

# ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

ΕΝΟΤΗΤΑ 2<sup>Η</sup>

ΜΕΡΟΣ Α΄

Ηλεκτρονικά Όργανα μέτρησης - Στατικά και δυναμικά χαρακτηριστικά οργάνων

# Ηλεκτρονικά Όργανα και Μετρήσεις

Ηλεκτρονικό  
Όργανο  
(Instrument)

Υλικό  
(hardware)

- Τα βασικά δομικά στοιχεία του οργάνου
- είσοδοι/έξοδοι σήματος (τάση ή ρεύμα),
  - ενισχυτές σήματος,
  - μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό
  - φίλτρα, κ.λπ.

**Ενσωματωμένο λογισμικό οργάνου  
(Firmware or embedded software)**

Διασυνδέει τις λειτουργίες των δομικών στοιχείων του οργάνου σε ένα υποσύνολο ώστε να εκτελεί τη ζητούμενη μέτρηση

Λογισμικό  
(software)

**Λογισμικό συστήματος μέτρησης  
(System SW)**

Συνδέει πολλαπλά όργανα σε ένα σύστημα (ικανό να εκτελέσει μια πιο σύνθετη μέτρηση/ ανάλυση από ότι μπορεί ένα μόνο όργανο)

## Στατικά Χαρακτηριστικά Οργάνων

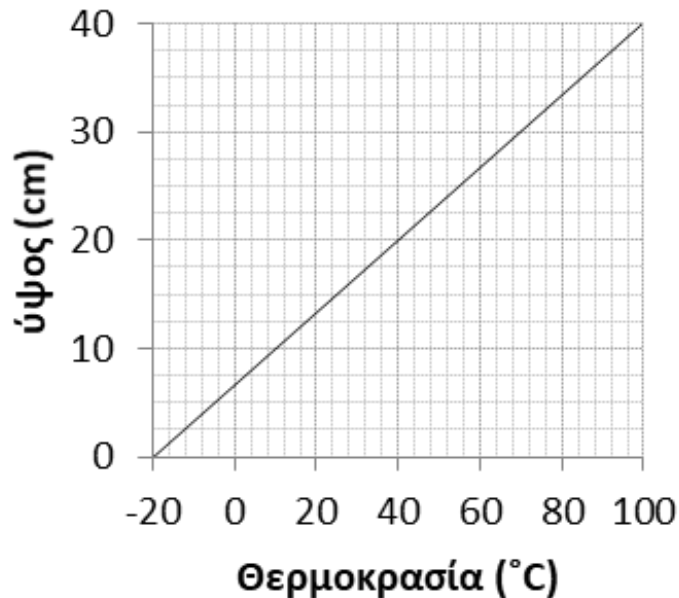
Καθορίζουν τη λειτουργία των οργάνων κατά τη μέτρηση μεγεθών που δεν μεταβάλλονται ή μεταβάλλονται πολύ αργά με το χρόνο.

- Γραμμικότητα
- Εύρος μέτρησης
- Διακριτική ικανότητα
- Ευαισθησία
- Ακρίβεια
- Επαναληψιμότητα

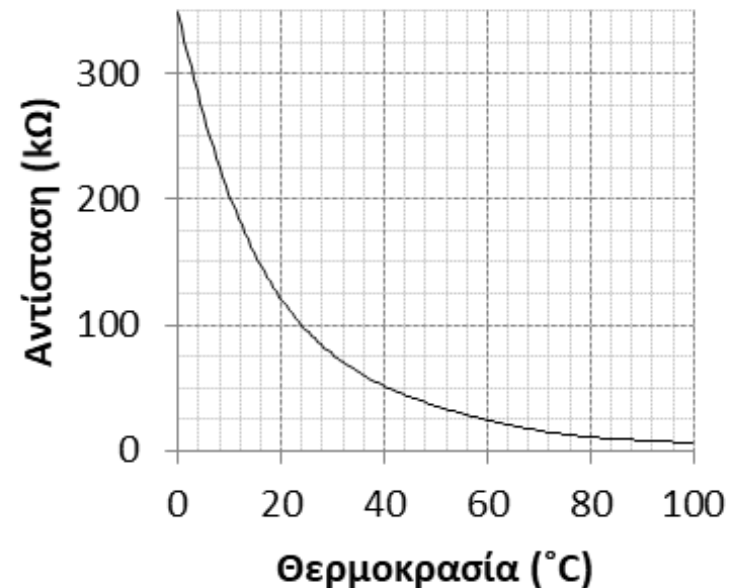
# Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων - Γραμμικότητα

Ένα όργανο θεωρείται γραμμικό, αν η σχέση που συνδέει τις τιμές της εξόδου του είναι γραμμική συνάρτηση των τιμών του μετρούμενου μεγέθους στην είσοδό του

