

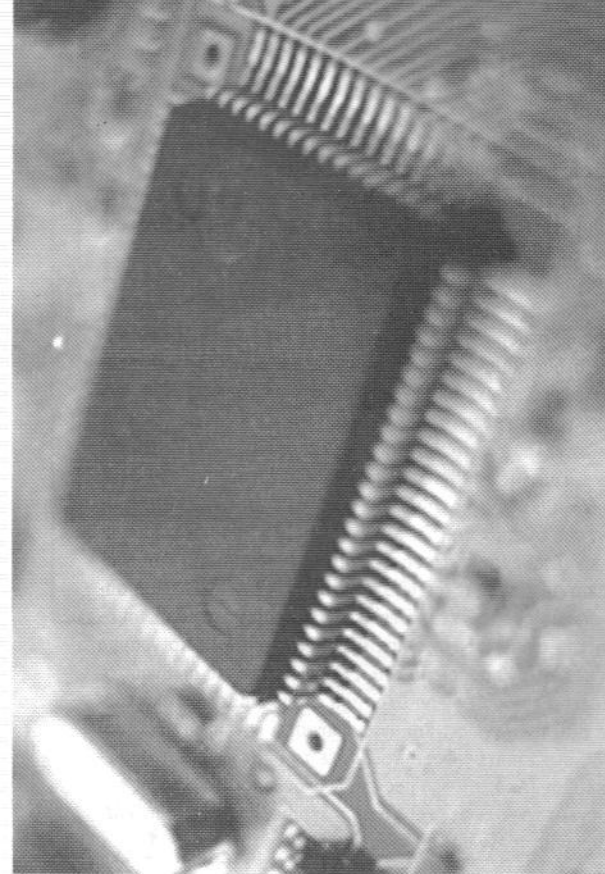
Εισαγωγή στην ψηφιακή τεχνική

Είναι γεγονός ότι τα πράγματα στο φυσικό μας κόσμο, ποτέ δεν είναι απόλυτα. Ανάμεσα στο άσπρο και το μαύρο υπάρχουν άπειρες στάθμες του γκρι, ανάμεσα στο κρύο και τη ζεστή άπειρες τιμές θερμοκρασίας. Υπάρχουν όμως τεχνητές καταστάσεις στις οποίες για λόγους ακρίβειας θέλουμε να έχουμε απόλυτο διαχωρισμό. Για την ανάπτυξη και επεξεργασία αυτών των καταστάσεων επινοήθηκε, στα ηλεκτρονικά, η ψηφιακή τεχνική, η τεχνική του 1 και του 0.

Εισαγωγή

Στα ηλεκτρονικά, οι διάφορες καταστάσεις διατυπώνονται ή εμφανίζονται με τα αντίστοιχα σήματα. Εφ' όσον οι καταστάσεις, φυσικά φαινόμενα, έχουν άπειρες θεωρητικά τιμές, είναι φυσικό επακόλουθο τα αντίστοιχα σήματα να μπορούν να έχουν ανάλογα μεγάλο αριθμό τιμών, ώστε να μπορούν να αναπαραστήσουν με ακρίβεια το φαινόμενο. Τα σήματα λοιπόν αυτά λέγονται αναλογικά. Ενδεικτικά τέτοια σήματα είναι το μικροφωνικό σήμα, το σήμα οδήγησης των μεγαφώνων, η έξοδος μιας γεννήτριας εναλλασσόμενου ρεύματος (*ημιτονικό*), τα σήματα από αισθητήρες κλπ.

Ας δούμε πιο αναλυτικά ένα αισθητήρα θερμοκρασίας. Ο αισθητήρας αυτός παρέχει στην έξοδό του μια στάθμη (*τάση*) ανάλογη της θερμοκρασίας. Αν λοιπόν θέλουμε αναπαράσταση της θερμοκρασίας, τα πράγματα είναι απλά, ο αισθητήρας μας δίνει την απαραίτητη αναλογική πληροφορία. Αν όμως θέλουμε να ξέρουμε το αν η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από μια τιμή, δηλαδή να διευκρινίσουμε την τιμή της ως προς κάποια τιμή αναφοράς, τότε μιλάμε για ψηφιακό σήμα, αφού αυτό που θέλουμε δεν είναι η θερμοκρασία αλλά το αν έχει υπερβεί ή όχι την προκαθορισμένη τιμή. Αν αυτή την πληροφορία την συνδέ-



σομε με μια ενδεικτική λυχνία μπορούμε να μεταφράσουμε τις δύο καταστάσεις (μεγαλύτερη/ μικρότερη) με το αναμμένη/ σβηστή. Αυτές, και μόνο αυτές, είναι οι δυο επιτρεπτές καταστάσεις, οι δυο λογικές τιμές που μπορεί να έχει το σήμα. Αυτό το σήμα ονομάζεται ψηφιακό.

Εφ' όσον οι δυνατές τιμές είναι **2**, σημαίνει ότι έχουμε να κάνουμε με ένα δυαδικό σύστημα, με ένα μαθηματικό σύστημα δηλαδή όπου όλες οι δυνατές τιμές ενός φαινομένου μπορούν να περιγραφούν με δύο μόνο τιμές. Χωρίς να επεκταθούμε σε μαθηματικές αναλύσεις, απλά θα αναφέρουμε ότι στην λογική ή ψηφιακή ηλεκτρονική τεχνική εφαρμόζεται πλήρως η **άλγεβρα του Boole**.

HI και LO, 1 και 0

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να εκφράσει κανείς τις δύο καταστάσεις, τις οποίες μπορεί να έχει ένα ψηφιακό σήμα. Μερικές από τις εκφράσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς είναι:

- Υπάρχει / δεν υπάρχει
- Ανοικτό / κλειστό.
- Θετικό / αρνητικό.
- HI (High) / LO (Low)
- ON / OFF.
- 1 / 0.

Όλες οι παραπάνω εκφράσεις χρησιμοποιήθηκαν κατά καιρούς, ανάλογα με την επικρατέστερη τεχνική της κάθε εποχής. Στη σημερινή τεχνολογία χρησιμοποιούνται αποκλειστικά οι **HI/ LO** και **1/ 0**.

