

# 11 Εργαστηριακά Πειράματα

## 11-0 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζουμε 18 εργαστηριακά πειράματα σε ψηφιακά κυκλώματα και λογική σχεδίαση. Σκοπός τους είναι να δώσουν πρακτική εμπειρία στον αναγνώστη αυτού του βιβλίου. Τα ψηφιακά κυκλώματα των πειραμάτων αυτών μπορούν να κατασκευαστούν με εμπορικά διαθέσιμα ολοκληρωμένα κυκλώματα (ICs), τα οποία βάζει κανείς πάνω σε ειδικές βάσεις και τα συνδέει με σύρματα. Η σειρά των πειραμάτων ακολουθεί τη σειρά της αντίστοιχης θεωρίας του βιβλίου.

Για να γίνουν τα πειράματα χρειάζεται ο εξής βασικός εξοπλισμός σε κάθε θέση εργασίας:

1. Ενδεικτικές λυχνίες τύπου LED (Light-Emitting Diodes).
2. Διακόπτες που να δίνουν σήματα λογικού 0 ή λογικού 1.
3. Διακόπτες τύπου κουμπιού, με ειδικά "καθαριστικά" κυκλώματα (debounce circuits), οι οποίοι, κάθε φορά που τους πιέζει κανείς και μετά τους αφήνει, δίνουν ένα μοναδικό λογικό παλμό (το "καθαριστικό" κύκλωμα φροντίζει να απαλείψει τους σπινθηρισμούς τις στιγμές που το κουμπί πραγματοποιεί και μετά διακόπτει την επαφή).
4. Μία παλμογεννήτρια για χρήση σαν ρολόι, με τουλάχιστο δύο συχνότητες: μια χαμηλή συχνότητα περίπου 1 Hz για να βλέπει κανείς αργές αλλαγές σημάτων, χρησιμοποιώντας τις LEDs και μίαν υψηλότερη συχνότητα

τα, περίπου 10 kHz ή περισσότερο, για να παρατηρεί κανείς κυματομορφές στον παλμογράφο.

5. Ένα τροφοδοτικό των 5 Volt για chips TTL.
6. Ειδικές βάσεις για στήριξη και σύνδεση των chips. Οι βάσεις αυτές κυκλοφορούν με διάφορα ονόματα, όπως π.χ. "socket-strips", "super-strips", "bread-boards", κλπ και έχουν πολλές μικρές τρύπες σε ένα τετράγωνο πλέγμα βήματος 2,54 mm, με αγωγίμες υποδοχές για ακροδέκτες και σύρματα στην κάθε τρύπα.
7. Σύρμα μονό, μονωμένο, για τις συνδέσεις, καθώς και μία πένσα κι έναν απογυμνωτή καλωδίου.

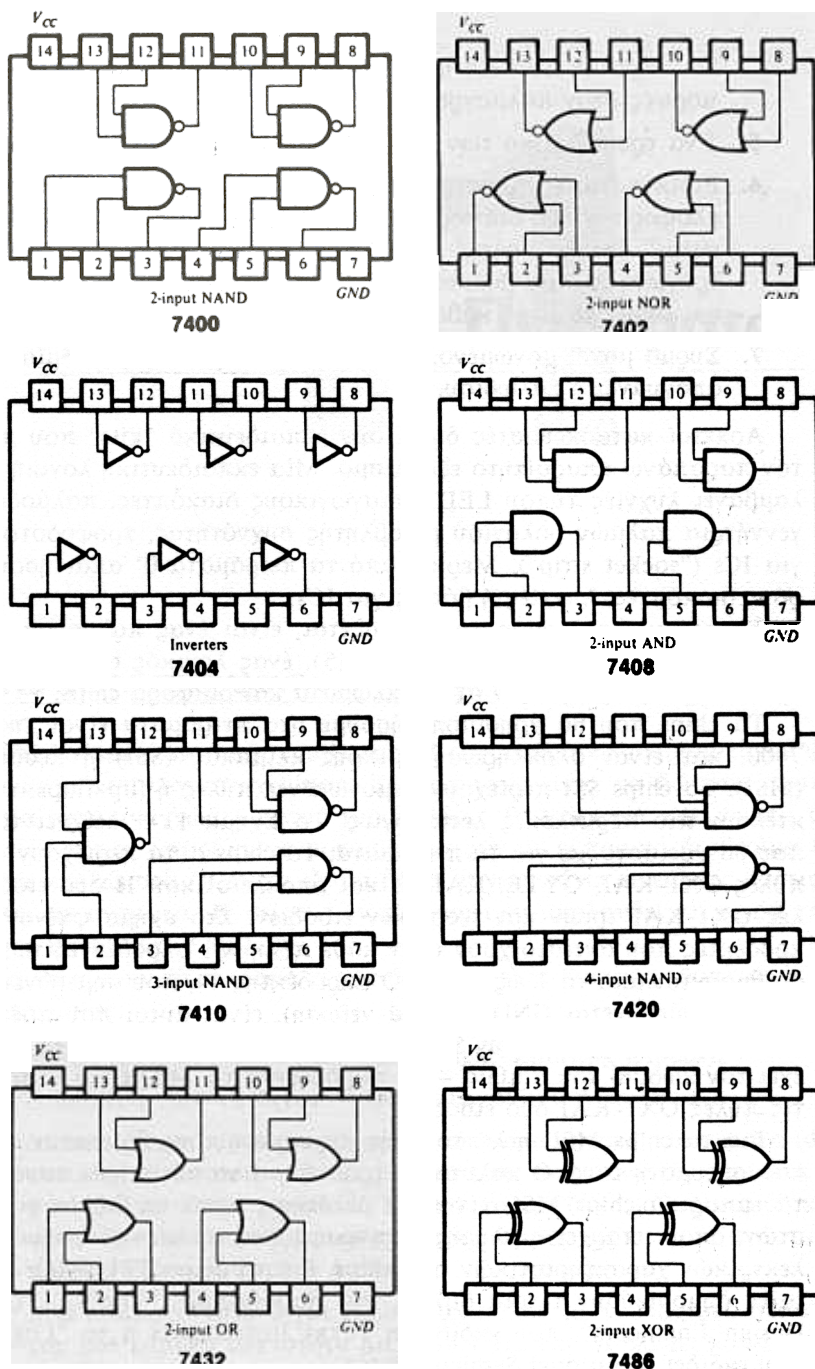
Αρκετοί κατασκευαστές διαθέτουν εκπαιδευτικά "kits" που περιέχουν όλο τον παραπάνω απαραίτητο εξοπλισμό. Μία εκπαιδευτική λογική μονάδα περιλαμβάνει λυχνίες τύπου LED, μεταγωγικούς διακόπτες, παλμοδιακόπτες, μία γεννήτρια παλμών ρολογιού μεταβλητής συχνότητας, τροφοδοτικό και βάσεις για ICs ("socket strip"). Μερικά από τα πειράματα θ' απαιτήσουν περισσότερους διακόπτες, λυχνίες ή βάσεις για ICs.

Επιπλέον εξοπλισμός που χρειάζεται, είναι ένας παλμογράφος δύο καναλιών (για τα πειράματα 1, 2, 8 και 15), ένας λογικός ανιχνευτής (probe) για την ανεύρεση σφαλμάτων στα κυκλώματα και διάφορα chips.

Τα chips που θα χρησιμοποιήσουμε στα πειράματα είναι της σειράς TTL 7400, και είναι ολοκλήρωσης μικρής-κλίμακας (SSI) ή μεσαίας-κλίμακας (MSI). Τα chips SSI περιέχουν μεμονωμένες πύλες ή flip-flops, ενώ τα MSI εκτελούν πιο περίπλοκες λειτουργίες. Το Σχήμα 11-1 δείχνει τα 8 chips SSI που θα χρειαστούμε για τα πειράματα. Τα chips αυτά περιέχουν αντιστροφείς, πύλες OXI-KAI, ΟΥΤΕ, ΚΑΙ, Ή και αποκλειστικού-Ή δύο εισόδων, και πύλες OXI-KAI τριών και τεσσάρων εισόδων. Στο σχήμα φαίνονται και οι ακροδέκτες που αντιστοιχούν στην κάθε πύλη. Οι ακροδέκτες των chips αυτών αριθμούνται από το 1 ως το 14. Ο ακροδέκτης 14, που σημειώνεται  $V_{CC}$ , και ο 7, που σημειώνεται GND (ground-γείωση), είναι αυτοί που πρέπει να συνδεθούν στο τροφοδοτικό των 5V για να λειτουργήσει το chip. Το κάθε είδος chip έχει τον κωδικό του αριθμό -για παράδειγμα το 7400 είναι αυτό που περιέχει τις πύλες OXI-KAI δύο εισόδων.

Για τα chips MSI, η λεπτομερής περιγραφή τους βρίσκεται στο βιβλίο του κατασκευαστή τους. Ο καλύτερος τρόπος για να αποκτήσει κανείς εμπειρία με τα εμπορικά chips MSI, είναι να μελετήσει αυτά τα βιβλία των κατασκευαστών, όπου υπάρχει η πλήρης περιγραφή των εσωτερικών, εξωτερικών και ηλεκτρικών χαρακτηριστικών των chips. Για τη σειρά TTL 7400, διάφορες εταιρείες δημοσιεύουν τέτοια βιβλία, για παράδειγμα: "The TTL Data Book for Design Engineers", που εκδίδει η Texas Instruments ή το "Logic Databook", που εκδίδει η National Semiconductor.

Τα chips MSI που χρειάζονται για τα πειράματα, θα τα παρουσιάσουμε και



**ΣΧΗΜΑ 11-1**

Μερικά chips SSI της σειράς TTL 7400, με τους κωδικούς τους, τους ακροδέκτες τους και τα σύμβολα των πυλών που περιέχουν

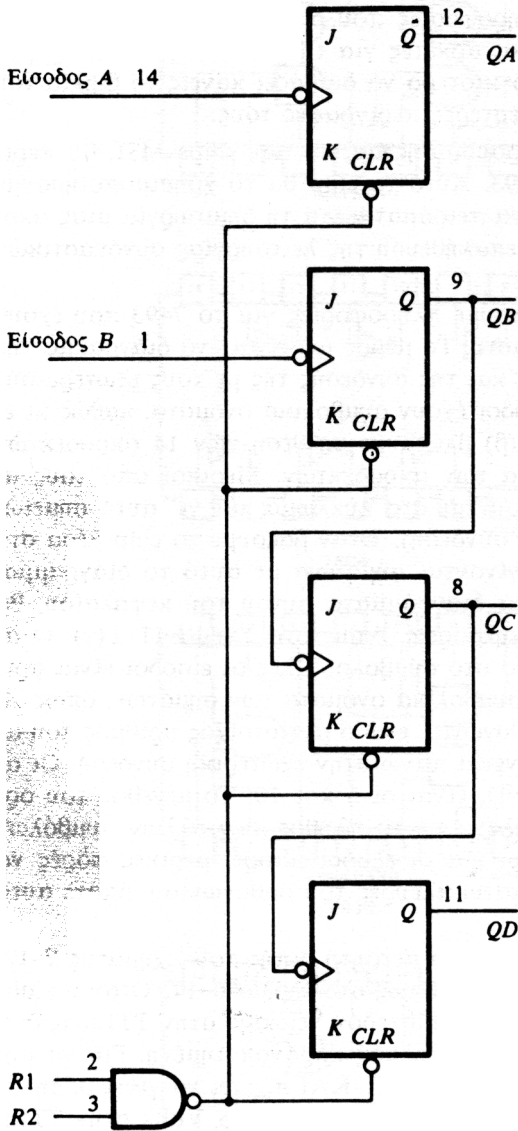
θα τα εξηγήσουμε όπου τα χρησιμοποιούμε για πρώτη φορά. Τη λειτουργία τους θα την εξηγούμε αναφερόμενοι σε παρόμοια κυκλώματα που μελετήσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια. Οι πληροφορίες που δίνουμε σε αυτό το βιβλίο για τα chips αυτά θα πρέπει να είναι αρκετές για την εκτέλεση των πειραμάτων. Παρόλα αυτά, είναι πάντα προτιμότερο να διαβάσει κανείς το βιβλίο του κατασκευαστή, διότι δίνει λεπτομερέστερες περιγραφές τους.

