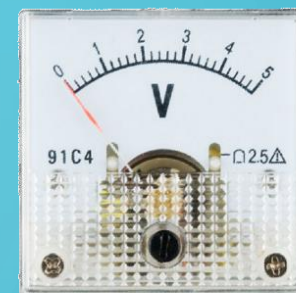
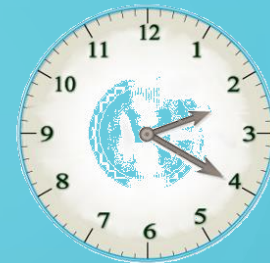




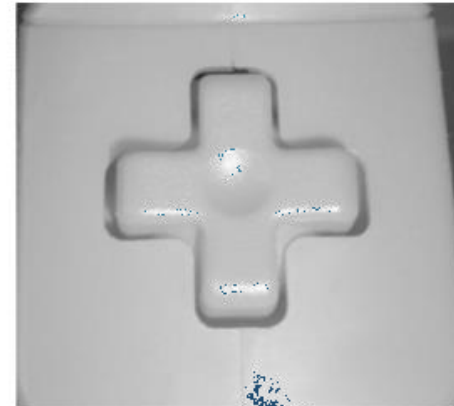
ΘΗΨ3 Ψηφιακά Ηλεκτρονικά



Μετατροπείς D/A & A/D Παρ.1
D/A & A/D Converters (14)



Αναλογικά - Ψηφιακά συστήματα

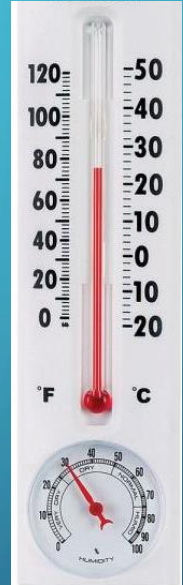


Αναλογικά - Ψηφιακά σήματα

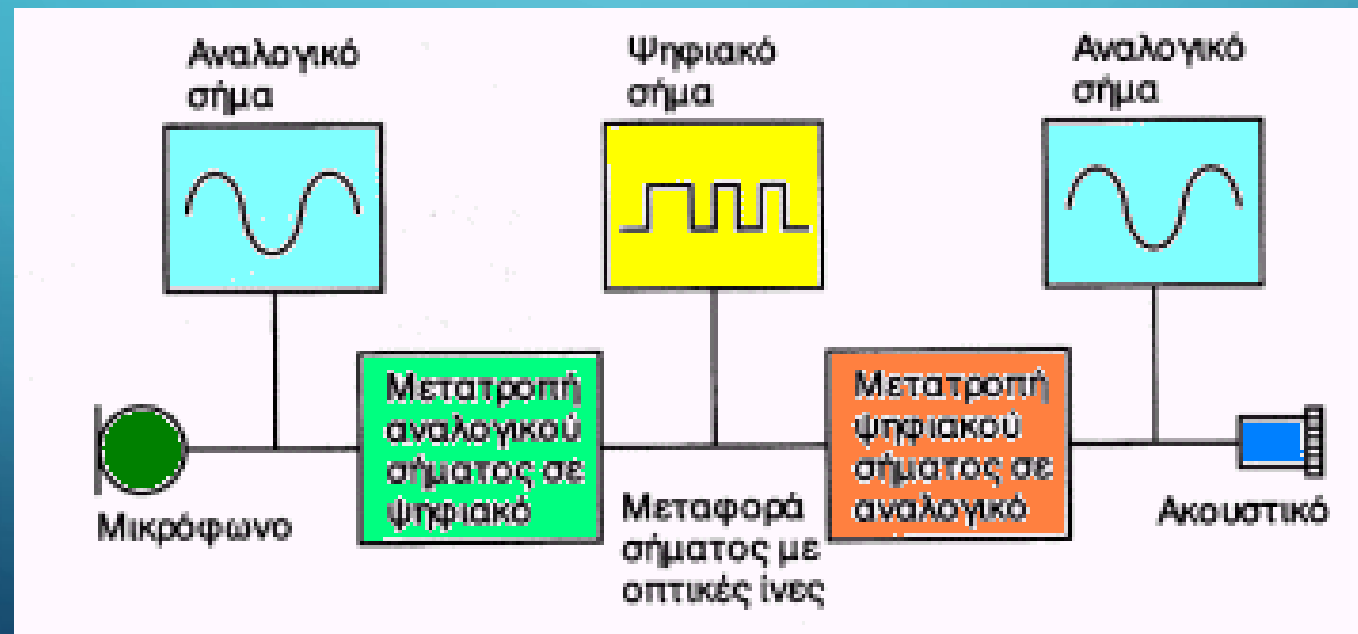
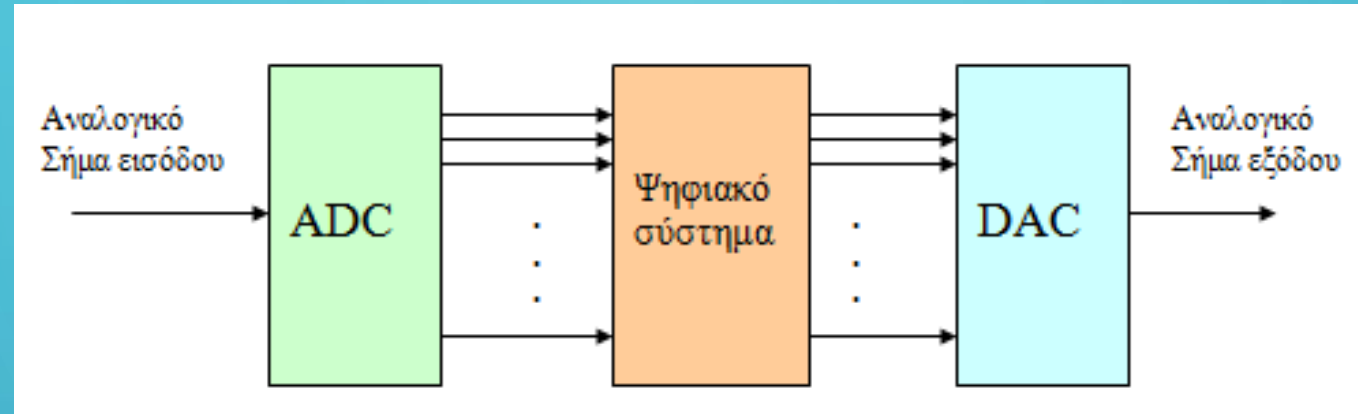
Οι πληροφορίες άρα και τα σήματα στα κυκλώματα των ψηφιακών συστημάτων βρίσκονται κωδικοποιημένα σε ψηφιακή μορφή.

Τα φυσικά μεγέθη και γενικά οι πληροφορίες από τον φυσικό κόσμο βρίσκονται σε αναλογική μορφή

Η επικοινωνία της ψηφιακής συσκευής με το περιβάλλον προϋποθέτει την ύπαρξη ενός κυκλώματος που να μετατρέπει το αναλογικό σήμα σε ψηφιακό και από ψηφιακό σε αναλογικό για να γίνεται η επεξεργασία τους



Μπλοκ διάγραμμα ψηφιακού συστήματος με μετατροπείς A/D και D/A.

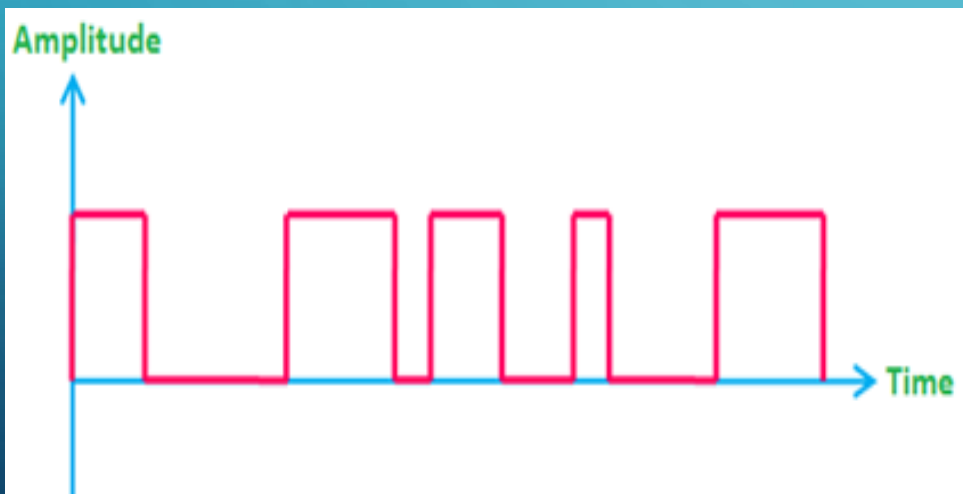
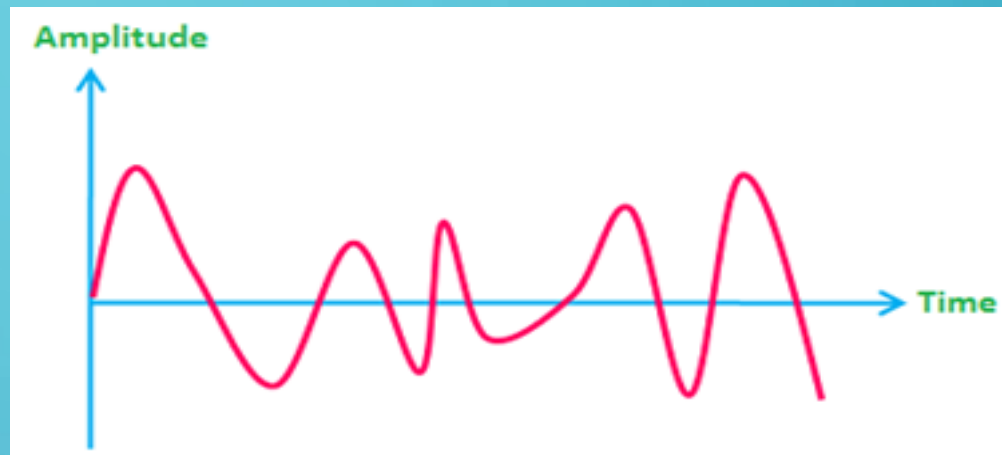


