

11. ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΙΣ D/A ΚΑΙ A/D

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ – ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. Να ορίσετε την διακριτική ικανότητα, την ακρίβεια και το χρόνο αποκατάστασης ενός μετατροπέα D/A.

Απάντηση:

- Η **διακριτική ικανότητα (resolution)** ενός μετατροπέα D/A είναι ο αριθμός των bits της λέξης εισόδου που χρησιμοποιεί ο μετατροπέας για την παραγωγή του αναλογικού σήματος στην έξοδό του.
- Η **ακρίβεια (accuracy)** ενός μετατροπέα είναι η διαφορά της πραγματικής εξόδου από την ιδανική. Ορίζεται σαν ένα ποσοστό της περιοχής τάσης λειτουργίας (%)
- Ο **χρόνος αποκατάστασης (settling time)** ενός μετατροπέα είναι ο χρόνος από την στιγμή που εφαρμόζεται στις εισόδους του μετατροπέα D/A μια ψηφιακή λέξη, μέχρι την εμφάνιση της αντίστοιχης αναλογικής εξόδου του.

2. Ποια είναι η διακριτική ικανότητα ενός μετατροπέα D/A των 12 bits; Εάν η περιοχή τάσης λειτουργίας του είναι 10V, ποια είναι η ελάχιστη μεταβολή της αναλογικής τάσης εξόδου του;

Απάντηση:

12 bits

(α) Διακριτική Ικανότητα N= ?

(β) $\Delta V=10V$
 $V_{mes} = ?$

(α) Η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα D/A είναι **N=12 bits**.

(β) Η ελάχιστη μεταβολή της αναλογικής τάσης εξόδου είναι:

$$V_{mes} = \frac{\Delta V}{2^N - 1} = \frac{10}{2^{12} - 1} = \frac{10}{4096 - 1} = \frac{10}{4095} = \\ = 0,0024V = \mathbf{2,4mV}$$

3. Ένας μετατροπέας D/A των 4 bits παράγει μια τάση εξόδου 8V με ψηφιακή λέξη εισόδου 1000. Αν η ελάχιστη τάση που παράγει ο μετατροπέας D/A είναι 0V, ποια θα είναι η τάση εξόδου του για την ψηφιακή λέξη εισόδου 1111; Ποια είναι η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα D/A;

Απάντηση:

(α) 4-bits

Είσοδος: 1000 $\rightarrow D = 8$ Έξοδος: $V_o = 8V$

Είσοδος: 1111 $\rightarrow D' = 15$ Έξοδος: $V_o' = ?$

(β) Διακριτική Ικανότητα N= ?

(α) $V_o = V_{mes} \cdot D$

$$8V = V_{mes} \cdot 8$$

$$V_{mes} = 1V$$

Για είσοδο $D' = 15$ η αναλογική τάση εξόδου θα είναι:

$$V_o' = V_{mes} \cdot D'$$

$$V_o' = 1V \cdot 15$$

$$\mathbf{V_o' = 15V}$$

(β) Η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα είναι **N=4 bits** όσα και τα bits εισόδου του μετατροπέα.

4. Σε μια εφαρμογή πρέπει να επιλέξετε ένα μετατροπέα D/A με ανάλυση μέτρησης 1V και περιοχή τάσης λειτουργίας 0V έως 15V. Να καθορίσετε την διακριτική ικανότητα του μετατροπέα D/A που θα επιλέξετε.

$V_{mes} = 1V$
 $\Delta V: 0 \text{ ως } 15 V$
Διακριτική Ικανότητα $N = ?$

Απάντηση:

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} = 15 - 0 = 15V$$

$$V_{mes} = \frac{\Delta V}{2^N - 1}$$

$$1 = \frac{15}{2^N - 1}$$

$$2^N - 1 = 15$$

$$2^N = 16$$

$$2^N = 2^4$$

$$N = 4$$

Η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα D/A θα πρέπει να είναι **4bits**.

5. Να ορίσετε την διακριτική ικανότητα, την ακρίβεια και το χρόνο μετατροπής ενός μετατροπέα A/D.

Απάντηση:

Η **διακριτική ικανότητα (resolution)** ενός μετατροπέα A/D είναι ο αριθμός των bits που χρησιμοποιεί ο μετατροπέας A/D για να αναπαραστήσει ένα αναλογικό σήμα.

Η **ακρίβεια (accuracy)** ενός μετατροπέα A/D είναι η διαφορά της πραγματικής εξόδου από την ιδανική. Ορίζεται σαν ένα ποσοστό της περιοχής τάσης λειτουργίας (%)

Ο **χρόνος μετατροπής (conversion time)** ενός μετατροπέα A/D είναι ο χρόνος που απαιτείται για την ψηφιοποίηση της αναλογικής τάσης που εφαρμόζεται στην είσοδο του μετατροπέα A/D.