Ένα θερμόμετρο υδραργύρου που έχει γραμμική συμπεριφορά



Ένα θερμίστορ (θερμόμετρο αντίστασης) παρουσιάζει μη γραμμική συμπεριφορά



## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων - Εύρος μέτρησης

- Το **εύρος** (range) ή **πλήρης κλίμακα** (full scale - FS) μέτρησης οργάνου: Η περιοχή τιμών του μετρούμενου μεγέθους που μπορεί να μετρήσει με ακρίβεια, δηλαδή, με σφάλμα σύμφωνα με τις προδιαγραφές κατασκευής του.
  - Δίνεται από τον κατασκευαστή του οργάνου και αποτελεί μέρος των προδιαγραφών του.
- Το **άνω όριο ασφαλείας**: Η μέγιστη τιμή του μεγέθους που μπορεί να εφαρμοστεί στην είσοδο του οργάνου χωρίς αυτό να καταστραφεί.

# Παράδειγμα εύρους μέτρησης: Οι κλίμακες μέτρησης (ranges) του ψηφιακού πολυμέτρου DMM Keysight 31401A σε διάφορες λειτουργίες (functions)

Function	Range <sup>3</sup>
DC Voltage	100.0000 mV
	1.000000 V
	<b>10.00000 V</b>
	100.0000 V
	1000.000 V <sup>4</sup>
True RMS AC Voltage <sup>5</sup>	100.0000 mV to 750.000 V
Resistance <sup>6</sup>	100.0000 Ω
	1.000000 kΩ
	<b>10.00000 kΩ</b>
	100.0000 kΩ
	1.000000 MΩ
	10.00000 MΩ
	100.0000 MΩ
	1.000000 GΩ
DC Current	100.0000 μA
	<b>1.000000 mA</b>
	10.00000 mA
	100.0000 mA
	1.000000 A
3.000000 A	
True RMS AC Current <sup>7</sup>	100.0000 μA to 3.000000 A

Το εύρος στη μέτρηση ενός μεγέθους (π.χ., DC τάση) μπορεί να μεταβάλλεται είτε αυτόματα (επιλογή 'Autorange') είτε με τη βοήθεια κατάλληλου επιλογέα ('Range')

<file:///C:/Users/nikpo/OneDrive/Documents/KEYSIGHT/34411A%20DMM/34411A%20Data%20Sheet.pdf>

## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Διακριτική ικανότητα

- **Διακριτική ικανότητα ή ανάλυση (Resolution):** η ελάχιστη τιμή του μεγέθους που μπορεί να μετρηθεί από το όργανο.
- Εκφράσεις για τη διακριτική ικανότητα
  1. Bits (n-bits)
  2. Counts
  3. Digits - Ο αριθμός ψηφίων στην οθόνη ενδειξεων του οργάνου
- 1. **Bits:** είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων (bits) του ADC του οργάνου μέτρησης
  - Στα ψηφιακά όργανα, καθορίζεται από το μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό [analog-to-digital (A/D) converter, ADC].
  - Ο A/D αποτελεί την πρώτη βαθμίδα του οργάνου μέτρησης.



# Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Διακριτική ικανότητα

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

1. ADC 8-bits: μπορούμε να αναπαραστήσουμε (μετρήσουμε)  $2^8 = 256$  διαφορετικές τιμές ενός αναλογικού σήματος
2. Με έναν ADC 16-bits μπορούμε να αναπαραστήσουμε (μετρήσουμε)  $2^{16} = 65536$  διαφορετικές τιμές ενός αναλογικού σήματος
2. **Counts** =  $2^{n\text{-bits}}$ : έκφραση διακριτικής ικανότητας συνήθως για μονάδες συλλογής δεδομένων (Data Acquisition boards, DAQ)

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

- 12-bit A/D –  $2^{12} = 4096$  counts
- 16-bit A/D –  $2^{16} = 65\,536$  counts
- 18-bit A/D –  $2^{18} = 262\,144$  counts
- 22-bit A/D –  $2^{22} = 4\,194\,304$  counts
- 25-bit A/D –  $2^{25} = 33\,554\,304$  counts



## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Διακριτική ικανότητα

3. **Digits:** Πλήθος ή αριθμός ψηφίων (digits): εκφράζεται με ημιακέραιο αριθμό  $n\frac{1}{2}$ 
  - Ο όρος  $\frac{1}{2}$  digit σημαίνει ότι το πιο σημαντικό ψηφίο (Most Significant Digit – MSD) δεν έχει πλήρη κλίμακα τιμών (0 – 9).
  - MSD = 0 ή 1

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:

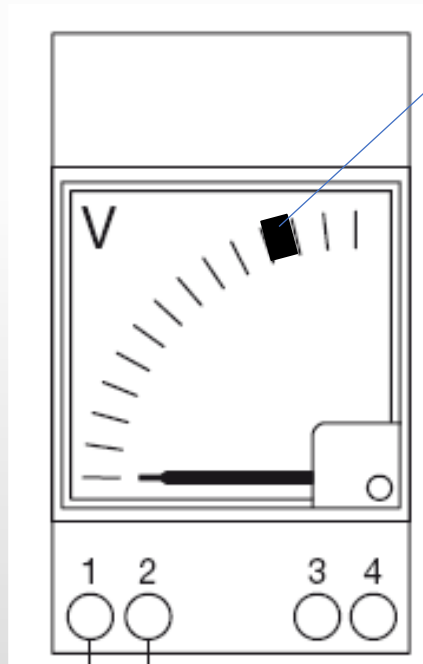
1. Ηλεκτρικό όργανο  $3\frac{1}{2}$  ψηφίων σημαίνει ότι μπορεί να δείξει τιμές από 1999 ως -1999 ( $\sim 4000$  τιμές του μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους (τάση, ρεύμα, αντίσταση, ισχύς, κ.λπ.)
  2. Ηλεκτρικό όργανο  $6\frac{1}{2}$  ψηφίων σημαίνει ότι μπορεί να δείξει τιμές από 1999999 ως -1999999 ( $\sim 4 \times 10^6$  τιμές του μετρούμενου ηλεκτρικού μεγέθους)
- Με αυτόν τον τρόπο εκφράζεται η διακριτική ικανότητα των περισσοτέρων οργάνων πάγκου (benchtop instruments) (π.χ.,  $6\frac{1}{2}$ -digit DMM)

## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Διακριτική ικανότητα

- Σχέση μεταξύ των διαφόρων εκφράσεων διακριτικής ικανότητας οργάνων
  - 12-bit A/D –  $2^{12} = 4096$  counts  $\sim 3\frac{1}{2}$  digits
  - 16-bit A/D –  $2^{16} = 65\,536$  counts  $\sim 4\frac{1}{2}$  digits
  - 18-bit A/D –  $2^{18} = 262\,144$  counts  $\sim 5\frac{1}{2}$  digits
  - 22-bit A/D –  $2^{22} = 4\,194\,304$  counts  $\sim 6\frac{1}{2}$  digits
  - 25-bit A/D –  $2^{25} = 33\,554\,304$  counts  $\sim 7\frac{1}{2}$  digits
  - 28 bit-A/D –  $2^{28} = 268\,435\,456$  counts  $\sim 8\frac{1}{2}$  digits

# Διακριτική ικανότητα αναλογικών οργάνων

Σε **αναλογικά όργανα**, η διακριτική ικανότητα αντιστοιχεί γενικά στην ελάχιστη απόσταση μεταξύ δύο υποδιαίρέσεων της βαθμονομημένης κλίμακας.



*Διακριτική Ικανότητα  
αναλογικού οργάνου*

## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Ευαισθησία

- Αν και οι όροι ‘ευαισθησία’ (sensitivity) και ‘ακρίβεια’ (accuracy) συχνά θεωρούνται συνώνυμοι, δεν σημαίνουν το ίδιο πράγμα.
- Η **ευαισθησία** (Sensitivity) αναφέρεται στην ελάχιστη μεταβολή της μέτρησης που μπορεί να ανιχνευθεί και προσδιορίζεται σε μονάδες της μετρούμενης ποσότητας, π.χ., volts, ohms, amps, degrees, κ.λπ.
- Η ευαισθησία ενός οργάνου καθορίζεται από
  - (α) την διακριτική του ικανότητα (resolution) και
  - (β) το θόρυβο (noise).

## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Ευαισθησία (συνέχεια)

- Η ευαισθησία που καθορίζεται από τη διακριτική ικανότητα του οργάνου ισούται με τη μικρότερη κλίμακά του οργάνου διαιρεμένη δια της διακριτικής του ικανότητας.

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Η ευαισθησία ενός 16-bit A/D στην κλίμακα των 2V είναι

$$\frac{2 \text{ V}}{2^{16}} = \frac{2 \text{ V}}{65\,536} \cong 30 \mu\text{V}$$

- Ο θόρυβος του οργάνου εκφράζεται με τη μέγιστη τιμή (peak ή peak-to-peak) ή την ενεργό τιμή (RMS) του θορύβου, συνήθως εντός ορισμένου εύρους συχνοτήτων (bandwidth).

## Εφαρμογή

Χρησιμοποιώντας την εφαρμογή 'Power Spectrum Measurement (Signal + White Noise).exe' την οποία μπορείτε να βρείτε κατεβάζοντας το 'Επίδραση θορύβου στις βασικές κυματομορφές τάσης' από το φάκελο 'Πολυμέσα' της σελίδας του μαθήματος στο eclass, μπορείτε να δείτε πως ο θόρυβος παραμορφώνει το σήμα τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο των συχνοτήτων.

