

Strain gages óticos e elétricos: uma comparação

Thomas Kleckers; Bernd Günther

HBM

Publicado em <http://www.hbm.pt/custserv/SEURLF/ASP/SFS/ID.802/MM.4,101,180/SFE/techarticles.htm>
ID-Nummer: 802_pt

1. Introdução

Strain gages elétricos (DMS) prestam hoje o seu serviço confiavelmente em inúmeras aplicações. Desenvolvidos há mais de 50 anos, os strain gages são hoje um produto maduro e estão disponíveis nas mais variadas versões.

Para determinadas aplicações – por exemplo, em testes com alto número de ciclos de carga, em ambientes altamente explosivos ou sob cargas eletromagnéticas – os **strain gages óticos** se desenvolveram recentemente como uma interessante complementação para a clássica Tecnologia-DMS. As vantagens dos DMS óticos nestas aplicações são:

- Insensível a carga eletromagnética (EMV)
- Utilização possível também sob condições altamente explosivas
- Sem falha mecânica do material do sensor (vidro) junto a altas cargas vibratórias
- Pequena massa dos cabos de conexão, pois fibras de vidro são substancialmente mais finas do que cabos de cobre
- Reduzido esforço para conexão, pois um cabo de medição pode unir muitos sensores de diferentes comprimentos de onda de base.

Este artigo oferece uma **comparação orientativa** entre as características de strain gages elétricos e óticos, a fim de que se possa encontrar a solução ótima para a tarefa de medição correspondente.

Considerando que no momento não existe uma diretiva sobre as propriedades de DMS óticos, foi consultada, para a qualificação dos strain gages óticos da firma HBM, a **diretiva para avaliação de strain gages com grade de medição metálica** (VDI/VDE 2635 [1]).

2. Características técnicas em comparação

a. Fator k

O Fator-k é em DMS elétricos definido como

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon$$

R	Resistência de base do strain gage
ΔR	Alteração da resistência junto a deformação gravada na grade
k	Fator-k
ε	Deformação

A alteração da resistência de um DMS elétrico é, fisicamente, justificada através de dois efeitos [2]:

- Se um condutor metálico se estende, ele fica mais longo e mais fino. Considerações geométricas mostram que o Fator-k aqui constituído fica em torno de 1,6, se o coeficiente de Poisson do material da grade de medição totalizar 0,3
- Também a resistência específica do material da grade de medição se altera de forma linear com a deformação. Por esta razão, a sensibilidade de deformação de diferentes materiais da grade de medição é variável. O Fator-K que é aqui estabelecido gira em torno de 0,4 até 0,6.

Ambas as porções podem ser somadas. Por conseguinte, o Fator-K em DMS elétricos totaliza aproximadamente 2. Bandas de medição muito pequenas mostram um Fator-K menor, pois, nestes DMS, a porção da resistência elétrica que é alterada junto a deformação é mais reduzida.

Sensores à fibra ótica baseados em rede de Bragg contêm uma grade-Bragg que se compõe de um alto número de pontos de reflexão. Estes estão inscritos nas fibras com uma distância uns dos outros que permanece a mesma. Deformações registradas alteram esta distância. O comprimento de onda de luz, que é refletiva com interferência construtiva por estes pontos de reflexão, depende agora da distância destes pontos de reflexão. Isso leva à alteração do comprimento de onda do pico de reflexão na ocorrência de deformação.

Dois efeitos são decisivos para a sensibilidade dos pontos de medição [3]:

- A distância entre pontos de reflexão aumenta junto a deformação. O Fator-k desse efeito é exatamente um, pois, aqui a alteração do comprimento da fibra causa apenas uma alteração da distância dos pontos de reflexão. O efeito Poisson não tem significado.
- Sob tensão mecânica as fibras dependentes da tensão modificam o índice de refração, e assim, o comprimento da trajetória ótica da luz. Através disso, o Fator-k se torna menor (em cerca de 0,22), de maneira que uma fibra ótica baseada em rede de Bragg apresenta um Fator-k de 0,78.