ΠΡΟΣΟΧΗ! Ο χρόνος μεταξύ των διαδοχικών δειγμάτων της εισόδου θα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το χρόνο μετατροπής.

6. Ποια είναι η διακριτική ικανότητα ενός μετατροπέα A/D των 12 bits; Εάν η συνολική τάση εισόδου του είναι 10V, ποιο είναι το βήμα κβάντισης του μετατροπέα A/D;

12 bits
(α) Διακριτική Ικανότητα $N = ?$
(β) $\Delta V = 10V$
 $q = ?$

Απάντηση:

(α) Η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα A/D είναι **12 bits**.

(β) Το βήμα κβάντισης του μετατροπέα A/D είναι:

$$q = \frac{\Delta V}{2^N - 1} = \frac{10}{2^{12} - 1} = \frac{10}{4096 - 1} = \frac{10}{4095} = 0,0024V = \mathbf{2,4mV}$$

7. Ένας μετατροπέας A/D των 4 bits παράγει για τάση εισόδου 1V την ψηφιακή λέξη 1000. Αν η ελάχιστη τάση που χρησιμοποιεί ο μετατροπέας A/D είναι τα 0V, ποια θα είναι η ψηφιακή του έξοδος για τάση εισόδου των 1,25 V; Να βρείτε το βήμα κβάντισης του μετατροπέα A/D.

4-bits	
Είσοδος: $V_{in}=1V$	Έξοδος: 1000 $\rightarrow D = 8$
Είσοδος: $V_{in}' = 1,25V$	Έξοδος: ?
$q = ?$	

Απάντηση:

$$V_{in} = q \cdot D$$

$$1V = q \cdot 8$$

$$q = 1/8 \text{ V} \text{ ή } q=0,125V$$

Για τάση εισόδου $V_{in} = 1,25V$ τότε

$$V_{in}' = q \cdot D'$$

$$1,25V = 0,125V \cdot D'$$

$$D' = \frac{1,25}{0,125} = 10$$

Ο δεκαδικός αριθμός **10** αντιστοιχεί στον δυαδικό αριθμό **1010**.

Άρα για τάση εισόδου 1,25V η ψηφιακή λέξη εξόδου θα είναι η «**1010**».

8. Αν η ελάχιστη είσοδος ενός μετατροπέα A/D είναι 0V και η μέγιστη 10V, ποια διακριτική ικανότητα πρέπει να έχει ο μετατροπέας ώστε το βήμα κβάντισης να είναι μικρότερο από 20 mV;

ΔV : 0 ως 10 V
$q < 20mV = 0,02V$
Διακριτική Ικανότητα $N = ?$

Απάντηση:

$$\Delta V = V_{max} - V_{min} = 10 - 0 = 10V$$

Το βήμα κβάντισης του μετατροπέα δίνεται από την σχέση:

$$q = \frac{\Delta V}{2^N - 1} = \frac{10}{2^N - 1}$$

Επειδή πρέπει $q < 0,02V$ τότε:

$$\frac{10}{2^N - 1} < 0,02$$

$$\frac{10}{0,02} < 2^N - 1$$

$$500 < 2^N - 1$$

$$2^N > 501$$

Άρα θα πρέπει ο A/D να έχει τουλάχιστον 501 στάθμες κβάντισης.

$$2^9 = 512 > 501$$

Άρα, η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα πρέπει να είναι **N=9 bits**.

9. Σε μια εφαρμογή πρέπει να επιλέξετε έναν μετατροπέα A/D με βήμα κβάντισης 1V και περιοχή τάσης λειτουργίας 0V έως 15V. Να καθορίσετε την διακριτική ικανότητα του μετατροπέα A/D που θα επιλέξετε.

$q = 1V$
 $\Delta V: 0 \text{ ως } 15 V$
Διακριτική Ικανότητα $N = ?$

Απάντηση:

$$\Delta V = V_{\max} - V_{\min} = 15 - 0 = 15V$$

$$q = \frac{\Delta V}{2^N - 1}$$

$$1 = \frac{15}{2^N - 1}$$

$$2^N - 1 = 15$$

$$2^N = 16$$

$$2^N = 2^4$$

$$N=4$$

Η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα A/D θα πρέπει να είναι **4bits**.

