

สรุปหัวข้อสำคัญ

การสอบเทียบเครื่องมือวัดความดัน
ประเภท **Electrical output**

สุวัฒน์ พนากุลวิจิตร



สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ

National Institute of Metrology (Thailand)

Calibratability [การตรวจสอบเครื่องมือที่ถูกวัด]

ตัวอย่างการตรวจสอบภายนอก

- > ความเสียหายของ เกลีสว sealing surface และช่องต่อกับความดัน
- > การปนเปื้อนและการทำความสะอาด
- > การตรวจสอบก่อนการสอบเทียบตามคู่มือผลิต โดยมีรายละเอียด
 - การเชื่อมต่อต่างๆของระบบท่อของเครื่องมือที่จะถูกวัด
 - ระบบไฟฟ้า
 - การปรับแต่งต่างๆ
 - การ interface
 - แรงบิดที่ใช้ระหว่างการขัน

ข้อแนะนำ

เมื่อมีการซ่อมหรือปรับจะต้องมีการยินยอมระหว่างลูกค้าและห้องปฏิบัติการสอบเทียบก่อน (ISO/IEC 17025)



Calibration item [เครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ]

Type	Standard	Calibration item	Auxiliary Measuring devices
(1) Bourdon tube pressure gauge	Reference or working standard	Bourdon tube pressure gauge	
(2) Electrical pressure gauge	Reference or working standard		
(3) Pressure transmitter with electrical output	Reference or working standard		Auxiliary power Indication



Ambient condition [สภาวะแวดล้อม]

- การสอบเทียบจะทำหลังจากอุณหภูมิของเครื่องมือที่นำมาสอบเทียบ (UUC) กับอุณหภูมิของบรรยากาศถูกทำให้เท่ากันอยู่ในช่วงระหว่าง **18°C ถึง 28°C** คงที่อยู่ใน **± 1 °C**

(BS EN 837-1 หรือ EM/cg/03.01/p = ± 2 °C)

- การ warm-up เครื่องมือให้เป็นไปตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต หรือประสบการณ์ของผู้ทำการสอบเทียบ

หมายเหตุ ; ในกรณีที่ใช้ piston pressure gauge (pressure balance) ค่าความหนาแน่นของอากาศอาจจะมีผลกระทบกับผลการสอบเทียบ ดังนั้นจะต้องวัดความดันบรรยากาศและความชื้นของอากาศเพิ่มด้วย

Calibration method [วิธีการสอบเทียบ] (cont.)

Table 1: Calibration sequences [การแบ่งกลุ่มการสอบเทียบ]

Calibration sequence	Measurement uncertainty aimed at, in % of the measurement Span	Number of Measurement points	Number of Preloading	Load change + waiting time	Waiting time at upper limit of measurement range	Number of Measurement series	
						up	down
	(*)	With zero up/down		(**) seconds	(***) minutes		
A	< 0.1	9	3	> 30	2	2	2
B	0.1 ... 0.6	9	2	> 30	2	2	1
C	> 0.6	5	1	> 30	2	1	1

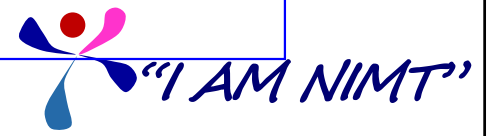
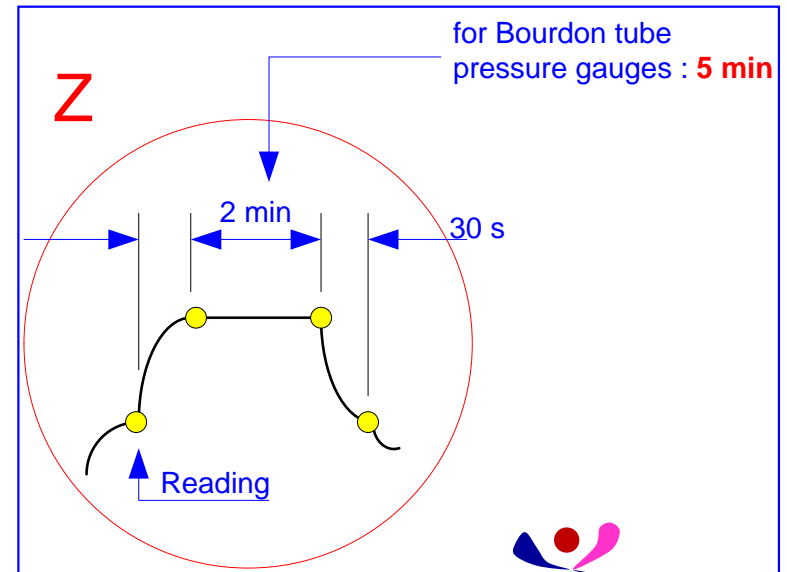
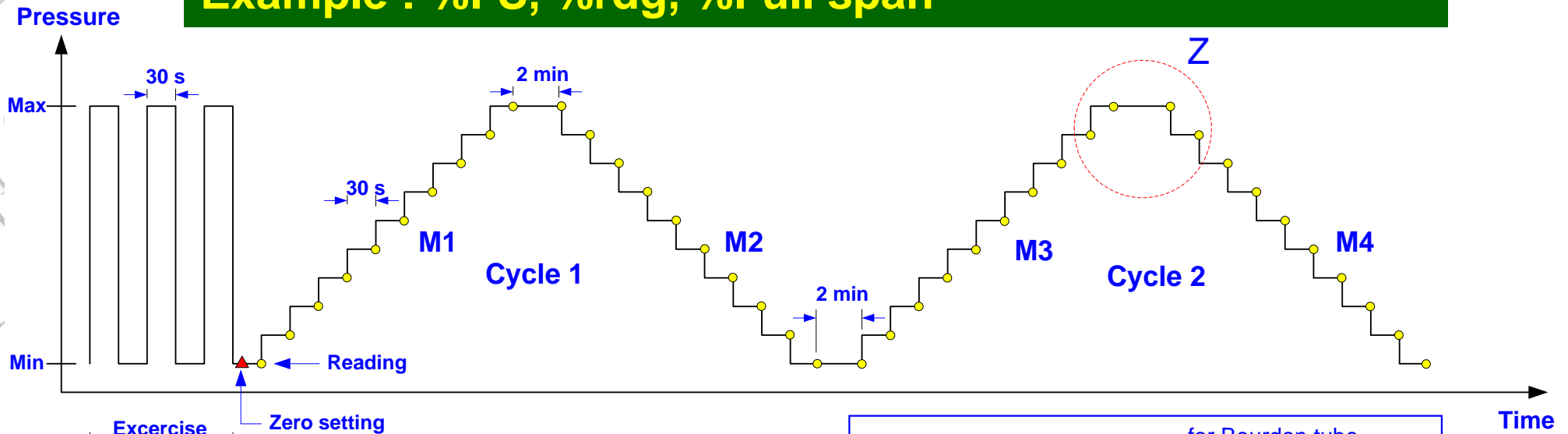
อ้างอิงถึงค่า Accuracy ที่ออกให้โดยโรงงานผู้ผลิต