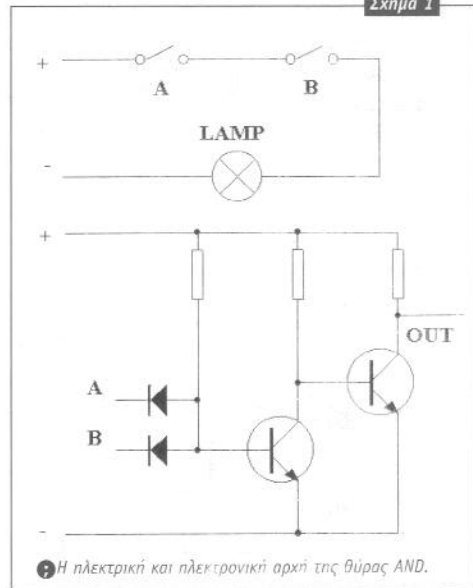
Οι Λογικές πράξεις

Ένα ψηφιακό σήμα δίνει την πληροφορία ύπαρξης ή όχι του μεγέθους που εκφράζει. Υπάρχουν όμως και λογικές καταστάσεις που εξαρτώνται ή επηρεάζονται από περισσότερα ψηφιακά σήματα. Τα σήματα – παράμετροι συνδυάζονται με κάποιο τρόπο μεταξύ τους ώστε να δώσουν μία τελική έξοδο – αποτέλεσμα. Ας δούμε λοιπόν ποιοι είναι αυτοί οι συνδυασμοί ή λογικές πρά-

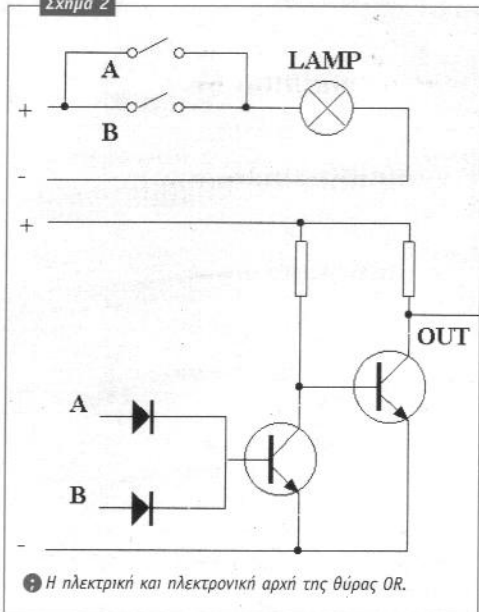
ξεις.

Στο **σχήμα 1** έχουμε μία πηγή τάσης, δύο διακόπτες σε σειρά και μία λυχνία. Είναι προφανές ότι το αν η λυχνία θα είναι αναμμένη ή σβηστή εξαρτάται από την κατάσταση δύο λογικών φαινομένων (των δύο διακοπών). Πιο συγκεκριμένα, για να ανάψει (αποτέλεσμα 1) θα πρέπει και οι δύο διακόπτες να είναι κλειστοί (η λογική τους κατάσταση να είναι 1, 1). Σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (0 0, 0 1, 1 0)

η λυχνία θα είναι σβηστή (αποτέλεσμα 0). Αυτός συνδυασμός ή πράξη ονομάζεται **AND** ή **λογικό ΚΑΙ**. Στο ίδιο σχήμα, κάτω, δίνεται το ηλεκτρονικό αντίστοιχο αυτής της πράξης. Σε αυτό το κύκλωμα είναι φανερό ότι η έξοδος θα είναι **HI** μόνο όταν και οι δύο εισοδοί είναι **HI**. Αν κάποια από τις εισόδους είναι **LO** τότε το τρανζίστορ εξόδου άγει και η έξοδος οδηγείται στο **LO**. Στο **σχήμα 2**, έχουμε ένα παρόμοιο ηλεκτρικό κύκλωμα και με τα ίδια εξαρτήματα, με τη διαφορά ότι οι δύο διακόπτες είναι συνδεδεμένοι παράλληλα μεταξύ τους. Σε αυτή την περίπτωση είναι προφανές ότι **αποτέλεσμα 1** (λυχνία



Σχήμα 2



⊕ Η ηλεκτρική και ηλεκτρονική αρχή της θύρας OR.

το δεύτερο θα κοπεί οπότε η έξοδος θα είναι **HI**.

Μία ειδική περίπτωση **OR**, σπάνια χρησιμοποιείται, είναι αυτή που δίνει **Έξοδο 1**, αποκλειστικά όταν η μία μόνο είσοδος είναι **1**. Αυτός ο συνδυασμός λέγεται **exclusive OR** ή **αποκλειστικού Η**.

Πολλές φορές ένα σήμα είναι αντίθετο απ' ότι το θέλουμε για την παραπέρα επεξεργασία. Δηλαδή όταν το θέλουμε **1** αυτό είναι **0** και όταν το θέλουμε **0** αυτό είναι **1**. Πρακτικά το σήμα μεταφέρει την ίδια πληροφορία, μόνο που δεί-

χνει την αντίθετη από την επιθυμητή κατάσταση. Η αλλαγή της κατάστασης γίνεται με ένα αναστροφή. Η αναστροφή από πολλούς θεωρείται λογική πράξη, σίγουρα όμως δεν είναι συνδυασμός καταστάσεων δύο ή περισσότερων σημάτων. Η επεξεργασία ονομάζεται **NOT**, το νέο σήμα ονομάζεται αναστραμμένο ή συμπληρωματικό του αρχικού, το κύκλωμα ονομάζεται **inverter** και τυπικά μπορεί να γίνει από ένα τρανζίστορ, όπως το τρανζίστορ εξόδου στο **σχήμα 2**.

Αν η έξοδος μιας λογικής πράξης **AND** ή **OR** οδηγηθεί σε αναστροφή, τότε το σύνολο της πράξης ονομάζεται **NAND (NOT AND)** ή **NOR (NOT OR)** αντίστοιχα.

Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που η πηγή ενός σήματος δεν μπορεί να οδηγήσει το σύνολο των επιθυμητών εισόδων. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας **buffer** ή απομονωτής, ο οποίος βέβαια δεν αλλάζει την κατάσταση του σήματος της πηγής.

Κάθε μια από τις παραπάνω επεξεργασίες, υλοποιείται με ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Γενικά, όλα τα κυκλώματα των λογικών πράξεων ονομάζονται πύλες και συνήθως έχουν δύο εισόδους και μία έξοδο. Ανάλογα όμως με τη σχεδιαζόμενη εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν πύλες με περισσότερες εισόδους και με κανονική ή και αναστραμμένη έξοδο.

