دورة تدريبية في مجال :

معايرة أجهزة قياس سرعة الدوران

Tachometer calibration

TRAINING ON CALIBRATION OF TACHOMETERS AND RPM SPEED OF ROTATING DEVICES

January 20, 2026

Time and Frequency and Microwave Laboratory

National Institute of Standards (NIS), Egypt

Prepared by:

Dr. Eng. Mohamed El-Hawary

Head of Time and Frequency and Microwave Laboratory

محتويات الدورة(Contents)

- تعريف جهاز التاكوميتر.(Tachometer)
- تصنيفات وأجهزة قياس السرعة المختلفة.
- معايير اختيار الجهاز المناسب.
- طرق المعايرة المعتمدة:

1. طريقة المولد الميكانيكي.
2. طريقة المحاكي الضوئي.
3. معايرة أجهزة RPM باستخدام تاكوميتر ضوئي مُعاير.

ما هو مقياس سرعة الدوران؟

- يُستخدم مقياس سرعة الدوران لقياس السرعة الدورانية. ويمكن استخدامه لقياس سرعة عمودٍ دوار. كما يمكن استخدامه لقياس تدفّق السوائل من خلال تثبيت عجلة مزوّدة بريش مائلة.

تصنيف مقاييس سرعة الدوران

يمكن أيضًا تصنيف **مقاييس سرعة الدوران** على أساس طريقة جمع البيانات إلى:

- النوع التلامسي.
- النوع غير التلامسي.

كما يمكن تصنيفها على أساس **تقنية القياس** إلى:

- تقنية القياس المعتمدة على الزمن.
- تقنية القياس المعتمدة على التردد.

ويمكن كذلك تصنيف مقاييس سرعة الدوران إلى:

- النوع التماثلي (التناظري).
- النوع الرقمي.

التصنيف بناءً على تقنية جمع البيانات

مقارنة بين النوع التلامسي وغير التلامسي

- **النوع التلامسي** :يجب أن يكون في اتصال مباشر مع المحور الدوار .يستخدم عادةً مشفراً ضوئياً أو مستشعراً مغناطيسياً.

- **النوع غير التلامسي** :لا يحتاج لاتصال مباشر .يستخدم الليزر أو شعاع الأشعة تحت الحمراء لقراءة الأقراص الضوئية.

التصنيف بناءً على تقنية القياس

قياس التردد	القياس الزمني
أكثر دقّة في قياس السرعات العالية	أكثر دقّة في قياس السرعات المنخفضة
تعتمد دقّة تمييز مقياس سرعة الدوران على سرعة العمود الدوّار	دقّة تمييز مقياس سرعة الدوران مستقلة عن سرعة القياس

الأنواع المختلفة لمقاييس سرعة الدوران؟

مقاييس سرعة الدوران الميكانيكية

- عدّاد عدد الدورات
- مؤشر السرعة اليدوي
- التاكوسكوب
- مقياس سرعة الدوران بالطرد المركزي

مقاييس سرعة الدوران الكهربائية

- مقياس سرعة الدوران الكهروضوئي
- الستروبوسكوب

مقاييس سرعة الدوران الميكانيكية

مقاييس سرعة الدوران الميكانيكية

1- عدّاد عدد الدورات

يُستخدم **عدّاد عدد الدورات** لقياس **متوسط السرعة الدورانية** بدلاً من السرعة الدورانية اللحظية.

ويتكوّن من ترس حلزوني (Worm Gear) يكون عادةً متصلاً بمغزل.

ويحتوي على قرصين: قرص داخلي وآخر خارجي.

يمثّل القرص الداخلي دورة واحدة للقرص الخارجي، بينما يمثّل القرص الخارجي دورة واحدة للمغزل.

ويكون مقياس سرعة الدوران مزوّدًا بساعة إيقاف متصلة بعدّاد الدورات، وتُستخدم لبيان الزمن.

وتقتصر هذه الأجهزة على المحركات منخفضة السرعة، وتوفّر قياسًا مُرضيًا حتى حوالي **2000–3000 دورة في الدقيقة**.

2- مؤشّر السرعة اليدوي

يحتوي **مؤشّر السرعة اليدوي** على ساعة إيقاف وعدّاد مدمجين مع آلية فصل تلقائي.

ويعمل المغزل عند ملامسته للعمود الدوّار.

ولا يبدأ العداد بالعمل إلا عند الضغط على زر التشغيل واللف لبدء ساعة الإيقاف وتعشيق القابض.

ويُظهر الجهاز **متوسط السرعة** خلال فترة زمنية قصيرة بوحدة **دورة في الدقيقة.(rpm)**

3- التاكوسكوب

عدّاد مع جهاز توقيت.

يتم تثبيت المكوّنين معًا بشكل متكامل ويبدآن العمل في الوقت نفسه عند ضغط نقطة التلامس على العمود الدوّار.

يتم حساب السرعة الدورانية من خلال قراءة العدّاد والمؤقّت.

يمكن استخدام مقياس سرعة الدوران لقياس سرعات تصل إلى **5000 دورة في الدقيقة**.

يتكوّن التاكوسكوب من عدّاد عدد الدورات.

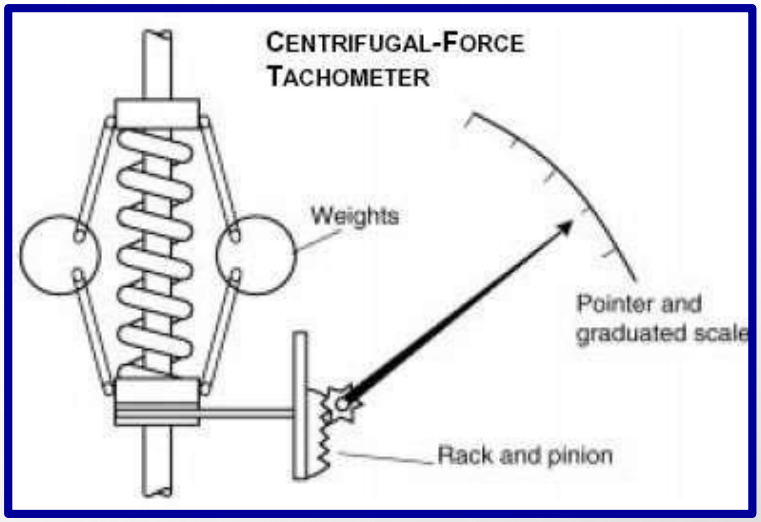
مقياس سرعة الدوران بالطرد المركزي

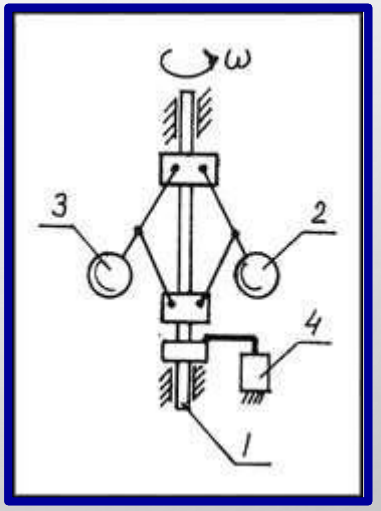
يعمل **مقياس سرعة الدوران بالطرد المركزي** وفق مبدأ أن **قوة الطرد المركزي تتناسب طرديًا مع سرعة الدوران.**

ويتكوّن من كرتين مرتبتين حول المغزل.