หรือรองจนกว่า ค่าที่ต้องการอ่านนี้



Calibration Sequences

Sequences A : (Accuracy < 0.1% of measurement span)
Example : %FS, %rdg, %Full span

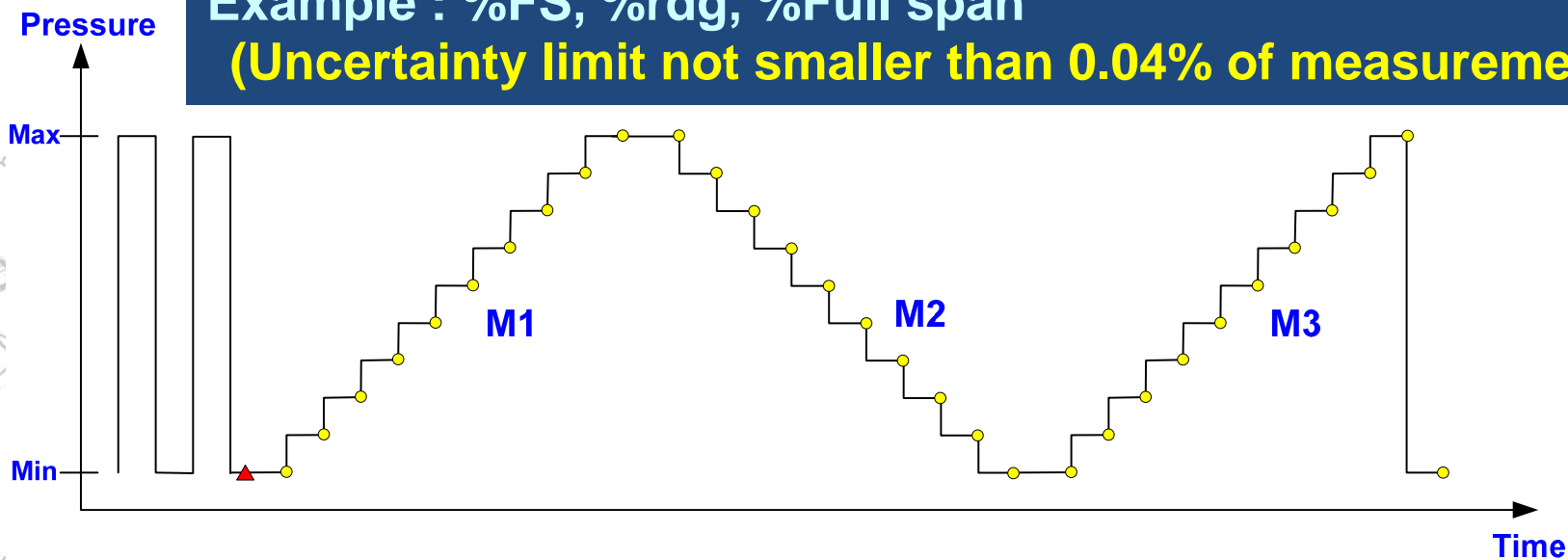


Calibration Sequences

Sequences B : Accuracy (0.1% – 0.6 % of measurement span)