Είναι επιθυμητό σε κάθε πράξη ή συνδυασμό να γνωρίζουμε σε τι κατάσταση θα είναι η έξοδος, αν οι εισοδοί πάρουν όλους τους συνδυασμούς καταστάσεων. Αυτή η καταγραφή γίνεται σε ένα πίνακα, που λέγεται **Πίνακας αληθείας**. Ο συνοπτικός πίνακας αληθείας για όλες τις πράξεις που περιγράψαμε είναι ο **Πίνακας 1**.

αγαμμένη) θα έχουμε όταν ή ο ένας ή ο άλλος ή βέβαια και οι δύο διακόπτες είναι κλειστοί. Η μόνη περίπτωση να έχουμε **έξοδο 0** είναι όταν και οι δύο διακόπτες είναι ανοικτοί (0). Ο συνδυασμός δηλαδή **0 0** δίνει **0** ενώ οι **0 1, 1 0, 1 1** δίνουν **1**. Αυτή η πράξη ονομάζεται **OR** ή **λογικό Η**: Στο ίδιο σχήμα κάτω δίνεται το ηλεκτρονικό αντίστοιχο της **OR**. Όποια από τις εισόδους και αν είναι **HI**, το πρώτο τρανζίστορ θα άγει,

χρει την αντίθετη από την επιθυμητή κατάσταση. Η αλλαγή της κατάστασης γίνεται με ένα αναστροφή. Η αναστροφή από πολλούς θεωρείται λογική πράξη, σίγουρα όμως δεν είναι συνδυασμός καταστάσεων δύο ή περισσότερων σημάτων. Η επεξεργασία ονομάζεται **NOT**, το νέο σήμα ονομάζεται αναστραμμένο ή συμπληρωματικό του αρχικού, το κύκλωμα ονομάζεται **inverter** και τυπικά μπορεί να γίνει από ένα τρανζίστορ, όπως το τρανζίστορ εξόδου στο **σχήμα 2**.

Αν η έξοδος μιας λογικής πράξης **AND** ή **OR** οδηγηθεί σε αναστροφή, τότε το σύνολο της πράξης ονομάζεται **NAND (NOT AND)** ή **NOR (NOT OR)** αντίστοιχα.

Υπάρχουν επίσης περιπτώσεις που η πηγή ενός σήματος δεν μπορεί να οδηγήσει το σύνολο των επιθυμητών εισόδων. Σε τέτοιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ένας **buffer** ή απομονωτής, ο οποίος βέβαια δεν αλλάζει την κατάσταση του σήματος της πηγής.

Κάθε μια από τις παραπάνω επεξεργασίες, υλοποιείται με ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Γενικά, όλα τα κυκλώματα των λογικών πράξεων ονομάζονται πύλες και συνήθως έχουν δύο εισόδους και μία έξοδο. Ανάλογα όμως με τη σχεδιαζόμενη εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν πύλες με περισσότερες εισόδους και με κανονική ή και αναστραμμένη έξοδο.

Είναι επιθυμητό σε κάθε πράξη ή συνδυασμό να γνωρίζουμε σε τι κατάσταση θα είναι η έξοδος, αν οι εισοδοί πάρουν όλους τους συνδυασμούς καταστάσεων. Αυτή η καταγραφή γίνεται σε ένα πίνακα, που λέγεται **Πίνακας αληθείας**. Ο συνοπτικός πίνακας αληθείας για όλες τις πράξεις που περιγράψαμε είναι ο **Πίνακας 1**.

Η δυαδική αρίθμηση

Μέχρι τώρα ασχοληθήκαμε με το ψηφιακό σήμα που δείχνει την κατάσταση ενός φαινομένου. Αν όμως δούμε τους δυνατούς συνδυασμούς των εισόδων **A** και **B** του πίνακα αληθείας θα διαπιστώσουμε ότι με δύο σήματα μπορούμε να περιγράψουμε **4** διαφορετικές καταστάσεις και αν συνεχίσουμε να αυ-

Πίνακας 1. Ο συνοπτικός πίνακας αλήθειας των λογικών πράξεων

ΕΙΣΟΔΟΙ		ΕΞΟΔΟΙ						
A	B	AND	NAND	OR	NOR	EX. OR	NOT A	NOT B
0	0	0	1	0	1	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	1	0
1	0	0	1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	1	0	0	0	0

Ξάνουμε τον αριθμό των σημάτων τόσο θα αυξάνεται και ο αριθμός των καταστάσεων. Η αλλαγή των καταστάσεων στον πίνακα αληθείας ακολουθεί την αρίθμηση κατά το δυαδικό σύστημα. Οι δυνατοί συνδυασμοί δίνονται από τη σχέση $k=2a$, όπου k ο αριθμός των συνδυασμών και a ο αριθμός των γραμμών - σημάτων. Η δυαδική αρίθμηση θα μας χρειαστεί στην ανάλυση των απεριθμητών, αποκωδικοποιητών κλπ. Επειδή όμως οι δυαδικοί αριθμοί είναι δύσχρηστοι, προτιμάμε να χρησιμοποιήσουμε το δεκαεξαδικό σύστημα (*Hex ή Η από το Hexadecimal*). Το βασικό είναι ότι κάθε τετράδα ενός δυαδικού αριθμού, αρχίζοντας από το τέλος, αναπαρίσταται με τον αντίστοιχο δεκαεξαδικό. Επειδή όμως δεν έχουμε 16 γραπτούς αριθμούς, για τους πάνω από τον 9 χρησιμοποιούμε τα Αγγλικά γράμματα **A-F**. Η αντιστοίχιση δεκαδικών - δυαδικών - δεκαεξαδικών δίνεται στον Πίνακα 2. Αν χρησιμοποιήσουμε υπολογιστική ορολογία, τα 8 ψηφία του **1111 1111** αντιπροσωπεύουν **8 bit** και ο αντίστοιχος δεκαδικός ($255 + 1$ για το 0) τους δυνατούς συνδυασμούς των **bit**.