Σαν παράδειγμα του τρόπου παρουσίασης αυτών των chips MSI, θα περιγράψουμε εδώ το μετρητή ριπής 7493. Αυτό το chip θα το χρησιμοποιήσουμε στο πείραμα 1, καθώς και σε επόμενα πειράματα, για τη δημιουργία μιας ακολουθίας δυαδικών αριθμών για την επαλήθευση της λειτουργίας συνδυαστικών κυκλωμάτων.

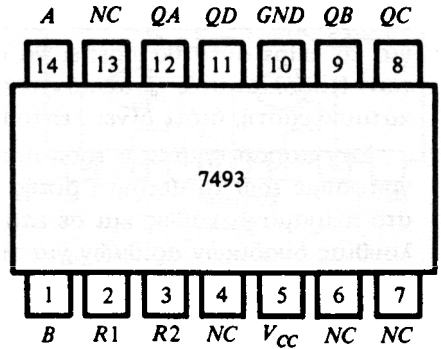
Στο Σχήμα 11-2 (α) και (β), βλέπουμε πληροφορίες για το 7493 που έχουν παρθεί από το βιβλίο του κατασκευαστή. Το μέρος (α) είναι ένα διάγραμμα της εσωτερικής λογικής του κυκλώματος και της σύνδεσής της με τους εξωτερικούς ακροδέκτες. Όλες οι εισοδοί και έξοδοί έχουν συμβολικά ονόματα, καθώς κι έναν αριθμό ακροδέκτη. Στο μέρος (β) βλέπουμε τη θέση των 14 ακροδεκτών του chip και τα συμβολικά ονόματα των ακροδεκτών. Μερικοί από τους ακροδέκτες του chip δεν χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα και γι' αυτό σημειώνονται με NC (no connection-χωρίς σύνδεση). Όταν βάζουμε το chip μέσα στη βάση, οι συνδέσεις των συρμάτων γίνονται σύμφωνα με αυτό το διάγραμμα. Από την άλλη μεριά, στα σχηματικά διαγράμματα αυτού του κεφαλαίου, θα δείχνουμε τα chips με μία συμβολική μορφή, όπως στο Σχήμα 11-2 (γ). Ο αριθμός του chip (7493) φαίνεται μέσα στο σύμβολο. Όλες οι εισοδοί είναι αριστερά και όλες οι έξοδοι δεξιά. Τα συμβολικά ονόματα των σημάτων, όπως A, R1 και QA, γράφονται μέσα στο ορθογώνιο, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός του ακροδέκτη, όπως 14, 2 και 12, σημειώνεται πάνω στην εξωτερική σύνδεση. Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας,  $V_{CC}$  και GND, είναι οι 5 και 10. Το μέγεθος του ορθογωνίου μπορεί να ποικίλλει, ανάλογα με το πλήθος των άλλων συμβόλων που πρέπει να χωρέσουν. Οι εισοδοί και οι έξοδοι μπορεί μερικές φορές να τοποθετούνται και στις επάνω και κάτω πλευρές του ορθογωνίου, όποτε αυτό βολεύει περισσότερο.

Το κύκλωμα λειτουργεί παρόμοια με το μετρητή ριπής του Σχήματος 7-12, με ασύγχρονη μηδένιση του κάθε flip-flop όπως στο Σχήμα 6-14. Όταν η είσοδος R1 ή η R2, ή και οι δύο είναι 0 (τάση σχεδόν γείωσης στην TTL), τότε η είσοδος μηδένισης των flip-flops είναι 1, δηλαδή αδρανοποιημένη. Για να μηδενιστούν τα flip-flops, η έξοδος της πύλης ΟΧΙ-ΚΑΙ πρέπει να γίνει 0, δηλαδή και η R1 και η R2 να γίνουν λογικό 1 (περίπου 3 με 5 Volts στην TTL). Παρατηρείστε ότι οι εισοδοί J και K των flip-flops έχουν αφεθεί ασύνδετες. Τα κυκλώματα TTL έχουν την ιδιότητα ότι οι ασύνδετες εισοδοί τους παίρνουν από μόνες τους την τιμή του λογικού 1. Παρατηρείστε, επίσης, ότι η έξοδος QA δεν συνδέεται στην είσοδο B εσωτερικά.

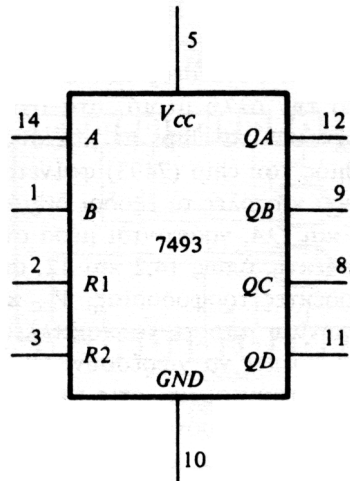
Το chip 7493 μπορεί να λειτουργήσει ως τρίμπιτος μετρητής, αν χρησιμο-



(α) Διάγραμμα του εσωτερικού κυκλώματος



(β) Θέση των ακροδεκτών πάνω στο chip (NC = χωρίς σύνδεση)



(γ) Σχηματικό σύμβολο

**ΣΧΗΜΑ 11-2**  
Ο μετροπτής ριπής 7493

ποιήσουμε την είσοδο *B* και τα flip-flops *QB*, *QC* και *QD*. Μπορεί ακόμα να λειτουργήσει ως τετράμπιτος μετρητής, αν χρησιμοποιήσουμε την είσοδο *A* και η έξοδος *QA* συνδεθεί στην είσοδο *B*. Για να λειτουργήσει, λοιπόν, το κύκλωμα ως τετράμπιτος μετρητής, θα πρέπει να υπάρχει εξωτερική σύνδεση μεταξύ των ακροδεκτών 12 και 1. Οι εισοδοί μηδένισης *R1* και *R2* (reset inputs) στους ακροδέκτες 2 και 3, αντίστοιχα, πρέπει να γειωθούν. Οι ακροδέκτες 5 και 10 πρέπει να συνδεθούν σε ένα τροφοδοτικό των 5 Volts. Οι παλμοί εισόδου πρέπει να εφαρμοστούν στην είσοδο *A* (ακροδέκτης 14), ενώ οι έξοδοι των τεσσάρων flip-flops λαμβάνονται από τα *QA*, *QB*, *QC* και *QD* (ακροδέκτες 12, 9, 8 και 11, αντίστοιχα), όπου το *QA* είναι το λιγότερο σημαντικό bit.

Το Σχήμα 11-2 (γ) δείχνει τον τρόπο με τον οποίο όλα τα chips MSI θα συμβολίζονται σε αυτό το κεφάλαιο. Θα δίνουμε, δηλαδή, μόνο το σχηματικό σύμβολο για κάθε IC. Τα συμβολικά ονόματα για τις εισόδους και τις εξόδους του IC θα τα δίνουμε σύμφωνα με το συμβολισμό που χρησιμοποιεί ο κατασκευαστής. Η λειτουργία του κυκλώματος θα επεξηγείται με αναφορά σε λογικά διαγράμματα προηγούμενων κεφαλαίων. Η λειτουργία του κυκλώματος θα επεξηγείται με τη βοήθεια ενός πίνακα αληθείας ή ενός πίνακα λειτουργίας.

Άλλα σχηματικά σύμβολα για τα chips παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 12. Εκεί παρουσιάζονται τα σχηματικά σύμβολα που προτείνει το Ινστιτούτο

**ΠΙΝΑΚΑΣ 11-1**

**Ολοκληρωμένα Κυκλώματα που χρειάζονται στα Πειράματα**

IC Κωδικός	Περιγραφή	Γραφικά Σύμβολα	
		Κεφ. 11	Κεφ. 12
	Διάφορες πύλες	Σχ. 11-1	Σχ. 12-1
7447	Αποκωδικοποιητής BCD-σε-7-κομμάτια	Σχ. 11-8	
7474	Δύο flip-flops τύπου <i>D</i>	Σχ. 11-13	Σχ. 12-9 (β)
7476	Δύο flip-flops τύπου <i>JK</i>	Σχ. 11-12	Σχ. 12-9 (α)
7483	Τετράμπιτος δυαδικός αθροιστής	Σχ. 11-10	Σχ. 12-2
7489	Μνήμη τυχαίας-προσπέλασης 10×4	Σχ. 11-18	Σχ. 12-15
7493	Τετράμπιτος μετρητής ροπής	Σχ. 11-2	Σχ. 12-13
74151	Πολυπλέκτης 8-σε-1	Σχ. 11-9	Σχ. 12-7 (α)
74155	Αποκωδικοποιητής 3-σε-8	Σχ. 11-7	Σχ. 12-6
74157	Τετράμπιτος πολυπλέκτης 2-σε-1	Σχ. 11-17	Σχ. 12-7 (β)
74161	Τετράμπιτος σύγχρονος μετρητής	Σχ. 11-15	Σχ. 12-14
74194	Τετράμπιτος αμφίδρομος καταχωρητής ολίσθησης	Σχ. 11-19	Σχ. 12-7 (β)
74195	Τετράμπιτος καταχωρητής ολίσθησης	Σχ. 11-16	Σχ. 12-11
7730	Ενδείκτης LED 7-κομματιών	Σχ. 11-8	
72555	Χρονοστής	Σχ. 11-21	

Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineer) και τα οποία δίνονται στην τυποποίηση 91-1984 της IEEE. Τα σύμβολα για τις πύλες SSI έχουν ορθογώνιο σχήμα, όπως στο Σχήμα 12-1. Το πρότυπο σύμβολο για το IC 7493 φαίνεται στο Σχήμα 12-13. Αυτό το σύμβολο μπορεί να αντικαταστήσει το συμβολισμό του Σχήματος 11-2 (γ). Τα πρότυπα σύμβολα για τα υπόλοιπα chips που χρησιμοποιούνται στα πειράματα παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 12. Στην περίπτωση που τα πρότυπα σύμβολα προτιμηθούν, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σχεδίαση σχηματικών διαγραμμάτων των λογικών κυκλωμάτων.