Πλεονεκτήματα ψηφιακής τεχνολογίας

- ✓ Δεν επιδέχονται αλλοιώσεις κατά την επεξεργασία, την αποθήκευση και τη μεταφορά τους.
- ✓ Έχουν μικρότερο όγκο αποθήκευσης.
- ✓ Ευκολότερη επεξεργασία.
- ✓ Δυνατότητα Προγραμματισμού
- ✓ Πολύ καλή τεχνολογία

Αναλογικά και Ψηφιακά σήματα

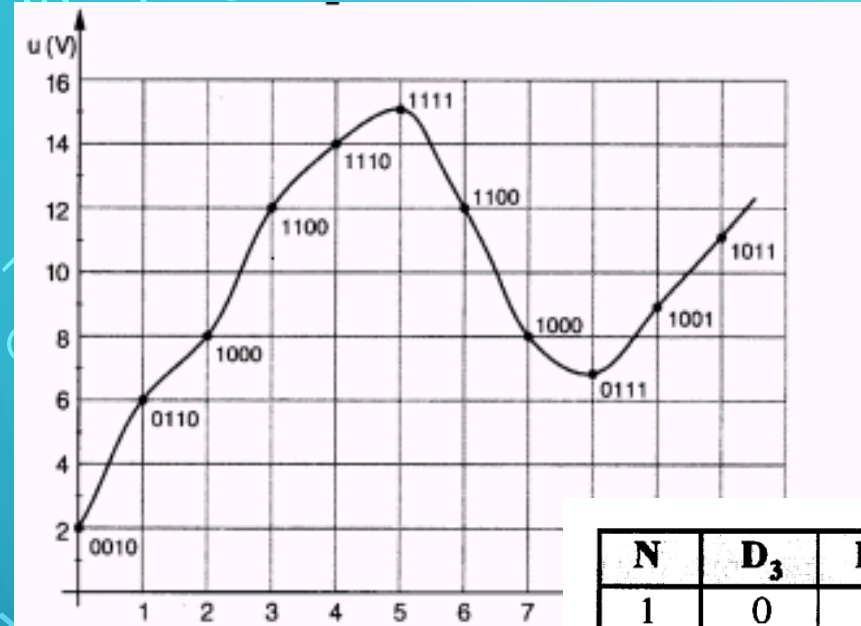
Αναλογικά ονομάζονται τα σήματα που παρουσιάζουν συνεχείς μεταβολές στο χρόνο και παίρνουν άπειρες τιμές.



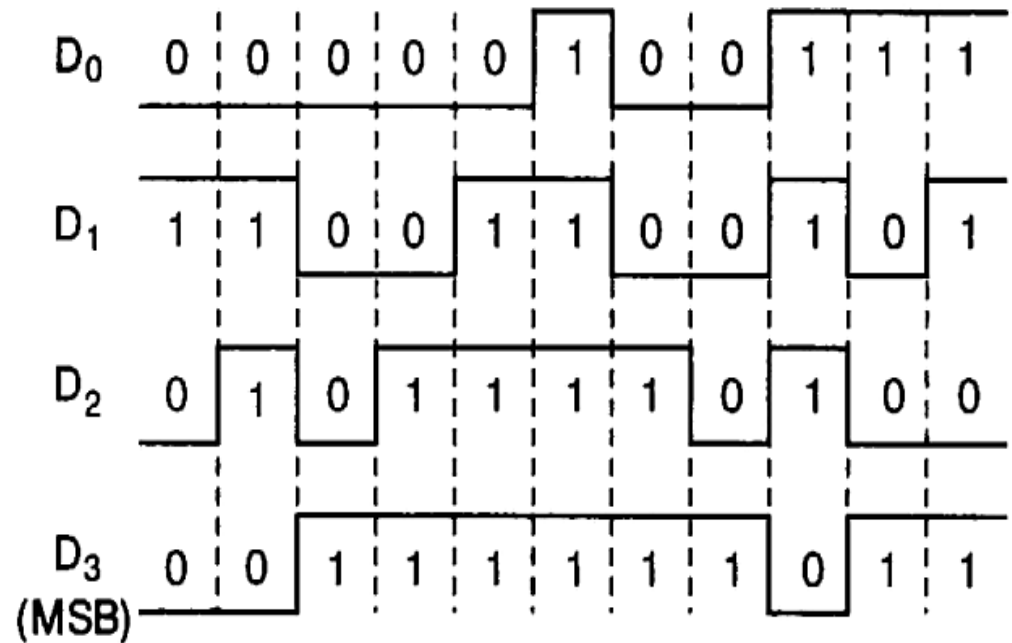
Τα ψηφιακά σήματα παίρνουν διακριτές τιμές μόνο. (Συνήθως δύο, τη χαμηλή και τη ψηλή) με τις οποίες κωδικοποιούνται όλες οι πληροφορίες.

Αντιστοιχία αναλογικού και ψηφιακού σήματος

Σε ένα αναλογικό σήμα, αν λάβουμε μετρήσεις της τιμής του σήματος σε ίσα χρονικά διαστήματα και τις κωδικοποιήσουμε στο δυαδικό σύστημα με 4 bit δημιουργούμε τον πίνακα τιμών του σήματος ώστε να σχεδιάσουμε το ψηφιακό σήμα.

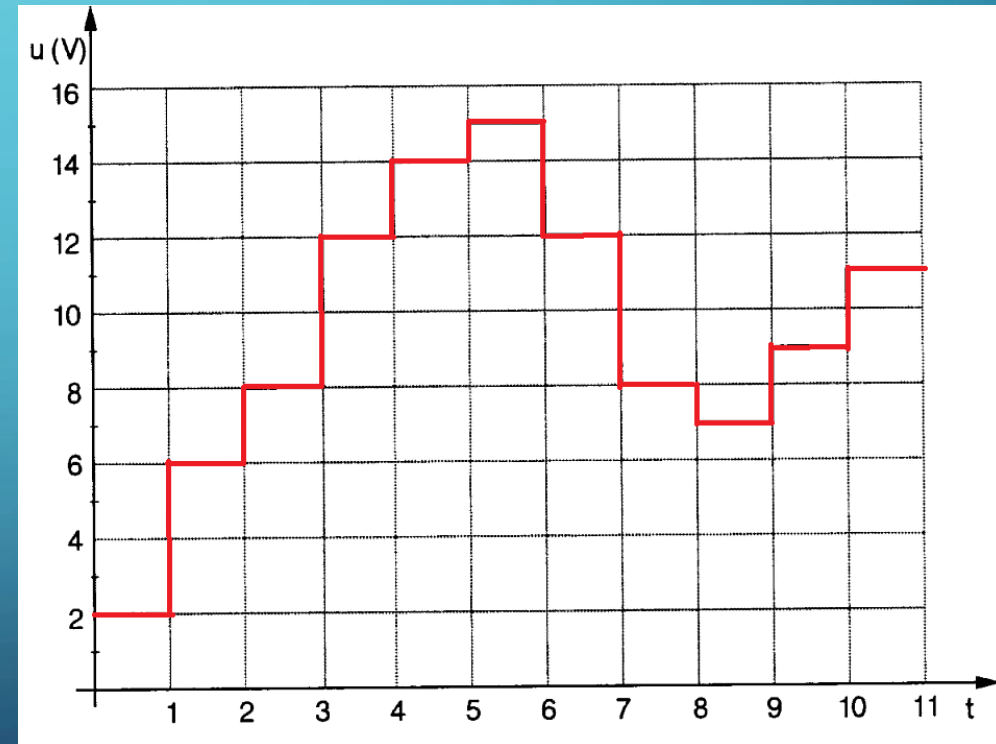
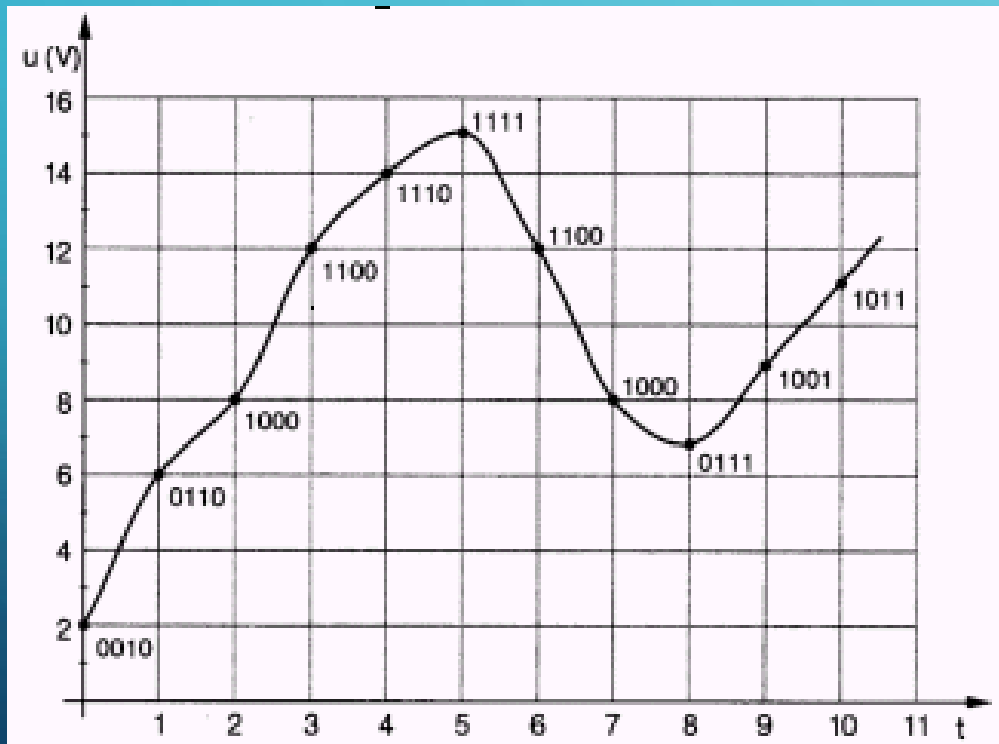