A mesma fórmula do strain gage elétrico vale para o strain gage ótico:

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = k \cdot \varepsilon$$

Com

λ	Comprimento de onda de base da fibra ótica baseada em rede de Bragg
$\Delta\lambda$	Alteração do comprimento de onda junto a deformação registrada na grade
k	Fator-k
ε	Deformação

Sensores à fibra ótica baseados em rede de Bragg apresentam uma espessura de camada maior que strain gages elétricos. Deste modo, ocorre na medição de deformação de flexão em componentes finos um erro de medição que não pode ser desconsiderado, mas que, não obstante, é muito fácil de ser corrigido:

$$\varepsilon_{OF} = \frac{0,5 \cdot h}{0,5 \cdot h + d} \cdot \varepsilon_{Anz}$$

Mit

ε_{OF}	Deformação na superfície do componente
ε_{Anz}	Deformação medida pela fibra
h	Rigidez do componente
d	Distância das fibras da superfície do componente

b. Campo de utilização relativo à temperatura

O campo de utilização relativo à temperatura de uma banda de medição é definido como o campo de temperatura dentro do qual os sensores ainda são capazes de medir e as propriedades técnicas dos DMS não se alteram em consequência da temperatura.

Para o programa-HBM é válido:

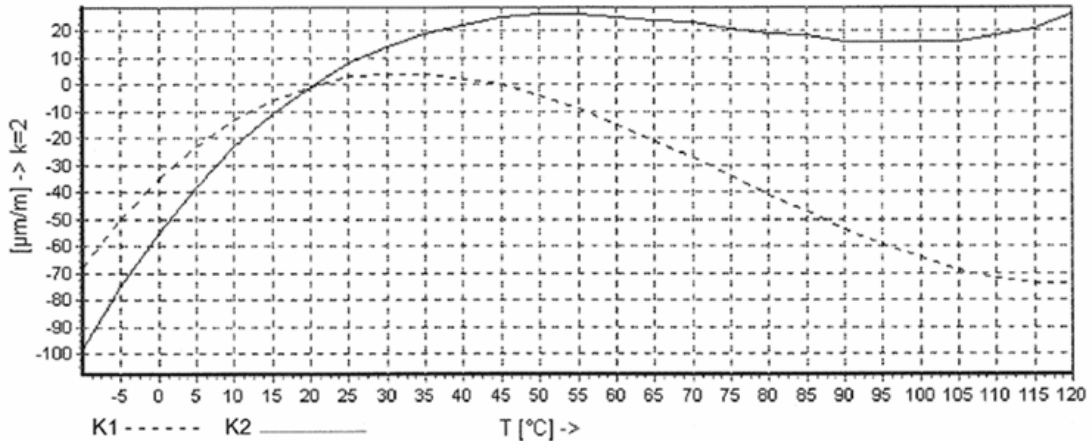
Bandas elétricas de medição oferecem aqui um campo de -200°C e +200°C para strain gages baseados em Constantan como lâmina da grade de medição (Série Y) e -269°C e 250°C para DMS, que são construídos com Lâmina CrNi („Modco“, Série C).

As **bandas de medição óticas** da HBM são utilizáveis no intervalo de 0°C até 80°C. (Posição: Julho 2007)

c. Sinal de saída de temperatura (“Deformação aparente”)

Para os DMS elétricos o sinal de saída de temperatura é ajustável à diferentes materiais, de maneira que apenas um pequeno erro surge na ocorrência de alteração de temperatura. Aqui, a deformação térmica do componente é compensada com o desenvolvimento da resistência específica em dependência da temperatura.

Figura 2.c.1 mostra um típico desenvolvimento de deformação aparente de um DMS ajustado ao aço ferrítico.



$$\epsilon_s(T) = -35.4 + 2.72 \cdot T - 5.38 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 + 2.37 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 0.0333 \cdot L \cdot (T-20) \mu\text{m/m} \pm 0.3 (\mu\text{m/m}) \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$$

Bild 2.c.1. Sinal de saída térmico de um DMS ajustado termicamente ao objeto de teste

Os DMS óticos não oferecem atualmente nenhuma possibilidade de auto-compensação, de maneira que, diante alteração de temperatura no ponto de medição, também seja exibida, junto com a deformação do componente, a alteração do comprimento de onda do pico de reflexão. A alteração do comprimento de onda ocorre em decorrência da alteração do índice de refração com a temperatura. Essa porção totaliza aproximadamente 8μm/m/K.

Figura 2.c.2 mostra comparativamente o sinal de saída térmico na instalação de um DMS ótico em vidro de quartzo, aço e alumínio em comparação com um DMS elétrico ajustado ao objeto de medição.