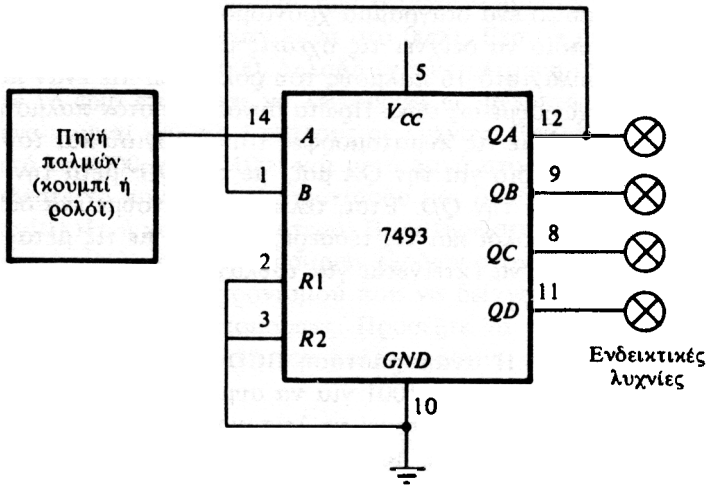
Ο Πίνακας 11-1 αναφέρει όλα τα chips που θα χρειαστούμε στα πειράματα –μαζί με τους αριθμούς των αντίστοιχων σχημάτων σε αυτό το κεφάλαιο. Επιπρόσθετα, ο πίνακας αναφέρει τους αριθμούς των σχημάτων του Κεφαλαίου 12, όπου παρουσιάζονται τα ισοδύναμα πρότυπα γραφικά σύμβολα.

Το υπόλοιπο αυτού του κεφαλαίου διαιρείται σε 18 ενότητες, όπου κάθε ενότητα καλύπτει ένα πείραμα. Ο αριθμός της ενότητας αντιστοιχεί στον αριθμό του πειράματος. Το κάθε πείραμα χρειάζεται μία περίοδο εργαστηρίου περίπου δύο έως τρεις ώρες, εκτός από τα πειράματα 14, 16 και 17, που μπορεί να χρειαστούν περισσότερη ώρα.

## 11-1 ΔΥΑΔΙΚΟΙ ΚΑΙ ΔΕΚΑΔΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ

Σε αυτό το πείραμα θα δούμε τη σειρά μέτρησης στο δυαδικό σύστημα, καθώς και την αναπαράσταση δεκαδικού κωδικοποιημένου σε δυαδικό (BCD). Χρησιμεύει ως εισαγωγή στον εργαστηριακό εξοπλισμό και για εξοικείωση με τον παλμογράφο. Η σχετική ύλη που είναι χρήσιμο να ξέρει κανείς όταν κάνει το πείραμα, είναι η ύλη της Ενότητας 1-2, για τους δυαδικούς αριθμούς, και της 1-6, για την αναπαράσταση BCD.

*Δυαδική Μέτρηση:* Το chip 7493 αποτελείται από τέσσερα κύτταρα που λέγονται flip-flops, όπως φαίνεται στο Σχήμα 11-2. Τα κύτταρα αυτά μπορούν να συνδεθούν έτσι που να μετράνε στο δυαδικό ή στο BCD. Συνδέστε το chip για να λειτουργεί σαν τετράμπιτος δυαδικός μετρητής συνδέοντας τους ακροδέκτες, όπως δείχνει το Σχήμα 11-3. Δηλαδή: συνδέουμε ένα σύρμα από τον ακροδέκτη 12 (έξοδος QA) στον 1 (είσοδος B)· συνδέουμε την είσοδο A (ακροδέκτης 14) σε μια πηγή παλμών· γειώνουμε τις δύο εισόδους μηδενισμού R1 και R2 και από τις τέσσερις εξόδους πηγαίνουμε σε τέσσερις ενδεικτικές λυχνίες, συνδέοντας το λιγότερο-σημαντικό bit του μετρητή –το QA– στη δεξιότερη λυχνία. Φυσικά δεν πρέπει να ξεχάσουμε την τάση τροφοδοσίας των 5V στον ακροδέκτη 5 και τη γείωση στον 10. Όλες τις συνδέσεις πρέπει να τις κάνουμε με το τροφοδοτικό σβησμένο.



**ΣΧΗΜΑ 11-3**  
Δυαδικός μετρητής

Ανάψτε το τροφοδοτικό και παρατηρείστε τις τέσσερις ενδεικτικές λυχνίες. Ο τετράμπιτος αριθμός στην έξοδο αυξάνεται κατά ένα κάθε φορά που το κουμπι δίνει έναν παλμό. Η μέτρηση πηγαίνει ως το 15 και μετά ξανά στο 0. Μετά, αποσυνδέστε την είσοδο του μετρητή (ακροδέκτης 14) από το κουμπι και συνδέστε την στην παλμογεννήτρια, την οποία ρυθμίστε να παράγει παλμούς στη χαμηλή συχνότητα –περίπου έναν το δευτερόλεπτο. Κατ’ αυτό τον τρόπο θα έχουμε μία αυτόματη μέτρηση στο δυαδικό. Ας σημειωθεί ότι το δυαδικό μετρητή θα τον χρησιμοποιήσουμε σε επόμενα πειράματα για να μας δίνει τα σήματα για τον έλεγχο συνδυαστικών κυκλωμάτων.

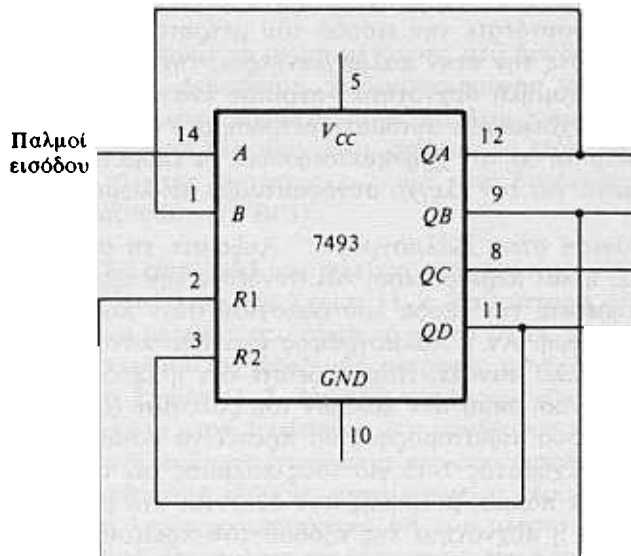
*Απεικόνιση στον Παλμογράφο:* Αυξήστε τη συχνότητα του ρολογιού στα 10 KHz, ή και περισσότερο, και συνδέστε την έξοδό του σε έναν παλμογράφο. Παρατηρείστε την έξοδο του ρολογιού στον παλμογράφο και σχεδιάστε την κυματομορφή. Αν ο παλμογράφος έχει δύο κανάλια, συνδέστε και την έξοδο QA στο άλλο κανάλι. Παρατηρείστε ότι η έξοδος QA αντιστρέφεται με την κάθε αρνητική ακμή των παλμών του ρολογιού (δηλαδή, όταν αυτό πάει από 1 σε 0). Οι δύο κυματομορφές θα πρέπει να μοιάζουν με το διάγραμμα χρονισμού του Σχήματος 7-15 για τους παλμούς και το Q1.

Όταν οι παλμοί μέτρησης που δίνονται στο μετρητή έχουν σταθερή συχνότητα, τότε η συχνότητα της εξόδου του πρώτου κυττάρου, QA, είναι η μισή από τη συχνότητα εισόδου. Με τη σειρά του, το κάθε κύτταρο διαιρεί τη συχνότητα της δικής του εισόδου δια δύο. Έτσι, συνολικά, ο τετράμπιτος μετρητής διαιρεί τη συχνότητα του ρολογιού δια 16, στην έξοδο QD. Πάρτε με



τον παλμογράφο ένα διάγραμμα χρονισμού του ρολογιού και των τεσσάρων εξόδων, το οποίο να δείχνει τις σχέσεις μεταξύ τους. Προσέξτε αυτό να περιλαμβάνει τουλάχιστο 16 παλμούς του ρολογιού. Με έναν παλμογράφο δύο καναλιών, προχωρούμε ως εξής: Πρώτα συνδέουμε στον παλμογράφο· παρατηρούμε και καταγράφουμε τις κυματομορφές του ρολογιού και του *QA*. Μετά, επαναλαμβάνουμε το ίδιο για την *QA* μαζί με την *QB*· μετά την *QB* με την *QC*· και τέλος, την *QC* με την *QD*. Έτσι, τελικά, συνθέτουμε ένα διάγραμμα χρονισμού που δείχνει το ρολόι και τις τέσσερις εξόδους με τις μεταξύ τους σχέσεις, και το οποίο πρέπει να εκτείνεται για τουλάχιστο 16 παλμούς του ρολογιού στον άξονα του χρόνου.

**Μέτρηση BCD:** Η αναπαράσταση BCD χρησιμοποιεί τους δυαδικούς αριθμούς από το 0000 ως το 1001 για να συμβολίσει τα δεκαδικά ψηφία από το 0 έως το 9. Το chip 7493 μπορεί να λειτουργήσει ως μετρητής BCD, αν κάνουμε τις εξωτερικές συνδέσεις που δείχνει το Σχήμα 11-4. Οι έξοδοι *QB* και *QD* συνδέονται στις δύο εισόδους μηδενισμού, *R1* και *R2*. Όταν και η *R1* και η *R2* γίνουν 1, τότε και τα τέσσερα κύτταρα του μετρητή μηδενίζονται, ανεξάρτητα από τους παλμούς εισόδου. Ο μετρητής πηγαίνει διαδοχικά από το 0000 έως το 1001. Ο επόμενος παλμός αλλάζει την έξοδο σε 1010, κάνοντας έτσι και το *QB* και το *QD* ίσα με 1. Αυτή η έξοδος όμως δεν είναι σταθερή, διότι



**ΣΧΗΜΑ 11-4**  
Μετρητής BCD

προκαλεί τον άμεσο μηδενισμό και των τεσσάρων κυττάρων του μετρητή, οπότε η έξοδος πηγαίνει κατευθείαν ξανά στο 0000. Έτσι, η επόμενη σταθερή έξοδος μετά το 1001 είναι το 0000, δηλαδή έχουμε μέτρηση στο BCD.

Συνδέστε το chip έτσι ώστε να λειτουργεί ως μετρητής BCD. Συνδέστε την είσοδο σε ένα κουμπί και τις 4 εξόδους σε λυχνίες. Επαληθεύστε ότι η μέτρηση πηγαίνει από το 0000 ως το 1001 και μετά ξανά στο 0000.

Αποσυνδέστε το κουμπί από την είσοδο και συνδέστε μια παλμογεννήτρια συχνότητας 10 kHz ή και περισσότερο. Παρατηρείστε την κυματομορφή αυτού του ρολογιού, καθώς και των τεσσάρων εξόδων στον παλμογράφο, και κάνετε ένα λεπτομερές διάγραμμα χρονισμού που να δείχνει τις χρονικές σχέσεις ανάμεσα σ' αυτές τις 5 κυματομορφές. Προσέξτε να έχετε τουλάχιστο 10 παλμούς του ρολογιού στην οθόνη του παλμογράφου, καθώς και στο διάγραμμά σας.