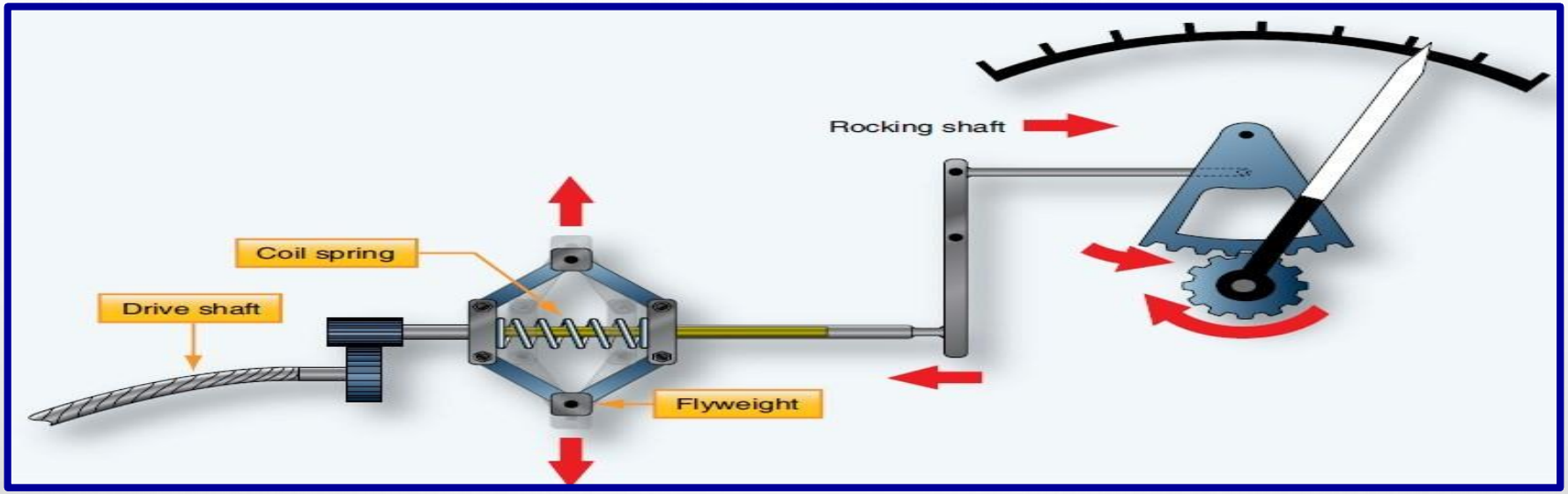
وتؤدي قوة الطرد المركزي المتولّدة، بوصفها دالة للسرعة، إلى تحريك المؤشّر.

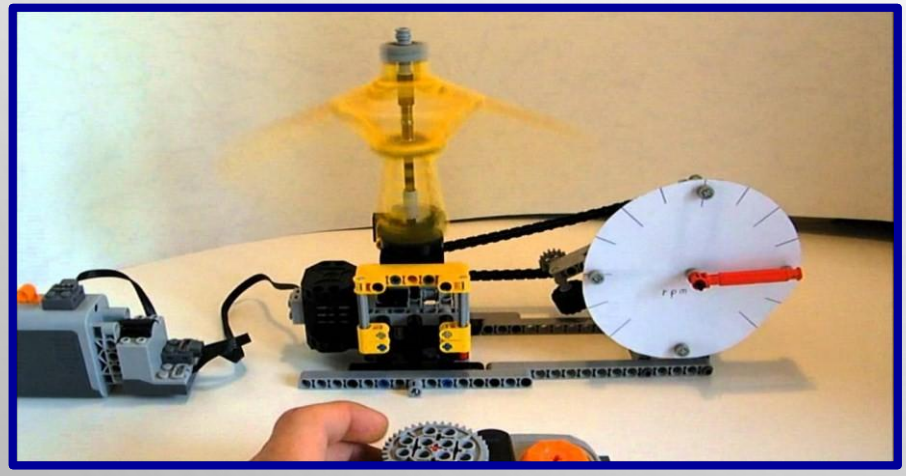
وتُعد هذه الأجهزة مناسبة لقياس سرعات تصل إلى حوالي **4000 دورة في الدقيقة.**





w = angular speed
1 = shaft
2 and 3 = masses
4 = displacement-sensitive element.


Rocking shaft
Coil spring
Drive shaft
Flyweight

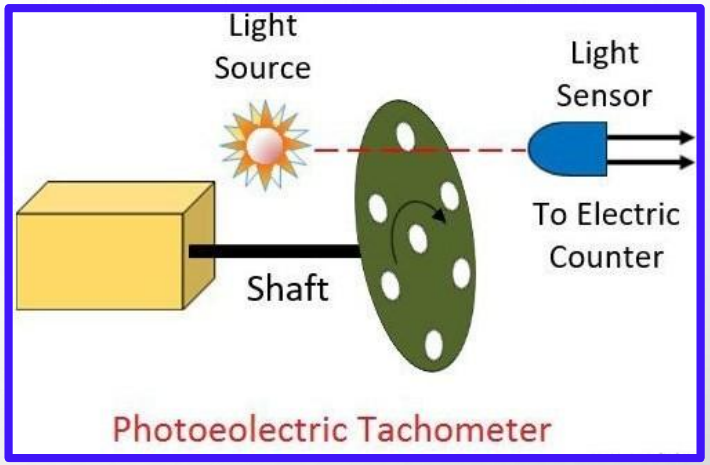


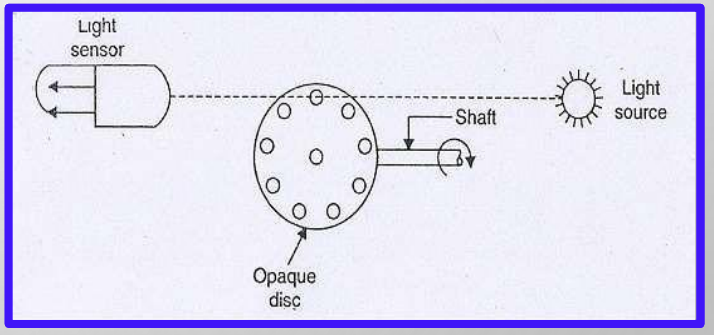
RPM
X100
HOURS
PERCENT
RPM

مقاييس سرعة الدوران الكهربائية

مقياس سرعة الدوران الكهروضوئي

يتكوّن **مقياس سرعة الدوران الكهروضوئي** من قرصٍ معتم مُثبّت على العمود المراد قياس سرعته.
ويحتوي القرص على عدد من الثقوب المتماثلة موزّعة حول محيطه.
يوجد على أحد جانبي القرص مصدر ضوء(L) ، بينما يوجد على الجانب الآخر مستشعر ضوئي (قد يكون عنصرًا حساسًا للضوء أو أنبوبًا ضوئيًا) على استقامة واحدة مع مصدر الضوء.
عند دوران القرص، تتعاقب الثقوب والأجزاء المعتمة للقرص بين مصدر الضوء والمستشعر الضوئي.
فعندما تمرّ إحدى الثقوب بينهما، يمرّ الضوء عبر الثقب ويسقط على المستشعر الضوئي، مما يؤدي إلى توليد نبضة خرج.
أما عندما يمرّ الجزء المعتم من القرص بينهما، فإن الضوء يُحجب ولا تتولّد أي نبضة خرج.
وبذلك، في كل مرة تصطف فيها إحدى الثقوب مع مصدر الضوء والمستشعر، تتولّد نبضة.
وتُعدّ هذه النبضات وتُقاس باستخدام عدّاد إلكتروني.
ويعتمد عدد النبضات المتولّدة على العاملين التاليين:
1 -عدد الثقوب في القرص.
2 -سرعة دوران العمود.
وبما أن عدد الثقوب ثابت، فإن عدد النبضات المتولّدة يعتمد فقط على سرعة العمود.
ولذلك يمكن معايرة العدّاد الإلكتروني مباشرة بوحدات السرعة) **دورة في الدقيقة**.(**rpm –**





مقاييس سرعة الدوران الكهربائية

يعتمد هذا الجهاز على مبدأ مفاده أن **الحدث المتكرر إذا شوهد عند نقطة معيّنة فقط من دورته، فإنه يبدو وكأنه ثابت.**

يتم وضع علامة على العمود الدوّار، ثم يُسلَّط عليه ضوء وامض.

