



Caratteristiche importanti dei trasduttori di forza

Thomas Kleckers
HBM GmbH, Im Tiefen See 45, 64293 Darmstadt - Germany
Email: thomas.kleckers@hbm.com

Come funzionano i trasduttori di forza basati sugli estensimetri?

I trasduttori di forza ad estensimetri posseggono un cosiddetto elemento elastico o corpo di carico che riceve le forze da misurare.

L'elemento elastico viene deformato e sviluppa una deformazione sulla sua superficie. Esso ha il compito di convertire le forze da misurare in deformazioni che siano il più possibile ripetibili e lineari. La scelta del materiale e della struttura dell'elemento elastico determina molte delle proprietà del trasduttore di forza.

L'estensimetro (ER) è l'effettivo elemento sensore. Gli estensimetri consistono in un supporto isolante, la cosiddetta base, su cui è installata una griglia di misura. Gli estensimetri vengono applicati in zone idonee dell'elemento elastico. Solitamente vengono impiegati quattro estensimetri; due dei quali vengono installati in modo tale che si allungino sotto l'azione della forza applicata mentre gli altri due si accorciano.

I quattro estensimetri sono collegati insieme formando un ponte di Wheatstone. Come sotto mostrato, il ponte di Wheatstone è alimentato da una tensione di eccitazione. Allorché i quattro ER sono deformati in differenti direzioni, cioè due vengono accorciati e due vengono allungati, viene prodotta una tensione di uscita. Ciò si verifica quando una deformazione è applicata agli estensimetri. Gli estensimetri posizionati in modo contrapposto uno all'altro devono essere caricati uniformemente. Quando la resistenza di tutti gli estensimetri varia nella medesima direzione e della stessa entità, non viene prodotto alcun segnale di uscita.

Pertanto:

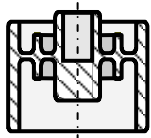
$$\frac{U_a}{U_0} = \frac{k}{4} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)$$

U_a = Tensione di uscita

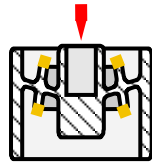
U₀ = Tensione di alimentazione

k = Fattore k dell'ER (sensibilità dell'estensimetro)

ε = Deformazione degli estensimetri



Elemento elastico



La forza da misurare è provocata dalla deformazione dell'elemento elastico. Gli estensimetri convertono la deformazione in una variazione di resistenza.



Il ponte di Wheatstone consente di misurare minime variazioni di resistenza sotto forma di tensioni.

Principio operativo del trasduttore di forza ad estensimetri, p. es. trasduttore a torsione anulare (tipo: C18).

Il segnale di uscita varia in funzione della variazione di resistenza degli estensimetri. Essendo la deformazione proporzionale alla forza applicata, e la variazione della resistenza degli estensimetri dipendente linearmente dalla deformazione risultante, è anche lineare la relazione fra il segnale di uscita e la forza da misurare.

Questo principio è stato provato e collaudato milioni di volte ed offre molteplici vantaggi. I vantaggi principali a colpo d'occhio sono:

- Quando le resistenze di tutti gli estensimetri variano nella stessa direzione e della medesima entità, non viene prodotto alcun segnale di uscita. Ciò consente di compensare molte influenze parassitarie quali, ad esempio, la dipendenza dalla temperatura del punto di zero e gli effetti del momento flettente o delle forze laterali (vedere più avanti).
- Il principio di misura permette di costruire trasduttori di forza estremamente precisi ed a costo relativamente moderato.
- La forza nominale del trasduttore è determinata esclusivamente dalla rigidità dell'elemento elastico. La HBM offre trasduttori con forze nominali che spaziano da 10 N a 5 MN.

1. Caratteristiche generali

Forza nominale (F_{nom})

La forza nominale è quella per cui il trasduttore è caricato al 100 percento. Tutte le specifiche del trasduttore sono valide per questo campo di forza. Tenere presente che deve essere considerato anche il carico di tara, dovuti ad esempio al peso degli accessori di montaggio, poiché esso utilizza una parte del carico nominale. Nel caso di carichi dinamici, è essenziale considerare la banda di oscillazione del carico del trasduttore.