*Κυματομορφές Εξόδου:* Όταν οι παλμοί μέτρησης που δίνονται στο μετρητή είναι συνεχείς, αυτός επαναλαμβάνει συνεχώς την ακολουθία από 0000 έως το 1001 και μετά ξανά στο 0000, και ούτω καθεξής. Αυτό σημαίνει πως η καθεμιά από τις τέσσερις κυματομορφές εξόδου είναι μια περιοδική συνάρτηση του χρόνου, με περίοδο ίση προς 10 παλμούς του ρολογιού. Αυτές τις περιοδικές κυματομορφές μπορούμε να τις προβλέψουμε από την ακολουθία των δυαδικών αριθμών από το 0000 έως το 1001. Έτσι, π.χ., η έξοδος QA (το λιγότερο σημαντικό bit) έχει εναλλασσόμενους άσσους και μηδενικά, ενώ η QD (το πιο σημαντικό bit) έχει οκτώ μηδενικά ακολουθούμενα από δύο άσσους. Βρείτε πώς πρέπει να είναι και οι άλλες δύο κυματομορφές, και μετά κοιτάξτε και ελέγξτε και τις τέσσερις τους στον παλμογράφο. Σε έναν παλμογράφο με δύο κανάλια, ο βολικότερος τρόπος να το κάνετε αυτό είναι να έχετε το ρολόι στο ένα κανάλι και, διαδοχικά, καθεμιά από τις 4 εξόδους στο άλλο.

*Άλλες Μετρήσεις:* Το chip 7493 μπορεί να μετράει από το 0 μέχρι διάφορους τελικούς αριθμούς, συνδέοντας κάποια ή κάποιες (δύο) εξόδους στις εισόδους μηδενισμού R1 και R2. Έτσι, αν στο Σχήμα 11-4 συνδέσουμε το R1 στο QA αντί του QB, προκύπτει μέτρηση από το 0000 ως το 1000 –δηλαδή 1 λιγότερο από το 1001 (που έχει  $QA = QD = 1$ ).

Με τα όσα ξέρετε για το πώς τα R1 και R2 επηρεάζουν την τελική μέτρηση, συνδέστε το chip 7493 έτσι ώστε να μετράει από το 0000 ως το:

- (α) 0101
- (β) 0111
- (γ) 1011

Κάνετε αυτές τις συνδέσεις και επαληθεύστε την ακολουθία των μετρήσεων, εφαρμόζοντας παλμούς με το κουμπί και παρατηρώντας την έξοδο με τις ενδεικτικές λυχνίες. Εάν ο μετρητής ξεκινήσει με μέτρηση μεγαλύτερη από την τελική, συνεχίστε να εφαρμόζετε παλμούς έως ότου η έξοδος μηδενιστεί.

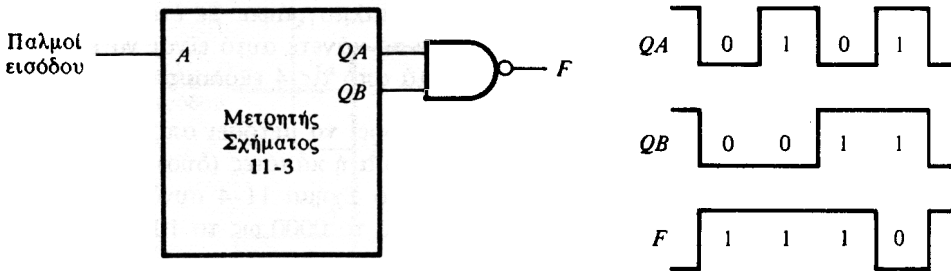
### 11-2 ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΠΥΛΕΣ

Σε αυτό το πείραμα θα μελετήσουμε τη λογική συμπεριφορά διαφόρων πυλών:

- 7400 – τέσσερις πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ 2-εισόδων (NAND)
- 7402 – τέσσερις πύλες ΟΥΤΕ 2-εισόδων (NOR)
- 7404 – έξι αντιστροφείς
- 7408 – τέσσερις πύλες ΚΑΙ 2-εισόδων (AND)
- 7432 – τέσσερις πύλες Ή 2-εισόδων (OR)
- 7486 – τέσσερις πύλες αποκλειστικού-Ή 2-εισόδων (XOR)

Οι ακροδέκτες αυτών των chips φαίνονται στο Σχήμα 11-1. Για τα χαρακτηριστικά των πυλών TTL, βλέπε την Ενότητα 2-8. Η υλοποίηση κυκλωμάτων με πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ συζητήθηκε στις Ενότητες 3-6 και 4-7.

*Πίνακες Αληθείας:* Χρησιμοποιείστε μία πύλη από καθένα από τα παραπάνω chips και βρείτε τον πίνακα αληθείας της. Για να τον βρείτε, συνδέστε τις εισόδους της πύλης σε διακόπτες και την έξοδό της σε μια ενδεικτική λυχνία. Συγκρίνετε τα αποτελέσματά σας με τους πίνακες αληθείας που δίνονται στο Σχήμα 2-5.



**ΣΧΗΜΑ 11-5**  
Κυματομορφές μιας πύλης ΟΧΙ-ΚΑΙ

*Κυματομορφές:* Για καθεμιά από τις παραπάνω πύλες, παρατηρείστε τις κυματομορφές εισόδου-εξόδου της στον παλμογράφο. Χρησιμοποιείστε τα δύο λιγότερο σημαντικά bits ενός δυαδικού μετρητή (Σχήμα 11-3) ως εισόδους για την κάθε πύλη. Για παράδειγμα, το Σχήμα 11-5 δείχνει το κύκλωμα και την αναμενόμενη κυματομορφή για την πύλη ΟΧΙ-ΚΑΙ. Στον παλμογράφο οι κυματομορφές είναι συνεχόμενες –εσείς όμως αρκεί να καταγράψετε μία περίοδό τους.

**Καθυστέρηση Διάδοσης:** Συνδέστε και τους έξι αντιστροφείς του chip 7404 στη σειρά. Η έξοδος θα είναι ίδια με την είσοδο, μόνο που θα είναι καθυστερημένη σε σχέση με αυτήν κατά το χρόνο που χρειάζεται το σήμα για να διαδοθεί διαμέσου και των έξι αντιστροφέων. Εφαρμόστε παλμούς από το ρολόι στην είσοδο του πρώτου αντιστροφέα. Με τον παλμογράφο βρείτε την καθυστέρηση από την είσοδο έως την έξοδο του έκτου αντιστροφέα, και για τη θετική και για την αρνητική ακμή των παλμών. Χρησιμοποιείστε τα δύο κανάλια του παλμογράφου για να βλέπετε ταυτόχρονα την είσοδο του κυκλώματός μας στο ένα και την έξοδο στο άλλο. Ρυθμίστε την οριζόντια σάρωση στον πιο μικρό χρόνο ανά υποδιαίρεση. Στην οθόνη σας θα πρέπει να φανεί η καθυστέρηση της θετικής ή της αρνητικής ακμής των παλμών (αντιστρέψτε την πολικότητα της πυροδότησης της οριζόντιας σάρωσης για να δείτε και την άλλη καθυστέρηση). Διαιρέστε την ολική καθυστέρηση δια του 6 για να βρείτε την καθυστέρηση ανά αντιστροφή.

**Οικουμενικότητα της πύλης OXI-KAI:** Χρησιμοποιείστε ένα μόνο chip 7400 και συνδέστε το έτσι ώστε να πραγματοποιεί:

- (α) έναν αντιστροφέα
- (β) μία πύλη ΚΑΙ δύο εισόδων
- (γ) μία πύλη Ή δύο εισόδων
- (δ) μία πύλη ΟΥΤΕ δύο εισόδων
- (ε) μία πύλη αποκλειστικού-Ή δύο εισόδων (βλ. Σχήμα 4-21).

Σε καθεμιά περίπτωση επαληθεύστε τη σχεδίαση βρίσκοντας τον πίνακα αληθείας με τους διακόπτες και την ενδεικτική λυχνία.

**Κύκλωμα με πύλες OXI-KAI:** Χρησιμοποιώντας ένα μόνο chip 7400 με πύλες OXI-KAI, φτιάξτε ένα κύκλωμα που να υλοποιεί τη συνάρτηση Boole:

$$F = AB + CD$$

1. Σχεδιάστε το κύκλωμα.
2. Βρείτε τον πίνακα αληθείας της  $F$  σαν συνάρτηση των τεσσάρων εισόδων.
3. Συνδέστε το κύκλωμα και επιβεβαιώστε τον πίνακα αληθείας.
4. Καταγράψτε την ακολουθία άσων και μηδενικών της  $F$ , καθώς οι εισόδοι  $A$ ,  $B$ ,  $C$  και  $D$  πηγαίνουν από το δυαδικό 0 ως το δυαδικό 15.
5. Συνδέστε τις 4 εξόδους του δυαδικού μετρητή του Σχήματος 11-3 στις 4 εισόδους αυτού εδώ του κυκλώματος. Με τα δύο κανάλια του παλμογράφου, παρατηρήστε ταυτόχρονα στην οθόνη τους παλμούς του ρολο-

γιού που αποτελούν την είσοδο του μετρητή και την έξοδο  $F$  του κυκλώματός μας. Καταγράψτε την ακολουθία άσων και μηδενικών που βλέπετε, και συγκρίνετέ την με αυτήν που βρήκατε στο (4), πιο πάνω.

### 11-3 ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΩΝ BOOLE

Σε αυτό το πείραμα θα δούμε τη σχέση ανάμεσα σε μία συνάρτηση Boole και το λογικό διάγραμμα της υλοποίησής της. Οι συναρτήσεις Boole απλοποιούνται με τη μέθοδο του χάρτη, όπως είδαμε στο Κεφάλαιο 3. Τα λογικά διαγράμματα πρέπει να σχεδιαστούν χρησιμοποιώντας μόνο πύλες OXI-KAI, όπως εξηγήθηκε στην Ενότητα 3-6.

Οι πύλες και τα chips που θα χρησιμοποιήσουμε, είναι εκείνα από τα του Σχήματος 11-1 που περιέχουν πύλες OXI-KAI:

7400 – OXI-KAI 2-εισόδων

7404 – Αντιστροφείς (OXI-KAI μιας εισόδου)

7410 – OXI-KAI 3-εισόδων

7420 – OXI-KAI 4-εισόδων

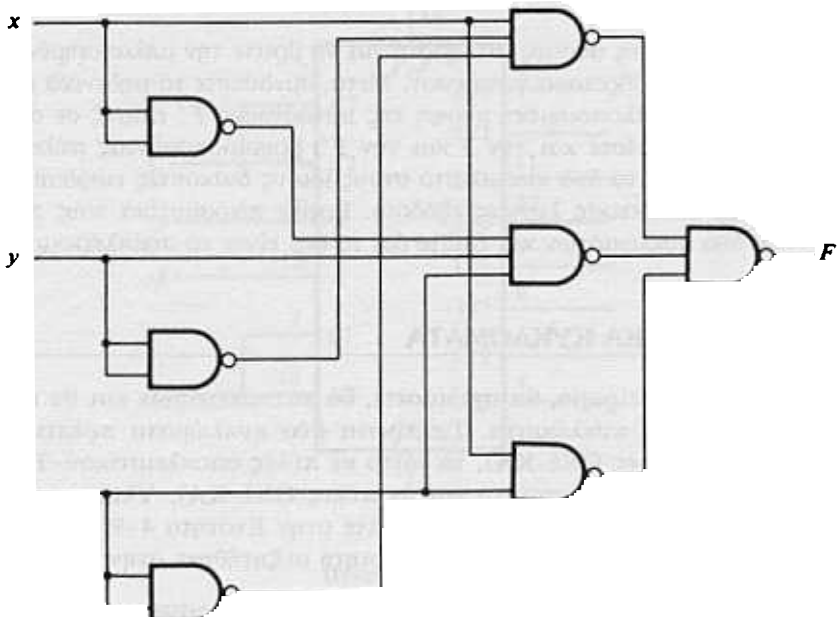
Αν κάποια είσοδος κάποιας πύλης OXI-KAI δεν χρησιμοποιείται, δεν πρέπει να μένει ανοιχτοκυκλωμένη (ασύνδετη) –πρέπει να συνδέεται με μια από τις άλλες εισόδους που χρησιμοποιούνται. Για παράδειγμα, αν χρειάζομαστε έναν αντιστροφέα και μας περισσεύει μία πύλη 2-εισόδων από ένα μισοχρησιμοποιημένο chip 7400, τότε οι δύο εισοδοί της πύλης πρέπει να συνδεθούν μεταξύ τους για ν' αποτελέσουν τη μία είσοδο του αντιστροφέα.