Example : %FS, %rdg, %Full span

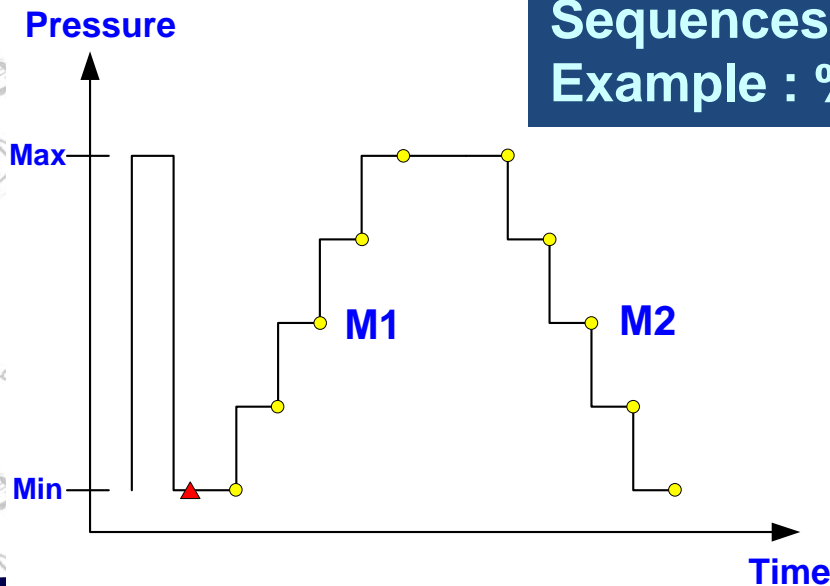
(Uncertainty limit not smaller than 0.04% of measurement span)



Sequences C : Accuracy >0.6 % of measurement span

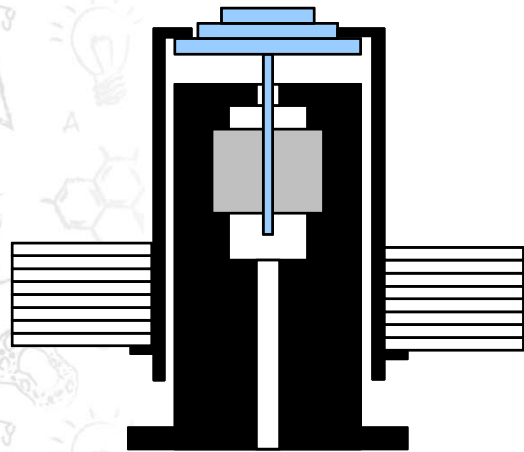
Example : %FS, %rdg, %Full span

(Uncertainty limit not smaller than 0.30% of measurement span)

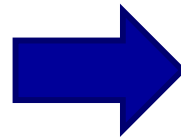


Calibration method [วิธีการสอบเทียบ]