### Ρυθμίσεις

- στο μενού *Waveform type* επιλέξτε ένα από τα τέσσερα βασικά είδη κυματομορφών (τετραγωνική-square, ημιτονοειδή-sine, πριονωτή-sawtooth και τριγωνική-triangle), *Sine Wave*.
- Με τα κουμπιά *frequency* και *amplitude* ορίστε τις τιμές για τη συχνότητα (σε Hz) και το πλάτος (σε V), αντίστοιχα.
- Με τον συρόμενο δείκτη-ποτενσιόμετρο *Noise amplitude* ρυθμίστε κατά βούληση το πλάτος του θορύβου

Δείτε την παραγόμενη κυματομορφή με το χρόνο στην 'οθόνη του παλμογράφου' *Waveform* και διαβάστε τα πλάτη των συνιστωσών του σήματος αλλά και το πλάτος του θορύβου στην 'οθόνη του αναλυτή φάσματος' *FFT Spectrum*

## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Ευαισθησία (συνέχεια)

- Μια μεγάλη ποικιλία οργάνων μέτρησης είναι κατασκευασμένα (ως προς τον αριθμό ψηφίων του A/D και την κλίμακα εισόδου) για να κάνουν υψηλής ευαισθησίας μετρήσεις

### Παραδείγματα:

- Νανο-βολτόμετρα (nanovoltmeters),
- Πικο-αμπερόμετρα (picoammeters),
- Ηλεκτρόμετρα (electrometers)
- Υψηλής ανάλυσης DMM (high-resolution DMMs).

## Παραδείγματα υπολογισμού της ευαισθησίας για όργανα διαφόρων επιπέδων ανάλυσης (διακριτικής ικανότητας)

Διακριτική ικανότητα (Counts)	Κλίμακα (Range)	Ευαισθησία (Sensitivity)
3½ digits (2000)	2V	1mV
4½ digits (20000)	2Ω	100μΩ
16-bit A/D (65536)	2V	30μV
8½ digits (200 000 000)	200mV	1nV



## Στατικά Χαρακτηριστικά των Οργάνων – Ακρίβεια

**Απόλυτη ακρίβεια** (absolute accuracy): εκφράζει την εγγύτητα του αποτελέσματος μιας μέτρησης προς την πραγματική τιμή (true value) του μεγέθους.

*Πως μπορούμε, όμως, να γνωρίζουμε την πραγματική τιμή ενός μεγέθους;;;*

- Ορίζεται σε σχέση με μια πρότυπη τιμή, εθνική ή διεθνή.  
Π.χ., πρότυπη dc τάση,  
πρότυπη αντίσταση, κ.λπ.
- Τα όργανα μέτρησης τυπικά βαθμονομούνται συγκρίνοντάς τα ως προς μια γνωστή πρότυπη τιμή.
- Τα περισσότερα κράτη διαθέτουν τα δικά τους ινστιτούτα προτύπων όπου διατηρούνται τα εθνικά πρότυπα για το κάθε μέγεθος.
- Η **ολίσθηση** (drift) ενός οργάνου αναφέρεται στη δυνατότητά του να διατηρεί τη βαθμονόμησή του στο χρόνο.

Όργανο μέτρησης  
DC τάσης



Πρότυπη πηγή  
τάσης (Calibrator)

**Σχετική ακρίβεια** (relative accuracy): αναφέρεται στη διαφορά μιας μετρούμενης άγνωστης τιμής από μια τιμή αναφοράς καθορισμένης τοπικά (μπορεί και να μην είναι η απόλυτα ακριβής τιμή).

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Κατά τον εργαστηριακό έλεγχο προϊόντων ή διακρίβωση της λειτουργίας συσκευών, είναι συνήθως σημαντικό να ελέγχουμε μεταβολές της θερμοκρασίας του χώρου του εργαστηρίου κατά  $\pm 0.1$  °C (σχετική ακρίβεια μέτρησης της θερμοκρασίας) αλλά, πραγματικά, δεν ενδιαφέρει αν αυτή είναι ακριβώς, π.χ., στους 25.0°C (απόλυτη ακρίβεια).

- Η μέτρηση της μεταβολής ενός μεγέθους μέσα σε κάποια όρια (tolerance) (π.χ.,  $\pm 0.01$ C°) είναι μακράν ευκολότερη της επιβεβαίωσης της τιμής του μεγέθους με απόλυτη ακρίβεια
- Συνήθως, αυτό που απαιτούν οι περισσότερες πρακτικές εφαρμογές είναι η σχετική ακρίβεια.