*Λογικό Διάγραμμα:* Σε αυτό το μέρος του πειράματος ξεκινάμε με ένα δοσμένο λογικό διάγραμμα, το οποίο και απλοποιούμε στη συνέχεια, με σκοπό να ελαττώσουμε τον αριθμό των πυλών και πιθανόν και τον αριθμό των chips. Το λογικό αυτό διάγραμμα δίνεται στο Σχήμα 11-6 και απαιτεί δύο chips –ένα 7400 κι ένα 7410. Παρατηρήστε ότι οι αντιστροφείς για τις εισόδους  $x$ ,  $y$  και  $z$ , φτιάχνονται με τις 3 πύλες που περισσεύουν από το chip 7400. Αν χρησιμοποιούσαμε ένα chip 7404 για τους αντιστροφείς, τότε το κύκλωμα θα απαιτούσε τρία chips. Επίσης, παρατηρήστε ότι όταν σχεδιάζουμε κυκλώματα, δεν κλείνουμε τις πύλες μέσα σε μπλοκ, όπως κάνουμε με τα κυκλώματα MSI.

Αντιστοιχίστε αριθμούς ακροδεκτών σε όλες τις εισόδους και εξόδους όλων των πυλών και συνδέστε το κύκλωμα, τροφοδοτώντας τις εισόδους  $x$ ,  $y$  και  $z$  από τρεις διακόπτες και ενώνοντας την έξοδο  $F$  σε μια ενδεικτική λυχνία. Βρείτε (πειραματικά) τον πίνακα αληθείας του κυκλώματος.

Βρείτε τη συνάρτηση Boole του κυκλώματος και απλοποιείστε την με τη μέθοδο του χάρτη. Κατασκευάστε και το απλοποιημένο κύκλωμα. *γωοίς να α-*

ποσυνδέσετε το αρχικό. Ελέγξτε και τα δύο κυκλώματα, εφαρμόζοντάς τους τις ίδιες εισόδους και παρατηρώντας τις δύο τους εξόδους. Πρέπει να διαπιστώσετε ότι για καθέναν από τους 8 δυνατούς συνδυασμούς των εισόδων, οι δύο έξοδοι είναι πάντα οι ίδιες. Αυτό αποδεικνύει ότι το απλοποιημένο κύκλωμα συμπεριφέρεται ακριβώς όπως και στο αρχικό.



**ΣΧΗΜΑ 11-6**

Λογικό διάγραμμα για το πείραμα 3

**Συναρτήσεις Boole:** Θεωρείστε τις εξής δύο συναρτήσεις Boole σε μορφή αθροίσματος ελαχιστόρων:

$$F_1(A, B, C, D) = (0, 1, 4, 5, 8, 9, 10, 12, 13)$$

$$F_2(A, B, C, D) = (3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 15)$$

Απλοποιείστε αυτές τις δύο συναρτήσεις με τη μέθοδο του χάρτη. Φτιάξτε ένα συνολικό λογικό διάγραμμα και για τις δύο μαζί, με τέσσερις εισόδους A, B, C και D και δύο εξόδους, F<sub>1</sub> και F<sub>2</sub>. Υλοποιείστε και τις δύο συναρτήσεις μαζί, χρησιμοποιώντας τον ελάχιστο δυνατό αριθμό chips με πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ. Εάν κάποιος όρος χρειάζεται και στις δύο συναρτήσεις, αρκεί να τον υλοποιήσετε μια μόνο φορά. Όποτε είναι δυνατό, χρησιμοποιείτε πύλες, που περισσεύουν

σε μισοχρησιμοποιημένα chips, ως αντιστροφείς. Συνδέστε το κύκλωμα και ελέγξτε τη λειτουργία του. Ο πίνακας αληθείας για τις  $F_1$  και  $F_2$  που παίρνετε από το κύκλωμα, θα πρέπει να συμφωνεί με τους ελαχιστόρους που φαίνονται στον παραπάνω ορισμό.

*Συμπλήρωμα.* Φτιάξτε ένα χάρτη για την εξής συνάρτηση Boole:

$$F = A'D + BD + B'C + AB'D$$

Συνδυάστε τους άσσους στο χάρτη για να βρείτε την απλοποιημένη μορφή της συνάρτησης σε άθροισμα γινομένων. Μετά, συνδυάστε τα μηδενικά στο χάρτη για να βρείτε την απλοποιημένη μορφή της συνάρτησης  $F'$  επίσης σε άθροισμα γινομένων. Υλοποιείστε και την  $F$  και την  $F'$ , χρησιμοποιώντας πύλες OXI-KAI, και συνδέστε και τα δύο κυκλώματα στους ίδιους διακόπτες εισόδου (αλλά σε διαφορετικές ενδεικτικές λυχνίες εξόδου). Βρείτε πειραματικά τους πίνακες αληθείας των δύο κυκλωμάτων και δείξτε ότι το ένα είναι το συμπλήρωμα του άλλου.

#### 11-4 ΣΥΝΔΥΑΣΤΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

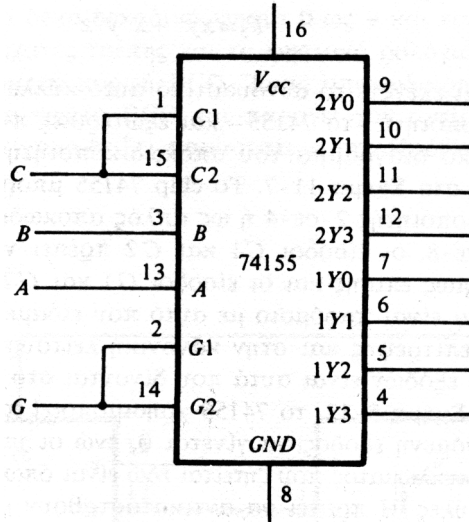
Σε αυτό το πείραμα, θα σχεδιάσετε, θα κατασκευάσετε και θα ελέγξετε τέσσερα συνδυαστικά κυκλώματα. Τα πρώτα δύο κυκλώματα πρέπει να κατασκευαστούν με πύλες OXI-KAI, το τρίτο με πύλες αποκλειστικού-Ή και το τέταρτο με έναν αποκωδικοποιητή και με πύλες OXI-KAI. Υλικό σχετικό με τις γεννήτριες ισοτιμίας μπορείτε να βρείτε στην Ενότητα 4-9. Η υλοποίηση κυκλωμάτων με τη βοήθεια αποκωδικοποιητή συζητήθηκε στην Ενότητα 5-5.

*Παράδειγμα Σχεδίασης:* Σχεδιάστε ένα συνδυαστικό κύκλωμα με τέσσερις εισόδους,  $A$ ,  $B$ ,  $C$  και  $D$  και μία έξοδο  $F$ . Η  $F$  πρέπει να είναι 1, όταν το  $A=1$  με την προϋπόθεση ότι το  $B=0$ , ή, όταν το  $B=1$  με την προϋπόθεση ότι το  $C$  ή το  $D$  είναι επίσης 1. Αλλιώς, η έξοδος πρέπει να είναι ίση με μηδέν.

1. Φτιάξτε τον πίνακα αληθείας του κυκλώματος.
2. Απλοποιείστε τη συνάρτηση της εξόδου:
3. Σχεδιάστε το λογικό διάγραμμα του κυκλώματος χρησιμοποιώντας πύλες OXI-KAI και κρατώντας τον αριθμό των chips στο ελάχιστο δυνατό.
4. Κατασκευάστε το κύκλωμα και ελέγξτε τη σωστή λειτουργία του διαπιστώνοντας ότι οι συνθήκες με τις οποίες το ορίσαμε όντως ισχύουν.

*Κύκλωμα Πλειοψηφίας:* Πρόκειται για ένα ψηφιακό κύκλωμα του οποίου η έξοδος είναι 1 εάν η πλειοψηφία των εισόδων του είναι 1. Αλλιώς, η έξοδος είναι 0. Σχεδιάστε, κατασκευάστε και ελέγξτε ένα κύκλωμα πλειοψηφίας τριών εισόδων, χρησιμοποιώντας πύλες OXI-KAI και κρατώντας τον αριθμό των chips στο ελάχιστο δυνατό.

*Γεννήτρια Ισοτιμίας:* Σχεδιάστε, κατασκευάστε και ελέγξτε ένα κύκλωμα που παράγει ένα bit άρτιας ισοτιμίας για ένα τετράμπιτο μήνυμα. Χρησιμοποιείστε πύλες αποκλειστικού-Ή (XOR). Επεκτείνετε το κύκλωμα προσθέτοντας ακόμα μία πύλη αποκλειστικού-Ή, έτσι που να δίνει και ένα bit περιττής -ισοτιμίας επίσης.



Πίνακας αληθείας

Είσοδοι				Έξοδοι							
G	C	B	A	2Y0	2Y1	2Y2	2Y3	1Y0	1Y1	1Y2	1Y3
1	X	X	X	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1
0	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0

ΣΧΗΜΑ 11-7

Το chip 74155, συνδεδεμένο για λειτουργία σαν αποκωδικοποιητής 3-σε-8



*Υλοποίηση με Αποκωδικοποιητή:* Ένα συνδυαστικό κύκλωμα έχει τρεις εισόδους,  $x$ ,  $y$ , και  $z$ , και τρεις εξόδους,  $F_1$ ,  $F_2$ , και  $F_3$ . Οι απλοποιημένες συναρτήσεις Boole του κυκλώματος είναι οι εξής:

$$F_1 = xz + x'y'z'$$

$$F_2 = x'y + xy'z'$$

$$F_3 = xy + x'y'z$$

Υλοποιείτε και ελέγξτε το συνδυαστικό αυτό κύκλωμα, χρησιμοποιώντας ένα chip αποκωδικοποιητή –το 74155– και εξωτερικές πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ.

Το συμβολικό διάγραμμα του αποκωδικοποιητή και ο πίνακας αληθείας του, φαίνονται στο Σχήμα 11-7. Το chip 74155 μπορεί να λειτουργήσει ως διπλός αποκωδικοποιητής 2-σε-4 ή ως απλός αποκωδικοποιητής 3-σε-8. Για τη λειτουργία 3-σε-8, οι εισόδοι  $C1$  και  $C2$  πρέπει να είναι βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους, όπως επίσης και οι εισόδοι  $G1$  και  $G2$ , όπως φαίνεται στο σχήμα. Το κύκλωμα είναι παρόμοιο με αυτό που είδαμε στο Σχήμα 5-12. Η  $G$  είναι η είσοδος επίτρεψης και στην κανονική λειτουργία πρέπει να είναι 0. Τα σύμβολα των 8 εξόδων είναι αυτά που δίνονται στο βιβλίο του κατασκευαστή. Όπως και στο Σχήμα 5-12, το 74155 χρησιμοποιεί πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ, με αποτέλεσμα η επιλεγόμενη έξοδος να γίνεται 0, ενώ οι υπόλοιπες μένουν στο 1. Η υλοποίηση του κυκλώματος που ζητείται εδώ είναι όπως και η του Σχήματος 5-11, μόνο που οι πύλες  $H$  πρέπει να αντικατασταθούν με εξωτερικές πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ, όταν χρησιμοποιούμε το 74155.