ويكون تردّد الوميض عبارة عن ومضة قصيرة جدًا واحدة لكل دورة.

ولتحديد سرعة العمود، يتم زيادة تردّد الوميض تدريجيًا ابتداءً من قيمة صغيرة، إلى أن يبدو العمود الدوّار وكأنه ثابت، وعندها يتم تسجيل قيمة التردّد.

تُستخدم **الستروبوسكوبات** لقياس السرعة الزاوية في المجال من **600 إلى 20000 دورة في الدقيقة.**

ومن مزايا هذا الجهاز أنه **لا يحتاج إلى التلامس مع العمود الدوّار.**

مقارنة بين مقياس سرعة الدوران التماثلي (ANALOG) والرقمي (DIGITAL)

مقياس سرعة الدوران الرقمي	مقياس سرعة الدوران التماثلي
مزوّد بذاكرة لتخزين القراءات.	لا يوفّر خاصية تخزين القراءات.

مبدأ عمل مقياس سرعة الدوران الرقمي غير التلامسي

يعتمد المبدأ الأساسي على نظام يتكوّن من **مستشعر**، و**متحكم دقيق**، و**وحدة عرض**.

1. **المستشعر :يتكوّن من صمام ثنائي للأشعة تحت الحمراء IR وترانزستور ضوئي**

يقوم المستشعر بقياس سرعة المحرك دون ملامسته فعليًا، وذلك اعتمادًا على مبدأ **تقنية انعكاس الأشعة تحت الحمراء**، حيث يُولِّد إشارة يتم تحويلها إلى إشارة كهربائية ثم تُغذّى إلى المتحكم الدقيق.

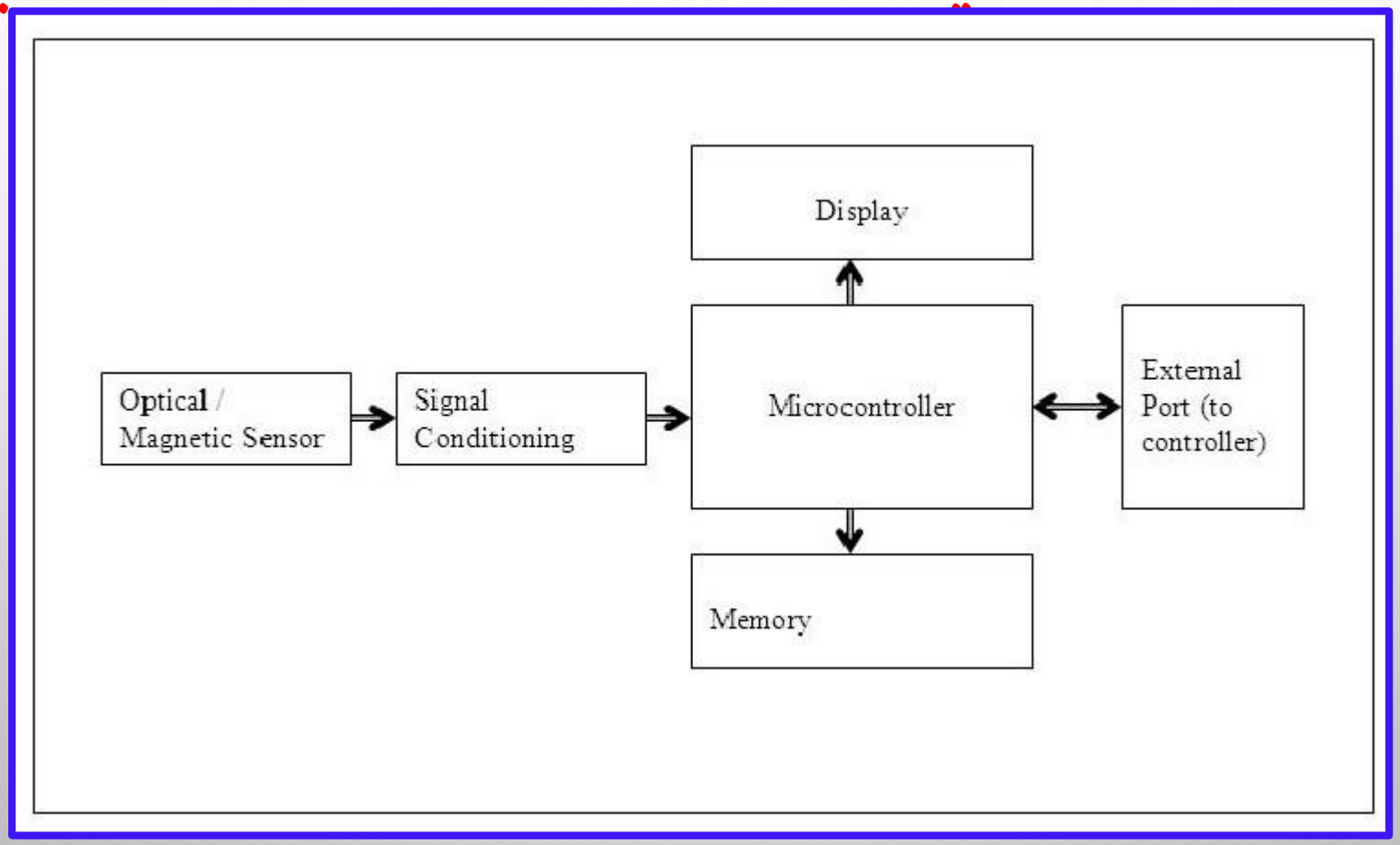
2. **المتحكم الدقيق:(Microcontroller)**

يتم برمجة المتحكم الدقيق لحساب سرعة المحرك بوحدة **عدد دورات المحرك في الدقيقة.(RPM)**

- **وحدة العرض:(Display Unit)**

تكون موصولة بالمتحكم الدقيق، وتُستخدم لعرض سرعة المحرك المقاسة.