กำหนดค่าความดันมาตรฐานก่อน แล้วป้อนให้ UUC แล้วจึงอ่านค่าของสัญญาณไฟฟ้าที่ DMM

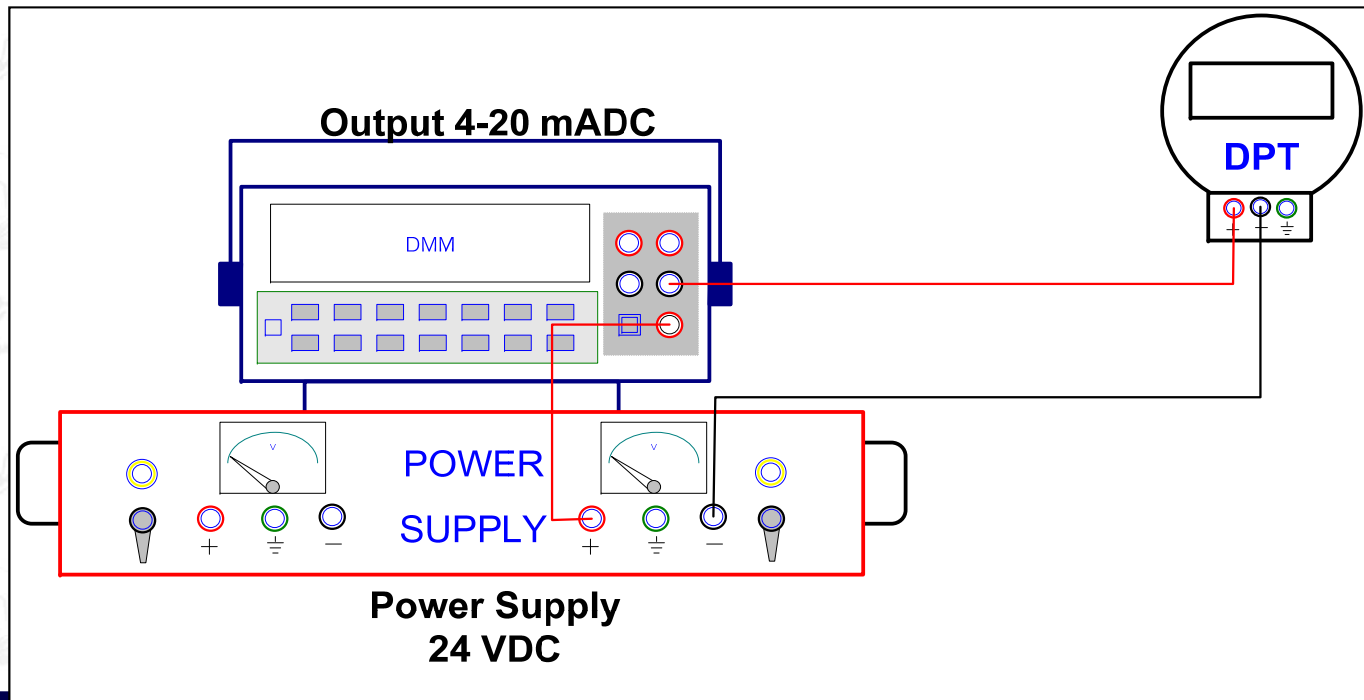
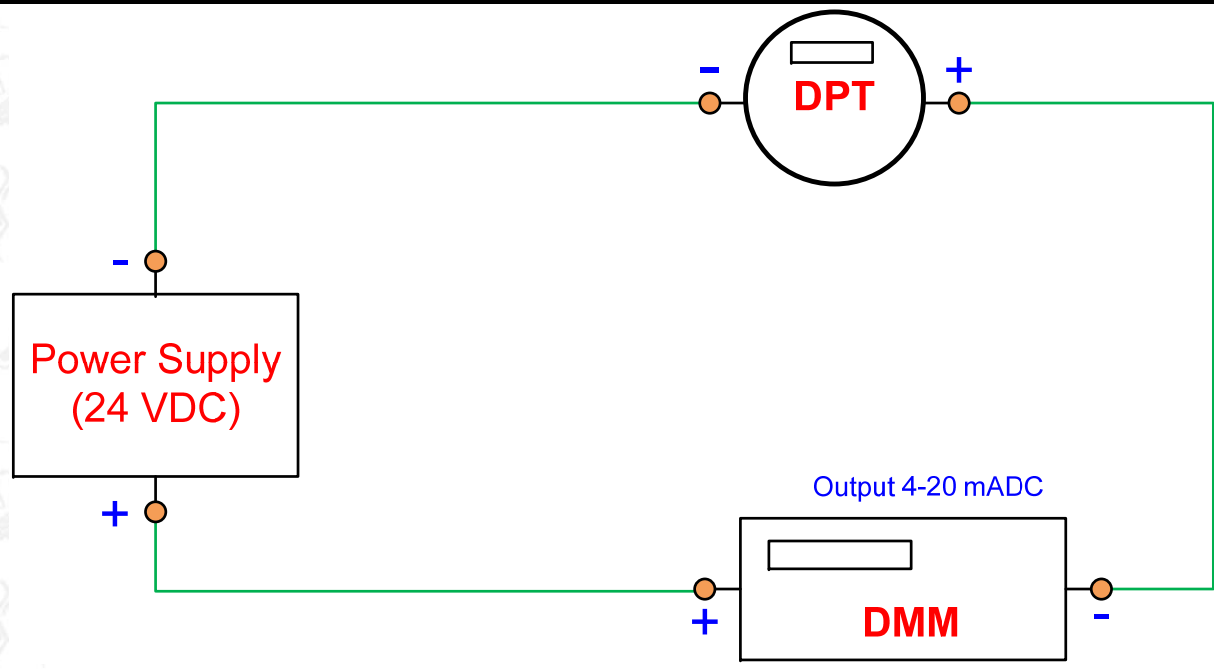