Ολοκληρωμένα

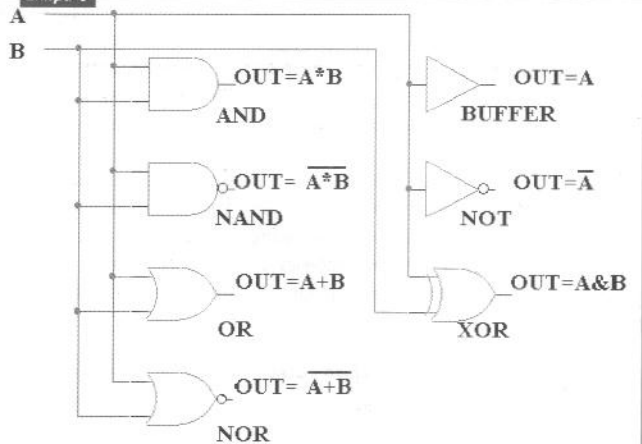
Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας ήταν τόσο ραγδαία, που τα διακριτά τρανζίστορ ελάχιστα χρησιμοποιήθηκαν για την δημιουργία ψηφιακών συστη-

μάτων σε εμπορικό επίπεδο. Η διάδοση μάλιστα της θεωρίας, συνέπεσε με την εμφάνιση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Έτσι από τα αρχικά του στάδια το ηλεκτρονικό μέρος άρχισε να υλοποιείται με ολοκληρωμένα. Η πρώτη τεχνολογία που εφαρμόστηκε ήταν η **DTL** (*Diode - Transistor Logic*), που ερμηνεύεται ότι τα κυκλώματα εισόδου αποτελούνταν από διόδους, ενώ

Πίνακας 2. Η αρίθμηση στα βασικά αριθμητικά συστήματα (0-17) και αντιπροσωπευτικοί αριθμοί - κλειδιά. (Το κενό στη στήλη των δυαδικών μετά τον δεκαδικό 15 είναι μόνο για το διαχωρισμό σε τετράδες για καλύτερη κατανόηση του αντίστοιχου δεκαεξαδικού).

Δεκαδικό	Δυαδικό	Δεκαεξαδικό	Δεκαδικό	Δυαδικό	Δεκαεξαδικό
0	0	0	13	1101	D
1	1	1	14	1110	E
2	10	2	15	1111	F
3	11	3	16	1 0000	10
4	100	4	17	1 0001	11
5	101	5	31	1 1111	1F
6	110	6	32	10 0000	20
7	111	7	63	11 1111	3F
8	1000	8	64	100 0000	40
9	1001	9	127	111 1111	7F
10	1010	A	128	1000 0000	80
11	1011	B	255	1111 1111	FF
12	1100	C	256	1 0000 0000	100

Σχήμα 3



• Τα κλασσικά σύμβολα των θυρών και οι συμβολισμοί των λογικών πράξεων

τα κυκλώματα εξόδου από τρανζίστορ (όπως περίπου στα σχήματα 1 & 2). Στη συνέχεια όμως εμφανίστηκε η τεχνολογία **TTL** (*Transistor - Transistor Logic*) δηλαδή με τρανζίστορ και στα κυκλώματα εισόδου. Η πιο διαδεδομένη σειρά ολοκληρωμένων αυτού του τύπου, που επεκράτησε σχεδόν ολοκληρωτικά και εξακολουθεί να χρησιμοποιείται με κάποιες παραλλαγές και σήμερα, είναι η **74XXX**. Η σειρά αυτή περιλαμβάνει όλους τους τύπους ηλεκτρονικών λογικών στοιχείων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ψηφιακή εφαρμογή (και τα οποία θα γνωρίσουμε αναλυτικά παρακάτω). Η σειρά αυτή έθεσε και κάποια πρότυπα, σημαντικότερα από τα οποία είναι οι λογικές στάθμες για το **HI** και το **LO** και η τροφοδοσία. Έτσι, στάθμη μέχρι **0.8V** θεωρείται **LO**, στάθμη πάνω από **2.4V** θεωρείται **HI** και η τροφοδοσία των ολοκληρωμένων είναι **5V**.

Τα προβλήματα των πρώτων **TTL** ήταν δύο. Το πρώτο αφορούσε την ευαισθησία τους στο θόρυβο, που οφειλόταν στη σχετικά μικρή διαφορά ανάμεσα στις δύο στάθμες (σε ένα βιομηχανικό περιβάλλον ένας απρόσεκτος σχεδιασμός δεν δούλευε ποτέ) και το δεύτερο στη σχετικά μεγάλη τους κατανάλωση, που ήταν απαγορευτική για τροφοδοσία από μπαταρίες.

Και τα δύο προβλήματα λύθηκαν με την εμφάνιση ολοκληρωμένων τεχνολογίας **CMOS**, τα οποία είχαν συγκριτικά μηδαμινή κατανάλωση και διέθεταν μεγαλύτερη περιοχή τροφοδοσίας και μεγαλύτερη απόσταση ανάμεσα στις λογικές στάθμες. Μειονετούσαν όμως στην ταχύτητα. Τελικά οι βελτιώσεις και οι διάφοροι συνδυασμοί τεχνολογιών έχουν οδηγήσει στα σημερινά ολοκληρωμένα, τα οποία και γρήγορα είναι, και χαμηλή κατανάλωση έχουν και εμφανίζουν μεγαλύτερη αναισθησία στο θόρυβο. Αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα κάποιες υποκατηγορίες της σειράς **74XXX** χρησιμοποιούν τροφοδοσία **3.3V**.

Βασικά ψηφιακά κυκλώματα

Πύλες

Οι πύλες, όπως είπαμε και νωρίτερα είναι τα κυκλώματα που κάνουν λογικές πράξεις σε ψηφιακά σήματα. Στα ολοκληρωμένα που κυκλοφορούν υπάρχουν πύλες όλων των ειδών, συνήθως όμως του ίδιου τύπου σε κάθε ολοκληρωμένο. Έτσι για παράδειγμα το **7400** έχει **4 NAND** των **2 εισόδων**, το **7402** έχει **4 NOR** των **2 εισόδων** το **7404** έχει **6 inverters**, το **7411** έχει **3 NAND** των **3 εισόδων** κλπ.