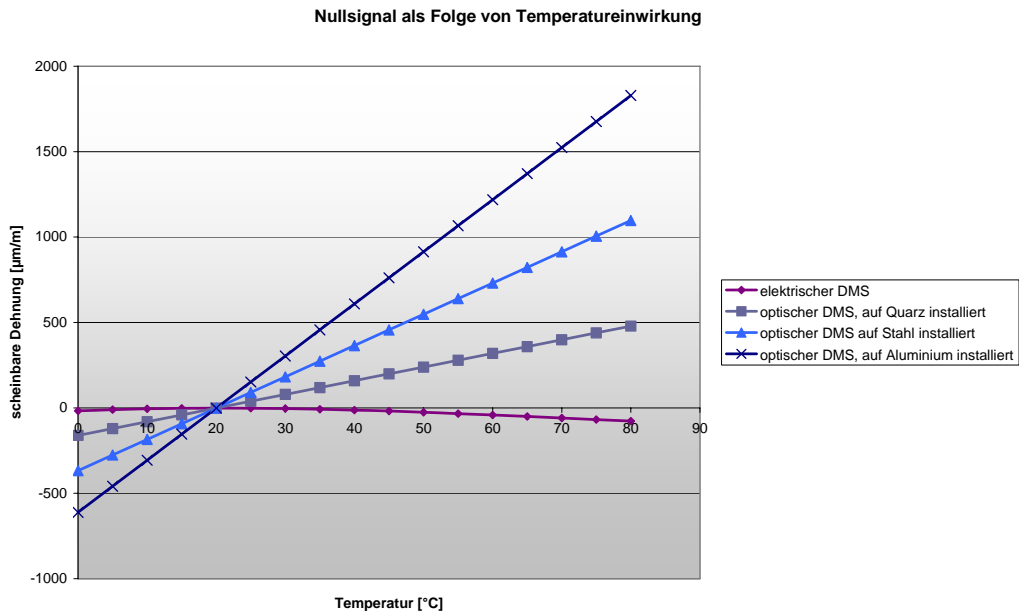


Bild 2.c.2. Comparação do sinal de saída de temperatura de DMS óticos e elétricos. Para os óticos, diferentes condições de instalação

A forte dependência de temperatura do ponto zero dos DMS óticos requerem geralmente uma compensação que possa ser realizada ou através de medição de temperatura ou também através da utilização de pontos de medição de compensação de temperatura passivos. A reprodutibilidade da curva de temperatura dos DMS ótico é ótima.

d. Comportamento à fadiga

A capacidade de alternância de carga contínua dos DMS óticos da firma HBM foi medida em um campo constante de deformação com uma deformação alternada de $\pm 1000 \mu\text{m/m}$. Depois de 10^7 ciclos de carga não foi constatada nenhuma mudança das propriedades de medição ou do pico de reflexão, o que significa que sensibilidade e comprimento de onda de base não sofreram alterações.

Os DMS elétricos atingem resultados semelhantes, mas produzem uma alteração irreversível do ponto zero, que se encontra no campo de aproximadamente $10 \mu\text{m/m}$ nas melhores bandas de medição.

Para os DMS óticos da HBM são utilizadas torres de estiramento de fibras, que, comparadas com DMS elétricos, apresentam uma capacidade de carga de pico substancialmente maior e uma maior capacidade de carga alternada. Segundo pesquisas realizadas [3] o sensor à fibra ótica baseado em rede de Bragg - da torre de estiramento - é praticamente indestrutível diante de efeitos de fadiga junto a deformações habituais ao redor de $\pm 2000 \mu\text{m/m}$.

e. Deformabilidade máxima

A máxima deformabilidade foi determinada de forma semelhante à dos DMS elétricos. As peças de teste foram expostas à uma deformação de flexão que foi monitorada através de um medidor de deslocamento. Para DMS elétricos a deformação máxima é alcançada quando o desvio do sinal de medição (convertido em deformação) da deformação determinada difere em mais de 5% da deformação determinada.

Para DMS ótico este procedimento não é aplicável, pois a determinação de quais picos de reflexão ainda são avaliáveis depende de algoritmo aplicado de avaliação. Por isso, para os DMS óticos da firma HBM a deformação é indicada como máxima, quando junto a ela o pico ainda seja claro. (Pico principal 4 dB sobre Pico secundário)

Figura 2.e.1 mostra um espectro de 4 sensores diante de um nível de deformação de 0,5%.

DMS elétricos atingem, de acordo com a forma de construção (HBM Série D), deformações máximas de até 10%.

