

Nota tecnica inerziale:

Calcoli di non linearità



La non linearità è la deviazione più grande nell'output dei sensori rispetto al suo intervallo di input specificato quando l'output viene confrontato con una linea t dei minimi quadrati.

In questo esempio, esamineremo la serie LSRP dell'inclinometro e un set di dati tipico per calcolare la sua non linearità.



La serie LSRP di inclinometri è disponibile con fondi scala da $\pm 1,0^\circ$ a $\pm 90,0^\circ$, come mostrato nella tabella seguente dalla scheda tecnica della serie LSRP:

PERFORMANCE

INPUT RANGE (°)	± 1.0	± 3.0	± 14.5	± 30.0	± 90.0
FULL RANGE OUTPUT VDC (FRO $\pm 1\%$) ¹	± 5.0				
NON LINEARITY (%FRO max) ²	0.05	0.05	0.02	0.02	0.05
SCALE FACTOR (V/g, nominal)	286.5	95.5	20.0	10.0	5.0
SCALE FACTOR TEMP. SENSITIVITY (ppm/°C, max)	400	300	100	60	60
BANDWIDTH (-3db, Hz, nominal)	0.5	2.0	15.0	20.0	40.0
TRANSVERSE AXIS MISALIGNMENT (° max)	0.10	0.15	0.25	0.50	1.00
OUTPUT AT 0° TILT (Volts, max)	± 0.10	± 0.04	± 0.02	± 0.02	± 0.02
0° OUTPUT TEMP. SENSITIVITY (Volts/°C, max)	0.005	0.003	0.001	0.0005	0.0003
RESOLUTION & THRESHOLD (μ radian)	1				



Nota tecnica inerziale:

Calcoli di non linearità

In questo esempio esamineremo il modello LSRP-90. Ha una specifica di non linearità pari a 0,05% FRO max*. L'FRO della serie di sensori è ± 5 VDC $\pm 1\%$; ovvero -5 VDC ad angolo di ingresso completo negativo, -90° , a +5 VDC ad angolo di ingresso completo positivo, $+90^\circ$. Ciò implica che l'uscita può potenzialmente deviare fino a 0,005 V o 5 mV. Ma come viene calcolato?

A ogni sensore è corredato un rapporto di prova pubblicato e fornito al cliente. In questo rapporto è incluso un set di dati di linearità misurato dal team di produzione Jewell durante il collaudo finale, prima della spedizione.

I dati sono stati misurati all'uscita dell'unità LSRP su angoli di inclinazione noti nell'intervallo operativo del sensore, utilizzando banchi prova calibrati. La tabella mostra i seguenti dati:

- Angolo di input ($^\circ$): questa è la posizione angolare prevista di ogni test.
- Output misurato (VDC): questa è l'uscita VDC del sensore in ogni posizione angolare testata.

Questi dati vengono quindi elaborati per generare il risultato di non linearità

Linearity Data X-Axis

Input Angle ($^\circ$)	Measured Output (VDC)	Calculated Output (VDC)	Calculated Deviation	Error (% FRO)
-90.000	-5.0178	-5.0189	0.0011	0.011
-72.000	-4.7708	-4.7710	0.0002	0.002
-54.000	-4.0573	-4.0567	-0.0005	-0.005
-36.000	-2.9469	-2.9460	-0.0009	-0.009
-18.000	-1.5483	-1.5475	-0.0007	-0.007
0.000	0.0016	0.0018	-0.0001	-0.001
18.000	1.5507	1.5502	0.0005	0.005
36.000	2.9471	2.9463	0.0008	0.008
54.000	4.0539	4.0533	0.0006	0.006
72.000	4.7629	4.7629	-0.0000	-0.000
90.000	5.0047	5.0056	-0.0009	-0.009

Standard Error X-Axis % FRO = 0.007

Il risultato "Errore standard asse X % FRO" di 0,007 è il risultato di un calcolo di non linearità eseguito utilizzando il set di dati. I passaggi seguenti descriveranno come viene calcolato utilizzando il metodo "minimi quadrati".

- Innanzitutto, sull'angolo di prova viene aggiunto alle unità il disallineamento dell'asse di uscita (Oam). Prima di questo test, Oam era calcolato come $0,096^\circ$. Ad esempio $-90^\circ + 0,096^\circ = -89,904$. La tabella seguente mostra l'angolo "corretto" per ciascuna posizione di prova.