N	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	u(V)
1	0	0	1	0	2
2	0	1	1	0	6
3	1	0	0	0	8
4	1	1	0	0	12
5	1	1	1	0	14
6	1	1	1	1	15
7	1	1	0	0	12
8	1	0	0	0	8
9	0	1	1	1	7
10	1	0	0	1	9
11	1	0	1	1	11

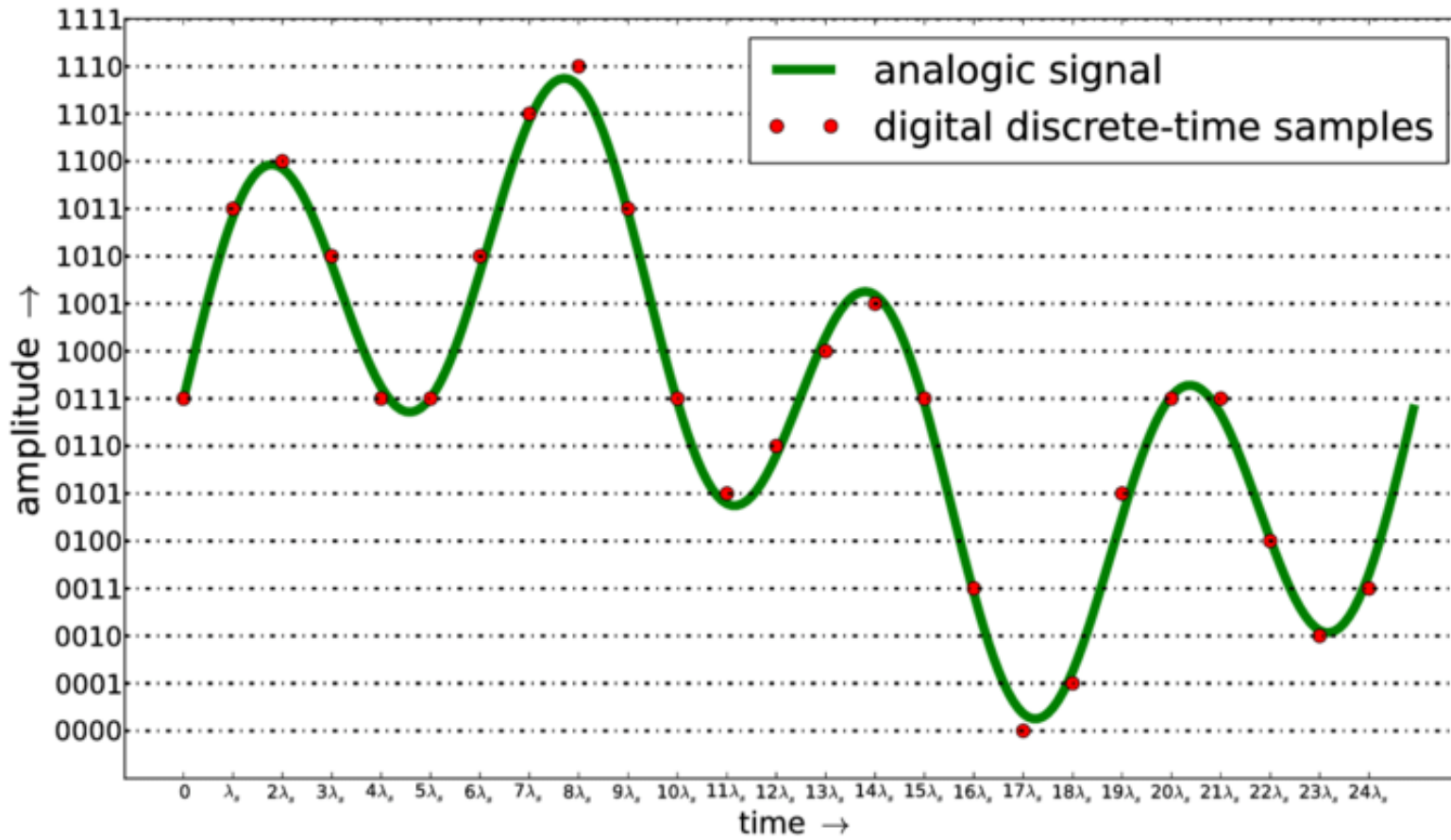


Αντιστοιχία αναλογικού και ψηφιακού σήματος

Το αντίστοιχο αναλογικό σήμα του πιο πάνω ψηφιακού σήματος έχει άλλη μορφή από το αρχικό αναλογικό σήμα, γι' αυτό χρειάζεται εξομάλυνση του σκαλωτού σήματος με κάποιο φίλτρο .

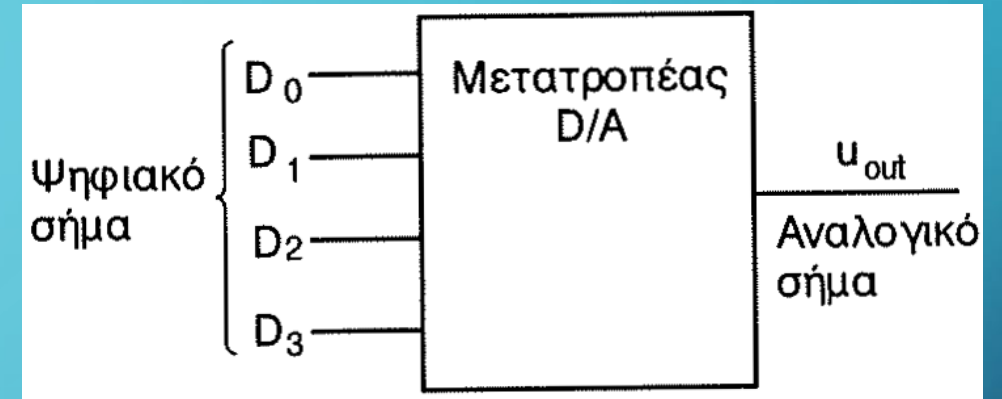


Αντιστοιχία αναλογικού και ψηφιακού σήματος



Μετατροπείς Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό

- Μπλοκ διάγραμμα μετατροπέα D/A
- Στην είσοδο του μετατροπέα το ψηφιακό σήμα είναι με 4-bit και είναι κωδικοποιημένο στο δυαδικό κώδικα.
- Η τιμή του σήματος εξόδου πρέπει να είναι ανάλογη της τιμής του ψηφιακού σήματος
- Ο κώδικας εισόδου πρέπει να έχει κάποια αξία διαφορετικά δεν μπορεί να γίνει η μετατροπή.



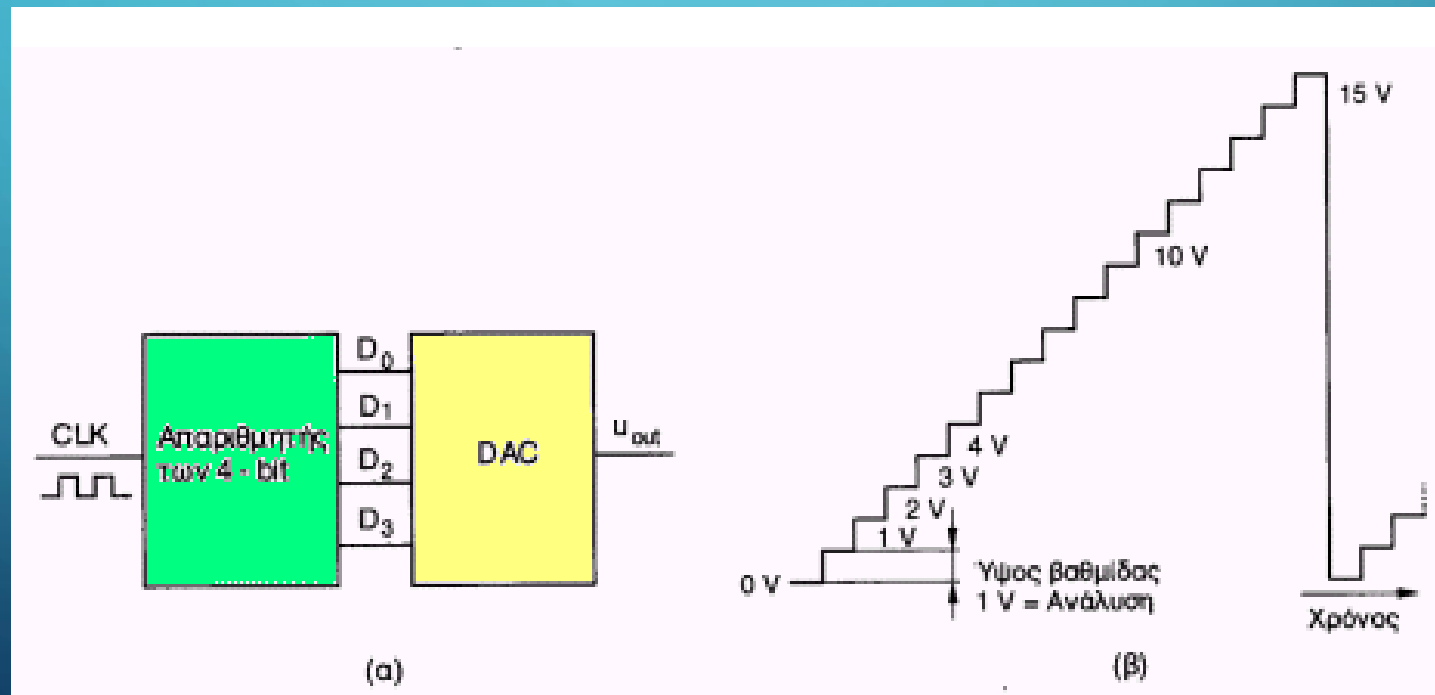
Μετατροπείς Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό

- Το σήμα εισόδου με 4-bit παίρνει 16 διαφορετικές λογικές καταστάσεις, οι οποίες αντιστοιχούν σε τιμές της τάσης.
- Αν για παράδειγμα στην λογική κατάσταση 0001 αντιστοιχεί η τιμή της τάσης 1V, για τον κωδικό 0010 αντιστοιχούν τα 2V κοκ.
- Η αναλογία της τιμής της τάσης θα μπορούσε να ήταν βέβαια διαφορετική.