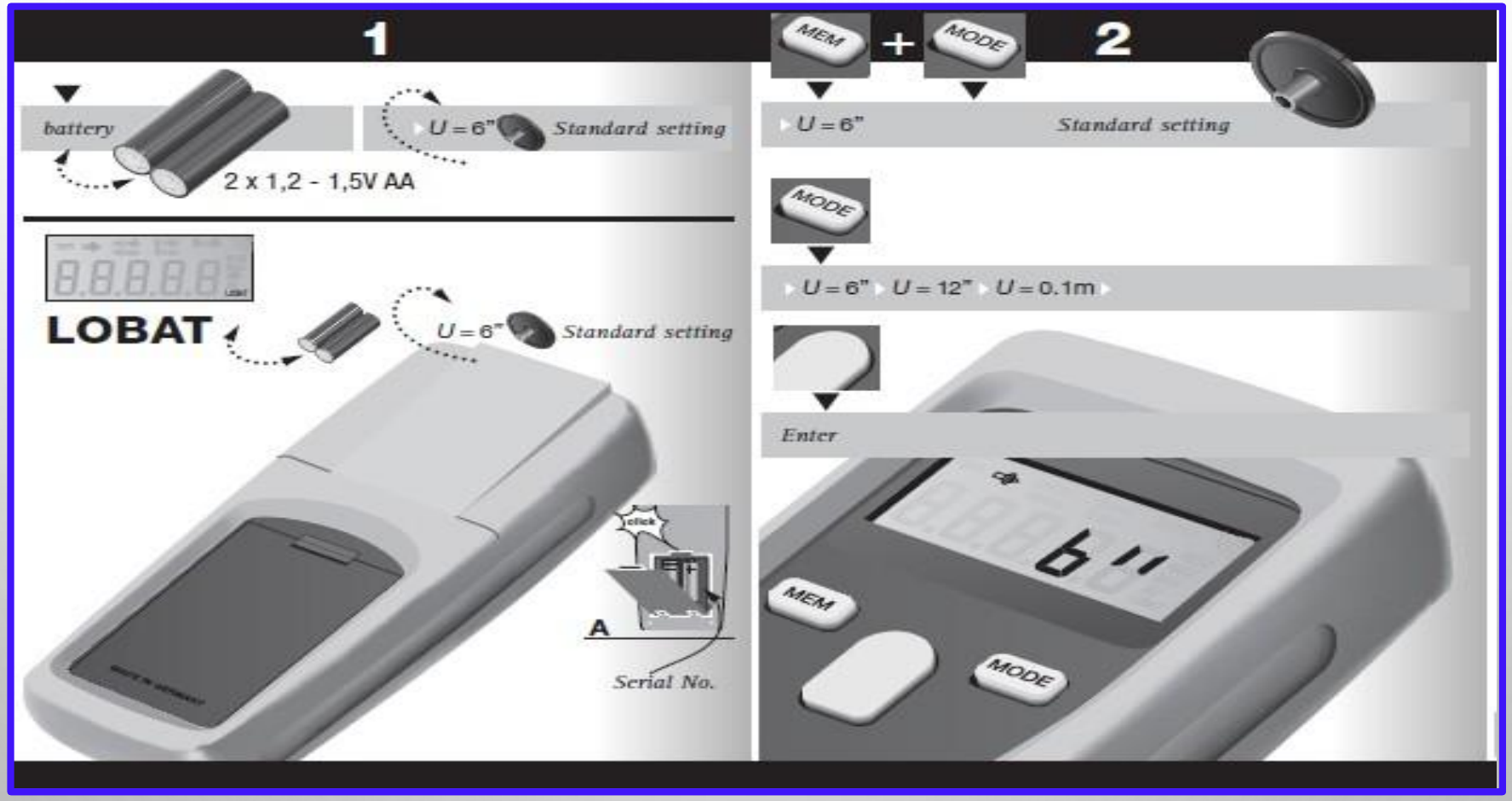
المخطط الكتلي لمقياس سرعة الدوران الرقمي



كيف تختار مقياس سرعة الدوران؟

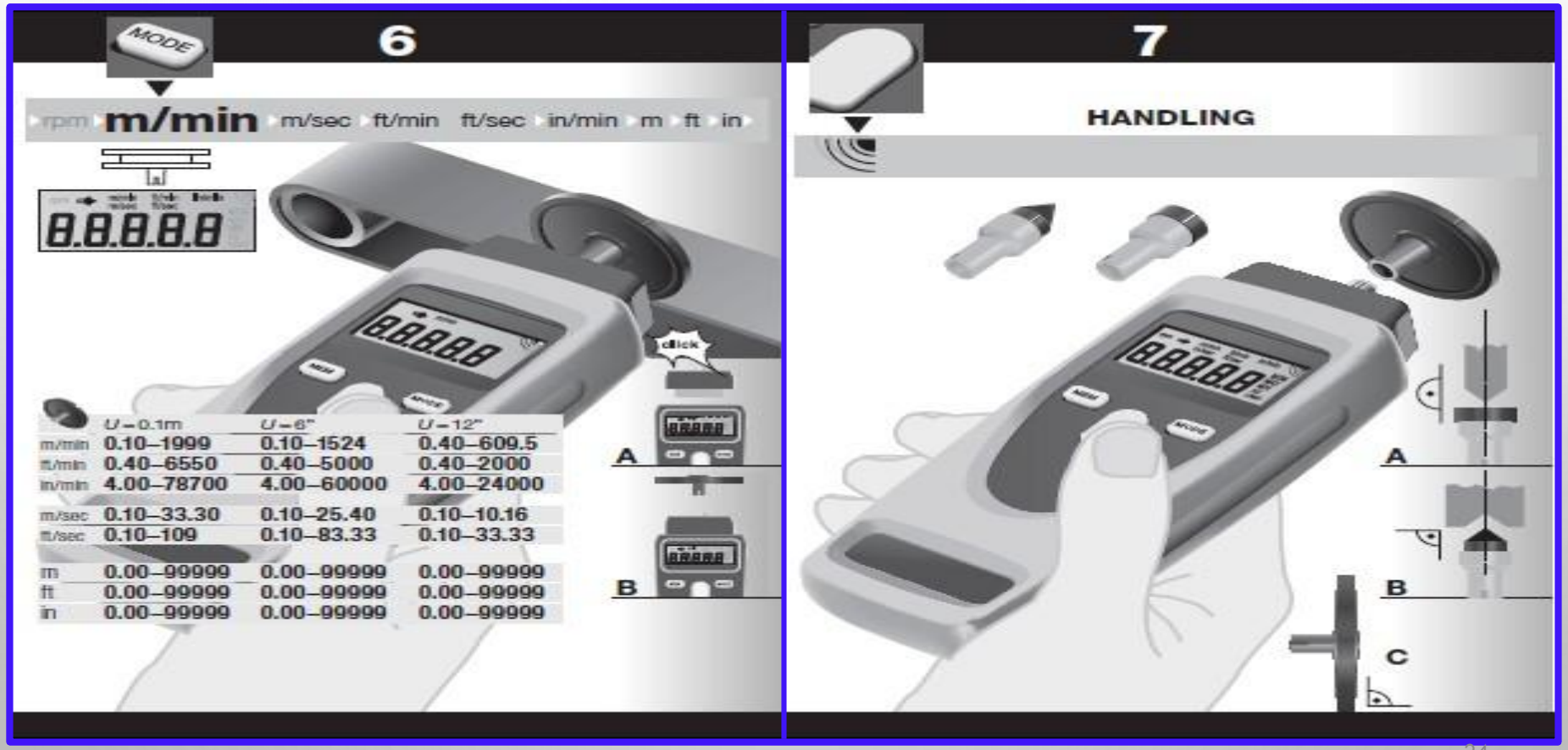
- الدقة.
- نطاق القياس.
- زمن الاكتساب (زمن الاستجابة).
- نوع التلامس / غير تلامسي.
- محمول / ثابت.
- رقمي / تماثلي.
- التكلفة.