# Προδιαγραφές ακρίβειας οργάνων

Εκφράζονται με δύο όρους:

1. σαν ποσοστό της μετρούμενης τιμής (gain error)
2. σαν ποσοστό της κλίμακας στην οποία γίνεται η μέτρηση (offset error)

Η συνολική ακρίβεια είναι το άθροισμα των δύο όρων και εκφράζεται σαν

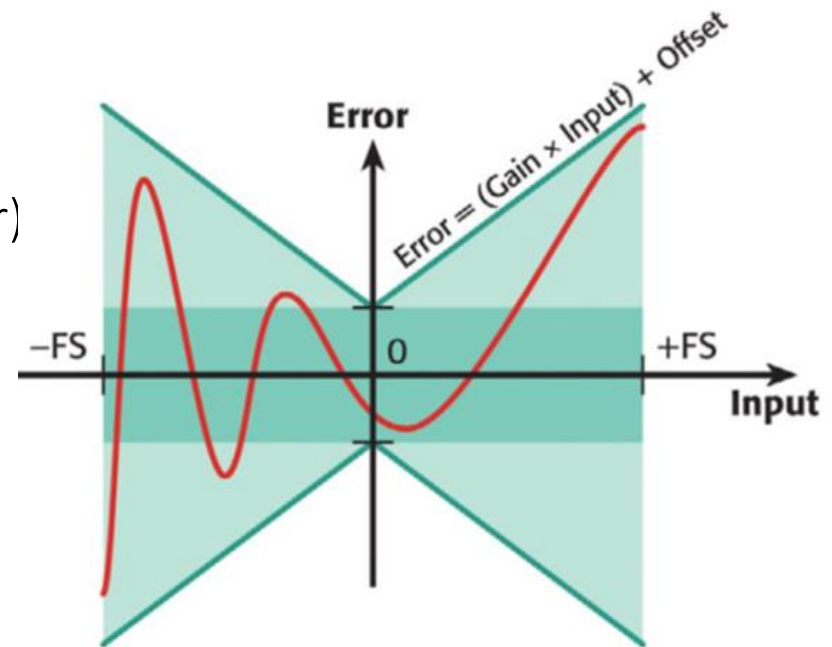
$$\pm (\text{gain error} + \text{offset error})$$

ή

$$\pm (\% \text{ reading} + \% \text{ range})$$

ή

$$\pm (\text{ppm of reading} + \text{ppm of range})$$



# Παράδειγμα προδιαγραφών ακρίβειας οργάνου

Η περίπτωση του ψηφιακού πολυμέτρου (DMM) Keysight 31401A σε λειτουργία (Function) μέτρησης συνεχούς τάσης (DC Voltage)

Accuracy Specifications  $\pm$  (% of reading + % of range)

Function	Range <sup>3</sup>	24 Hour <sup>2</sup> Tcal $\pm$ 1 °C	90 Day Tcal $\pm$ 5 °C	1 Year Tcal $\pm$ 5 °C
DC Voltage	100.0000 mV	0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035
	1.000000 V	0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0035 + 0.0007
	<b>10.00000 V</b>	<b>0.0015 + 0.0004</b>	<b>0.0020 + 0.0005</b>	<b>0.0030 + 0.0005</b>
	100.0000 V	0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006
	1000.000 V <sup>4</sup>	0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006

<file:///C:/Users/nikpo/OneDrive/Documents/KEYSIGHT/34411A%20DMM/34411A%20Data%20Sheet.pdf>

# Παράδειγμα υπολογισμού ακρίβειας μέτρησης

## Σενάριο 1°

Έστω ότι προσπαθούμε να μετρήσουμε μια τάση 0.5V στη κλίμακα 2V ενός DMM για το οποίο οι προδιαγραφές ακρίβειας είναι:

$$\text{Accuracy} = \pm(0.03\% \text{ of reading} + 0.01\% \text{ range}).$$

Ποια είναι η ακρίβεια (accuracy) ή, αλλιώς, η αβεβαιότητα (uncertainty) της τιμής της μέτρησης

## Απάντηση

$$\text{Uncertainty} = \pm(0.03\% \times 0.5\text{V} + 0.01\% \times 2.0\text{V}) = \pm(0.00015\text{V} + 0.00020\text{V}) = \pm 350\mu\text{V}$$

**Συμπέρασμα:** Η ένδειξη (Reading) του οργάνου μπορεί να είναι οποιαδήποτε στο διάστημα **0.499650** (0.5V–0.000350V) ως 0.500350 (0.5V+0.000350V)

## Παράδειγμα υπολογισμού ακρίβειας μέτρησης (συνέχεια)

### Σενάριο 2°

Το ίδιο με το 1° σενάριο (μέτρηση τάσης 0.5V στη κλίμακα 2V) αλλά με καλύτερης ποιότητας DMM με προδιαγραφές ακρίβειας:

$$\begin{aligned}\text{Accuracy} &= \pm(0.003\% \text{ reading} + 0.001\% \text{ range}) \\ &= \pm(30\text{ppm readings} + 10\text{ppm range}) \\ &= \pm(0.003\% \text{ reading} + 20 \text{ counts})\end{aligned}$$

Ποια είναι η αβεβαιότητα της τιμής της μέτρησης

### Απάντηση

$$\text{Uncertainty @0.5V} = \pm(0.000015 + 0.000020) = \pm0.000035\text{V} = \pm35\mu\text{V}$$