## 11-5 ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΣ ΚΩΔΙΚΩΝ

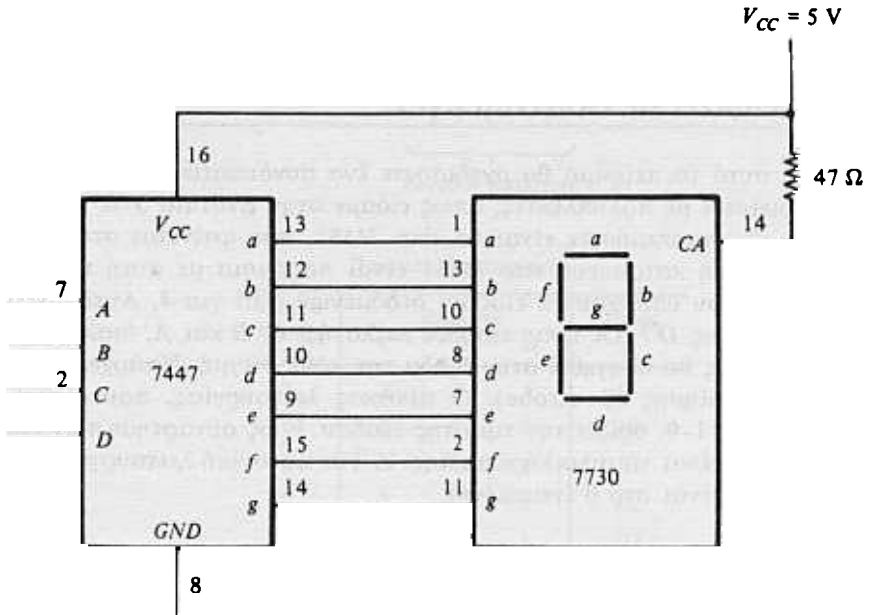
Η μετατροπή από τον ένα δυαδικό κώδικα στον άλλο είναι συνηθισμένη στα ψηφιακά συστήματα. Σε αυτό το πείραμα θα σχεδιάσετε και θα κατασκευάσετε τρία τέτοια συνδυαστικά κυκλώματα μετατροπής. Η μετατροπή κωδίκων έχει συζητηθεί στη Ενότητα 4-5.

*Κώδικας Gray σε Δυαδικό Κώδικα:* Σχεδιάστε ένα συνδυαστικό κύκλωμα με τέσσερις εισόδους και τέσσερις εξόδους που να μετατρέπει έναν τετράμπιτο αριθμό κώδικα Gray (Πίνακας 1-4) στον ισοδύναμό του τετράμπιτο δυαδικό αριθμό. Υλοποιείτε το κύκλωμα με πύλες αποκλειστικού- $H$  (μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα chip 7486). Συνδέστε το κύκλωμα σε 4 διακόπτες και 4 ενδεικτικές λυχνίες και ελέγξτε αν λειτουργεί σωστά.

*Συμπληρωτής ως-προς 9:* Σχεδιάστε ένα συνδυαστικό κύκλωμα με 4 εισόδους που παριστάνουν ένα δεκαδικό ψηφίο σε κώδικα BCD και με 4 εξόδους πο

να δίνουν το συμπλήρωμα ως-προς-9 του ψηφίου εισόδου. Επίσης, δώστε και μια πέμπτη έξοδο που να ανιχνεύει τυχόν εσφαλμένους κώδικες εισόδου (4 bits που να μην είναι ψηφίο BCD), δίνοντας έξοδο 1 σε περίπτωση τέτοιου σφάλματος. Χρησιμοποιείστε οποιαδήποτε από τα chips του Σχήματος 11-1, αλλά ελαχιστοποιείστε το συνολικό αριθμό των chips.

**Ενδείκτης Επτά-Κομματιών:** Οι ενδείκτες αυτοί χρησιμοποιούνται για να δείχνουν ένα από τα δέκα δεκαδικά ψηφία 0 ως 9 και είναι οι συνηθισμένοι μας από τις αριθμομηχανές τσέπης και τα ψηφιακά ρολόγια. Συνήθως, το δεκαδικό ψηφίο μας δίνεται σε μορφή BCD. Ένας αποκωδικοποιητής BCD-σε-7-κομμάτια δέχεται ένα ψηφίο BCD και παράγει τον αντίστοιχο κώδικα για τα 7 κομμάτια, όπως είχαμε δείξει παραστατικά στο Πρόβλημα 4-16.



**ΣΧΗΜΑ 11-8**

Αποκωδικοποιητής BCD-σε-επτά-κομμάτια (7447) και ενδείκτης επτά-κομματιών (7730)

Το Σχήμα 11-8 δείχνει τις απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ του αποκωδικοποιητή και του ενδείκτη. Το chip 7447 είναι ένας αποκωδικοποιητής και οδηγητής από BCD σε επτά κομμάτια. Έχει τέσσερις εισόδους για το ψηφίο BCD, όπου η *D* είναι η πιο σημαντική και η *A* η λιγότερο. Το ψηφίο BCD της εισόδου μετατρέπεται στον κώδικα επτά-κομματιών, στις εξόδους *a* ως *g*. Αυτές οι

έξοδοι του 7447 εφαρμόζονται στις εισόδους του 7730 ή άλλου ισοδύναμου ενδείκτη επτά κομματιών. Το chip αυτό περιέχει τις επτά LEDs (Light-Emitting Diodes) στο επάνω μέρος του. Ο ακροδέκτης 14 είναι η κοινή άνοδος (CA-Common Anode) όλων των LEDs. Για να τροφοδοτηθούν οι επιλεγόμενες LEDs με το σωστό ρεύμα, χρειάζεται μια εξωτερική αντίσταση 47 Ω μεταξύ αυτού του ακροδέκτη και του  $V_{CC}$ . Άλλοι παρόμοιοι ενδείκτες μπορεί να έχουν περισσότερους ακροδέκτες ανόδου ή μπορεί να χρειάζονται διαφορετικές τιμές αντίστασης.

Φτιάξτε το κύκλωμα του Σχήματος 11-8. Εφαρμόστε τα ψηφία BCD με τέσσερις διακόπτες και παρατηρήστε τις δεκαδικές ενδείξεις 0 ως 9. Οι εισόδοι από το 1010 έως το 1111 είναι άκυρες σαν κώδικες BCD. Ανάλογα με τον αποκωδικοποιητή, αυτές οι εισόδοι μπορεί να δίνουν κενή ένδειξη ή μια ένδειξη χωρίς νόημα. Παρατηρήστε και καταγράψτε αυτές τις ενδείξεις για τους έξι αξιοποιήτους συνδυασμούς εισόδου.

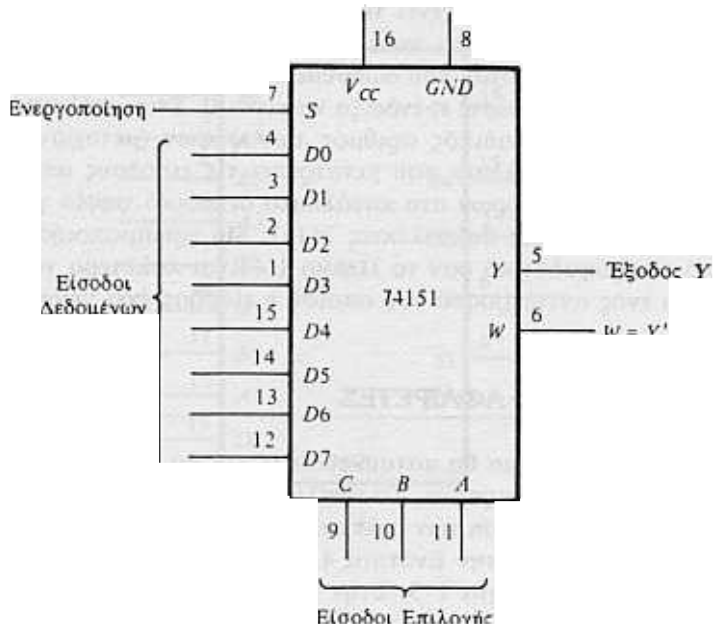
## 11-6 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΠΛΕΚΤΕΣ

Σε αυτό το πείραμα θα σχεδιάσετε ένα συνδυαστικό κύκλωμα και θα το υλοποιήσετε με πολυπλέκτες, όπως είδαμε στην Ενότητα 5-6. Ο πολυπλέκτης που θα χρησιμοποιήσετε είναι το chip 74151, που φαίνεται στο Σχήμα 11-9. Η εξωτερική κατασκευή του 74151 είναι παρόμοια με αυτή του Σχήματος 5-16, μόνο που υπάρχουν 8 εισόδοι δεδομένων αντί για 4. Αυτές τις συμβολίζουμε με  $D_0$  ως  $D_7$ . Οι τρεις εισόδοι επιλογής,  $C$ ,  $B$  και  $A$ , διαλέγουν ποια από τις εισόδους θα οδηγηθεί στην έξοδο την κάθε στιγμή. Υπάρχει και μία είσοδος ενεργοποίησης ( $S$ -strobe). Ο πίνακας λειτουργίας, που δίνεται επίσης στο Σχήμα 11-9, ορίζει την τιμή της εξόδου  $Y$  ως συνάρτηση των εισόδων. Η έξοδος  $W$  είναι το συμπλήρωμα της  $Y$ . Για κανονική λειτουργία, η είσοδος  $S$  πρέπει να είναι στο 0 (γειωμένη).

*Προδιαγραφές:* Μια μικρή ανώνυμη εταιρεία έχει 10 μετοχές και κάθε μετοχή δίνει μία ψήφο σε αυτόν που την έχει. Τις 10 αυτές μετοχές τις έχουν τέσσερα άτομα, ως εξής:

ο κ. W	1 μετοχή
ο κ. X	2 μετοχές
ο κ. Y	3 μετοχές
η κα. Z	4 μετοχές

Καθένας από αυτούς τους τέσσερις έχει ένα διακόπτη που τον κλείνει (βραχυκύκλωμα) για να ψηφίσει ΝΑΙ ή τον ανοίγει (ανοιχτοκύκλωμα) για να ψηφίσει ΟΧΙ.