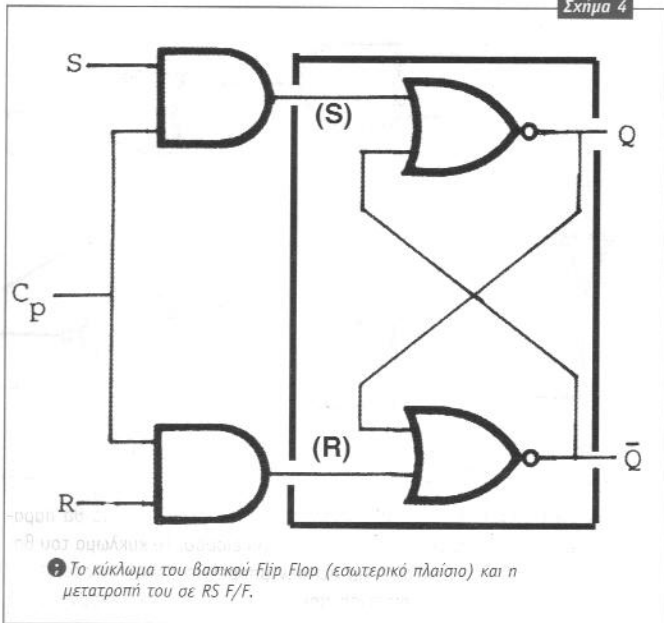
Κατά το σχεδιασμό προτιμάμε συνήθως να χρησιμοποιούμε τις πύλες **NAND** και **NOR** αντί για **AND** και **OR** αντίστοιχα και αυτό γίνεται για πολλούς λόγους. Ο πιο απλός απ' αυτούς είναι ότι αν κάποια πύλη δεν χρησιμοποιηθεί στην κανονική της αποστολή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν **inverter** και να μας γλιτώσει από ένα ολοκληρωμένο. Ένας άλλος λόγος είναι ότι πρέπει προτιμάμε να χρησιμοποιούμε κατά το δυνατόν λιγότερους τύπους ολοκληρωμένων, κι αυτό για λόγους απλοποίησης του σχεδιασμού αλλά και υποστήριξης σε α-

ναλλακτικά. Με **NAND** και **NOR** μπορούμε να κάνουμε οποιαδήποτε επεξεργασία σημάτων κάτι που δεν μπορεί να γίνει μόνο με **AND** και **OR** (κάπου θα χρειαστεί μία αναστροφή και αυτό θα σημαίνει 1 ολοκληρωμένο). Τα σύμβολα των πυλών και οι αντίστοιχοι συμβολισμοί των λογικών πράξεων δίνονται στο **σχήμα 3**.

Αποκωδικοποιητές

Πρακτικά είναι συνδυασμοί από πύλες. Δέχονται σαν εισόδους **2 ή 3 ή 4 γραμμές (bit)** και έχουν **4 ή 8 ή 16 εξόδους** αντίστοιχα. Σκοπός τους είναι να ενεργοποιήσουν την έξοδο που αντιστοιχεί στον αριθμό που δηλώνουν οι εισοδοί λαμβανόμενες κατά το δεκαεξαδικό σύστημα. Έτσι με είσοδο **010** ενεργοποιείται η **έξοδος 2**, με **110** ή **6** κλπ. Οι αποκωδικοποιητές χρησιμοποιούνται συνήθως στην επιλογή (*chip select*) άλλων ολοκληρωμένων και μας εξυπηρετούν στο να έχουμε λιγότερες γραμμές (π.χ. 3 αντί για 8). Σημαντική παράμετρος για την επιλογή του κατάλληλου αποκωδικοποιητή είναι η κατάσταση της ενεργοποιημένης εξόδου σε σχέση με την απαίτηση των οδηγούμενων ολοκληρωμένων. Για παράδειγμα, το **74138** παρέχει **LO** σε μία από τις **8 εξόδους** του, ανάλογα με την κατάσταση (αριθμό) στις **3 εισόδους**.

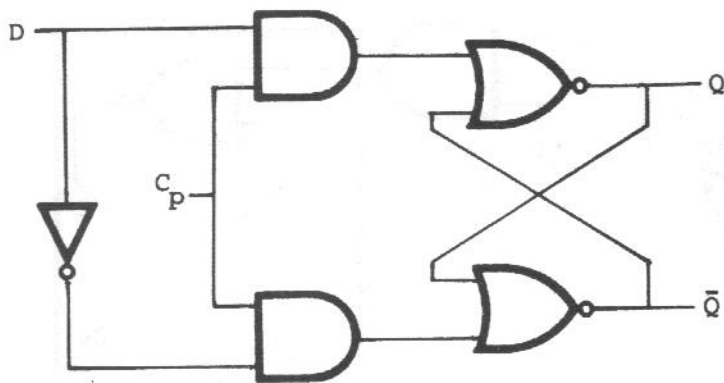
Οι αποκωδικοποιητές - οδηγοί ψηφίων είναι ειδικοί αποκωδικοποιητές που αναλαμβάνουν να οδηγήσουν τα **7 τμήματα** ενός **display**, ώστε να σχηματίζονται οι αριθμοί. Φυσικά έχουν **7 εξόδους**, μία για κάθε τμήμα του display και **4 εισόδους**, ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν από **0** μέχρι **9**. Ένα από τα κριτήρια επιλογής είναι ο τύπος των χρησιμοποιούμενων **displays**, δηλαδή αν είναι κοινής ανόδου ή καθόδου, καθώς στην πρώτη περίπτωση απαιτείται οι εξοδοί να παρέχουν ρεύμα (*source*) ενώ στη δεύτερη να απορροφούν ρεύμα (*sink*). Τυπικά ολοκληρωμένα αυτού του τύπου είναι τα **7447, 7448, 7449** με μικροδιαφορές στον τρόπο οδήγησης των displays. Τα συγκεκριμένα ολοκληρωμένα μπορούν να εμφανίσουν και κάποια σύμβολα για τα γράμματα **A-F** και έτσι να δείξουν δεκαεξαδικά.



Flip Flop

Το βασικό κύκλωμα **F/F** δίνεται στο **σχήμα 4**. Οι γραμμές (**S**) και (**R**) είναι εισοδοί και οι **Q** και **Q*** αποτελούν τις δύο εξόδους. Αν η είσοδος (**S**) γίνει **1** και μετά **0**, τότε με διαδοχικές αλλαγές στις πύλες το κύκλωμα θα ισορροπήσει με **Q=1** και **Q*=0** (κατάσταση **SET**). Όταν από αυτή την ισορροπία η (**R**) γίνει **1** και μετά **0** τότε η κατάσταση θα αναστραφεί δηλαδή θα έχουμε **Q=0** και **Q*=1** (κατάσταση **RESET**). Εφαρμόζοντας δηλαδή παλμούς στις δύο

Σχήμα 5



➊ Το κύκλωμα του D Flip Flop.