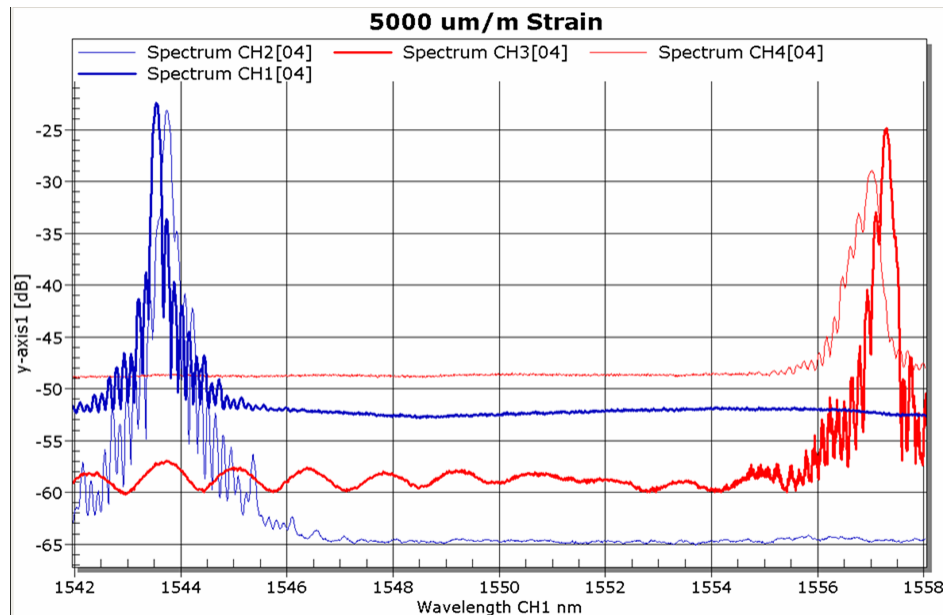


Bild 2.e.1. Picos de reflexão do HBM – Patch diante de deformação de 5000 µm/m. Todos os picos são claros.

f. Menor raio de curvatura

O menor raio de curvatura para os DMS óticos da HBM é de 25mm. Na instalação dos Patches neste raio o ponto de medição é capaz de funcionar. DMS elétricos alcançam 0,3 mm de raio mínimo.

3. Resumo

Com os strain gages óticos a HBM completa a sua oferta para a análise de tensão experimental com uma tecnologia nova e atrativa. Em muitos campos de aplicação (p. ex., diante de carga eletromagnética, sob condições altamente explosivas ou com alto número de alternância de cargas) os strain gages óticos constituem uma ótima alternativa de alta performance.

Além disso, os strain gages óticos patenteados se deixam instalar do mesmo modo dos strain gages elétricos – um ponto a mais, que torna mais fácil a decisão entre as duas tecnologias.

Resumidamente, são estes os argumentos a favor da escolha de um strain gage ótico:

1. Medir com alto número de alternância de cargas: Mesmo em materiais com altas deformações, strain gages óticos possibilitam testes de desgaste com alto número de alternância de cargas (comportamento à fadiga).
2. Apto também diante de difíceis condições operacionais e ambientais: Strain gages óticos podem ser utilizados até mesmo junto a forte carga eletromagnética ou sob condições altamente explosivas.
3. Multiplexing: Uma fibra, vários pontos de medição. Strain gages óticos proporcionam uma significativa redução de cabeamento. Dentro de uma única fibra de vidro podem ser integrados vários strain gages óticos. Com isso, também a cadeia de medição ótica se adapta às demandas individuais em uma determinada aplicação.
4. Reduzido peso das conexões. Multiplexing e as leves fibras de vidro dos strain gage óticos propiciam uma substancial redução do peso das conexões. Com isso, o que se constata é

uma influência muito pequena do peso próprio das conexões sobre a resultado de medição. (em comparação com o cabeamento dos DMS elétricos).

4. Referências de literatura

- [1] VDI/VDE 2635 Dehnungsmessstreifen mit elektrischem Messgitter, Kenngrößen und Prüfbedingungen
- [2] Dr. Stephan Keil. „Beanspruchungsanalyse mit Dehnungsmessstreifen“ Cuneus – Verlag 1995
- [3] Michael Trutzel. „Dehnungsermittlung mit faseroptischen Bragg-Gitter-Sensoren“ Dissertation von der Fakultät IV der techn. Universität Berlin. UB Stuttgart Dissertation 2001/2526, 2001

Posição Julho 2007. Salvo possíveis modificações