Πίνακας Λειτουργίας

Ενεργοποίηση <i>S</i>	Επιλογή			Εξοδος <i>Y</i>
	<i>C</i>	<i>B</i>	<i>A</i>	
1	X	X	X	0
0	0	0	0	<i>D0</i>
0	0	0	1	<i>D1</i>
0	0	1	0	<i>D2</i>
0	0	1	1	<i>D3</i>
0	1	0	0	<i>D4</i>
0	1	0	1	<i>D5</i>
0	1	1	0	<i>D6</i>
0	1	1	1	<i>D7</i>

ΣΧΗΜΑ 11-9

Το chip 74151: Πολυπλέκτης 8-σε-1

Θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα κύκλωμα που να δείχνει το συνολικό αριθμό των ψηφίων (μετοχών) που ψηφίζουν ΝΑΙ σε ορισμένη ψηφοφορία. Χρησιμοποιείστε έναν ενδείκτη επτά-κομματιών κι έναν αποκωδικοποιητή, όπως είδαμε στο

Σχήμα 11-8, για να δείχνει τον αριθμό των ψήφων. Εάν όλοι ψηφίζουν ΟΧΙ, τότε ο ενδείκτης πρέπει να είναι κενός (σημείωση: ο 7447 δίνει και τα επτά κομμάτια οβηστά όταν του δώσουμε τη δυαδική είσοδο 15). Εάν όλοι ψηφίζουν ΝΑΙ, τότε κάνετε ώστε η ένδειξη να είναι 0. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις, η ένδειξη είναι ο δεκαδικός αριθμός των ψήφων (μετοχών) που ψηφίζουν ΝΑΙ. Σχεδιάστε το κύκλωμα που μετατρέπει τις εισόδους από τους διακόπτες των τεσσάρων ψηφοφόρων στο κατάλληλο δεκαδικό ψηφίο για τον 7447, χρησιμοποιώντας τέσσερις πολυπλέκτες 74151. Μη χρησιμοποιήσετε 5 Volts κατευθείαν από το τροφοδοτικό σαν το λογικό 1 –είναι καλύτερα να χρησιμοποιήσετε την έξοδο ενός αντιστροφέα του οποίου η είσοδος έχει γειωθεί.

### 11-7 ΑΘΡΟΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΑΦΑΙΡΕΤΕΣ

Σε αυτό το πείραμα θα κατασκευάσετε και θα ελέγξετε διάφορα κύκλωμα αθροιστών και αφαιρητών. Το κύκλωμα του αφαιρέτη θα το χρησιμοποιήσουμε μετά για τη σύγκριση των σχετικών μεγεθών δύο αριθμών. Για τους αθροιστές είχαμε συζητήσει στην Ενότητα 4-3, για δε την αφαίρεση με συμπλήρωμα ως-προς-2 στην Ενότητα 1-5. Στην Ενότητα 5-2 είδαμε έναν τετράμπιτο παράλληλο αθροιστή και στην 5-4 μιλήσαμε για τη σύγκριση δύο αριθμών.

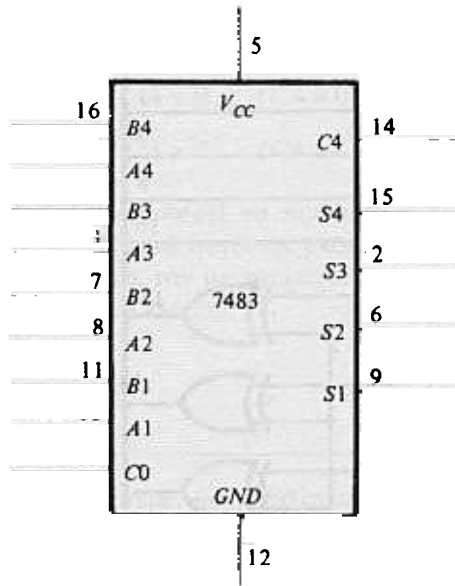
*Ημι-Αθροιστής:* Σχεδιάστε, κατασκευάστε και ελέγξτε ένα κύκλωμα ημιαθροιστή, χρησιμοποιώντας μία πύλη αποκλειστικού-Ή και δύο πύλες ΟΧΙ-ΚΑΙ.

*Πλήρης-Αθροιστής:* Σχεδιάστε, κατασκευάστε και ελέγξτε ένα κύκλωμα πλήρους-αθροιστή, χρησιμοποιώντας ένα chip 7486 και ένα 7400.

*Παράλληλος Αθροιστής:* Το chip 7483 είναι ένας τετράμπιτος παράλληλος δυαδικός αθροιστής. Η εσωτερική του οργάνωση είναι παρόμοια με αυτήν του Σχήματος 5-5. Η θέση των ακροδεκτών φαίνεται στο Σχήμα 11-10. Οι δύο τετράμπιτοι δυαδικοί αριθμοί εισόδου είναι οι *A1* ως *A4* και *B1* ως *B4*. Το άθροισμα βγαίνει στις εξόδους *S1* ως *S4*. Το κρατούμενο εισόδου είναι το *C0* και το κρατούμενο εξόδου είναι το *C4*.

Ελέγξτε τη λειτουργία του 7483: Συνδέστε τη γείωση και την τροφοδοσία: συνδέστε στις τέσσερις εισόδους *A* ένα σταθερό δυαδικό αριθμό –π.χ. τον 1001· συνδέστε τις τέσσερις εισόδους *B* και το κρατούμενο εισόδου σε 5 διακόπτες και συνδέστε τις 5 εξόδους σε ενδεικτικές λυχνίες. Κάνετε μερικές προσθέσεις δυαδικών αριθμών για να διαπιστώσετε αν το άθροισμα και το κρατούμενο εξόδου είναι αυτά που πρέπει να είναι. Βεβαιωθείτε ότι όταν το κρατούμενο εισόδου είναι 1, η έξοδος ισούται με  $A + B + 1$ .

*Αθροιστής-Αφαιρέτης:* Η αφαίρεση δύο δυαδικών αριθμών μπορεί να γίνει προσθέτοντας το μειωτέο με το συμπλήρωμα-ως-προς-2 του αφαιρητέου. Το



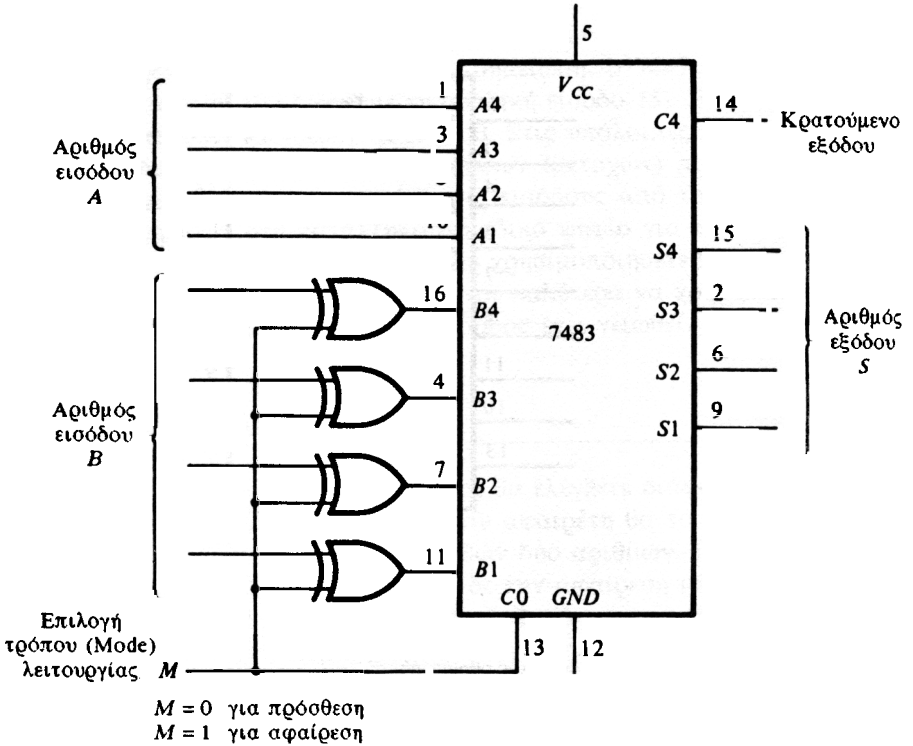
**ΣΧΗΜΑ 11-10**

Το chip 7483: τετράμπιτος δυαδικός αθροιστής

συμπλήρωμα-ως-προς-2 μπορεί να βρεθεί προσθέτοντας 1 στο συμπλήρωμα-ως-προς-1. Έτσι για να βρούμε το  $A - B$ , παίρνουμε το συμπλήρωμα των bits του  $B$ , το προσθέτουμε στα bits του  $A$  και προσθέτουμε και το 1 μέσω του κρατούμενου εισόδου. Στο Σχήμα 11-11 βλέπουμε ένα κύκλωμα που μπορεί να κάνει ή πρόσθεση ή αφαίρεση. Οι τέσσερις πύλες αποκλειστικού-Η συμπληρώνουν τα bits του  $B$  όταν  $M = 1$  (διότι  $x \oplus 1 = x'$ ), ενώ τα αφήνουν αμετάβλητα όταν  $M = 0$  (δια το  $x \oplus 0 = x$ ). Έτσι, όταν η "επιλογή τρόπου (mode) λειτουργίας"  $M$  είναι 1, τότε το κρατούμενο εισόδου  $C0$  είναι 1, το  $B$  συμπληρώνεται και η έξοδος ισούται με το  $A$  συν το συμπλήρωμα-ως-προς-2 του  $B$ . Όταν το  $M$  είναι 0, το κρατούμενο εισόδου είναι 0, το  $B$  μένει αμετάβλητο και η έξοδος είναι το  $A + B$ .

Συνδέστε το κύκλωμα του αθροιστή-αφαιρέτη και ελέγξτε αν λειτουργεί σωστά: Τροφοδοτείστε το σταθερό αριθμό 1001 στην είσοδο  $A$  και συνδέστε τις εισόδους  $B$  και  $M$  σε 5 διακόπτες. Κάνετε τις επόμενες πράξεις και γράψτε το άθροισμα και το κρατούμενο που βγαίνει κάθε φορά:

$9 + 5$	$9 - 5$
$9 + 9$	$9 - 9$
$9 + 15$	$9 - 15$



**ΣΧΗΜΑ 11-11**  
Τετράμπιτος Αθροιστής-Αφαιρέτης

Βεβαιωθείτε ότι κατά την πρόσθεση το κρατούμενο εξόδου είναι 1, όταν το άθροισμα είναι μεγαλύτερο από 15. Επίσης, βεβαιωθείτε ότι αν  $A \geq B$ , η αφαίρεση δίνει το σωστό (θετικό) αποτέλεσμα  $A - B$  και το κρατούμενο εξόδου είναι 1, ενώ, όταν  $A < B$ , η αφαίρεση δίνει το συμπλήρωμα-ως-προς-2 του  $B - A$ , και το κρατούμενο εξόδου είναι 0.

**Συγκριτής Μεγέθους:** Σύγκριση δύο αριθμών είναι η πράξη με την οποία διαπιστώνεται κατά πόσον ο ένας αριθμός είναι μεγαλύτερος, ίσος ή μικρότερος από τον άλλο. Δύο αριθμοί  $A$  και  $B$  μπορούν να συγκριθούν εάν κάνουμε την αφαίρεσή τους,  $A - B$ , όπως στο Σχήμα 11-11. Εάν η έξοδος  $S$  ισούται με μηδέν, τότε  $A = B$ . Εάν το κρατούμενο εξόδου  $C4 = 1$ , τότε  $A \geq B$ . Και εάν  $C4 = 0$ , τότε  $A < B$ . Προφανώς, η συνθήκη  $A > B$  θα ισχύει όταν  $C4 = 1$  και  $S \neq 0$ .