εισόδους επιλέγουμε την κατάσταση ισορροπίας του **F/F**, η οποία θα παραμείνει μέχρις ότου εφαρμοστεί παλμός στην άλλη είσοδο. Το κύκλωμα του βασικού **F/F** εμφανίζει το μειονέκτημα ότι δεν μπορεί να προσδιοριστεί η κατάσταση ισορροπίας στην περίπτωση που και οι δυο είσοδοι έχουν τιμή **1** ταυτόχρονα. Γι αυτό και έχει υποστεί κάποιες τροποποιήσεις - προσθήκες, από τις οποίες έχουν προκύψει τα χρησιμοποιούμενα **F/F**.

Το **σχήμα 4** (στο σύνολό του) απεικονίζει ένα **RS F/F**. Όπως παρατηρείτε, πρόκειται για το βασικό κύκλωμα στο οποίο έχουν προστεθεί δύο **AND** πύλες και έχουν δώσει και μια τρίτη είσοδο για ωρολογιακό παλμό. Η λειτουργία έχει διαφοροποιηθεί στο ότι μετά την εφαρμογή παλμού στην **S**, η έξοδος **Q** δεν παίρνει τιμή **1** αμέσως, αλλά μόλις εμφανιστεί παλμός ρολογιού στην είσοδο **Cp** (ταυτόχρονα και η **Q*** παίρνει τιμή **0**). Η **Q** και **Q*** θα διατηρήσουν

την κατάστασή τους απεριόριστα και άσχετα πλέον από την κατάσταση στη είσοδο **S**. Αν στην είσοδο **R** εφαρμοστεί παλμός, τότε η κατάσταση των **Q** και **Q*** θα αναστραφεί με τον επόμενο παλμό ρολογιού.

Αν από την είσοδο **S** πάρουμε το σήμα, το αναστρέψουμε και το εφαρμόσουμε στην είσοδο **R**, όπως στο σχήμα 5, τότε έχουμε μετατρέψει το **RS F/F** σε **D F/F**. Από τη στιγμή που τα **S** και **R** είναι αντίθετα μεταξύ τους, είναι προφανές ότι έχουμε ξεπεράσει το μειονέκτημα που αναφέραμε στο βασικό κύκλωμα **F/F**. Όσο αφορά τη λειτουργία, η **Q** θα γίνεται **1** με τον πρώτο παλμό ρολογιού μετά το **S=1**, ενώ θα επανέρχεται **Q=0** με τον πρώτο παλμό ρολογιού μετά από **S=0** (οπότε δηλαδή **R=1**). Το σημαντικό σε αυτό τον τύπο **F/F** είναι ότι η χρονική διάρκεια κατά την οποία **Q=1**, είναι ακριβώς ίση με την περίοδο του ωρολογιακού σήματος επί τον αριθμό των παλμών που μεσολάβησαν, από τη στιγμή που το **S** πήρε την τιμή **1** μέχρι τη στιγμή που επανήλθε στο **0**. Το **7474** περιέχει **2 D F/F**.

Το **J-K F/F** είναι ο πιο διαδεδομένος τύπος, εμφανίζει όμως αρκετή πολυπλοκότητα ώστε να επιχειρήσουμε να το αναλύσουμε από αυτές τις λίγες γραμμές. Αυτό που έχει σημασία είναι ότι οι είσοδοι **J** και **K** είναι αντίστοιχες λειτουργικά με τις **S** και **R**, ενώ και σε αυτό τον τύπο εφαρμόζεται ωρολογιακός παλμός σε ξεχωριστή είσοδο. Χρησιμοποιείται κύρια σε απαριθμητές.

Σημαντική παραλλαγή του **J-K** είναι το **T F/F** (*Toggle*), το οποίο προκύπτει από τη σύνδεση **J=K=1**. Σε αυτή τη συνδεσμολογία η έξοδος **Q** αλλάζει κατάσταση σε κάθε παλμό στην είσοδο **Cp**, δηλαδή με τον **1ο παλμό** γίνεται **1**, με τον **2ο 0**, με τον **3ο 1** κ.ο.κ. Όπως αντιλαμβάνεστε, έχουμε μπροστά μας ένα υποδιπλασιαστή ή διαιρέτη συχνότητας, κύκλωμα εξαιρετικής σπουδαιότητας σε εφαρμογές χρονισμού (*ρολόγια, γεννήτριες παλμών, σειριακές επικοινωνίες κλπ*). Επειδή τα **F/F** χρησιμοποιούν τα ίδια βασικά κυκλώματα, είναι πολύ εύκολο να

κάνουμε μετατροπές από ένα τύπο σε άλλον. Τέτοια κυκλώματα μετατροπής δίνονται στο σχήμα 6.