STD



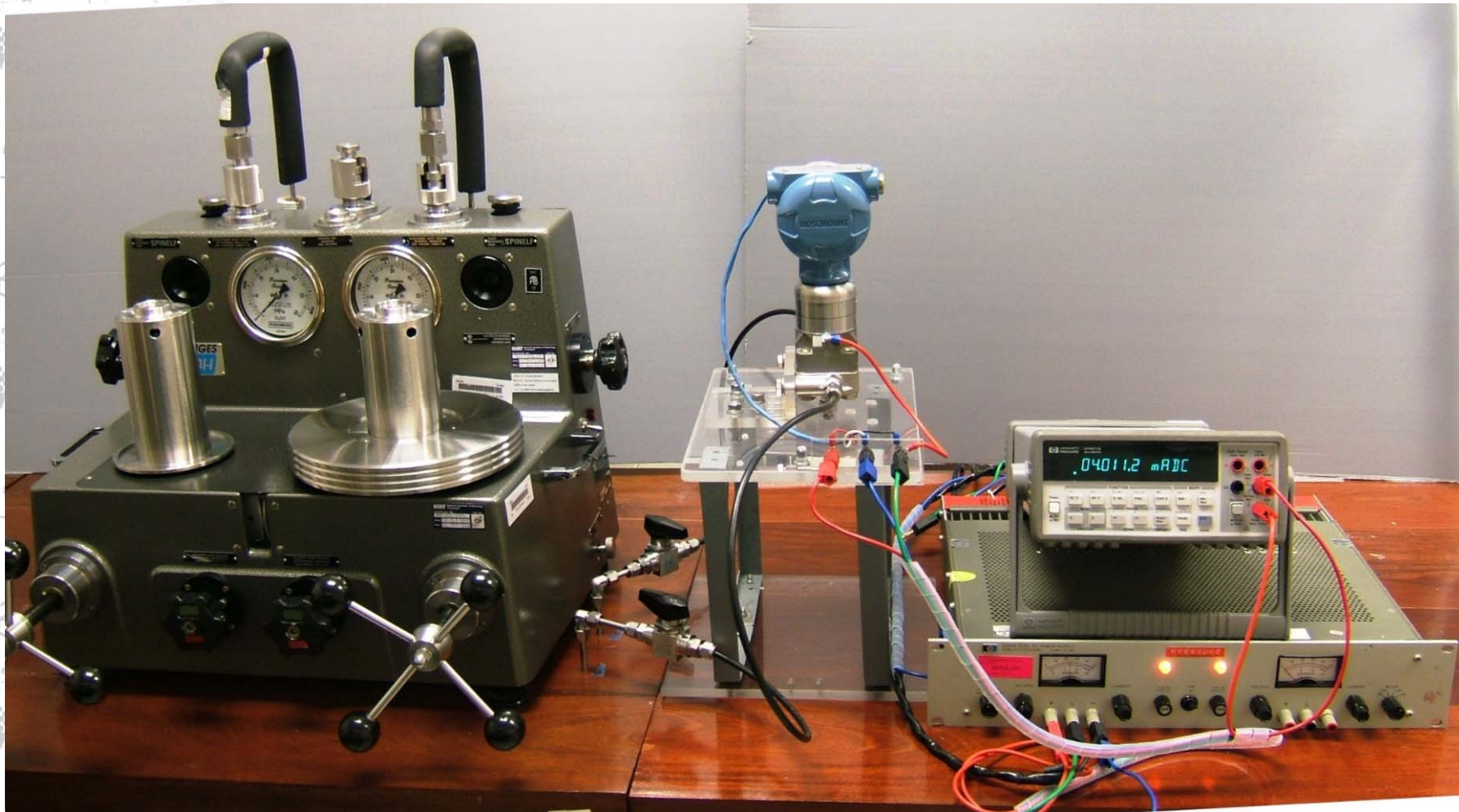
UUC

"I AM NIMT"



"I AM NIMT"

Calibration item [เครื่องมือที่ต้องการสอบเทียบ]



ตัวอย่างบันทึกผลการสอบเทียบ Sequence A

Input pressure (kPa)				UUC Reading (mA)			
M1	M2	M3	M4	M1	M2	M3	M4
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	3.921	3.917	3.914	3.911
0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	5.517	5.512	5.508	5.507
0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	7.114	7.108	7.108	7.104
0.3003	0.3003	0.3003	0.3003	8.717	8.708	8.710	8.701
0.4001	0.4001	0.4001	0.4001	10.311	10.301	10.304	10.284
0.5003	0.5003	0.5003	0.5003	11.912	11.908	11.904	11.905
0.6005	0.6005	0.6005	0.6005	13.507	13.502	13.500	13.500
0.7003	0.7003	0.7003	0.7003	15.108	15.106	15.102	15.102
0.8001	0.8001	0.8001	0.8001	16.704	16.703	16.697	16.699
0.9003	0.9003	0.9003	0.9003	18.305	18.306	18.302	18.304
1.0001	1.0001	1.0001	1.0001	19.899	19.899	19.897	19.897



UUC Reading (mA) → UUC Reading (kPa)

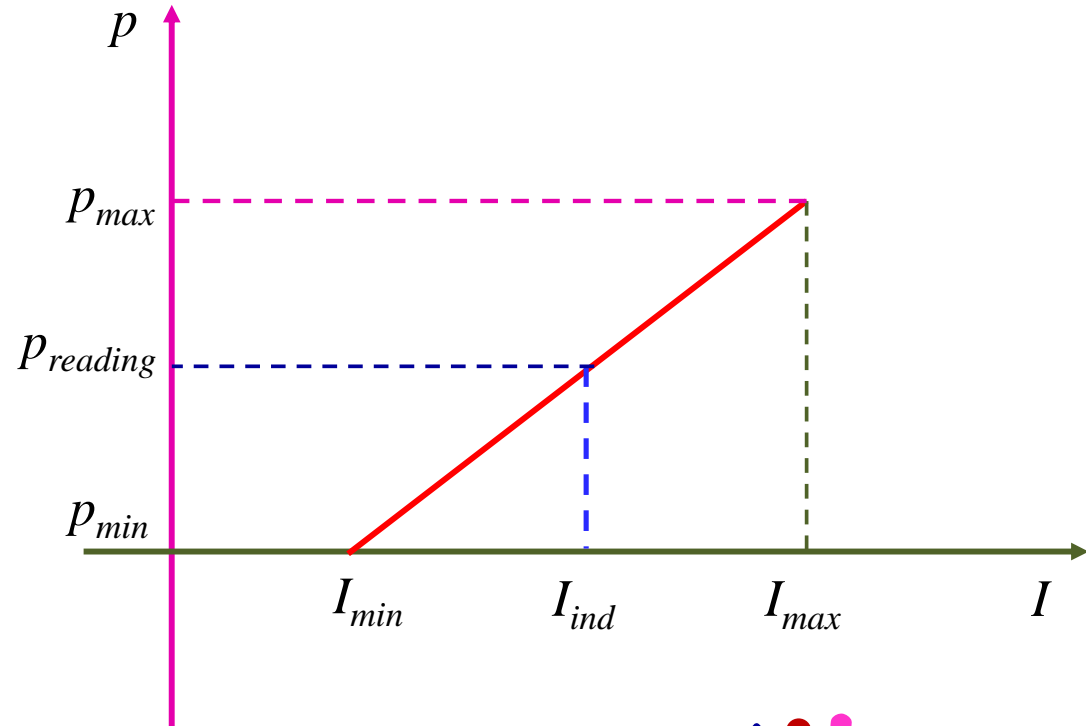
From manufacturer

Output:	4 to 20	mA
Range:	0 to 1	kPa
I_{min} :	4	mA
I_{max} :	20	mA
P_{min} :	0	kPa
P_{max} :	1	kPa

$$P_{reading} = \frac{(P_{max} - P_{min})}{(I_{max} - I_{min})} \cdot (I_{ind} + corr.DMM - I_{min}) + P_{min}$$