Sensibilità (c)

La sensibilità indica il segnale di uscita in mV/V che viene prodotto caricando il trasduttore al 100 percento, cioè alla sua forza nominale. Si deve sottrarre qualsiasi segnale di zero. Esempio: Un trasduttore mostri un segnale di zero di -0,1 mV/V. La sensibilità sia 2 mV/V. In questo caso il segnale di uscita alla forza nominale è di 1,9 mV/V.

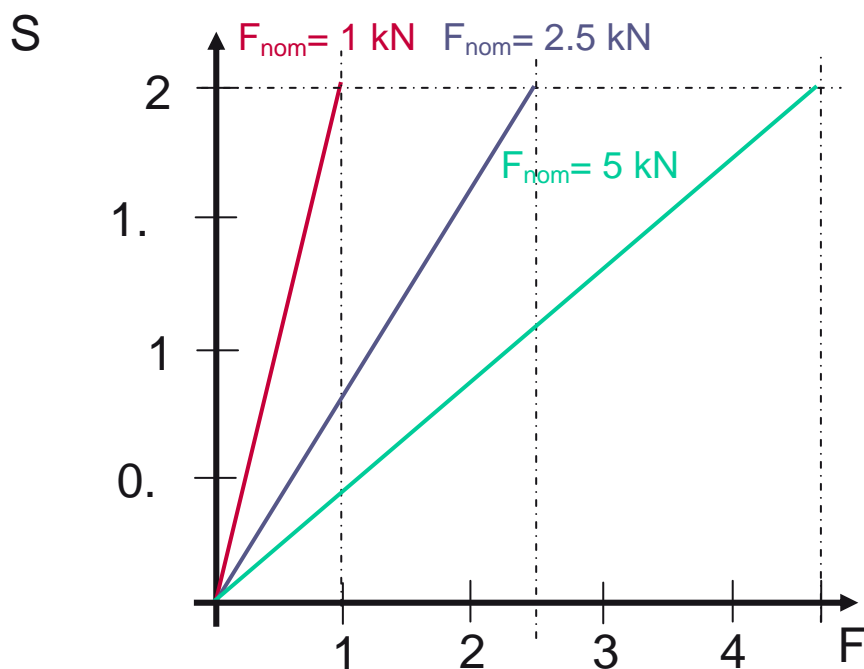
Il segnale di uscita di 2 mV/V è molto comune per i trasduttori di forza. Come sopra descritto, i trasduttori di forza basati sugli estensimetri necessitano di una tensione di alimentazione fornita dall'amplificatore (tensione di eccitazione). Una sensibilità di 2 mV/V significa che il trasduttore di forza produce un segnale di uscita di 2 mV se, alimentato ad 1 V, lo si carica alla forza nominale. Con tensione di eccitazione di 5 V, la corrispondente tensione di uscita sarà di 10 mV.

La tensione di uscita del trasduttore di forza si calcola come segue:

$$U = U_0 \cdot C \cdot \frac{F}{F_{nom}}$$

Ove U è la tensione di uscita, U_0 quella di alimentazione, C è la sensibilità, F è la forza applicata ed F_{nom} è la forza nominale del trasduttore. In questa formula si presume che il segnale di zero sia idealmente proprio zero.

Il comportamento del trasduttore è simile quando la forza varia; se il trasduttore dell'esempio è caricato alla metà della sua forza nominale, la sua uscita è di 1 mV/V. Con tensione di eccitazione (alimentazione) di 5 V essa corrisponde pertanto a 5 mV.



Curve caratteristiche di tre trasduttori differenti, con sensibilità di 2 mV/V, ma diverse forze nominali. Minore è la forza nominale, più è ripida la curva caratteristica nel grafico: il trasduttore di forza è più sensibile.

Nei prospetti dati tecnici viene specificata la sensibilità nominale. La sensibilità è valida per tutti i trasduttori di forza di quel tipo e viene data con una tolleranza, la cosiddetta “tolleranza della sensibilità”.

Per tale ragione, ogni trasduttore di forza HBM viene fornito con un certificato del costruttore che specifica l'esatta sensibilità del rispettivo trasduttore.