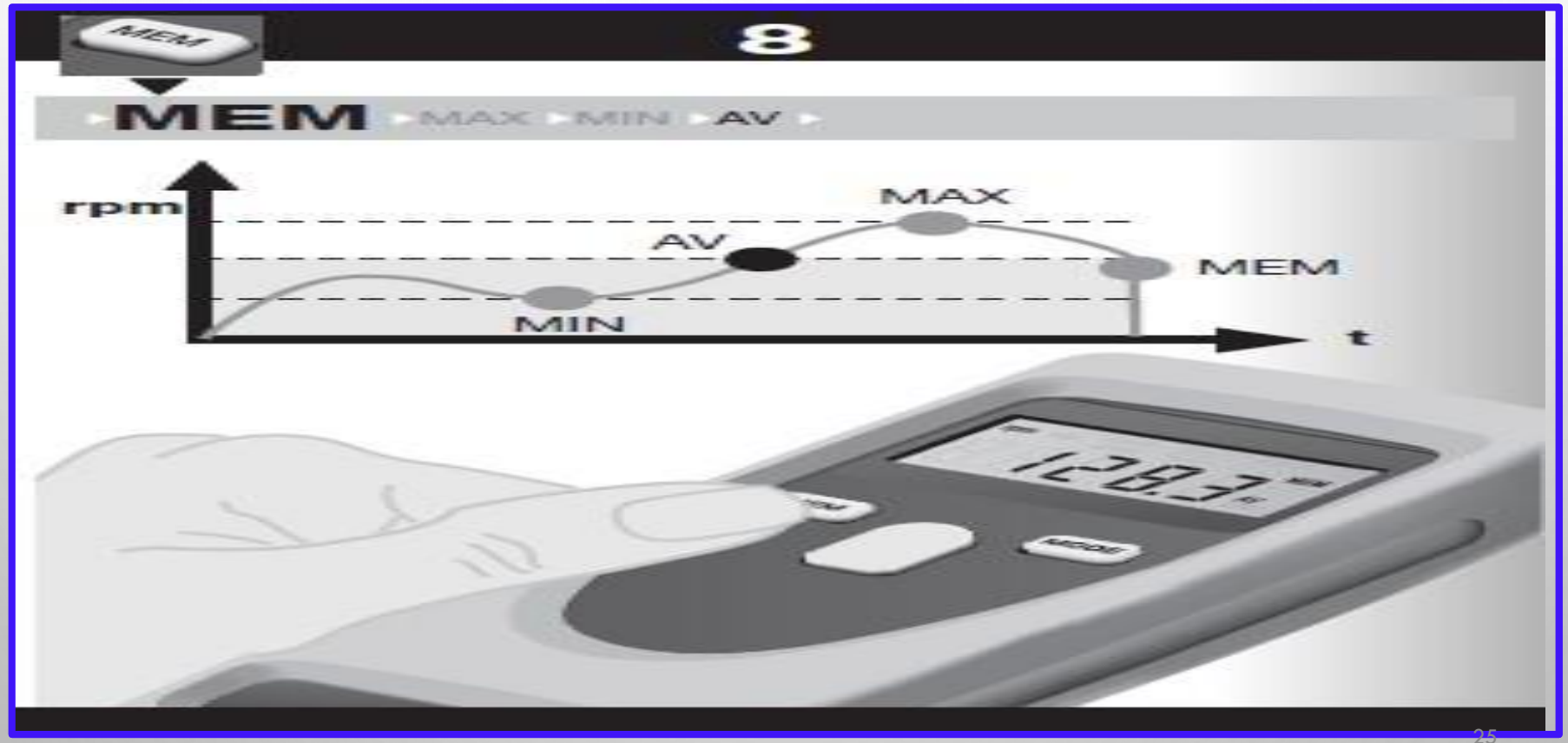
تاكو ميتر مقياس سرعة الدوران TESTO 470



قياس مقياس سرعة الدوران غير التلامسي

قياس مقياس سرعة الدوران التلامسي


6
MODE
rpm m/min m/sec ft/min ft/sec in/min m ft in
click
A
B
U – 0.1m U – 6" U – 12"
m/min 0.10–1999 0.10–1524 0.40–609.5
ft/min 0.40–6550 0.40–5000 0.40–2000
in/min 4.00–78700 4.00–60000 4.00–24000
m/sec 0.10–33.30 0.10–25.40 0.10–10.16
ft/sec 0.10–109 0.10–83.33 0.10–33.33
m 0.00–99999 0.00–99999 0.00–99999
ft 0.00–99999 0.00–99999 0.00–99999
in 0.00–99999 0.00–99999 0.00–99999
7
HANDLING
A
B
C


MEM
8
MEM
MAX
MIN
AV
rpm
MAX
AV
MEM
MIN
t

تاكو ميتر REDINGTON 9300-HTK

مقياس سرعة الدوران ريدينغتون HTK-9300

Non contact Measurements	CONTACT MEASUREMENTS

معايرة مقياس سرعة الدوران

- لماذا تتم المعايرة؟
- 1- المعايرة غير الصحيحة = قراءات غير صحيحة.
- 2- المعايرة تعوّض تأثير التقادم (الشيخوخة) على الجهاز.

- **كيف تتم المعايرة؟**
- تُجرى المعايرة بمقارنة القراءة الصادرة من مقياس سرعة الدوران مع سرعة قياسية معتمدة.
- ثم تُجرى التعديلات اللازمة بحيث تتطابق القراءة الفعلية مع القراءة المطلوبة.

طرق معايرة مقياس سرعة الدوران

1. طريقة المولد الميكانيكي وحسابات عدم اليقين الخاصة بها
2. طريقة المحاكي البصري وحسابات عدم اليقين الخاصة بها

طرق معايرة مقياس سرعة الدوران

طريقة المولد الميكانيكي وحسابات عدم اليقين الخاصة بها.

الوظائف:

معايرة:

•مقياس سرعة الدوران(Tachometer)

•حساسات السرعة

•مقياس عدد الدورات في الدقيقة(RPM Meter)

نطاقات القياس:

•من 0 إلى 12,000 دورة/دقيقة (تلامسي)

•من 0 إلى 100,000 دورة/دقيقة (غير تلامسي)

الدقة:

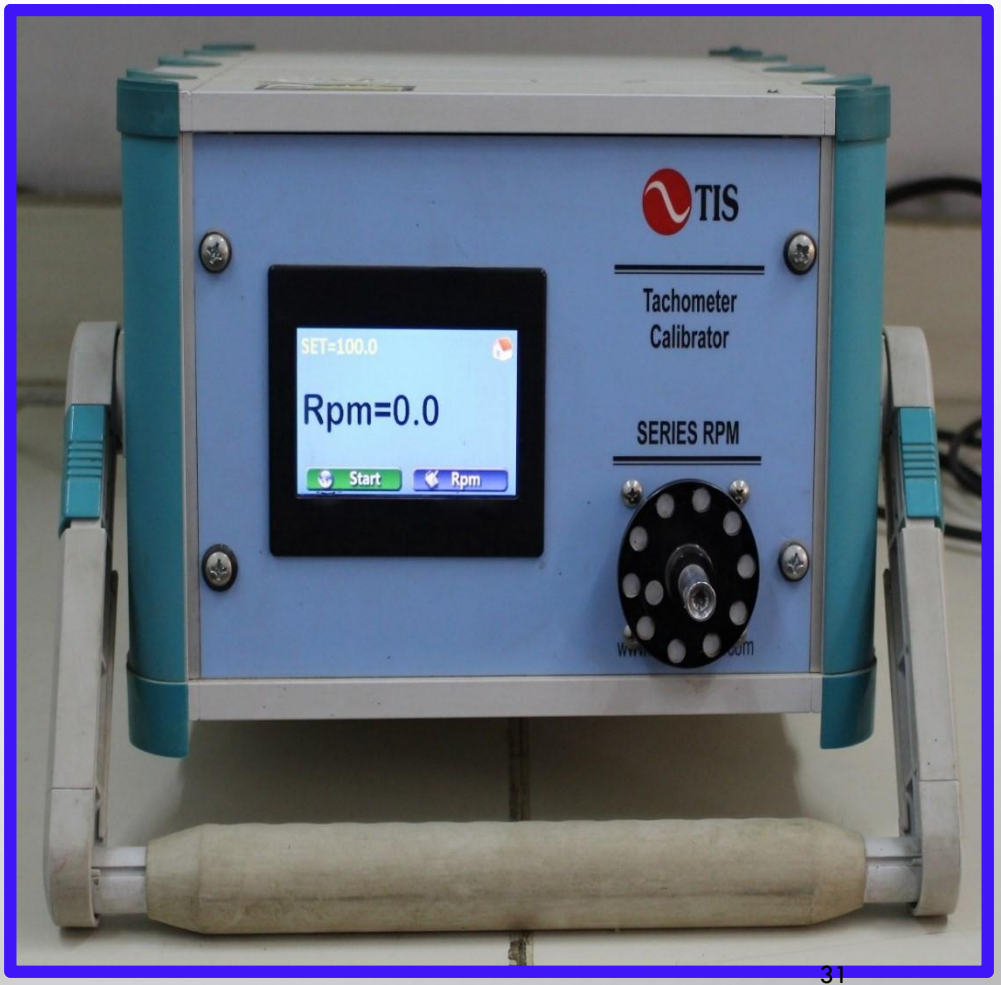
• 0.1 ±دورة/دقيقة (< 1000 دورة/دقيقة)