From certificate

DMM	Correction value (mA)
Range 10 mA	-0.0010
Range 100 mA	-0.0111



$$\frac{(p_{\max} - p_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})} \cdot (I_{\text{ind}} + \text{corr.DMM} - I_{\min}) + p_{\min}$$



Input pressure (kPa)				UUC Reading (kPa)			
S1	S2	S3	S4	U1	U2	U3	U4
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0050	-0.0053	-0.0054	-0.0056
0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0948	0.0944	0.0942	0.0941
0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.1946	0.1942	0.1942	0.1939
0.3003	0.3003	0.3003	0.3003	0.2948	0.2942	0.2943	0.2938
0.4001	0.4001	0.4001	0.4001	0.3944	0.3938	0.3939	0.3927
0.5003	0.5003	0.5003	0.5003	0.4938	0.4936	0.4933	0.4934
0.6005	0.6005	0.6005	0.6005	0.5935	0.5932	0.5931	0.5931
0.7003	0.7003	0.7003	0.7003	0.6936	0.6934	0.6932	0.6932
0.8001	0.8001	0.8001	0.8001	0.7933	0.7932	0.7929	0.7930
0.9003	0.9003	0.9003	0.9003	0.8934	0.8934	0.8932	0.8933
1.0001	1.0001	1.0001	1.0001	0.9930	0.9930	0.9929	0.9929

"I AM NIMT"



วิธีการ Normalized UUC Reading

Input pressure (kPa)				UUC Reading (kPa)			
S1	S2	S3	S4	U1	U2	U3	U4



Input pressure (kPa)	UUC Reading (kPa)			
S1	U'1	U'2	U'3	U'4

$U'1 = U1$
$U'2 = (S1-S2) + U2$
$U'3 = (S1-S3) + U3$
$U'4 = (S1-S4) + U4$



Input pressure (kPa)	Normalized UUC Reading (kPa)			
	U'1	U'2	U'3	U'4
S1	U'1	U'2	U'3	U'4
0.0000	-0.0050	-0.0053	-0.0054	-0.0056
0.1000	0.0948	0.0944	0.0942	0.0941
0.2000	0.1946	0.1942	0.1942	0.1939
0.3003	0.2948	0.2942	0.2943	0.2938
0.4001	0.3944	0.3938	0.3939	0.3927
0.5003	0.4938	0.4936	0.4933	0.4934
0.6005	0.5935	0.5932	0.5931	0.5931
0.7003	0.6936	0.6934	0.6932	0.6932
0.8001	0.7933	0.7932	0.7929	0.7930
0.9003	0.8934	0.8934	0.8932	0.8933
1.0001	0.9930	0.9930	0.9929	0.9929



