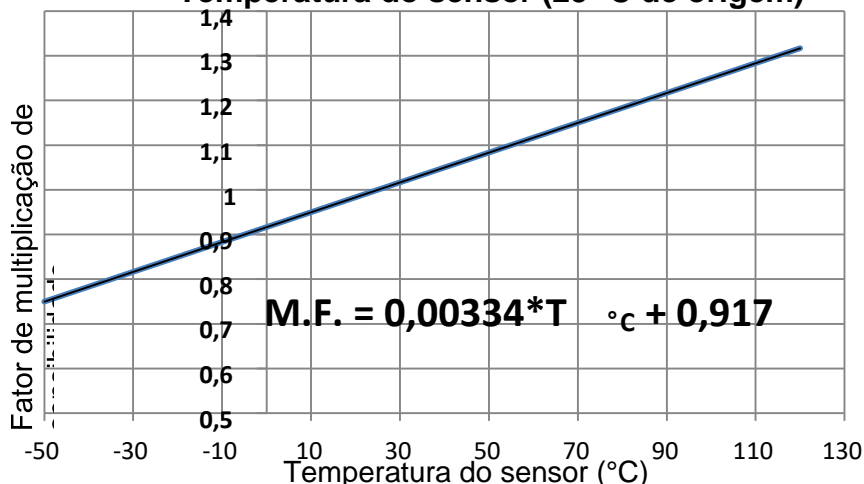
Calibration Test Results

Heat Flux Sensor Sensitivity, S_{Calib}	1.00 ± 0.03 $\mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)$
Sensor Temperature at Time of Calibration, T_{Calib}	25.0 °C
Heat Flux at Time of Calibration	3000 W/m^2

Faça a medição de temperatura do sensor, T_{c} , em cada medição no tempo, juntamente com a sensibilidade calibrada, S_{Calib} , para determinar a sensibilidade do fluxo de calor nessa temperatura específica, $S_{\text{@ } T_{\text{c}}}$.

$$\text{@ } ^\circ\text{C} = \dots = [0,00334 * ^\circ\text{C} + 0,917] *$$

Fator de multiplicação de sensibilidade versus Temperatura do sensor (25 °C de origem)



Cálculo do fluxo de calor

Usando as medições de tensão CC obtidas dos fios do fluxo de calor (branco e vermelho), os valores do fluxo de calor podem ser calculados usando a sensibilidade ajustada para esse sensor específico e a equação a seguir.

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{°C}}}$$

Onde q'' é o fluxo de calor absorvido pelo sensor, $\Delta V_{q''}$ é a tensão do fluxo de calor de saída do sensor HFS e $S_{@T_{°C}}$ é a sensibilidade do sensor que foi ajustada de acordo com a temperatura do sensor nesse momento específico.

Por exemplo: um valor de tensão de 1,80 mV é medido em todos os fios de fluxo de calor e a sensibilidade calibrada do sensor é especificada para igual a 0,90 $\mu\text{V}/(\text{L}/\text{m}^2)$, e a temperatura do sensor é medida para ser igual a 30 °C dos condutores do termopar naquele momento. O cálculo do fluxo de calor é o seguinte.

1. Primeiro, ajuste a sensibilidade de acordo com a temperatura medida do sensor do termopar tipo T integrado do sensor. (Ignore esta etapa se estiver usando o sensor UHFS-09).

$$S_{@T_{°C}} = [0.00334 * T_{°C} + 0.917] * S_{Calib}$$

$$S_{@T_{°C}} = [0.00334 * (30°C) + 0.917] * 0.90 \left(\frac{\mu\text{V}}{(\text{W}/\text{m}^2)} \right)$$

$$S_{@T_{°C}} = 0.915 \left(\frac{\mu\text{V}}{(\text{W}/\text{m}^2)} \right)$$

2. Em seguida, calcule o fluxo de calor usando a sensibilidade ajustada e a medição de tensão nos fios do fluxo de calor.

$$q'' = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{°C}}} = \frac{1800 \mu\text{V}}{0.915 \mu\text{V}/(\text{W}/\text{m}^2)} = 1967 \text{ W}/\text{m}^2$$

Deve-se observar que tanto as tensões positivas quanto negativas podem ser medidas pelo sensor HFS. Um valor de tensão negativa em comparação com uma tensão positiva significa que o fluxo de calor está se movendo na direção oposta.

Determinação da sensibilidade do sensor de fluxo de calor

A sensibilidade do sensor é a tensão de saída induzida pelo sensor dividido pelo fluxo de calor conduzido pelo sensor.

$$\text{Sensitivity} = S = \frac{\Delta V}{q''_{\text{absorbed}}}$$

Usando um equipamento de calibração personalizado, o fluxo de calor pode ser calculado usando o diferencial de temperatura medido e uma resistência térmica conhecida do material de Referência Padrão.

A sensibilidade do sensor pode ser determinada dividindo-se a tensão de saída do sensor pelo fluxo de calor.

$$q'' = \frac{\Delta T}{R''_{SRM}} = \frac{\Delta V_{q''}}{S_{@T_{\circ C}}}$$
$$S_{@T_{\circ C}} = \frac{\Delta V}{q''}$$

A sensibilidade pode, então, ser ajustada de acordo com a temperatura.

$$S_{@T_{\circ C}} = [0.00334 * T_{\circ C} + 0.917] * S_{Calib}$$

Onde $T_{\circ C}$ é a temperatura do sensor em graus Celsius e S_{Calib} é a sensibilidade calibrada do sensor fornecida na tabela acima.