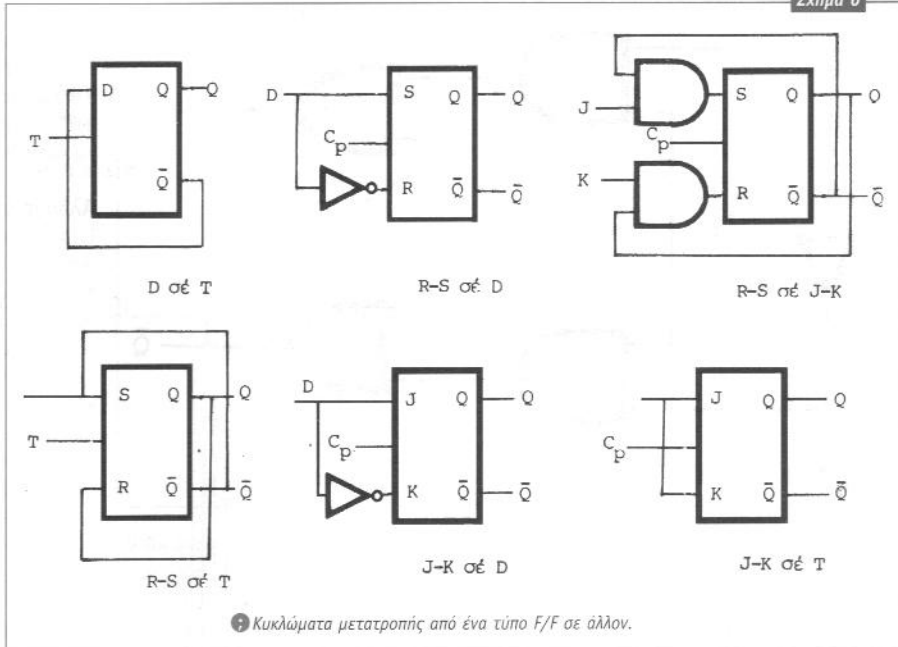
Απαριθμητές

Πρακτικά είναι μια σειρά από F/F συνδεδεμένα μεταξύ τους σε ένα ολοκληρωμένο. Ανάλογα με την εσωτερική συνδεσμολογία συναντάμε απαριθμητές δυαδικούς (*binary*), που χρησιμοποιούνται στην απαρίθμηση παλμών σε δυαδική αρίθμηση, δεκαδικούς απαριθμητές, που χρησιμοποιούνται κύρια σε διαιρέσεις/10 και όταν το αποτέλεσμα της απαρίθμησης θα δοθεί σε κάποιο **display**. Οι απαριθμητές μπορούν να μετράνε κατά αύξουσα (*up*) ή κατά φθίνουσα (*down*) σειρά αν και υπάρχουν ολοκληρωμένα **up/down**. Σε ένα απαριθμητή με ξεχωριστά (*διακριτά*) F/F είναι πολύ εύκολο με αλλαγή συνδεσμολογίας να επιτύχουμε την επιθυμητή σειρά αρίθμησης. Ενδεικτικά ολοκληρωμένα είναι τα **7490** (*δεκαδικός*), **7493** (*δυαδικός*), **74168** (*δεκαδικός up/down*) **4017** (*CMOS*) κλπ.

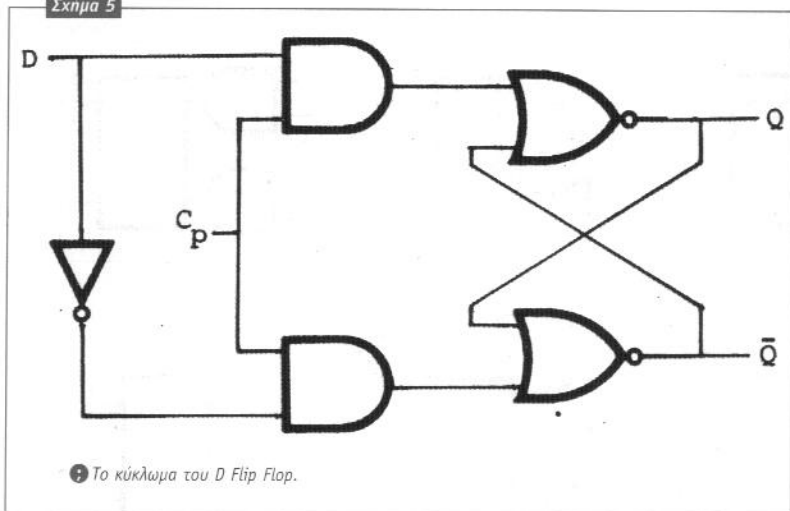
Στο σχήμα 7 δίνεται το εσωτερικό των **7490** (*αριστερά*) και **7493** (*δεξιά*).

Καταχωρητές - latches

Σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να αποθηκεύσουμε κάποια ψηφιακή πληροφορία (*μερικών bits*) για κάποιο χρονικό διάστημα, μέχρις ότου τα υπόλοιπα κυκλώματα προετοιμαστούν για την παραπέρα επεξεργασία. Αυτή η αποθήκευση γίνεται με τα **latches**. Πρακτικά πρόκειται για σειρά από ανεξάρτητα (*ως προς τις εισόδους - εξόδους*) F/F, κάθε ένα από τα οποία χρησιμοποιείται για ένα **bit**. Οι εισόδους των F/F είναι συνδεδεμένες στις γραμμές



(*π.χ. του bus*), δέχονται τις αλλαγές αλλά δεν διεγείρουν τις αντίστοιχες εξόδους. Όταν σε ένα ποδαράκι (*transfer ή Cp*) εφαρμοστεί ένας παλμός, τότε οι συγκεκριμένες καταστάσεις των **bits** που θα υπάρχουν στο **bus** (*εισόδους των F/F*) εκείνη τη στιγμή περνάνε στις εξόδους. Στη συνέχεια το **bus** είναι ελεύθερο για άλλη χρήση ενώ το συγκεκριμένο **byte** παραμένει στον καταχωρητή μέχρις ότου εφαρμοστεί νέος παλμός **transfer**.



☛ Το κύκλωμα του D Flip Flop.

Bus – Η τρίτη κατάσταση

Με την επέκταση των υπολογιστικών κυκλωμάτων, όλο και περισσότερο συνηθίζουμε στη χρήση **bus**, δηλαδή στη μεταφορά ομάδας **bit** σε “**παράλληλες**” γραμμές. Ένα σημαντικό πρόβλημα που παρουσιάστηκε όταν το bus συνδεόταν με πολλά ολοκληρωμένα, ήταν το ότι δεν μπορούσαν να συνδεθούν όλες οι έξοδοι των ολοκληρωμένων στο bus, αφού κάθε μια θα επηρέαζε το αντίστοιχο bit της άλλης.

Το πρόβλημα λύθηκε με την εφαρμογή μιας τρίτης “**λογικής**” κατάστασης. Σε ένα ολοκληρωμένο λοιπόν τριών καταστάσεων (*tri state*), κάθε έξοδος μπορεί να πάρει τιμή **1**, **0**, ή **tri state**, που είναι μια κατάσταση στην οποία η έξοδος εμφανίζει πολύ υψηλή αντίσταση, έτσι ώστε να θεωρείται απομονω-

μένη ή μη συνδεδεμένη στο **bus**. Ενδεικτικά, ένα τέτοιο ολοκληρωμένο είναι το **74245**, ένα οκταπλό **bus transceiver**, ένα ολοκληρωμένο δηλαδή με το οποίο μπορούμε επιλεκτικά να περάσουμε το **bus** της αριστερής πλευράς (του ολοκληρωμένου) δεξιά, ή της δεξιάς πλευράς αριστερά, ή να το αφήσουμε ανενεργό χωρίς οι έξοδοι του να ενοχλούν το κύκλωμα.

Αλλαγή στάθμης

Είναι πολλές οι περιπτώσεις που οι δυο λογικές στάθμες δεν μας ικανοποιούν από πλευράς τιμής. Όταν π.χ. θέλουμε με το αποτέλεσμα μιας επεξεργασίας να οδηγήσουμε ένα ρελέ, υπάρχει πρόβλημα. Τα προβλήματα αλλαγής στάθμης λύνονται είτε άμεσα (με ψηφιακά ολοκληρωμένα) είτε έμμεσα.