## Παράδειγμα υπολογισμού ακρίβειας μέτρησης (συνέχεια)

### Σενάριο 3<sup>ο</sup>

Έστω ότι προσπαθούμε να κάνουμε την ίδια μέτρηση με μια κάρτα DAQ που διαθέτει 12-bit A/D και προδιαγραφές ακρίβειας  $\pm(0.01\% \text{ reading} + 1 \text{ LSB})$

### Απάντηση

1 LSD αντιστοιχεί σε  $\frac{\text{range}}{2^{12}} = \frac{\text{range}}{4096} = 0.024\% \text{ range}$

*Αυτή η τιμή αποτελεί και την ευαισθησία της συσκευής (κάρτα DAQ)*

Επομένως, η αβεβαιότητα στη μέτρηση των 0.5 V

$$\begin{aligned}\text{Uncertainty} &= \pm \left( 0.01\% \times 0.5 + \frac{2.0}{4096} \right) \\ &= \pm(0.000050 + 0.000488) \\ &= \pm(0.000538) = \pm 538 \mu\text{V}\end{aligned}$$

**Συμπέρασμα:** Ακρίβεια μέτρησης με τη 12-bit κάρτα πολύ κατώτερη από το κατώτερης ποιότητας DMM του 1<sup>ου</sup> σεναρίου



# Θερμοκρασιακός συντελεστής προδιαγραφών αβεβαιότητας

DMM Keysight 31401A σε λειτουργία μέτρησης συνεχούς τάσης

Accuracy Specifications  $\pm$  (% of reading + % of range)<sup>1</sup>

Function	Range <sup>3</sup>	Frequency, Test Current or Burden Voltage	24 Hour <sup>2</sup> Tcal $\pm$ 1 °C	90 Day Tcal $\pm$ 5 °C	1 Year Tcal $\pm$ 5 °C	Temperature Coefficient/°C 0 °C to (Tcal -5 °C) (Tcal +5 °C) to 55 °C
DC Voltage	100.0000 mV		0.0030 + 0.0030	0.0040 + 0.0035	0.0050 + 0.0035	0.0005 + 0.0005
	1.000000 V		0.0020 + 0.0006	0.0030 + 0.0007	0.0035 + 0.0007	0.0005 + 0.0001
	<b>10.00000 V</b>		<b>0.0015 + 0.0004</b>	<b>0.0020 + 0.0005</b>	<b>0.0030 + 0.0005</b>	<b>0.0005 + 0.0001</b>
	100.0000 V		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006	0.0005 + 0.0001
	1000.000 V <sup>4</sup>		0.0020 + 0.0006	0.0035 + 0.0006	0.0040 + 0.0006	0.0005 + 0.0001

<file:///C:/Users/nikpo/OneDrive/Documents/KEYSIGHT/34411A%20DMM/34411A%20Data%20Sheet.pdf>

- **Θερμοκρασιακός συντελεστής** (Temperature coefficient) = Το διάστημα θερμοκρασιών εντός του οποίου ισχύουν οι δεδομένες προδιαγραφές ακριβείας ενός οργάνου

**Παράδειγμα:** Έστω ότι μετράμε στην κλίμακα 10V (10.00000 V),

- Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι στο διάστημα από 0°C ως  $T_{cal} - 5^\circ\text{C}$  ή από  $T_{cal} + 5^\circ\text{C}$  ως 55°C ( $T_{cal}$  η θερμοκρασία βαθμονόμησης του οργάνου), απαιτείται διόρθωση ακρίβειας 0.0005% of reading + 0.0001% of range
- Αν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι  $\pm 5^\circ\text{C}$  γύρω από τη θερμοκρασία βαθμονόμησης ( $T_{cal} - 5^\circ\text{C}$  ως  $T_{cal} + 5^\circ\text{C}$ ), δεν απαιτείται επιπλέον διόρθωση.

# Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα

**Ακρίβεια (accuracy)** είναι μια έκφραση της εγγύτητας του αποτελέσματος με την πραγματική τιμή.

**Επαναληψιμότητα (precision ή repeatability)** είναι η εγγύτητα των μετρήσεων μεταξύ τους (δείχνει την ύπαρξη συστηματικών σφαλμάτων μέτρησης)



- **Καλή ακρίβεια** (ο μέσος όρος των 4 μετρήσεων είναι κοντά στην πραγματική τιμή (κέντρο))

- **Κακή ακρίβεια** (ο μέσος όρος των 4 μετρήσεων είναι μακριά από την πραγματική τιμή (κέντρο))