Seção 4: Conformidades da diretivas

Declaração de conformidade RoHS3

Para Diretiva (UE) 2015/863 do Parlamento Europeu e do Conselho de 4 de junho de 2015 sobre a restrição do uso de determinadas substâncias perigosas em equipamentos elétricos e eletrônicos.

A diretiva 2015/863 define dez (10) substâncias que devem ser restritas. A concentração máxima por peso para cada substância é listada abaixo.

Substância	Concentração máxima¹
Chumbo (Pb)	0,1% ²
Mercúrio (Hg)	0,1%
Cádmio (Cd)	0,01%
Cromo hexavalente (Cr VI)	0,1%
Bifenilos polibromados (PBB)	0,1%
Éteres difenílicos polibromados (PBDE)	0,1%
Bis (2-etilhexil) ftalato (DEHP)	0,1%
Ftalato de benzilo e butilo (BBP)	0,1%
Ftalato de dibutilo (DBP)	0,1%
Ftalato de diisobutil (DIBP)	0,1%

¹Substâncias restritas e valores máximos de concentração tolerados pelo peso em materiais homogêneos

²Isenção 6(a) Chumbo como um elemento de liga em aço para fins de usinagem e em aço galvanizado contendo até 0,35 % de chumbo por peso; Isenção 6(b) Chumbo como um elemento de liga em alumínio contendo até 0,4 % de chumbo por peso; Isenção 6(c) Liga de cobre contendo até 4% de chumbo por peso; e isenção 7(c)-I Componentes elétricos e eletrônicos que contêm chumbo em vidro ou cerâmica diferente da cerâmica dielétrica em capacitores, por exemplo, dispositivos piezoeletrônicos ou em um composto de matriz de vidro ou cerâmica.

Todos os produtos com sensor de fluxo de calor HFS-5, HFS-6 e UHFS-09 terão a conformidade RoHS3 a seguir:

Status RoHS3: Em conformidade

A Conformidade RoHS de qualquer produto designado é baseada em evidências do produtor (fabricante) de que o número de peça está em conformidade com a Diretiva RoHS. Todas as medidas razoáveis foram tomadas para confirmar as declarações dos produtores e outras evidências relacionadas à ausência de substâncias restritas para dar suporte à reclamação de conformidade dos fabricantes. Com base em uma revisão dos registros de fabricação e informações técnicas, pelo que sabemos, este produto não contém nenhuma das substâncias restritas em quantidades que excedam os limites, conforme especificado acima.

Aprovado por: Rande Cherry

Data: 6/1/2019

Declaração de conformidade REACH

Para a Diretiva EC 1907/2006 do Parlamento Europeu e do Conselho de 18 de dezembro de 2006 sobre Registro, Avaliação, Autorização e Restrição de Produtos Químicos (REACH), estabelecendo uma Agência Europeia de Produtos Químicos, Diretriz de Correção 1999/45/EC e Regulamentação do Conselho de Reposição (EEC) nº 793/93 e Regulamentação da Comissão (EC) nº 1488/94, bem como a Diretiva do Conselho 76/769/EEC e as Diretivas de Comissão 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC e 2000/21/EC.

A diretiva define substâncias que devem ser restritas. A lista de candidatos REACH de Substâncias de Preocupação Muito Alta (SVHC) pode ser encontrada em:

http://echa.europa.eu/chem_data/authorisation_process/candidate_list_table_en.asp

Todos os produtos com sensor de fluxo de calor HFS-5, HFS-6 e UHFS-09 terão a conformidade REACH a seguir.

Status REACH: Em conformidade

A Conformidade REACH de qualquer produto designado é baseada em evidências do produtor (fabricante) de que o número de peça está em conformidade com a Diretiva REACH. Todas as medidas razoáveis foram tomadas para confirmar as declarações dos produtores e outras evidências relacionadas à ausência de substâncias restritas para dar suporte à reclamação de conformidade dos fabricantes. Com base em uma revisão dos registros de fabricação e informações técnicas, pelo que sabemos, este produto não contém nenhuma das substâncias restritas em quantidades que excedam os limites, conforme especificado acima.

Aprovado por: Rande Cherry

Data: 7/19/2019

DECLARAÇÃO DE CONFORMIDADE DA UE

Nome da empresa: Omega Engineering Inc.

Endereço: 800 Connecticut Ave, Suite 5N01, Norwalk, CT 06854

Número de telefone: [1-888-826-6342](tel:1-888-826-6342)

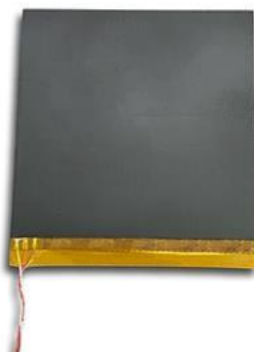
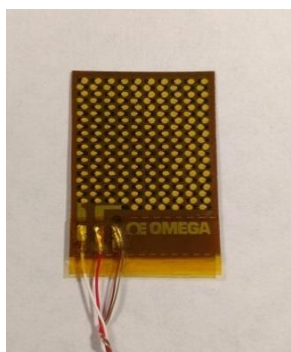
Endereço de e-mail: info@omega.com



Declaramos que o DoC é emitido sob exclusiva responsabilidade e pertence ao produto a seguir:

Objetos da declaração

Número do modelo do produto: HFS-5 e HFS-6 e UHFS-09



O objeto da declaração descrita acima está em conformidade com a legislação de harmonização da União relevante:

Diretiva 2014/32/UE

As normas harmonizadas e especificações técnicas a seguir foram aplicadas:

RoHS 2015/863	4 Junho 2015
EN50581:2012	1 Novembro 2012

Assinado por e em nome de:

Omega Engineering Inc. 18/07/2019

Rande Cherry CTO