การหาค่าของผลการวัด

$$\bar{x}_{up,j} = \frac{1}{l} \sum_m (x_{m,j} - x_{m,0})$$

สำหรับ $m = 1, 3, 5$

$$\bar{x}_{down,j} = \frac{1}{l} \sum_m (x_{m,j} - x_{(m-1),0})$$

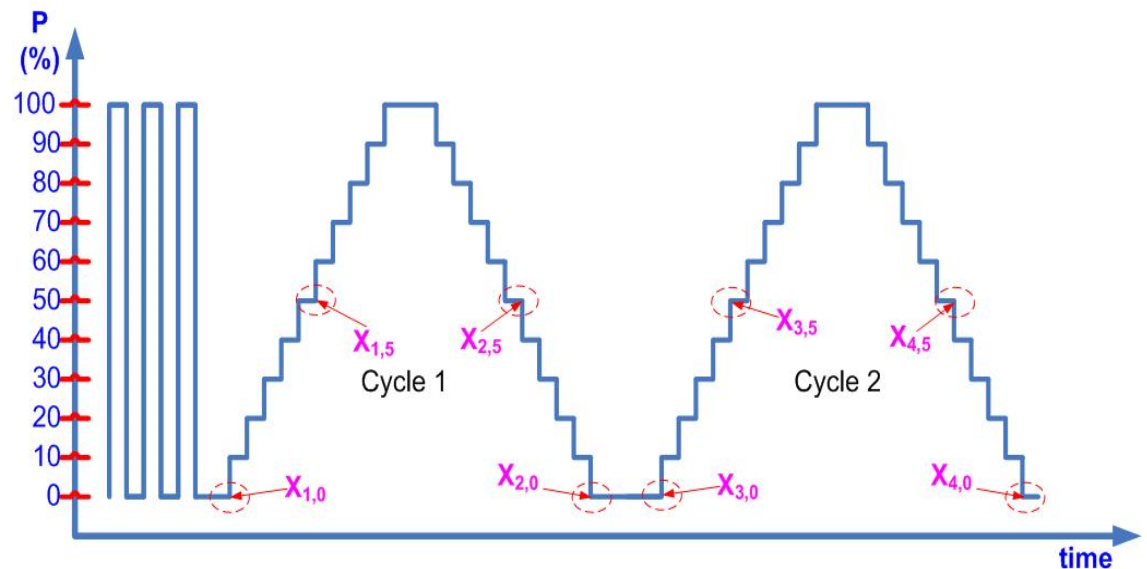
สำหรับ $m = 2, 4, 6$

$$\bar{x}_{mean} = \frac{\bar{x}_{up,j} + \bar{x}_{down,j}}{2}$$

เมื่อ m = measurement series

เมื่อ j = measurement points

เมื่อ l = number of measurement series



Input pressure (kPa)	Normalized UUC Reading-Zero (kPa)	
S1	\bar{X}_{up}	\bar{X}_{down}
0.0000	0.0000	-0.0002
0.1000	0.0997	0.0995
0.2000	0.1996	0.1993
0.3003	0.2998	0.2992
0.4001	0.3994	0.3984
0.5003	0.4988	0.4987
0.6005	0.5985	0.5983
0.7003	0.6986	0.6985
0.8001	0.7983	0.7983
0.9003	0.8985	0.8986
1.0001	0.9982	0.9982



UUC Reading (kPa)
\bar{X}_{mean}
-0.0001
0.0996
0.1994
0.2995
0.3989
0.4987
0.5984
0.6986
0.7983
0.8985
0.9982

 "I AM NIMT"

$$I_{ind} = \frac{(I_{max} - I_{min})}{(P_{max} - P_{min})} \cdot (\text{UUC reading (kPa)} - P_{min}) + I_{min}$$

Input pressure	UUC Reading (I_{ind})		Error
(kPa)	(kPa)	(mA)	(kPa)
0.0000	-0.0001	3.998	-0.0001
0.1000	0.0996	5.594	-0.0004
0.2000	0.1994	7.191	-0.0006
0.3003	0.2995	8.792	-0.0008
0.4001	0.3989	10.383	-0.0012
0.5003	0.4987	11.980	-0.0016
0.6005	0.5984	13.575	-0.0021
0.7003	0.6986	15.177	-0.0017
0.8001	0.7983	16.773	-0.0018
0.9003	0.8985	18.377	-0.0018
1.0001	0.9982	19.970	-0.0019

Output:	4 to 20	mA
Range:	0 to 1	kPa
I_{min} :	4	mA
I_{max} :	20	mA
P_{min} :	0	kPa
P_{max} :	1	kPa



Measurement uncertainty [ความไม่แน่นอนของผลการวัด]

Evaluation model

Model function			$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N)$
Standard uncertainty	$u(x_i)$	standard uncertainty attributed to the input quantity	
	c_i	Sensitivity coefficient	$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}$
	$u_i(y)$	contribution to the standard uncertainty attributed to the result	$u_i(y) = c_i * u(x_i)$
	$u(y)$	Standard uncertainty attributed to the result	$u^2(y) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y)$ $u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N u_i^2(y)}$
Expanded uncertainty	$U(y)$	expanded uncertainty	$U(y) = k * u(y)$
	k	Coverage factor	$k = 2$ (95%)