10. Σε μια εφαρμογή μέτρησης θερμοκρασίας του περιβάλλοντος θέλουμε την ψηφιοποίηση της εξόδου ενός κυκλώματος προσαρμογής ενός αισθητήρα θερμοκρασίας. Η περιοχή των θερμοκρασιών που θέλουμε να μετρήσουμε είναι από -30°C έως $+70^\circ\text{C}$ σε βήματα των 1°C . Ποια η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα A/D που θα επιλέξουμε για την εφαρμογή αυτή;

Απάντηση:

Η περιοχή των θερμοκρασιών που θέλουμε να μετρήσουμε είναι εύρους $\Delta\theta = 70^\circ\text{C} - (-30^\circ\text{C}) = 100^\circ\text{C}$ σε βήματα του 1°C . Οπότε:

$$\frac{\Delta\theta}{\text{βήμα}} = \frac{100^\circ}{1^\circ} = 100$$

Άρα χρειαζόμαστε 100 υποδιαιρέσεις της περιοχής θερμοκρασιών. Δηλαδή, θα πρέπει να μπορεί να καταγράψει 101 τιμές θερμοκρασίας. Αυτό σημαίνει ότι ο μετατροπέας A/D που θα επιλέξουμε θα πρέπει να έχει τουλάχιστον 101 τιμές τάσης (στάθμες κβάντισης):

$$2^N \geq 101$$

$2^7 = 128$. Άρα η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα θα πρέπει να είναι **N=7bits**

11. Σε μια εφαρμογή κατασκευής μιας ηλεκτρονικής ψηφιακής ζυγαριάς θέλουμε να ψηφιοποιείται η έξοδος του αισθητήρα ζύγισης. Αν η ζυγαριά πρέπει να ζυγίζει βάρη έως 120kgr σε βήματα του 0,5 kgr, ποια η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα A/D που θα επιλέξουμε;

Απάντηση:

Η περιοχή βάρους που θέλουμε να μετρήσουμε είναι εύρους $\Delta W=120 \text{ kgr}$ σε βήματα του **0,5kgr**.

Οπότε:

$$\frac{\Delta W}{\text{βήμα}} = \frac{120\text{kgr}}{0,5\text{kgr}} = 240$$

Άρα η περιοχή των 120Kg θα πρέπει να διαιρεθεί σε 240 τμήματα, δηλαδή, θα πρέπει η ζυγαριά να μπορεί να καταγράψει 241 διαφορετικές τιμές βάρους.

Αυτό σημαίνει ότι ο μετατροπέας A/D που θα επιλέξουμε θα πρέπει να έχει τουλάχιστον 241 τιμές τάσης (στάθμες κβάντισης):

$$2^N \geq 241$$

$2^8=256$. Άρα η διακριτική ικανότητα του μετατροπέα θα πρέπει να είναι **N=8bits**

Παράδειγμα σελ. 256

Ένας μετατροπέας D/A των 4 bits ο οποίος όταν η δυαδική του είσοδος μεταβάλλεται κατά ένα LSB η τάση εξόδου του μεταβάλλεται κατά 0,1V. Πόση θα είναι η αναλογική του έξοδος για ψηφιακή είσοδο 1011;

4-bits
 $V_{mes} = 0,1V$
 Είσοδος: 1011 $\rightarrow D = 11$
 Έξοδος: $V_o = ?$

Απάντηση:

$$V_o = V_{mes} \cdot D$$

$$V_o = 0,1V \cdot 11$$

$$V_o = 1,1V$$

Παράδειγμα σελ. 262

Σε ένα μετατροπέα A/D των 4 bits, όταν η τάση εισόδου του μεταβάλλεται κατά 0,1V η ψηφιακή λέξη της εξόδου του μεταβάλλεται κατά ένα LSB. Ποια είναι η ψηφιακή έξοδος για αναλογική είσοδο 1,1V και ποια για είσοδο 1,03V;

4-bits
 $q = 0,1V$
 Είσοδος: $V_{in} = 1,1V$ Έξοδος: ?
 Είσοδος: $V_{in}' = 1,03V$ Έξοδος: ?