D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	U _{out} (V)
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15

Μετατροπείς Ψηφιακού σήματος σε Αναλογικό

Παρατήρηση: Αν στην είσοδο του προηγούμενου μετατροπέα συνδέσουμε απαριθμητή των 4-bit, τότε το αναλογικό σήμα εξόδου παίρνει τη μορφή μιας κλίμακας με 15 σκαλιά και 16 διακριτές τιμές. Γενικά αν στην είσοδο μετατροπέα D/A έχουμε N bit η έξοδος παίρνει 2^N διακριτές τιμές.

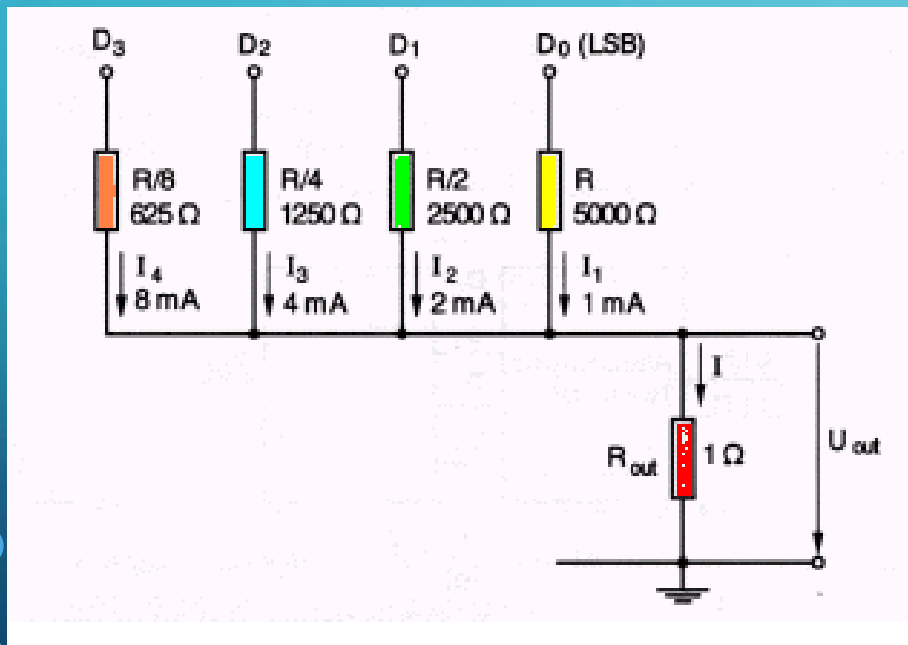


Διάλειμμα



Βασικό κύκλωμα μετατροπέα D/A των 4-bit με αντιστάσεις σταθμισμένες στο δυαδικό σύστημα.

Οι τιμές των αντιστάσεων έχουν τη βαρύτητα των bit του δυαδικού κώδικα. Αν η R είναι η αντίσταση στο LSB του κώδικα, στο αμέσως επόμενο bit η αντίσταση είναι $R/2$, στο επόμενο $R/4$ κ.ο.κ.



Αν το λογικό "1" = 5V, λογικό "0" = 0V και η

$$R_{out} = 1 \Omega \text{ και } U_{out} = I * R_{out}$$

Αν $D_3D_2D_1D_0 = 0001$, $I_1 = 1 \text{ mA}$ και $U_{out} = 1 \text{ mV}$.

Αν $D_3D_2D_1D_0 = 0010$, $I_2 = 2 \text{ mA}$ και $U_{out} = 2 \text{ mV}$

Αν $D_3D_2D_1D_0 = 0100$, $I_3 = 4 \text{ mA}$ και $U_{out} = 4 \text{ mV}$

Αν $D_3D_2D_1D_0 = 1000$, $I_4 = 8 \text{ mA}$ και $U_{out} = 8 \text{ mV}$

$$U_{out} = U \frac{R_{out}}{R} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0)$$

Παράδειγμα για $D_3D_2D_1D_0 = 1010$:

$$U_{out} = 5 \text{ V} \frac{1 \Omega}{5 \text{ k}\Omega} (8 \cdot 1 + 4 \cdot 0 + 2 \cdot 1 + 0)$$

Κύκλωμα μετατροπέα D/A με σταθμισμένες αντιστάσεις και τελεστικό ενισχυτή

- Το ψηφιακό σήμα είναι με 4-bit.
- Το σήμα εφαρμόζεται στην αντιστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή, που λειτουργεί ως αθροιστής.
- Η αντίσταση στο MSB χαρακτηρίζεται με R , στο γειτονικό με μικρότερη βαρύτητα bit είναι $2R$, στο επόμενο $4R$ και στο LSB με $8R$.
- Η τάση εξόδου του αναλογικού σήματος υπολογίζεται από το μαθηματικό τύπο :

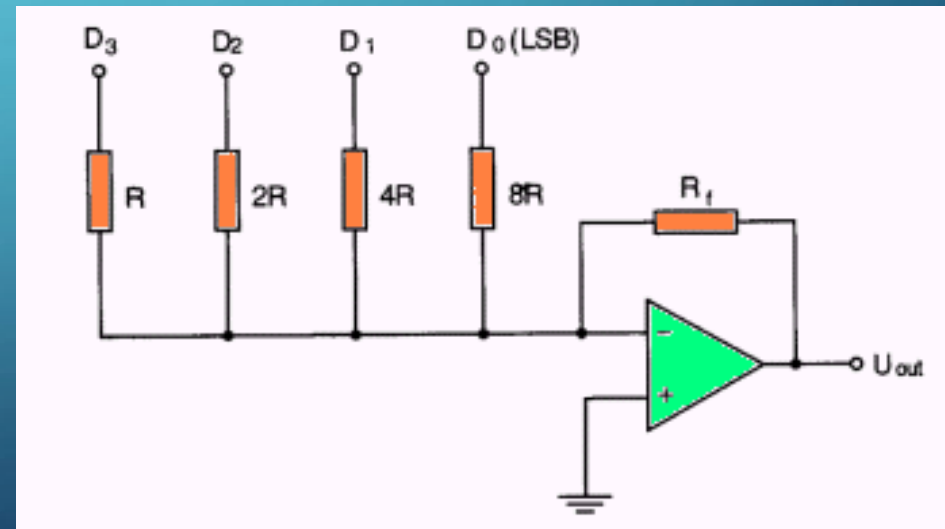
$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{8R} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0) \text{ ή}$$

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{R} \left(D_3 + \frac{1}{2}D_2 + \frac{1}{4}D_1 + \frac{1}{8}D_0 \right)$$

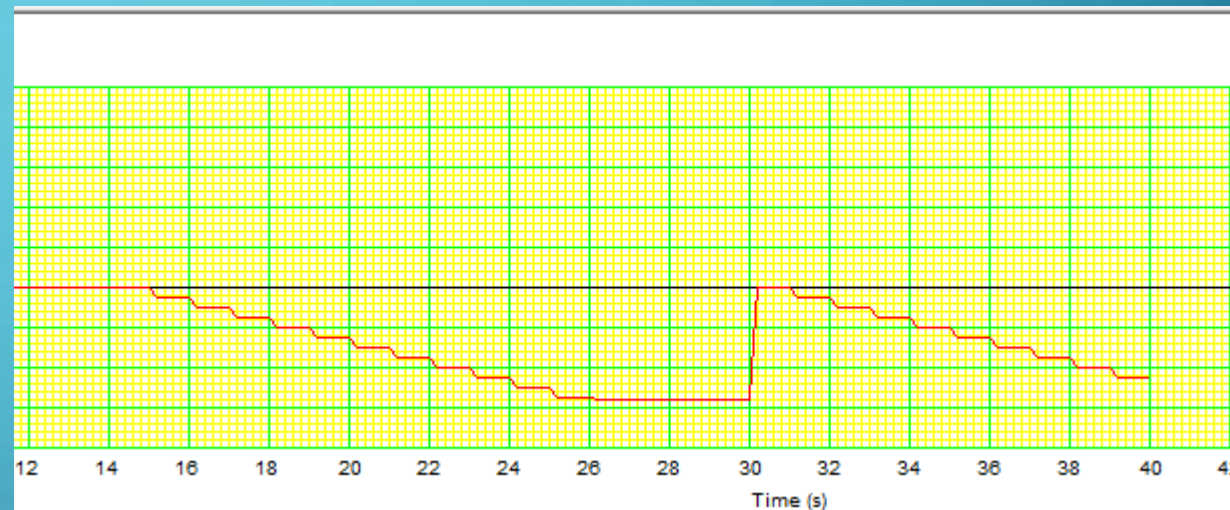
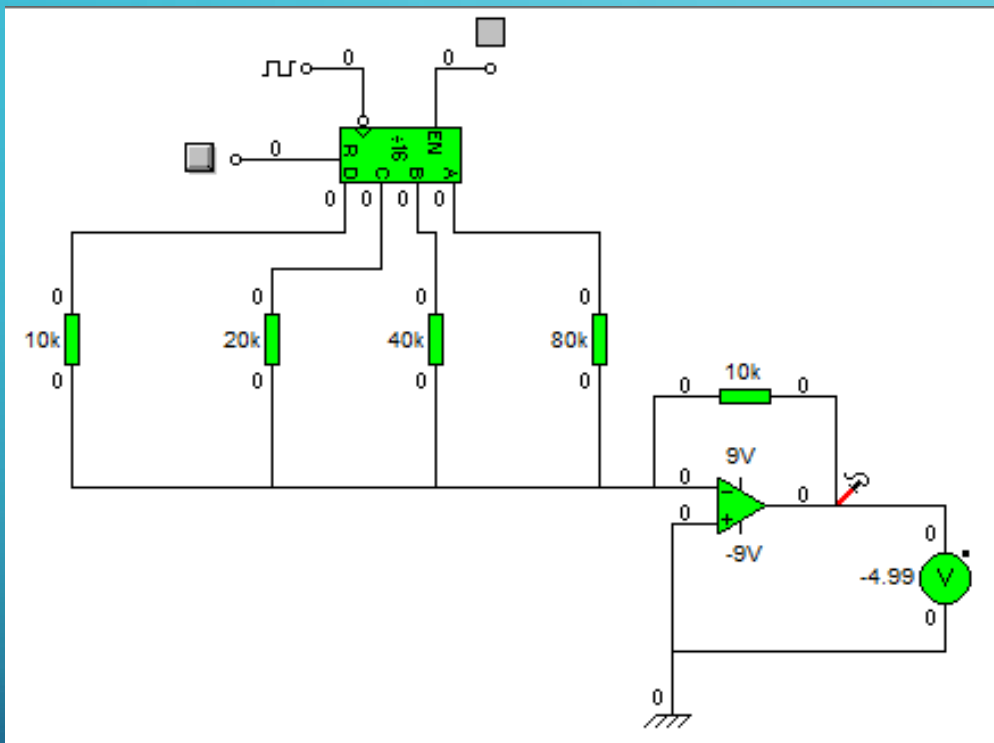
Όπου ,