Consiglio: Per garantire l'accuratezza di misura ottimale, aggiustare sempre l'amplificatore come specificato nel certificato del costruttore o nell'eventuale certificato di taratura. In tal caso, la tolleranza della sensibilità non influenza il calcolo dell'errore.

Il trasduttore può essere ordinato anche con il cosiddetto TEDS. Un piccolo chip contenente le specifiche esatte del certificato del costruttore viene inserito nel trasduttore o nel suo cavo. Gli amplificatori che supportano la caratteristica TEDS possono leggere questi dati ed usarli per la configurazione automatica del trasduttore.

Errore relativo della sensibilità trazione / compressione (d_c)

Per ragioni meccaniche, i trasduttori di forza per carico in trazione e compressione mostrano sovente una piccola variazione della curva caratteristica, a seconda che essi vengano usati per forze di trazione o compressione.

Questo parametro descrive la massima differenza.

Segnale di zero

Il segnale di zero è quello di uscita del trasduttore di forza prima della sua installazione. Quando s'installa il trasduttore di forza, questo segnale cambia a causa del precarico e della massa degli accessori di montaggio.

2. Caratteristiche meccaniche

Deflessione nominale (s_{nom})

Il trasduttore di forza si deforma quando si applica la forza da misurare. La deflessione nominale specifica la deformazione alla forza nominale. Essa è una caratteristica importate perché, insieme alla forza nominale, la deflessione determina la rigidità del trasduttore. La rigidità del trasduttore di forza è cruciale per la sua frequenza di risonanza. Dal punto di vista fisico, è assolutamente consentito comparare un trasduttore di forza ad una molla molto rigida.

Rigidità (c_{ax})

La rigidità di un trasduttore si calcola dalla sua forza nominale F_{nom} e dalla sua deflessione nominale s_{nom} .

$$c_{ax} = \frac{F_{nom}}{s_{nom}}$$

La rigidità è principalmente determinate dal principio strutturale del trasduttore e dalla sua forza nominale. In fisica essa corrisponde alla costante elastica. La rigidità è cruciale per il calcolo della frequenza di risonanza del trasduttore.

Frequenza fondamentale (f_g)

Come qualsiasi sistema massa-molla, anche i trasduttori di forza hanno una frequenza di risonanza. Essa si calcola come segue:

$$f_g = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{c_{ax}}{m}}$$

Ove m è la massa oscillante – da non confondere con la massa del trasduttore. La frequenza di risonanza data nelle specifiche considera solo il trasduttore di forza, non gli accessori di introduzione del carico necessari. Naturalmente, la pertinente frequenza di risonanza dell'intero sistema varia a causa delle masse addizionali installate sul trasduttore, perciò essa è solo un valore consigliato. La struttura dinamica di un allestimento di prova richiede sempre di prendere in considerazione le condizioni di montaggio.

3. Caratteristiche delle forze agenti sul trasduttore di forza

Massima forza operativa (relativa) (F_g)

La massima forza operativa (forza di esercizio) viene specificata sia come valore assoluto in N che in valore relativo in % rispetto alla forza nominale F_{nom} . Il trasduttore non subirà alcun danno se

utilizzato fino alla massima forza operativa, purché non troppo frequentemente. La relazione fra il segnale di uscita e la forza applicata è ripetibile, sebbene con un incremento dell'errore di misura, tuttavia la forza può ancora essere ben valutata.

Cercare sempre di dimensionare il trasduttore di forza in modo che non sia necessario utilizzare la massima forza di esercizio.

Forza limite (relativa) (F_L)

Come per la forza operativa, anche il limite della forza viene comunemente espresso sia come valore relativo in % rispetto alla forza nominale che in valore assoluto espresso in N.

Se viene superata la forza limite, è probabile che il trasduttore non sia più idoneo alle misurazioni.

Spesso il superamento della forza limite provoca la deformazione plastica del trasduttore con conseguente variazione significativa del punto zero. Il trasduttore non può essere più utilizzato e deve essere sostituito, dato che le sue specifiche sono sostanzialmente cambiate. In particolare, sussiste il rischio che i suoi valori limite meccanici, quali la forza di rottura e la banda ammessa di oscillazione delle sollecitazioni si siano notevolmente ridotti.