• 1.0 ±دورة/دقيقة (≤ 1000 دورة/دقيقة)

القدرة على التمييز (الاستبانة):

• 0.1دورة/دقيقة (< 1000 دورة/دقيقة)

• 1دورة/دقيقة (≤ 1000 دورة/دقيقة)



معايرة مقياس سرعة الدوران

معايرة مقياس سرعة الدوران باستخدام طريقة المولد الميكانيكي

يجب تنفيذ الخطوات التالية في **إجراء المعايرة الميكانيكية لمقياس سرعة الدوران:**

* تشغيل المولد الميكانيكي.
* ضبط سرعة الدوران على مُعايِر مقياس سرعة الدوران (على سبيل المثال، 400 دورة/دقيقة).
* توجيه شعاع الليزر الخارج من مقياس سرعة الدوران قيد الاختبار DUTنحو العجلة المتحركة عند موضع الشريط العاكس للمولد الميكانيكي.
* سيقوم الملصق العاكس بعكس شعاع الليزر مرة أخرى إلى مقياس سرعة الدوران.
* الانتظار حتى تستقر سرعة المولد الميكانيكي، ثم تسجيل قراءات مقياس سرعة الدوران قيد الاختبار (يتم أخذ ما لا يقل عن 10 قراءات لكل إعداد من إعدادات السرعة).

معايرة مقياس سرعة الدوران باستخدام طريقة المولد الميكانيكي

تشمل مصادر عدم اليقين العناصر التالية:

عدم يقين المولد الميكانيكى وفقًا لشهادة المعايرة.

$$U_{reference\ tachometer} = \frac{U_{exp}}{2}$$

- درجة وضوح الجهاز قيد الاختبار (.UUT)

$$\text{UUT resolution} = \frac{UUT\ Res}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1\ RPM}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

- **قابلية التكرار (**Repeatability):

- *حساب الانحراف المعياري لـ 10 قراءات لكل قيمة ضبط لسرعة الدوران (RPMللجهاز قيد الاختبار (.UUT)
- *قسمة الانحراف المعياري على () Nعدد القراءات).

$$U_a = \frac{\text{std}}{\sqrt{N}}$$

طريقة المحاكي البصري وحسابات عدم اليقين الخاصة بها

طريقة المحاكي البصري
وحسابات عدم اليقين الخاصة بها

يجب تنفيذ الخطوات التالية في إجراء معايرة مقياس سرعة الدوران باستخدام المحاكي البصري:

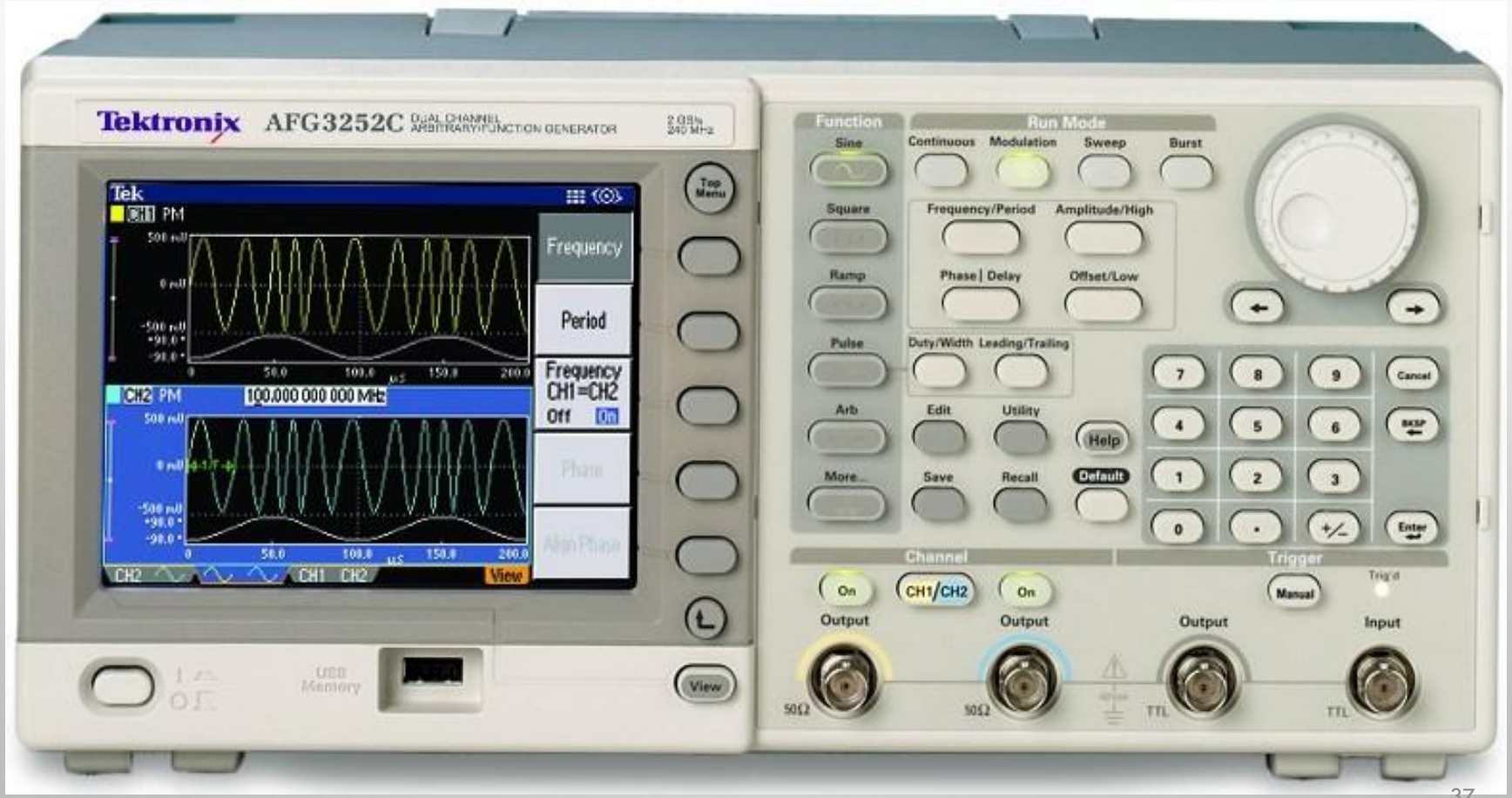
* تشغيل مولِّد الإشارات، على أن يكون مقفلاً على المعيار الأولي للتردد (قبل بدء المعايرة بما لا يقل عن 30 دقيقة).

* توصيل كابل BNC مزوّد بصمام LED بالقناة الأولى لمولِّد الإشارات، وضبط التردد () (fهرتز) بحيث (f) (\text{RPM} / 60) =مثلًا: ((f = 10هرتز عند سرعة 600 دورة/دقيقة).

* توجيه شعاع الليزر الخارج من مقياس سرعة الدوران قيد المعايرة نحو صمام الـ LED.

*تسجيل القراءات المعروضة على شاشة مقياس سرعة الدوران قيد المعايرة (يتم أخذ ما لا يقل عن 10 قراءات لكل إعداد من إعدادات سرعة الدوران).