η U_{in} ισούται με την τάση του λογικού «1»

Τα D_3, D_2, D_1, D_0 παίρνουν τις τιμές 0 και 1.



Κύκλωμα μετατροπέα D/A με σταθμισμένες αντιστάσεις και τελεστικό ενισχυτή

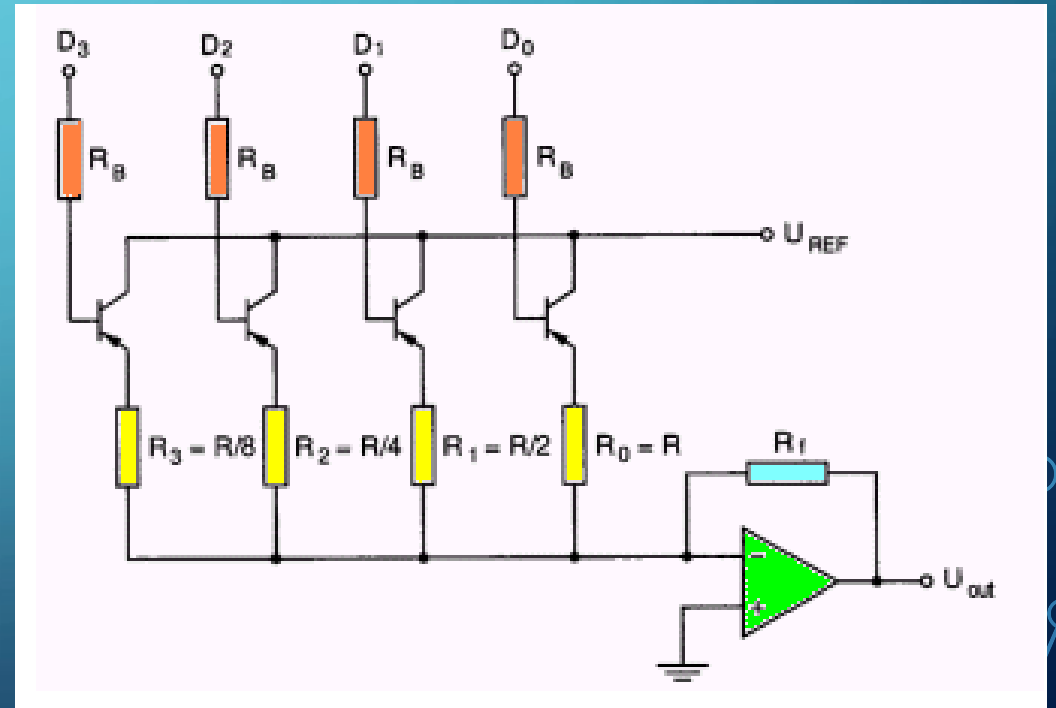


Κύκλωμα μετατροπέα D/A με σταθμισμένες αντιστάσεις και τελεστικό ενισχυτή

Μειονέκτημα:

Δεν λαμβάνεται υπόψη ότι το λογικό 1 δεν είναι μόνο το +5V, και το λογικό 0 δεν είναι μόνο 0V, αλλά ότι αντιστοιχούν σε καθορισμένα επίπεδα τάσεων.

Για να αποφύγουμε το πιο πάνω μειονέκτημα χρησιμοποιούμε κύκλωμα με σταθεροποιημένη τάση εισόδου, την U_{REF} . Τα τρανζίστορ λειτουργούν σαν διακόπτες, που ελέγχονται από το ψηφιακό σήμα και ο τελεστικός ενισχυτής λειτουργεί ως αθροιστής.



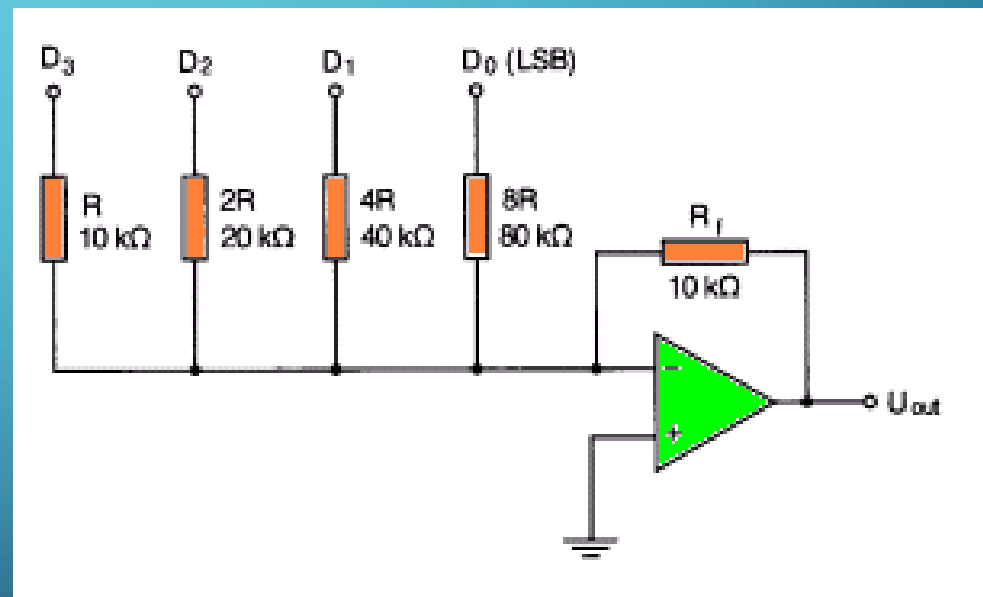
Κύκλωμα μετατροπέα D/A με σταθμισμένες αντιστάσεις και τελεστικό ενισχυτή

Παράδειγμα 1:

Στην είσοδο κυκλώματος μετατροπέα D/A εφαρμόζεται ο κώδικας 1010. Να υπολογίσετε την τάση εξόδου. Το λογικό 1 αντιστοιχεί στα + 5V, και το λογικό 0 αντιστοιχεί στο 0V.

ΛΥΣΗ

$$\begin{aligned}U_{out} &= -U_{in} \frac{R_f}{8R} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0) \\ &= -5 \text{ V} \frac{10}{80} (8 + 0 + 2 + 0) \\ &= -\frac{5 \text{ V}}{8} (10) = -\frac{50}{8} \text{ V} = -6,25 \text{ V}\end{aligned}$$



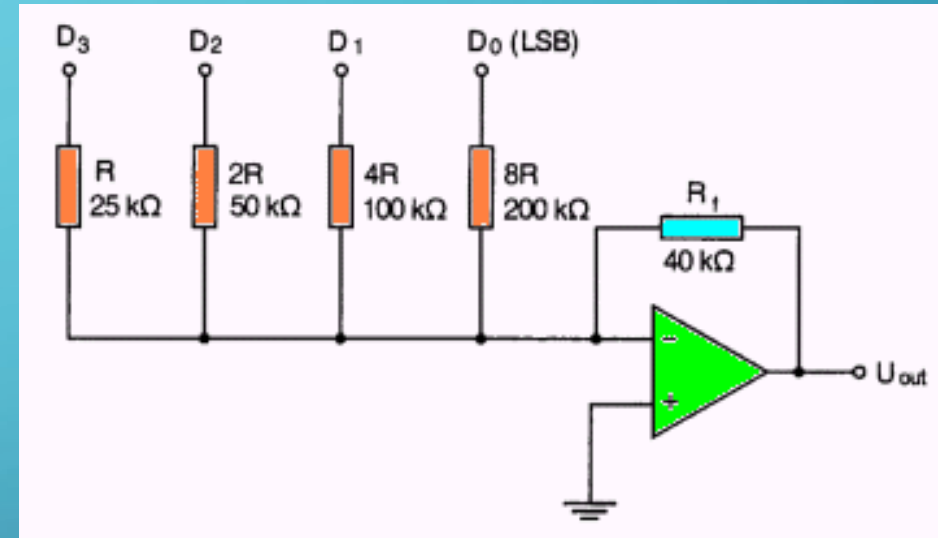
Απάντηση: Η αναλογική τάση που αντιστοιχεί στον ψηφιακό κώδικα 1010 είναι -6,25V

Παράδειγμα 2:

Δίνονται το κύκλωμα μετατροπέα D/A και τα χρονικά διαγράμματα της εισόδου. Το λογικό "1" = +5V και το λογικό "0" = 0V. Να σχεδιάσετε το σήμα εξόδου.