Nota tecnica inerziale:

Calcoli di non linearità

Test Angle	Corrected Angle
-90	-89.904
-72	-71.904
-54	-53.904
-36	-35.904
-18	-17.904
0	0.096
18	18.096
36	36.096
54	54.096
72	72.096
90	90.096

- L'angolo corretto viene quindi utilizzato per calcolare l'output come accelerazione, scalata a g (9,81 m/s²), il che si ottiene semplicemente calcolando il valore del seno di ciascun angolo corretto in °:

Test Angle	Corrected Angle	Measured Output Voltage (VDC)	Acceleration (g's)
-90	-89.904	-5.0178	-1.0000
-72	-71.904	-4.7708	-0.9505
-54	-53.904	-4.0573	-0.8080
-36	-35.904	-2.9469	-0.5864
-18	-17.904	-1.5483	-0.3074
0	0.096	0.0016	0.0017
18	18.096	1.5507	0.3106
36	36.096	2.9471	0.5891
54	54.096	4.0539	0.8100
72	72.096	4.7629	0.9516
90	90.096	5.0047	1.0000

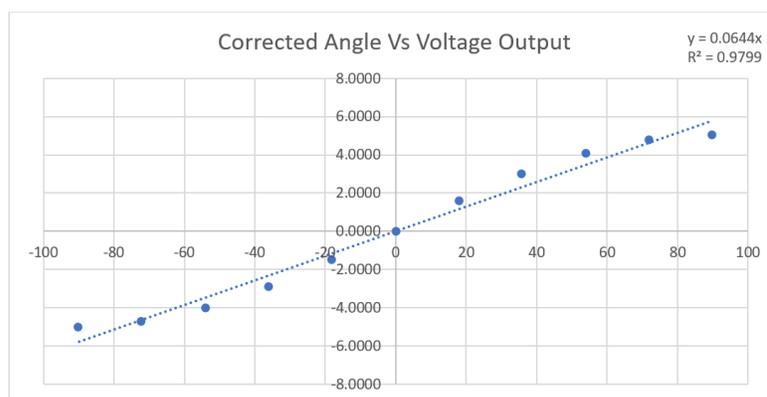
- Il fattore di scala viene quindi calcolato calcolando la pendenza della tensione di uscita misurata rispetto all'accelerazione in g calcolata nel passaggio precedente. Il risultato è un fattore di scala di 5,0123 V/g. Si noti che questo calcolo può essere eseguito utilizzando la funzione SLOPE in Microsoft Excel.
- Calcoliamo quindi l'incertezza della stessa tensione di uscita (VDC) rispetto all'accelerazione, che si traduce in -0,0067.
- L'incertezza e il fattore di scala vengono quindi utilizzati per calcolare la tensione di uscita prevista del sensore moltiplicando l'uscita calcolata (VDC) per il fattore di scala (V/g) e aggiungendo l'incertezza.



Nota tecnica inerziale:

Calcoli di non linearità

- La deviazione in uscita viene quindi calcolata sottraendo all'uscita la tensione calcolata (VDC) con la tensione misurata (VDC).
- L'uscita a fondo scala (FRO, V) viene quindi calcolata con l'intervallo di tensione IE, l'uscita di tensione calcolata a -90° meno l'uscita calcolata a $+90^\circ$. Ciò si traduce in un FRO di 10,0246 V.
- Calcoliamo quindi la % di non linearità a ciascun angolo dividendo la deviazione in uscita di ciascun angolo del FRO:



- Si noti che la non linearità nel rapporto di prova delle unità è la deviazione standard della % di deviazioni allò FRO. Ciò risulta essere 0,0065% FRO, che si arrotonda per eccesso allo 0,007% FRO riportato nel certificato di prova.

Test Angle	Corrected Angle	Measured Output Voltage (VDC)	Acceleration (g's)	Calculated Output (VDC)	Output Deviation (VDC)	Non linearity % FRO (Full Range Output)
-90	-89.904	-5.0178	-1.0000	-5.0189	0.0011	0.0114
-72	-71.904	-4.7708	-0.9505	-4.7710	-0.0002	-0.0023
-54	-53.904	-4.0573	-0.8080	-4.0567	0.0006	0.0055
-36	-35.904	-2.9469	-0.5864	-2.9460	0.0009	0.0089
-18	-17.904	-1.5483	-0.3074	-1.5476	0.0007	0.0075
0	0.096	0.0016	0.0017	0.0017	0.0001	0.0014
18	18.096	1.5507	0.3106	1.5502	-0.0005	-0.0049
36	36.096	2.9471	0.5891	2.9463	-0.0008	-0.0081
54	54.096	4.0539	0.8100	4.0533	-0.0006	-0.0059
72	72.096	4.7629	0.9516	4.7629	0.0000	0.0001
90	90.096	5.0047	1.0000	5.0056	0.0009	0.0093
STD of Non linearity						0.0065

Scale Factor (V/g)	5.0123
Intercept	-0.0067
FRO (Full Range Output)	10.0246
Output Axis misalignment °	0.096

* La non linearità è specificata come deviazione dell'output riferita al valore teorico della funzione seno, indipendentemente dal disallineamento