طريقة المحاكي البصري وحسابات عدم اليقين الخاصة بها



rpm	Frequency (Hz)
10	10/60 = 0.166667 Hz
50	50/60 = 0.833333 Hz
100	100/60 = 1.666666 Hz
500	500/60 = 8.333333 Hz
1000	1000/60 = 16.666666 Hz
2500	2500/60 = 41.666666 Hz
5000	5000/60 = 83.333333 Hz
7500	7500/60 = 125 Hz
10000	10000/60 = 166.666666 Hz
25000	25000/60 = 416.666666 Hz
50000	50000/60 = 833.333333 Hz
75000	75000/60 = 1250 Hz
99000	99000/60 = 1650 Hz

حساب عدم اليقين في معايرة مقياس سرعة الدوران باستخدام طريقة المحاكي البصري

تشمل مصادر عدم اليقين العناصر التالية:

- **عدم يقين المرجع.**

$$U_{reference\ tachometer} = \frac{U_{exp}}{2}$$

- **درجة وضوح الجهاز قيد الاختبار (UUT).**

$$\text{UUT resolution} = \frac{UUT\ Res}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1\ RPM}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

قابلية التكرار (Repeatability):

- حساب الانحراف المعياري لـ 10 قراءات لكل قيمة ضبط لسرعة الدوران RPM للجهاز قيد الاختبار UUT
- قسمة الانحراف المعياري على N (عدد القراءات).

$$U_a = \frac{\text{std}}{\sqrt{N}}$$

طريقة معايرة أجهزة قياس عدد الدورات في الدقيقةRPM باستخدام مقياس سرعة ضوئي غير تلامسي مُعايَر، وحسابات عدم اليقين الخاصة بها.

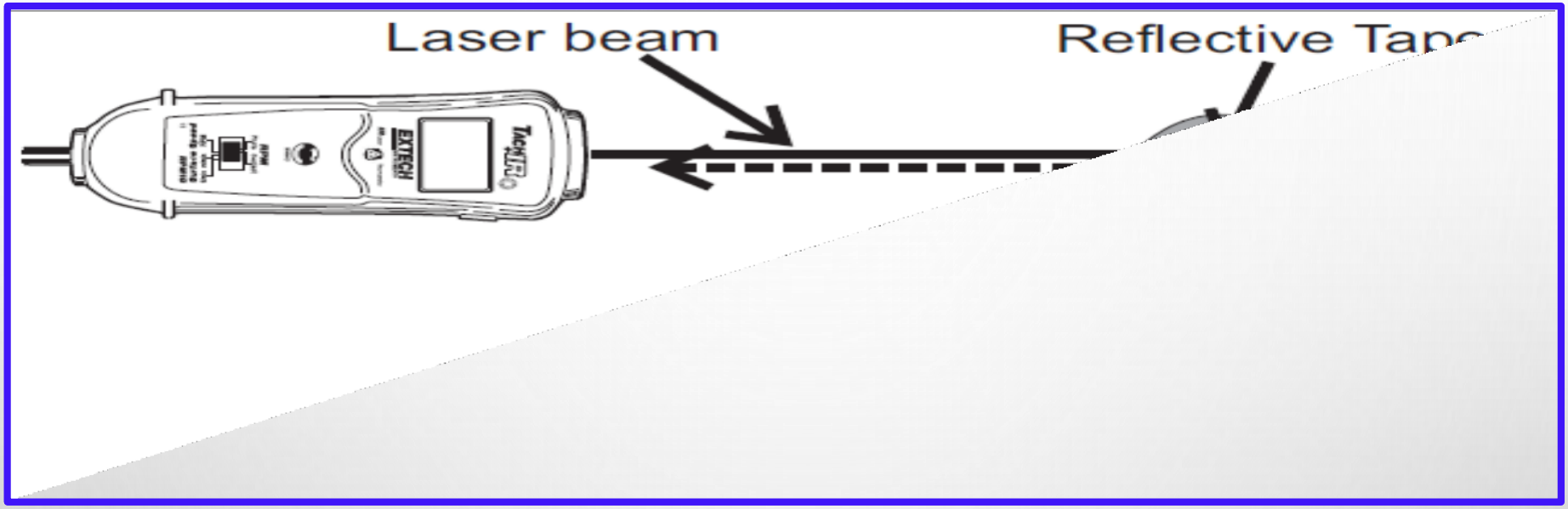
معايرة سرعة عدد الدورات في الدقيقة RPM
باستخدام مقياس سرعة ضوئي غير تلامسي.

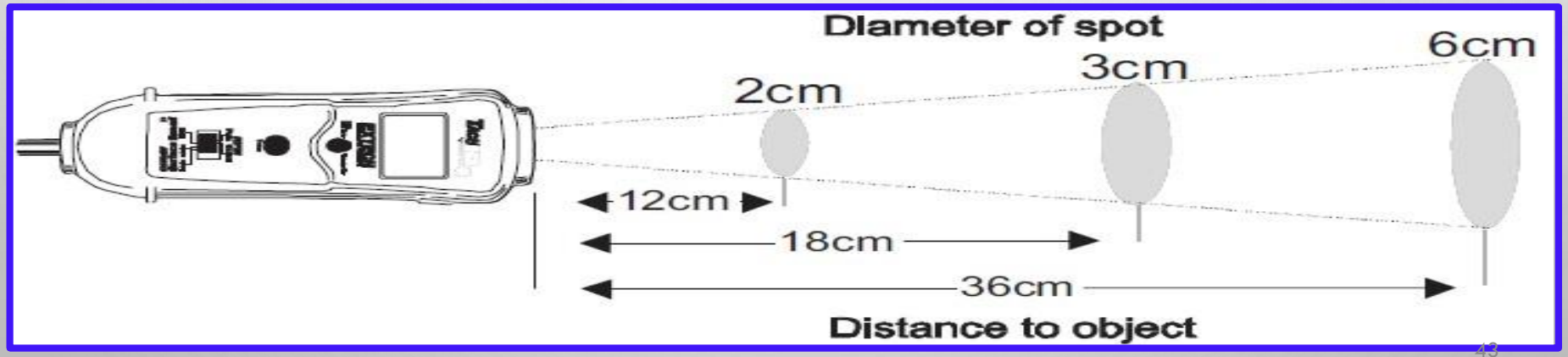
1. قبل البدء في المعايرة، يتم وضع شريط عاكس على الجزء الدوّار من الجهاز قيد الاختبار UUT
2. بعد ذلك، يتم تشغيل الجهاز قيد الاختبار وضبط سرعة الدوران RPMوفق نقاط المعايرة المطلوبة.
3. يتم توجيه شعاع الليزر الخارج من مقياس سرعة الدوران المرجعي نحو الشريط العاكس المثبّت على الجزء الدوّار من الجهاز قيد الاختبار.
4. سيقوم الشريط العاكس على الجزء الدوّار من الجهاز قيد الاختبار بعكس شعاع الليزر إلى مقياس سرعة الدوران المرجعي.
5. بعد ذلك، يتم الانتظار حتى تظهر سرعة الجهاز قيد الاختبار مستقرة على شاشة مقياس سرعة الدوران المرجعي.
6. تُسجَّل القراءات الظاهرة على شاشة مقياس سرعة الدوران المرجعي (على الأقل 10 قراءات لكل قيمة ضبط لسرعة الدوران للجهاز قيد الاختبار).
7. يتم حساب متوسط السرعة لعشر قراءات لكل قيمة ضبط لسرعة الدوران RPMللجهاز قيد الاختبار.

معايرة سرعة عدد الدورات في الدقيقة باستخدام مقياس سرعة ضوئي RPM غير تلامسي.

ملاحظات:

قد يتداخل الضوء المحيط الساطع مع شعاع الضوء المنعكس، وقد يكون من الضروري تظليل منطقة القياس في بعض الحالات.قد تكون الأجسام الدوّارة خطِرة، لذا يجب توخّي الحذر الشديد أثناء العمل.


Laser beam
Reflective Tape


Diameter of spot
2cm
3cm
6cm
12cm
18cm
36cm
Distance to object

أمثلة على أجهزة الطرد المركزي

أمثلة على أجهزة الطرد المركزي

أمثلة على أجهزة الطرد المركزي

حساب عدم اليقين في معايرة سرعة الدوران RPM
باستخدام مقياس سرعة دوران مُعايَر.