ΛΥΣΗ

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{8R} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0)$$

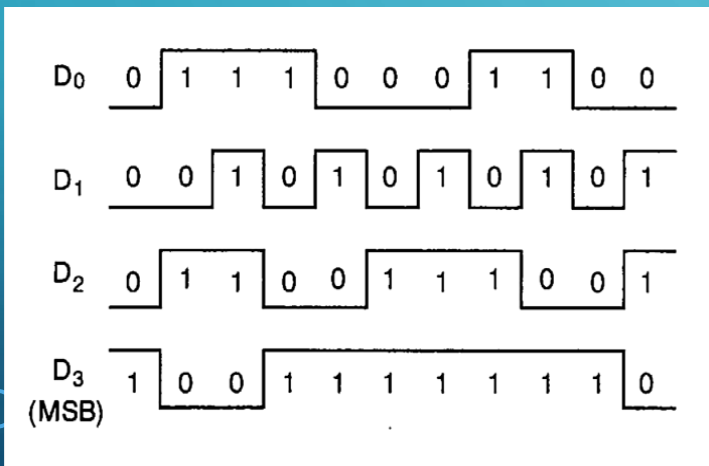


Αν στην είσοδο εφαρμοστεί ο κώδικας $D_3D_2D_1D_0 = 0001$, η τάση εξόδου U_0 για το LSB υπολογίζεται:

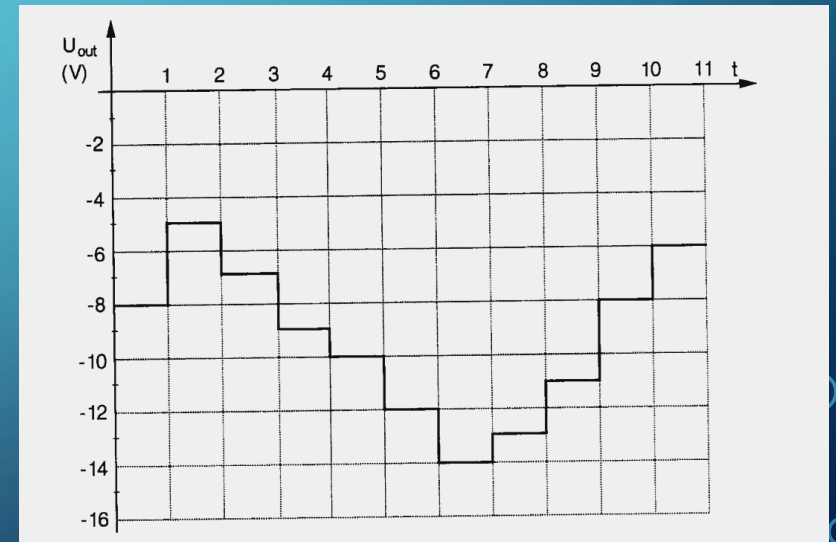
$$U_0 = -5 \text{ V} \frac{40}{200} (0 + 0 + 0 + 1) = -\frac{5 \text{ V}}{5} = -1 \text{ V}$$

Παράδειγμα 2 συνέχεια:

Από τα χρονικά διαγράμματα εισόδου παίρνουμε τις ψηφιακές λέξεις εισόδου και υπολογίζουμε τις αντίστοιχες τάσεις εξόδου που είναι πολλαπλάσιες της τιμής $U_0 = -1V$ και συμπληρώνουμε τον πίνακα: Από τις τιμές του πίνακα βρίσκουμε τα αντίστοιχα σημεία σε σχεδιάγραμμα κάθετων αξόνων της τάσης και του χρόνου, με τα οποία σχεδιάζεται η σκαλωτή κυματομορφή της τάσης εξόδου.



ΕΙΣΟΔΟΣ				ΕΞΟΔΟΣ
D_3 -8V	D_2 -4V	D_1 -2V	D_0 -1V	$U_{out}(V)$
1	0	0	0	-8
0	1	0	1	-5
0	1	1	1	-7
1	0	0	1	-9
1	0	1	0	-10
1	1	0	0	-12
1	1	1	0	-14
1	1	0	1	-13
1	0	1	1	-11
1	0	0	0	-8
0	1	1	0	-6

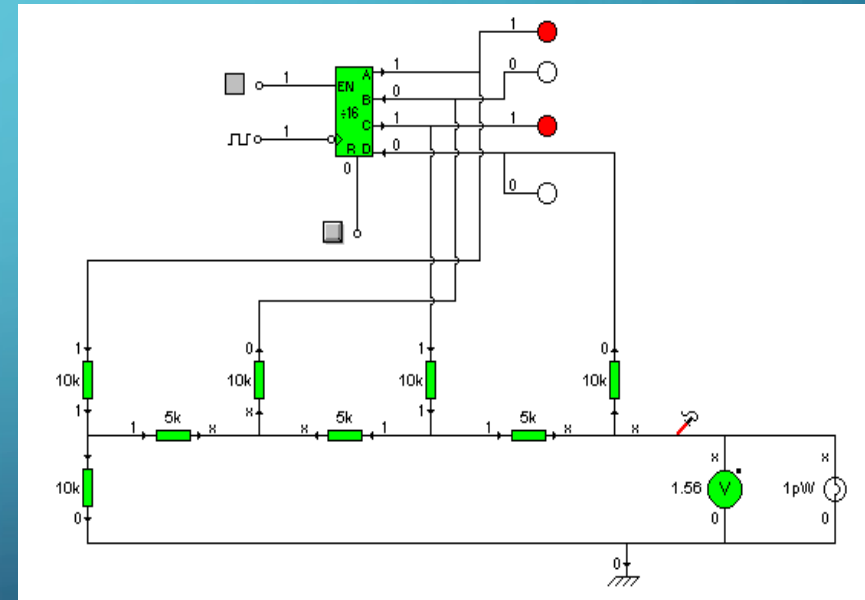
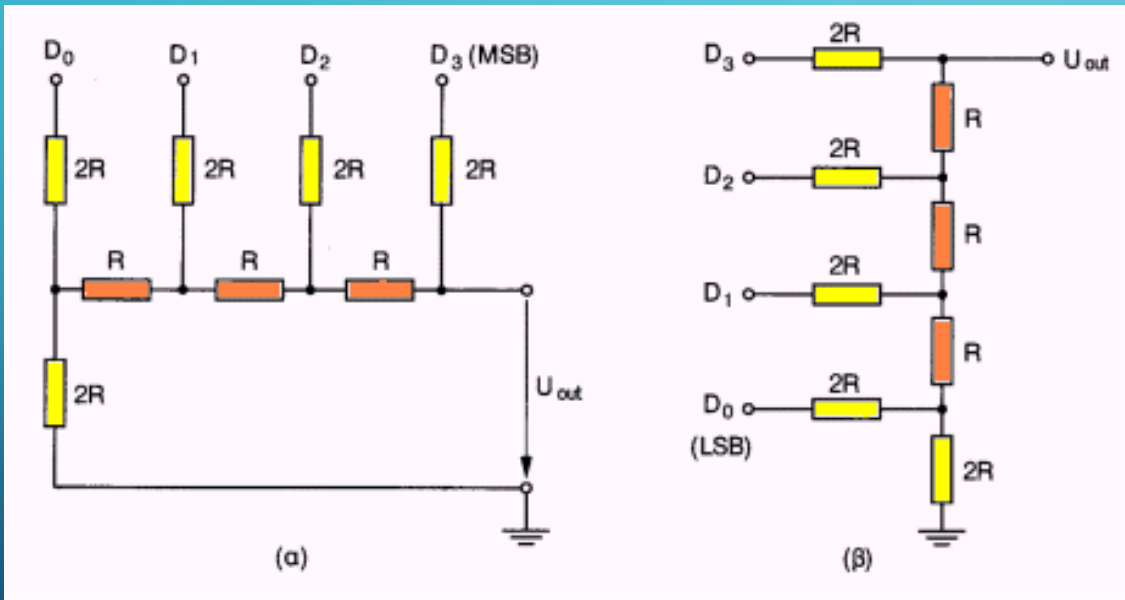