Απάντηση:

Για $V_{in} = 1,1V$ τότε	Για $V_{in} = 1,03V$ τότε
$V_{in} = q \cdot D$	$V_{in} = q \cdot D$
$D = \frac{V_{in}}{q}$	$D = \frac{V_{in}}{q}$
$D = \frac{1,1}{0,1}$	$D = \frac{1,03}{0,1}$
$D = 11$	$D = 10,3$
Δεκαδικός 11 \rightarrow δυαδικός 1011	Πλησιέστερος ακέραιος το 10.
Σφάλμα μετατροπής: 0V	Δεκαδικός 10 \rightarrow δυαδικός 1010
	Σφάλμα μετατροπής: -0,03V

Άσκηση 1

Αν ένας μετατροπέας D/A έχει περιοχή τάσης λειτουργίας 10V και ακρίβεια 0,2% της περιοχής τάσης λειτουργίας να υπολογίσετε το μέγιστο σφάλμα εξόδου:

Απάντηση:

$$\text{Μέγιστο Σφάλμα} = \pm 0,2\% \Delta V = \pm \frac{0,2}{100} 10V = \pm 0,02V = \pm 20mV$$

Άσκηση 2

Αν ένας μετατροπέας A/D έχει περιοχή τάσης λειτουργίας 10V και ακρίβεια 0,2% της περιοχής τάσης λειτουργίας να υπολογίσετε το μέγιστο σφάλμα:

Απάντηση:

$$\text{Μέγιστο Σφάλμα} = \pm 0,2\% \Delta V = \pm \frac{0,2}{100} 10V = \pm 0,02V = \pm 20mV$$

Συμπληρωματική Θεωρία

Ο μετατροπέας D/A

♥ Ο μετατροπέας D/A δέχεται στις ψηφιακές εισόδους του μια ψηφιακή λέξη και παράγει στην αναλογική έξοδό του μια ανάλογη προς τις εισόδους τάση ή ρεύμα.

♥ **Ανάλυση μέτρησης V_{mes}** ενός D/A μετατροπέα λέγεται η ελάχιστη μεταβολή της αναλογικής τάσης εξόδου λόγω της αλλαγής της ψηφιακής εισόδου κατά το LSB.

♥ Κυκλώματα μετατροπέων D/A

1. Μετατροπέας D/A τύπου R/2R. Αποτελείται από έναν Τελεστικό Ενισχυτή και δικτύωμα αντιστάσεων με τιμές R και 2R.

2. Μετατροπέας D/A με ολοκληρωμένο κύκλωμα. Η αναλογική έξοδος του Ο.Κ. DAC0808 είναι ρεύμα και όχι τάση και για το λόγο αυτό συνδέουμε εξωτερικά τον TE741 με αντίσταση ανάδρασης 1KΩ για την μετατροπή του ρεύματος εξόδου σε τάση.

Ο μετατροπέας A/D

♥ Ο μετατροπέας A/D δέχεται στην αναλογική του είσοδο μια αναλογική τάση και παράγει στις ψηφιακές εξόδους του ένα δυαδικό αριθμό ανάλογο της τάσης εισόδου.

♥ **Βήμα κβάντισης q** ενός A/D μετατροπέα λέγεται η ελάχιστη μεταβολή της αναλογικής τάσης εισόδου η οποία μετατρέπεται σε μεταβολή του LSB.

♥ Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με μετατροπέα A/D περιλαμβάνει 2 διαδικασίες:

1. Τη **δειγματοληψία**, με την οποία το αναλογικό σήμα από συνεχές στο πεδίο του χρόνου γίνεται διακριτό και υλοποιείται με κύκλωμα δειγματοληψίας και συγκράτησης (S/H).
2. Την **κβάντιση**, με την οποία το αναλογικό σήμα από συνεχές στο πεδίο του πλάτους γίνεται διακριτό και υλοποιείται με τον μετατροπέα A/D.

♥ Έναρξη και λήξη μετατροπής

Οι μετατροπείς A/D έχουν τις εξής εισόδους – εξόδους:

- Την **είσοδο SOC** (Start of Conversion) για την **ενεργοποίηση** της διαδικασίας μετατροπής της αναλογικής τάσης εισόδου σε ψηφιακό αριθμό.
- Την **έξοδο EOC** (End of Conversion) μέσω της οποίας ο μετατροπέας μας ενημερώνει ότι **ολοκληρώθηκε** η μετατροπή της αναλογικής τάσης εισόδου σε ψηφιακό αριθμό.

♥ Κυκλώματα μετατροπών A/D

1. Ο μετατροπέας A/D διαδοχικών προσεγγίσεων κατασκευάζεται με

- ένα συγκριτή,
- ένα μετατροπέα D/A και
- τον καταχωρητή διαδοχικών προσεγγίσεων SAR.

2. Μετατροπέας A/D με ολοκληρωμένο κύκλωμα.

♥ Οι μετατροπείς D/A και A/D χρησιμοποιούνται σε:

Συστήματα αυτόματου ελέγχου

Συστήματα συλλογής δεδομένων

Συστήματα μετρήσεων

Συστήματα επικοινωνίας

Συστήματα πολυμέσων