تشمل مصادر عدم اليقين العناصر التالية:عدم يقين مقياس سرعة الدوران المرجعي وفقًا لشهادة المعايرة.

$$U_{reference\ tachometer} = \frac{U_{exp}}{2}$$

- درجة وضوح الجهاز قيد الاختبار (UUT).

$$\text{UUT resolution} = \frac{UUT\ Res}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}} = \frac{1\ RPM}{2} \times \frac{1}{\sqrt{3}}$$

- قابلية التكرار (Repeatability)

- حساب الانحراف المعياري لعشر (10) قراءات لكل قيمة ضبط لسرعة الدوران RPMللجهاز قيد الاختبار UUTقسمة الانحراف المعياري على N (عدد القراءات).

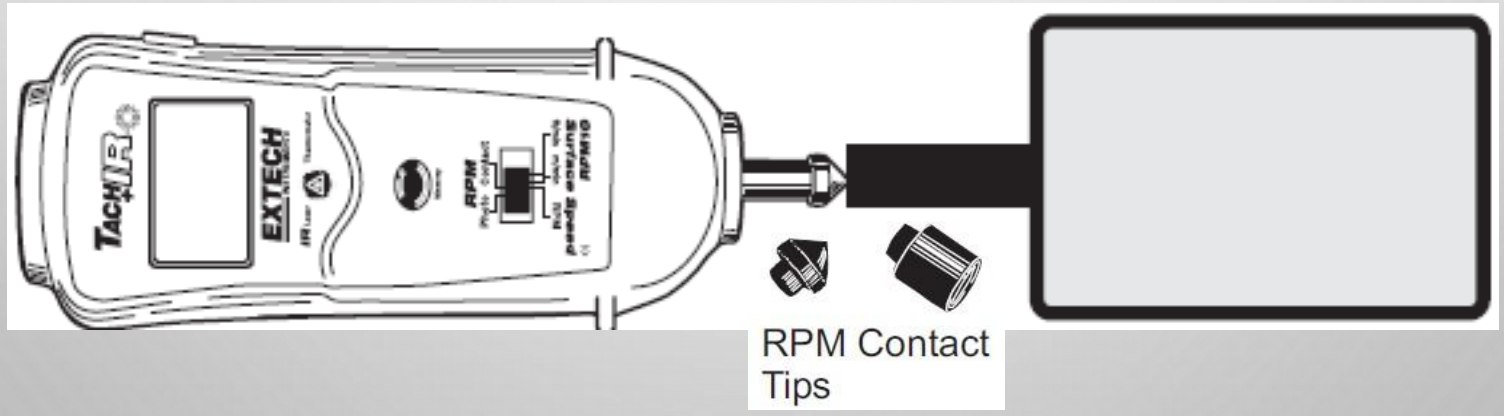
$$U_a = \frac{\text{std}}{\sqrt{N}}$$

Setting(rpm)	100	1000
reading 1	99.9	999.9
reading 2	99.9	999.9
reading 3	99.9	999.9
reading 4	100.0	1000.0
reading 5	100.0	1000.0
reading 6	100.0	1000.0
reading 7	99.9	1000.0
reading 8	99.9	999.9
reading 9	100.0	999.9
reading 10	100.0	999.9
reading 11		
reading 12		
reading 13		
reading 14		
reading 15		
reading 16		
reading 17		
reading 18		
reading 19		
reading 20		
N	10	10
stdv	0.052704628	0.051639778
UA	0.016666667	0.016329932
Uresolution_DUT	0.028867513	0.028867513
Uref_tachometer	5.90E-02	8.30E-02
avg.speed(rpm)	100.0	999.9
±uncertainty (rpm)	0.033333333	0.033166248
±Exp.uncertainty (rpm)	0.07	0.07

Setting value, (rpm) “UUT*”	Actual Measured value, (rpm) “REF**”	Exp. Uncertainty, (rpm)
1000	999.9	0.07

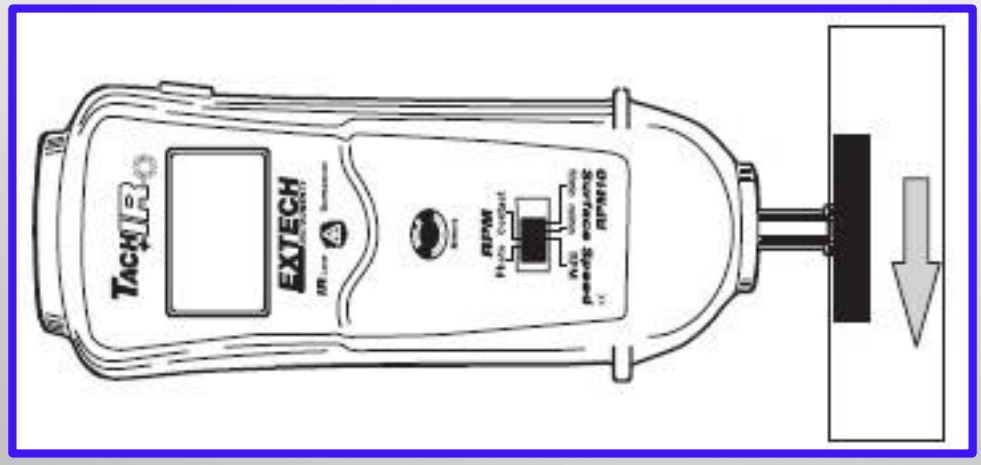
معايرة سرعة عدد الدورات في الدقيقة RPMباستخدام مقياس سرعة ضوئي تلامسي.

1. قم بتركيب أحد رؤوس التلامس الخاصة بقياس عدد الدورات في الدقيقة RPMعلى عمود التلامس.
2. حرّك مفتاح الوظيفة إلى وضعCONTACT
3. اضغط على زر Measureمع الضغط برفق برأس التلامس على مركز العمود الدوّار.
4. حرّر زر Measureعند استقرار القراءة على الشاشة (حوالي ثانيتين).



قياسات التلامس (متر/دقيقة، قدم/دقيقة)

1. قم بتركيب عجلة السرعة الخطية على عمود التلامس.حرّك مفتاح الوظيفة إلى وضع FT/MINأو .M/MIN
2. اضغط على زر MEASUREمع تثبيت عجلة قياس السرعة السطحية على السطح المتحرك المراد قياسه.
3. حرّر زر MEASUREعند استقرار القراءة على الشاشة (حوالي ثانيتين).



المراجع

- Standard Specification for Tachometers, Various, ASTM Standards, 2022
- Henry Diaz - Luis Palma (SNM-INDECOPI). Calibration of optical Tachometers using a generator system of light pulses. CPEM 2014. August 2014.
- Liz C. Hernández, Nelson Bahamón. INM. Estimation of Uncertainty in Calibration of Optical Tachometers. Moment. Magazine Physics, No 52, June 2016.
- Henry Diaz, Luis Palma, "Calibration of Optical Tachometers Using a System Pulse Light Generator"- INCAL- Simposio de Metrología, 2018.
- Q Sun , J Bai, L Du, Z Fan and H Hu," Investigation on high rotational speed calibration device", Journal of Physics: Conf. Series 1065-222001,2018.
- Luis Mojica Ovalle, "Basic Laboratory Calibrations", SIM TFWG Workshop,2015.
- Uncertainty Guide to the expression of uncertainty in measurement, JCGM 100: Sept. 2008. https://www.bipm.org/documents/20126/2071204/JCGM_100_2008_E.pdf/cb0ef43f-baa5-11cf-3f85-4dcd86f77bd6
- EA 4/02: Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.
- ISO/IEC Guide, Uncertainty of measurement 98-3:2008.

Thank you

د. م. محمد الهواري
رئيس معمل الزمن والتردد والميكروويف
مدير تقني لمركز بيانات المعهد القومي للمعايرة (NIS)

الهاتف المحمول (واتساب): 01090555847
البريد الإلكتروني:
mohamed.Ibrahim@nis.sci.eg](mailto:mohamed.Ibrahim@nis.sci.eg)]
hawary5000@yahoo.com