Διάλειμμα

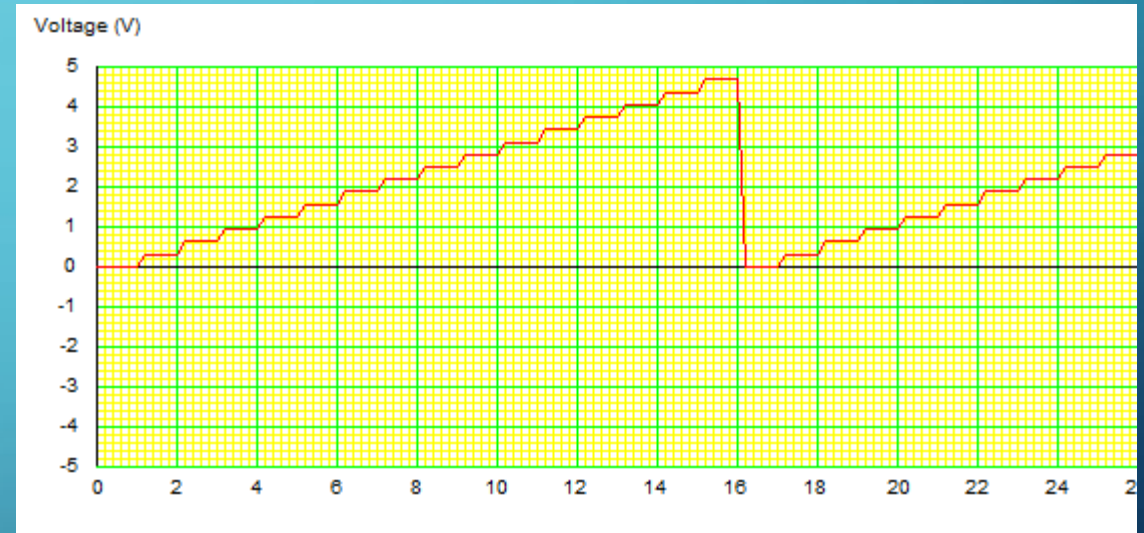
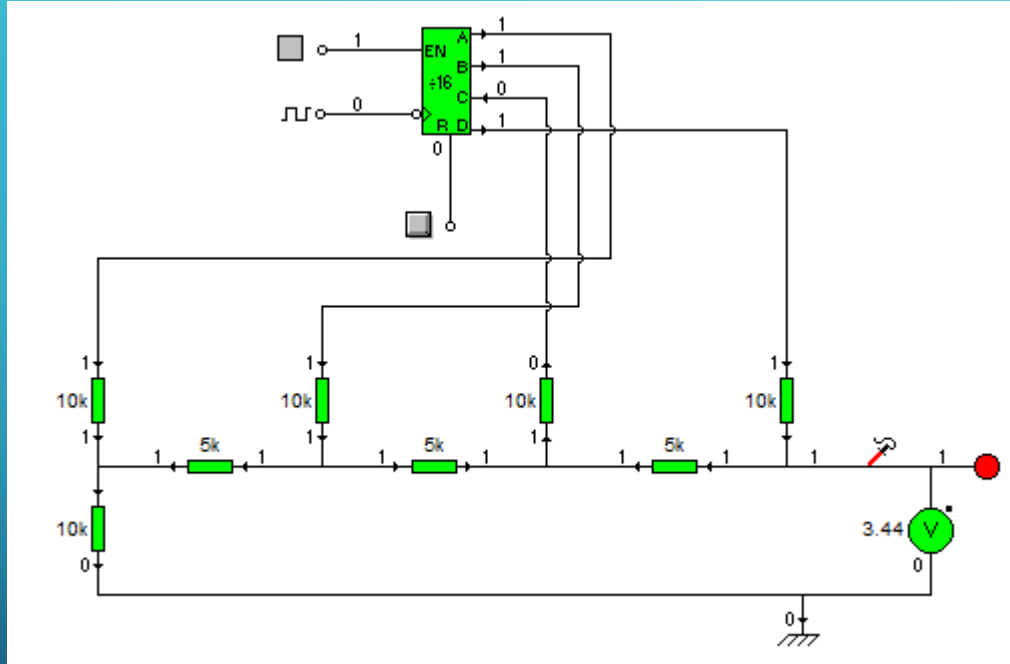


Κύκλωμα μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R

- Ονομάζεται και μετατροπέας κλίμακας R/2R (R/2R Ladder D/A Converter)
- Πλεονέκτημα του κυκλώματος: χρησιμοποιεί αντιστάσεις με μόνο δύο τιμές, την R και την 2R



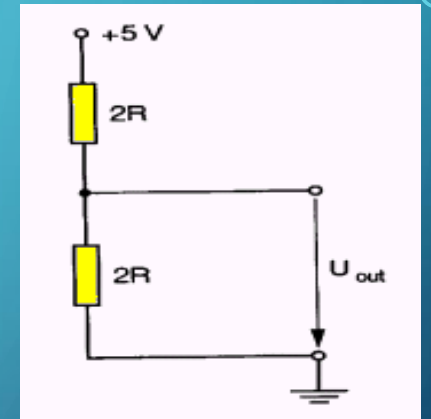
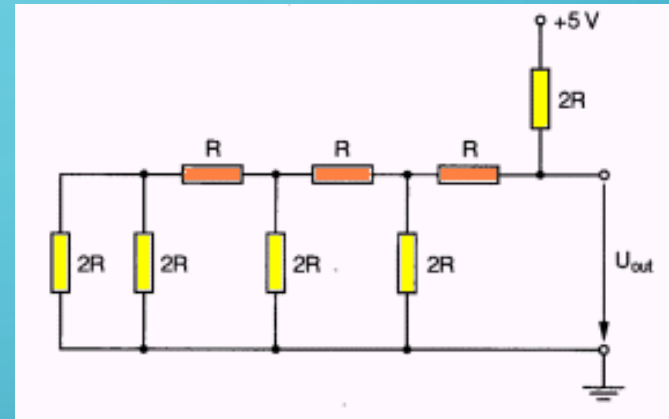
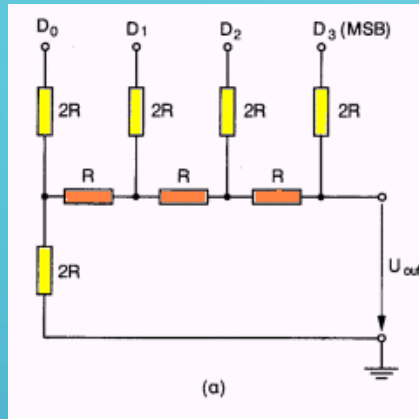
Κύκλωμα μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R



Κύκλωμα μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R

Όταν το ψηφιακό σήμα εισόδου είναι $D_3D_2D_1D_0=1000$, δηλαδή οι είσοδοι D_2, D_1, D_0 γειώνονται (το λογικό "0" = 0V και το λογικό "1" = +5V), το κύκλωμα που προκύπτει

Το κύκλωμα απλοποιείται και το απλοποιημένο κύκλωμα είναι ένας διαιρέτης τάσης με τάση εξόδου U_{out} .



$$U_{out} = \frac{5V}{2} = 2,5V$$

Με ανάλογο τρόπο υπολογίζεται η τάση εξόδου για όλους τους ψηφιακούς κώδικες εισόδου. Για τον κώδικα 0001 είναι:

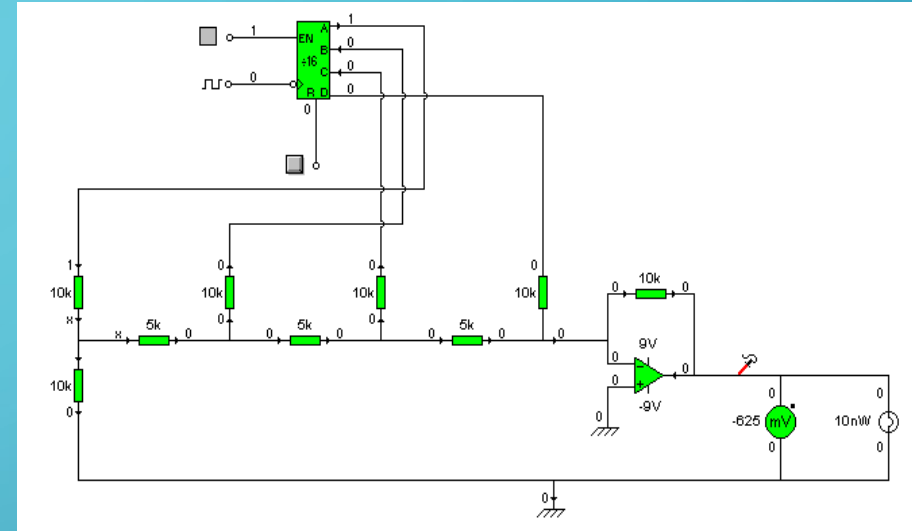
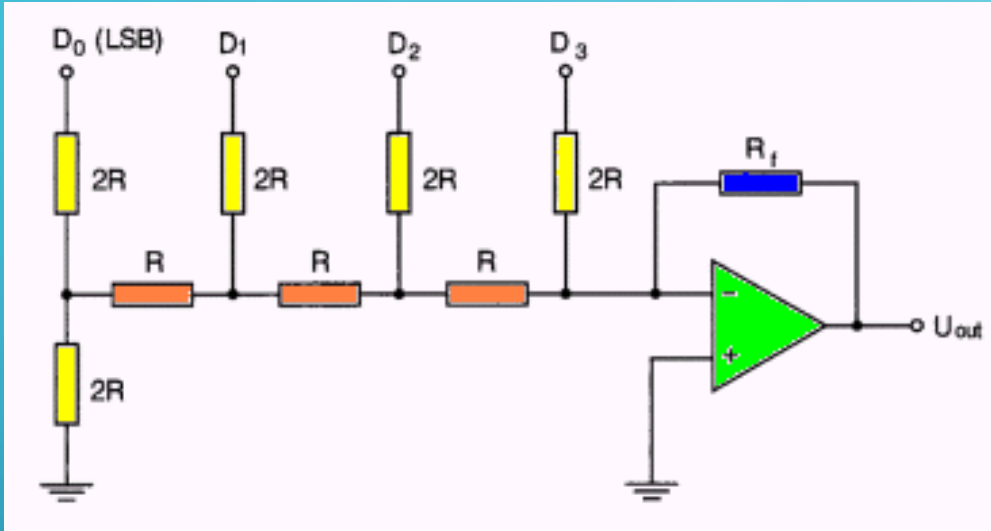
$$\Delta U = \frac{5V}{16} = 0,3125V$$

Ο γενικός τύπος που υπολογίζεται η τάση εξόδου του κυκλώματος μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R:

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{16} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0)$$

$$\text{ή } U_{out} = U_{in} \left(\frac{1}{2}D_3 + \frac{1}{4}D_2 + \frac{1}{8}D_1 + \frac{1}{16}D_0 \right)$$

Κύκλωμα μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R και Τελεστικό Ενισχυτή



Εξίσωση τάσης εξόδου είναι:

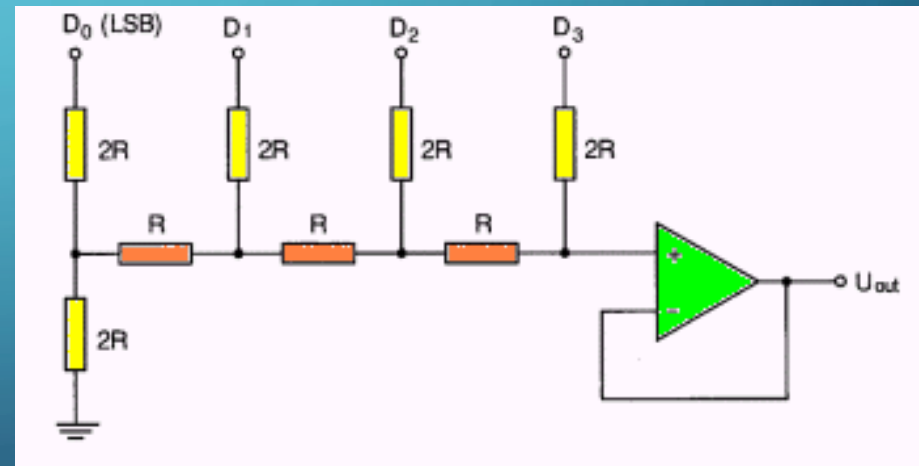
$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{2R} \left(D_3 + \frac{1}{2} D_2 + \frac{1}{4} D_1 + \frac{1}{8} D_0 \right)$$

Όπου, U_{in} - τάση που αντιστοιχεί στο λογικό "1" και τα $D_3 D_2 D_1 D_0$ παίρνουν τις τιμές 0 και 1

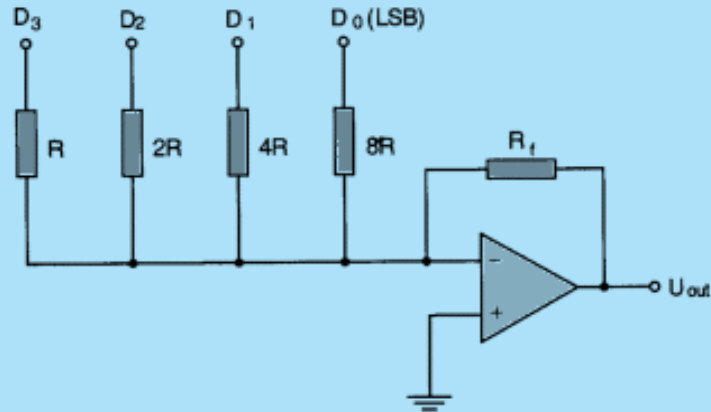
Κύκλωμα μετατροπέα D/A με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R και Τελεστικό Ενισχυτή με συντελεστή ενίσχυσης 1

- Όταν ο ενισχυτής λειτουργεί με συντελεστή ενίσχυσης 1, το κύκλωμα παίρνει την πιο κάτω μορφή (έχει μεγάλη αντίσταση εισόδου και το σήμα εφαρμόζεται στην μη αναστρέφουσα (ορθή) είσοδο).

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{2} \left(D_3 + \frac{1}{2} D_2 + \frac{1}{4} D_1 + \frac{1}{8} D_0 \right)$$



Κυκλώματα μετατροπέα D/A



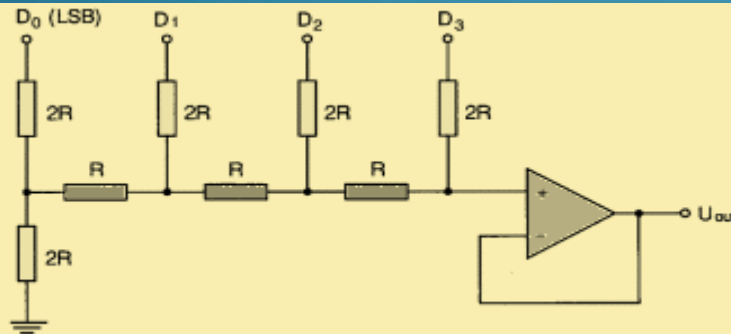
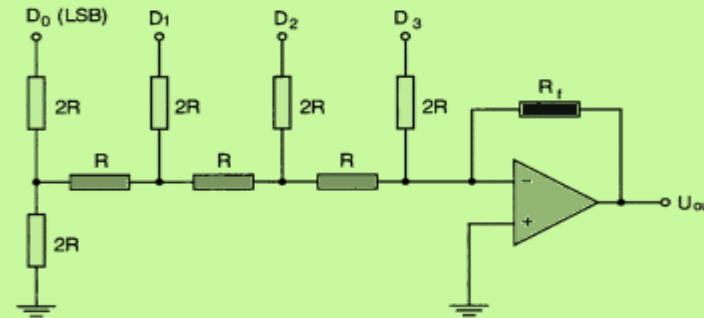
Με αντιστάσεις σταθμισμένες στο δυαδικό σύστημα

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{8R} (8D_3 + 4D_2 + 2D_1 + D_0) \text{ ή}$$

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{R} \left(D_3 + \frac{1}{2}D_2 + \frac{1}{4}D_1 + \frac{1}{8}D_0 \right)$$

$$U_{out} = -U_{in} \frac{R_f}{2R} \left(D_3 + \frac{1}{2}D_2 + \frac{1}{4}D_1 + \frac{1}{8}D_0 \right)$$

με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R

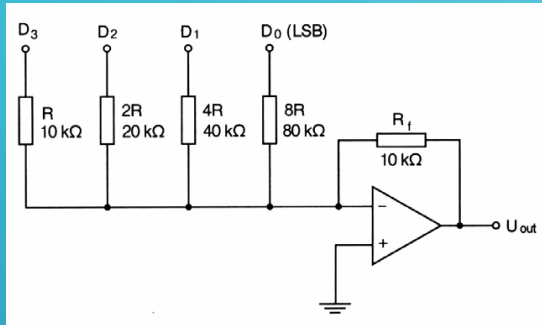


με κλιμακωτό δίκτυο αντιστάσεων R/2R και Τελεστικό Ενισχυτή με συντελεστή ενίσχυσης 1

$$U_{out} = \frac{U_{in}}{2} \left(D_3 + \frac{1}{2}D_2 + \frac{1}{4}D_1 + \frac{1}{8}D_0 \right)$$

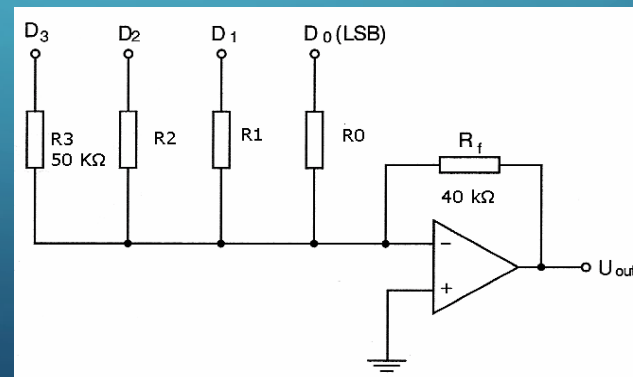
Ασκήσεις

1. Στην είσοδο του κυκλώματος μετατροπέα D/A του σχήματος εφαρμόζεται ένα ψηφιακό σήμα. Αν στο λογικό 1 αντιστοιχεί τάση +5 V και στο λογικό 0 τάση 0 V, να υπολογίσετε:



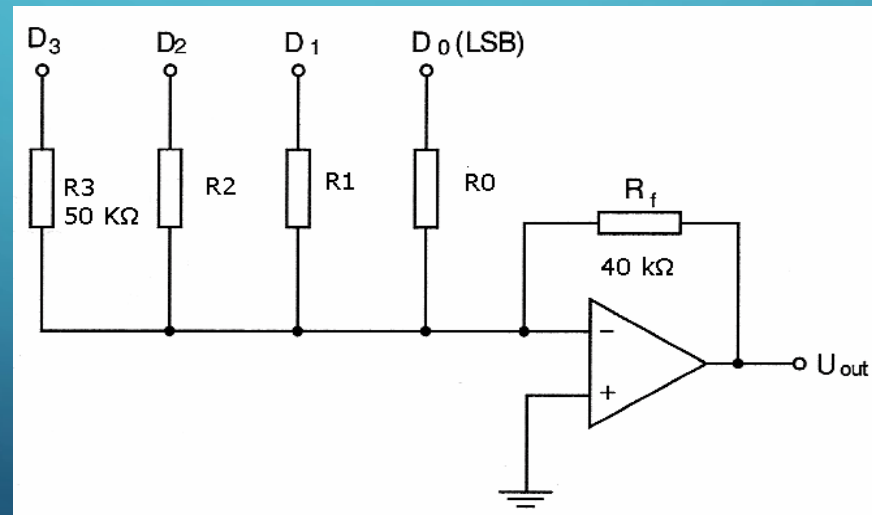
1. Την τάση εξόδου για το ψηφίο με την ελάχιστη σημαντική αξία, (LSB-κώδικας 0001).
2. Την τάση εξόδου του μετατροπέα για τον κώδικα $D_3D_2D_1D_0 = 1010$
3. Τη μέγιστη τάση εξόδου του μετατροπέα

2. Στο σχήμα δίνεται το κύκλωμα μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC) με αντιστάσεις σταθμισμένες στο δυαδικό σύστημα. Αν η αντίσταση $R_0 = 400 \text{ k}\Omega$, να υπολογίσετε την τιμή των αντιστάσεων R_1 , R_2 και R_3 .



Ασκήσεις

3. Στο σχήμα δίνεται το κύκλωμα μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό με αντιστάσεις σταθμισμένες στο δυαδικό σύστημα. Η τιμή της αντίστασης για το ψηφίο με τη μέγιστη σημαντική αξία (MSB) είναι $R_3 = 50 \text{ k}\Omega$.
- (α) Να υπολογίσετε τις τιμές των αντιστάσεων R_0 , R_1 και R_2 .
- (β) Να υπολογίσετε την μέγιστη τάση εξόδου του κυκλώματος αν στο ψηφιακό σήμα εισόδου το λογικό 1 αντιστοιχεί στα $+5 \text{ V}$ και το λογικό 0 στα 0 V .
- (γ) Ποιο είναι το μειονέκτημα του μετατροπέα του σχήματος 9 από το μετατροπέα του τύπου κλίμακας $R/2R$;



Διάλειμμα