- **Καλή ακρίβεια**
- **Καλή επαναληψιμότητα**

- **Κακή ακρίβεια**
- **Κακή επαναληψιμότητα**

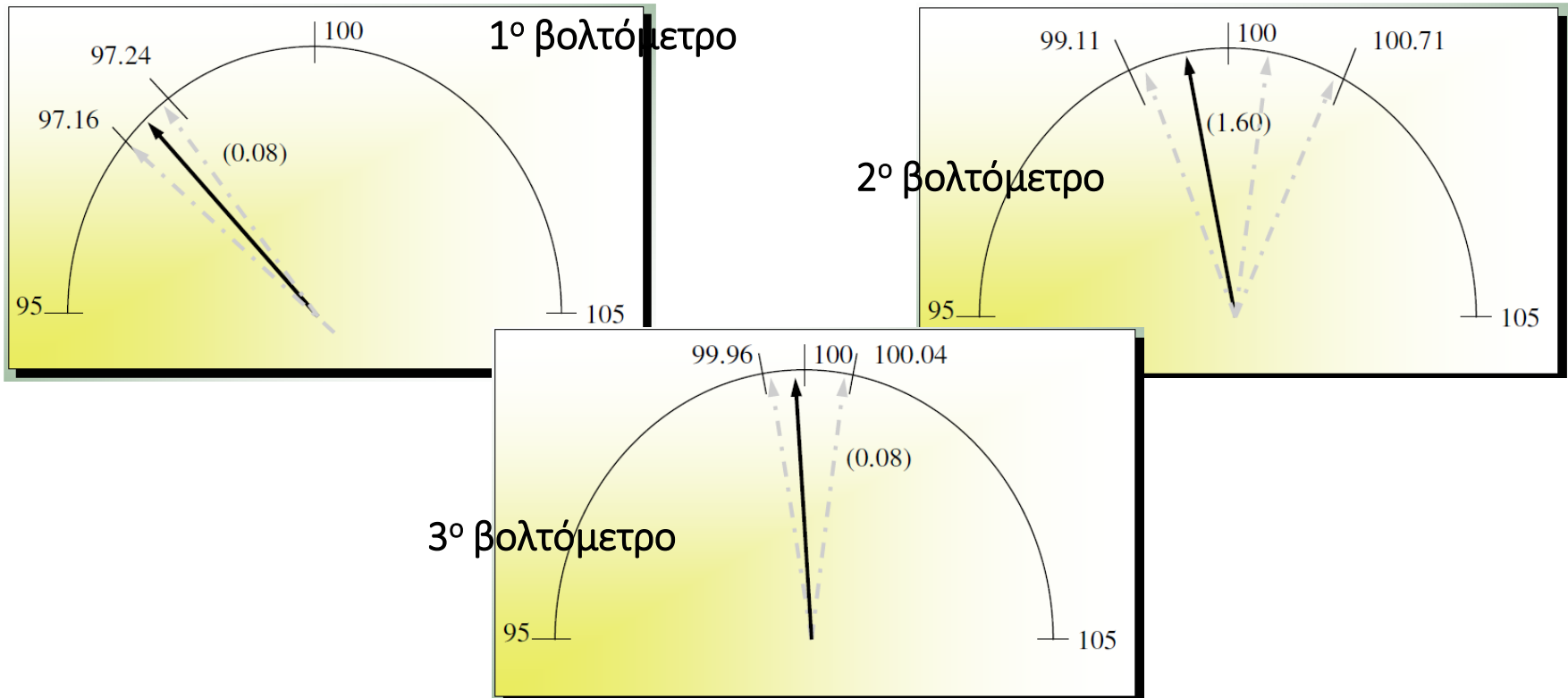
- **Κακή επαναληψιμότητα** (μεγάλη διασπορά των τιμών μεταξύ τους)

- **Καλή επαναληψιμότητα** (μικρή διασπορά των τιμών μεταξύ τους)

## Παράδειγμα

Ας υποθέσουμε ότι γίνεται μια μέτρηση σε μια τέλεια πηγή τάσης των 100.00 Volt με τρία διαφορετικά όργανα (βολτόμετρα).

Με κάθε όργανο λαμβάνονται δέκα μετρήσεις. Στις παρακάτω τρεις εικόνες φαίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Πως χαρακτηρίζετε το κάθε όργανο ως προς ακρίβεια και επαναληψιμότητα;



## Δυναμικά Χαρακτηριστικά Οργάνων

Επηρεάζουν τον τρόπο λειτουργίας τους κατά τη μέτρηση χρονικά μεταβαλλόμενων ποσοτήτων.