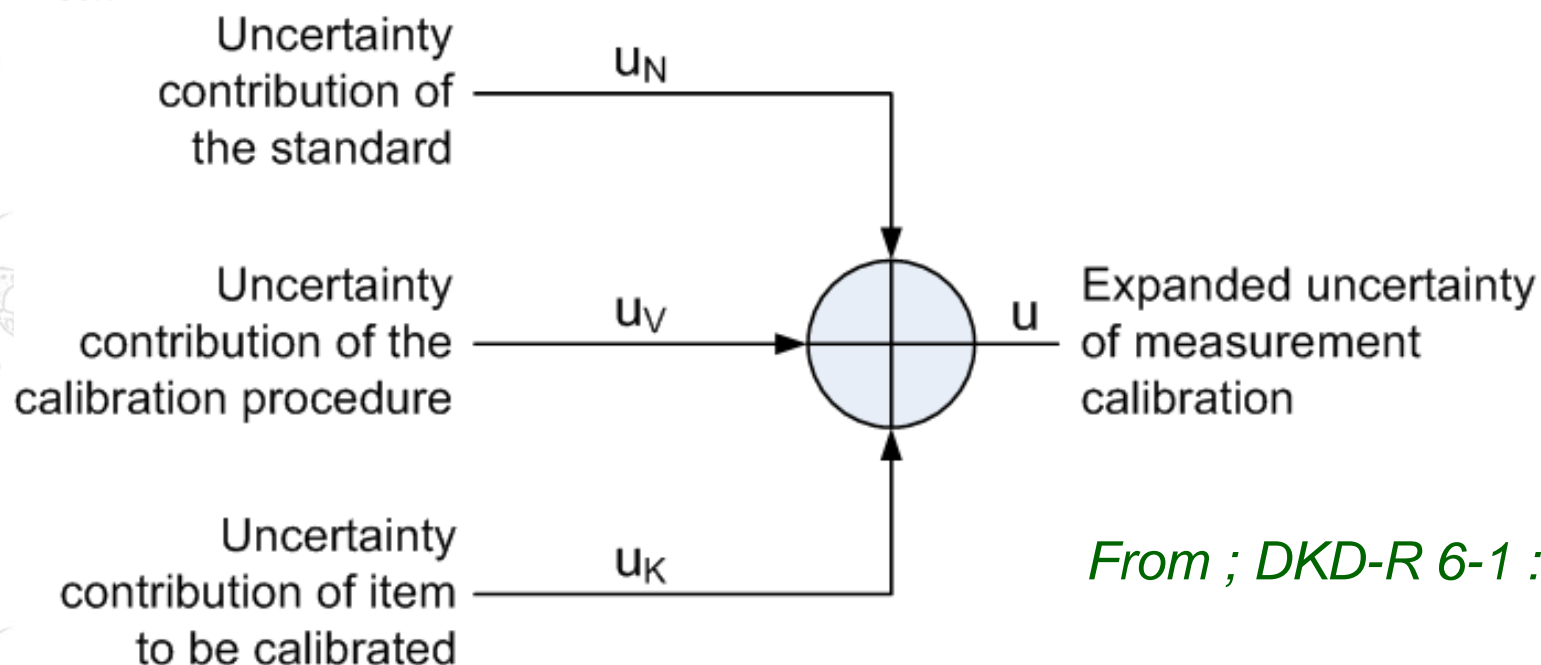


Measurement uncertainty [ความไม่แน่นอนของผลการวัด] (cont.)

ส่วนประกอบของ Uncertainty ของการวัด

เครื่องมือวัดความดันประเภท Bourdon tube, Electrical Pressure

Gauge หรือ Pressure Transmitter



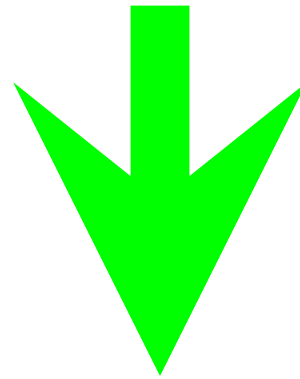
From ; DKD-R 6-1 : 1998

$$U = k * \sqrt{u^2_N + u^2_V + u^2_K}$$



Expanded uncertainty ($k=2$) สำหรับ Electrical output

$$U_{\text{exp}} = k \sqrt{u_{\text{std}}^2 + u_{\text{DMM}}^2 + u_{\text{res(DMM)}}^2 + u_{\text{long(DMM)}}^2 + u_{\Delta\rho,(\Delta h)}^2 + u_{\Delta h}^2 + u_{g,(\Delta h)}^2 + u_{\text{zero}}^2 + u_{\text{repeat}}^2 + u_{\text{repro}}^2 + u_{\text{hys}}^2}$$



$$U_{\text{exp}} = k \sqrt{u_{\text{std}}^2 + u_{\text{DMM}}^2 + u_{\text{res(DMM)}}^2 + u_{\text{long(DMM)}}^2 + u_{\Delta h}^2 + u_{\text{res}}^2 + u_{\text{zero}}^2 + u_{\text{repeat}}^2 + u_{\text{hys}}^2}$$



Uncertainty Components

Electrical output

Uncertainty of Digital Multimeter, u_{DMM}

Uncertainty of DMM, $U(k=2)$	$\pm U_{DMM}$	From Certificate
Probability distribution	Normal	
Uncertainty, $u(x_i)$	$\frac{\text{Uncertainty of DMM}}{2}$	Electrical unit
Sensitivity coefficient, c_i	$\frac{(p_{\max} - p_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$	
Uncertainty contribution, $u(y)$	$c_i * u(x_i)$	Pressure unit

$$u_{DMM} = \frac{\left(\frac{p_{\max} - p_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) \cdot U_{DMM}}{2}$$



Uncertainty Components

Electrical output

Uncertainty of Resolution of Digital Multimeter, $u_{\text{Res, DMM}}$

Half - width of distribution, a	$\pm r / 2$	
Probability distribution	Rectangular	
Uncertainty, $u(x_i)$	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	Electrical unit
Sensitivity coefficient, c_i	$\frac{(p_{\max} - p_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$	
Uncertainty contribution, $u(y)$	$c_i * u(x_i)$	Pressure unit

$$u_{\text{Res, DMM}} = \frac{\left(\frac{p_{\max} - p_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) \cdot r_{\text{DMM}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$$



Uncertainty Components

Electrical output

Uncertainty of Longterm of Digital Multimeter, $u_{\text{long, DMM}}$

Half - width of distribution, a	$\pm L / 2$	
Probability distribution	Rectangular	
Uncertainty, $u(x_i)$	$\frac{a}{\sqrt{3}}$	Electrical unit
Sensitivity coefficient, c_i	$\frac{(p_{\max} - p_{\min})}{(I_{\max} - I_{\min})}$	
Uncertainty contribution, $u(y)$	$c_i * u(x_i)$	Pressure unit

$$u_{\text{long, DMM}} = \frac{\left(\frac{p_{\max} - p_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right) \cdot L_{\text{DMM}}}{2 \cdot \sqrt{3}}$$



Annex F [Recalibration intervals (recommendation)] (p.51)

Piston pressure gauges

5 ปี

Bourdon tube pressure gauges, class $>0.6\%$

2 ปี

Electrical pressure gauges $>0.5\%$

2 ปี

Pressure transmitter with electrical output $>0.5\%$

2 ปี

Bourdon tube pressure gauges $\leq 0.6\%$

1 ปี

Electrical pressure gauges $\leq 0.5\%$

1 ปี

Pressure transmitter with electrical output $\leq 0.5\%$

1 ปี