Στην πρώτη περίπτωση φροντίζουμε να χρησιμοποιήσουμε ολοκληρωμένο με έξοδο **open collector** (ανοικτού συλλέκτη). Σε αυτή τη μορφή της εξόδου, το ποδαράκι εξόδου είναι ο συλλέκτης του τρανζίστορ εξόδου. Επομένως μπορούμε να συνδέσουμε το φορτίο μας και να το τροφοδοτήσουμε με οποιαδήποτε τάση. Φυσικά οι υπερβολές τόσο από πλευράς τάσης (πάνω

από **40 V**, όσο και από πλευράς ρεύματος (μερικά *mA*) βλάπτουν. Σε τέτοιες περιπτώσεις προτιμάμε να χρησιμοποιήσουμε εξωτερικό τρανζίστορ.

Στη δεύτερη περίπτωση καταφεύγουμε κατευθείαν σε ένα εξωτερικό αναλογικό κύκλωμα (π.χ. ενισχυτή, περιοριστή, *buffer*) και σουχάζουμε σίγουρα.

Αναλογικό και ψηφιακό

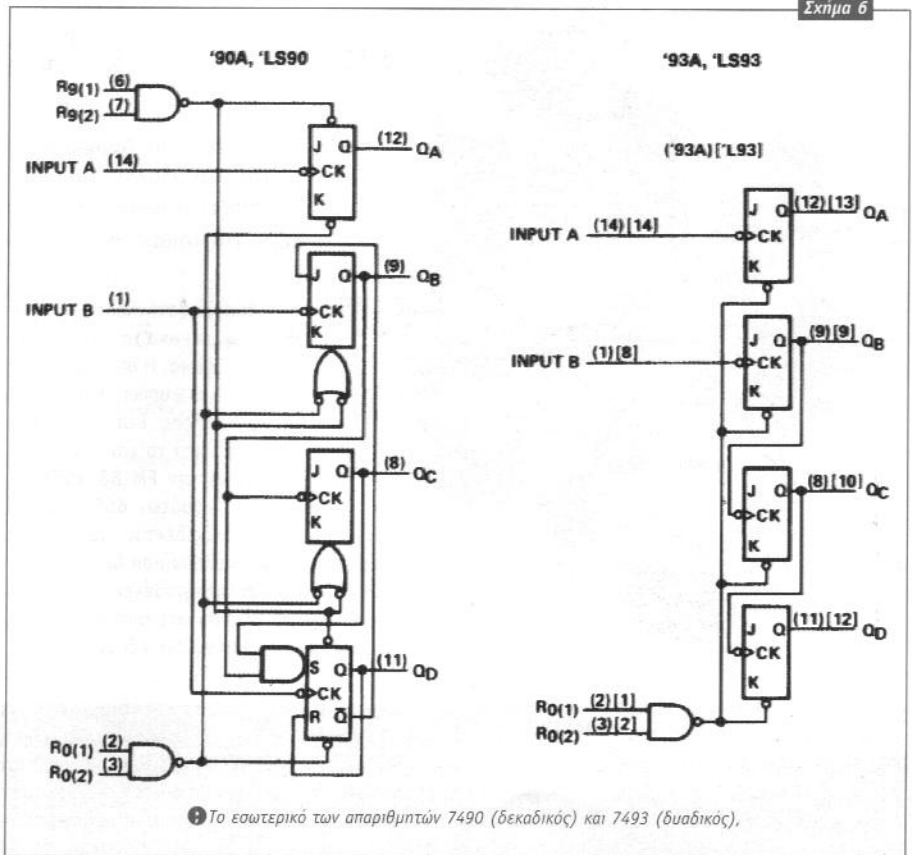
Μπορεί να μιλήσαμε για ψηφιακά σήματα και ολοκληρωμένα, είναι όμως σίγουρο ότι πολλές φορές θα χρειαστεί να πάρουμε την ψηφιακή εικόνα ενός φαινομένου από το περιβάλλον άρα αναλογικού ή να αποδώσουμε αναλογικά το αποτέλεσμα μιας ψηφιακής επεξεργασίας. Η ψηφιακή επεξεργασία ήκου είναι κλασικό παράδειγμα και για τις δύο περιπτώσεις. Αυτές λοιπόν οι μετα-

τρόπες γίνονται με δύο αδελφικά ολοκληρωμένα, τα **Analog to Digital** και **Digital to Analog Converters** (ADC και DAC αντίστοιχα).

Το **A/D** χαρακτηρίζεται από τα **bit**, στα οποία έχει τη δυνατότητα να μετατρέψει το αναλογικό σήμα. Είναι ευνόητο ότι όσο περισσότερα **bits** τόσο ακριβέστερη η μετατροπή (καλύτερο resolution). Συνήθως **8 bit** είναι αρκετά. Για παράδειγμα μια μετατροπή θερμοκρασίας από **-25** μέχρι **100 Βαθμούς** (περιοχή **125 βαθμοί**) με **8 bit** μεταφράζεται σε ευκρίνεια περίπου **0.5 Βαθμού** (θυμηθείτε τον Πίνακα 2, **8 bit** αντιστοιχούν σε **256 συνδυασμούς**). Σημασία λοιπόν σε μια μετατροπή **A/D** έχει η επιθυμητή ευκρίνεια. Άλλοι παράγοντες που παίζουν ρόλο είναι η σταθερότητα, η γραμμικότητα και η ακρίβεια μετατροπής, σε γενικές γραμμές εξετάζονται μόνο σε επαγγελματικούς σχεδιασμούς.

Η μετατροπή **D/A** δεν χρειάζεται τόσο ανάλυση. Εδώ ο αριθμός των **bit** αλλά και οτιδήποτε άλλο, έχει προεπιλεγεί κατά την ανάπτυξη του ψηφιακού μέρους της εφαρμογής.

Γενικά και οι δύο μετατροπείς, αν και "**φοβίζου**" τον μέσο τεχνικό, δεν είναι τόσο δύσχρηστοι. Το μόνο που χρειάζονται είναι λίγη προσοχή στο χειρισμό, την τροφοδοσία, ενώ καλό είναι να συμπεριληφθεί μία βαθμίδα απομόνωσης με τελεστικό ενισχυτή στην είσοδο του **A/D** και την έξοδο του **D/A**. Με αυτό τον τρόπο θα αποφευχθεί η δημιουργία κάποιου προβλήματος από απροσεξία. **■**



Ⓣ Το εσωτερικό των απαριθμητών 7490 (δεκαδικός) και 7493 (δωαδικός).