Forza di rottura (relativa) (F_B)

Viene specificata sia come valore assoluto che valore percentuale. Già il nome di questa caratteristica indica la possibilità che il trasduttore possa spaccarsi.

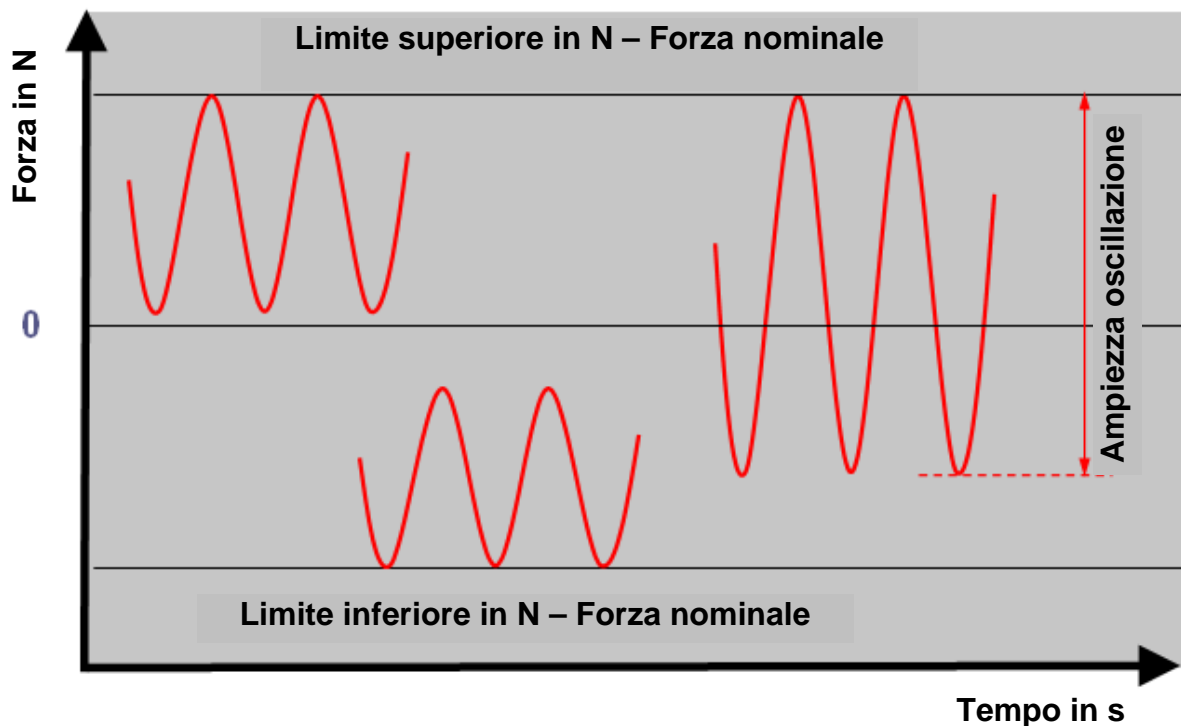
Consiglio: Osservare le direttive specificate nel manuale delle istruzioni di montaggio del trasduttore.

Sollecitazione di oscillazione ammessa (relativa) (F_{rb})

La sollecitazione relativa di oscillazione ammessa specifica la resistenza alla fatica del trasduttore. Questo valore è usualmente espresso quale grandezza relativa rispetto alla forza nominale.

In genere, la sollecitazione di oscillazione ammessa viene espresso come valore picco-picco di ampiezza, cioè la differenza fra la forza minima e quella massima. I trasduttori di forza possono essere sollecitati con quest'ampiezza sia con carico dinamico che carico alternato (passante per lo zero).

Esempio: un trasduttore di forza in trazione e compressione abbia forza nominale di 200 kN e ampiezza di oscillazione ammessa del 100%. In tal caso, il trasduttore può essere caricato fra 0 e 200 kN ed anche fra -100 kN e 100 kN.



Carico