- Ρυθμός δειγματοληψίας
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Δυναμικό εύρος

## Δυναμικά Χαρακτηριστικά Οργάνων – Ρυθμός δειγματοληψίας

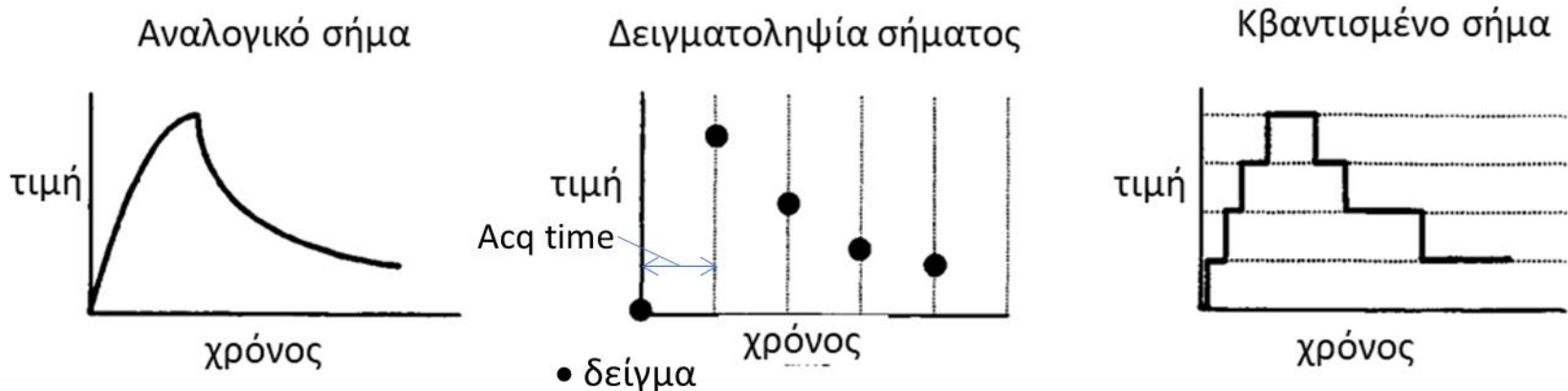
(**Sample Rate**) είναι η συχνότητα με την οποία λαμβάνονται δείγματα (μετρήσεις) της τάσης.

Εκφράζεται σε Samples/s ή S/s

Καθορίζεται από την ταχύτητα του Analog-to-Digital-Converter (ADC)

Μπορεί να περιοριστεί

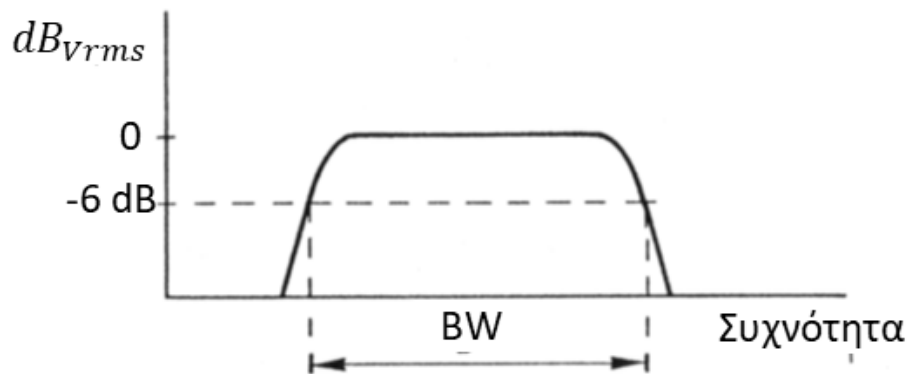
- είτε από το χρόνο μέτρησης (Acquisition time, ο χρόνος που απαιτείται από τον ADC για την ψηφιοποίηση της αναλογικής τιμής της τάσης)
- είτε από το ρυθμό εξόδου (Output rate, το χρονικό διάστημα που απαιτείται για την καταγραφή και εμφάνιση του αποτελέσματος).



## Δυναμικά Χαρακτηριστικά Οργάνων – Εύρος ζώνης συχνοτήτων

(**Bandwidth - BW**) είναι μέτρο του χρήσιμου εύρους συχνοτήτων του οργάνου.

- Τα ανώτερα και κατώτερα όρια της BW ορίζονται ως οι συχνότητες στις οποίες το πλάτος (της τάσης) του σήματος έχει μειωθεί στο ήμισυ της ονομαστικής της τιμής.



- Καθορίζεται από τις δυνατότητες του τελεστικού ενισχυτή (OpAmp) στην είσοδο του οργάνου
- Το κατώτερο όριο της BW μπορεί να είναι μηδέν· το ανώτατο όριο έχει πάντα πεπερασμένη τιμή.
- Η έκταση της ζώνης συχνοτήτων εκφράζεται σε Hz.

## Δυναμικά Χαρακτηριστικά Οργάνων – Δυναμικό εύρος

(**Dynamic Range**) αναφέρεται στο εύρος από τη μικρότερη έως τη μεγαλύτερη τιμή ανιχνεύσιμων σημάτων.

### Παράδειγμα

Ένα βολτόμετρο μπορεί να είναι σε θέση να καταγράψει είσοδο από 10 microvolt έως 1 kilovolt.

- Συχνά, εκφράζεται σε  $\text{dB}_V$

$$\text{Dynamic range} = 20 \log \left( \frac{V_{max}}{V_{min}} \right) = 180 \text{ dB}$$

- Καθορίζεται από επίπεδο θορύβου που επάγεται στο όργανο.