Για να βγάλουμε τα αποτελέσματα της σύγκρισης πρέπει να συμπληρώσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 11-11. Χρειαζόμαστε ένα συνδυαστικό κύκλωμα με 5 εισόδους, τα  $S1$  ως  $S4$  και το  $C4$ , και με 3 εξόδους, τις  $x$ ,  $y$  και  $z$ , ως εξής:

$$x = \text{αν } A = B \quad (S = 0000)$$

$$y = \text{αν } A < B \quad (C4 = 0)$$

$$z = 1 \quad \text{αν } A > B \quad (C4 = 1 \text{ και } S \neq 0000)$$

Αυτό το συνδυαστικό κύκλωμα μπορεί να πραγματοποιηθεί με ένα chip 7404 και ένα 7408. Σχεδιάστε το και μετά συνδέστε ολόκληρο το συγκριτή και ελέγξτε αν λειτουργεί σωστά. Δοκιμάστε τον με τουλάχιστο δύο ζευγάρια αριθμών για καθεμιά από τις τρεις συνθήκες εξόδου.

## 11-8 FLIP-FLOPS

Σε αυτό το πείραμα θα φτιάξουμε, θα ελέγξουμε και θα μελετήσουμε τη λειτουργία διαφόρων κυκλωμάτων flip-flops. Η εσωτερική κατασκευή των flip-flops συζητήθηκε στις Ενότητες 6-2 και 6-3.

*Μανταλωτής SR:* Πρόκειται για το βασικό flip-flop, που αποτελείται από δύο αλληλοσυνδεδεμένες πύλες OXI-KAI. Κατασκευάστε ένα τέτοιο βασικό κύκλωμα flip-flop και συνδέστε τις δύο εισόδους του σε διακόπτες, και τις δύο εξόδους σε ενδεικτικές λυχνίες. Βάλετε τους διακόπτες στη θέση του λογικού 1 και μετά, στιγμιαία γυρίστε τους –τον καθένα ξεχωριστά– στο λογικό 0 και μετά αμέσως ξανά στο 1. Βρείτε τον πίνακα αληθείας του κυκλώματος.

*Flip-flop τύπου RS:* Φτιάξτε ένα flip-flop RS με ρολόι, χρησιμοποιώντας τέσσερις πύλες OXI-KAI. Συνδέστε τις εισόδους R και S σε δύο διακόπτες και την είσοδο ρολογιού σε ένα κουμπί. Επαληθεύστε το χαρακτηριστικό πίνακα του flip-flop.

*Flip-flop τύπου D:* Κατασκευάστε ένα flip-flop τύπου D με ρολόι, με 4 πύλες OXI-KAI. Αυτό μπορεί να γίνει με μία παραλλαγή του κυκλώματος του Σχήματος 6-5, ως εξής: Αφαιρέστε την πύλη 5. Συνδέστε την έξοδο της πύλης 3 στην είσοδο της πύλης 4 στην οποία αρχικά συνδέονταν η πύλη 5. Δείξτε ότι αυτή η παραλλαγή του κυκλώματος είναι ισοδύναμη με το αρχικό κύκλωμα, βρίσκοντας τη συνάρτηση Boole της εξόδου της πύλης 4 στις δύο περιπτώσεις. Κατασκευάστε αυτό το κύκλωμα και επαληθεύστε το χαρακτηριστικό του πίνακα.

*Flip-flop Αφέντη-Σκλάβου:* Κατασκευάστε ένα flip-flop τύπου JK, αφέντη-σκλάβου, με ρολόι, χρησιμοποιώντας ένα chip 7410 και δύο 7400. Συνδέστε τις εισόδους J και K στο λογικό 1 και την είσοδο ρολογιού σ' ένα κουμπί. Συνδέστε την κανονική έξοδο του flip-flop αφέντη σε μια ενδεικτική λυχνία



και την κανονική έξοδο του flip-flop σκλάβου σε μια άλλη ενδεικτική λυχνία. Πιέστε το κουμπί και μετά αφήστε το, έτσι ώστε να παραχθεί ένας (και μόνον ένας) θετικός παλμός. Παρατηρείστε ότι ο αφέντης αλλάζει όταν ο παλμός ανεβαίνει στο λογικό 1, και ότι ο σκλάβος ακολουθεί αυτή την αλλαγή όταν ο παλμός πέφτει στο μηδέν. Επαναλάβετε το μερικές φορές, παρατηρώντας τις δύο ενδεικτικές λυχνίες. Εξηγήστε πώς μεταφέρεται η κατάσταση από την είσοδο στον αφέντη και από τον αφέντη στο σκλάβο.

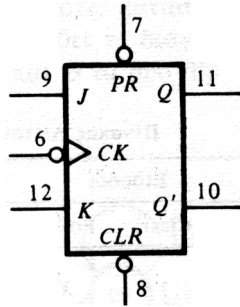
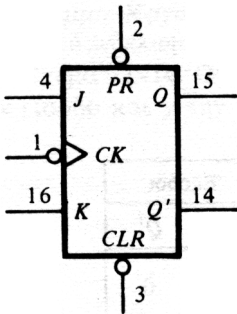
Αποσυνδέστε την είσοδο ρολογιού από το κουμπί και συνδέστε τη σε μια παλμογεννήτρια συχνότητας 10 kHz ή περισσότερο. Παρατηρείστε τις κυματομορφές του ρολογιού, του αφέντη και του σκλάβου με έναν παλμογράφο δύο ή τεσσάρων καναλιών. Βεβαιωθείτε ότι η καθυστέρηση μεταξύ των εξόδων του αφέντη και του σκλάβου ισούται με το πλάτος του παλμού του ρολογιού. Φτιάξτε ένα διάγραμμα χρονισμού, που να δείχνει τις σχέσεις ανάμεσα στις κυματομορφές του ρολογιού και των εξόδων των flip-flops αφέντη και σκλάβου.

*Ακμοπυροδότητο Flip-flop τύπου D:* Κατασκευάστε ένα ακμοπυροδότητο flip-flop τύπου *D*: (πυροδοτούμενο στη θετική ακμή), χρησιμοποιώντας έξι πύλες OXI-KAI. Συνδέστε την είσοδο ρολογιού σε ένα κουμπί, την είσοδο *D* σε ένα διακόπτη και την έξοδο *Q* σε μια ενδεικτική λυχνία. Κάνετε το *D* να ισούται με το συμπλήρωμα του *Q*. Δείξτε ότι η έξοδος του flip-flop αλλάζει μόνο όταν εμφανίζεται η θετική ακμή του παλμού του ρολογιού. Βεβαιωθείτε ότι η έξοδος δεν αλλάζει όταν το ρολόι είναι στο λογικό 1 ή στο λογικό 0 ή όταν αλλάζει στην αρνητική κατεύθυνση. Συνεχίστε να αλλάζετε την είσοδο *D*, έτσι που να ισούται συνεχώς με το συμπλήρωμα της εξόδου *Q*.

Αποσυνδέστε την είσοδο ρολογιού από το κουμπί και συνδέστε το στην παλμογεννήτρια. Τροφοδοτείστε την είσοδο *D* από τη συμπληρωματική έξοδο *Q'* – με αυτό τον τρόπο θα πρέπει η έξοδος να αντιστρέφεται στην κάθε θετική ακμή του ρολογιού. Παρατηρείστε με έναν παλμογράφο δύο καναλιών και καταγράψτε τις κυματομορφές του ρολογιού και της εξόδου *Q* και τη χρονική τους σχέση. Δείξτε ότι η έξοδος αλλάζει με τη θετική ακμή του ρολογιού.

*Flip-flops σε chips:* Το chip 7476 περιέχει δύο flip-flops τύπου *JK* αφέντη-σκλάβου, με εισόδους clear (μηδενισμού) και preset. Το Σχήμα 11-12 δίνει τη θέση των ακροδεκτών, καθώς και τον πίνακα λειτουργίας του. Οι τρεις πρώτες γραμμές του πίνακα δείχνουν πώς λειτουργούν οι ασύγχρονες εισόδους preset και clear. Αυτές είναι ανεξάρτητες από το ρολόι και τα *J* και *K* και συμπεριφέρονται σαν το μανταλωτή *SR* (τα *X* στον πίνακα δείχνουν αδιάφορες συνθήκες). Οι τέσσερις τελευταίες γραμμές του πίνακα περιγράφουν τη λειτουργία με ρολόι – όταν οι εισόδους preset και clear κρατιούνται και οι δύο στο λογικό 1. Σαν τιμή του ρολογιού δείχνεται ένας παλμός. Στη θετική ακμή του παλμού

αλλάζει το flip-flop τον αφέντη και στην αρνητική αλλάζει ο σκλάβος, καθώς και η έξοδος του chip. Όταν  $J = K = 0$ , η έξοδος δεν αλλάζει, όταν  $J = K = 1$ , η κατάσταση του flip-flop αντιστρέφεται, κλπ. Δοκιμάστε τη λειτουργία ενός από τα δύο flip-flops ενός 7476 και δείτε αν ακολουθεί όντως τον πίνακα λειτουργίας.



$V_{CC}$  = ακροδέκτης 5  
 $GND$  = ακροδέκτης 13

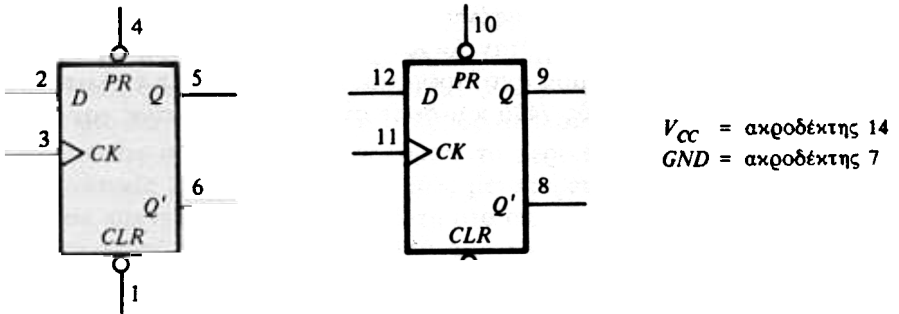
Πίνακας Λειτουργίας

Είσοδοι					Έξοδοι	
Preset	Clear	Ρολοϊ	J	K	Q	Q'
0	1	X	X	X	1	0
1	0	X	X	X	0	1
0	0	X	X	X	1	1
1	1		0	0	Αμετάβλητες	
1	1		0	1	0	1
1	1		1	0	1	0
1	1		1	1	Αντιστροφή	

**ΣΧΗΜΑ 11-12**

Το chip 7476: Δύο flip-flops τύπου JK αφέντη-σκλάβου

Το chip 7474 περιέχει δύο ακμοπυροδότητα flip-flops τύπου D (θετικής ακμής), με εισόδους preset και clear. Το Σχήμα 11-13 δίνει τη θέση των ακροδεκτών και περιγράφει τη λειτουργία των preset, clear και του ρολογιού. Όπου στη θέση του ρολογιού υπάρχει ένα βέλος προς τα επάνω, αυτό δείχνει ακμοπυροδότητη λειτουργία θετικής ακμής. Δοκιμάστε ένα από τα flip-flops και συγυρευτείτε ότι λειτουργεί σύμφωνα με τον πίνακα.



Πίνακας Λειτουργίας

Είσοδοι				Έξοδοι	
Preset	Clear	Ρολοί	D	Q	Q'
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	1	1
1	1	↑	0	0	1
1	1	↑	1	1	0
1	1	0	X	Αμετάβλητες	

ΣΧΗΜΑ 11-13

Το chip 7474: Δύο θετικά ακροποροδότητα flip-flops τύπου D

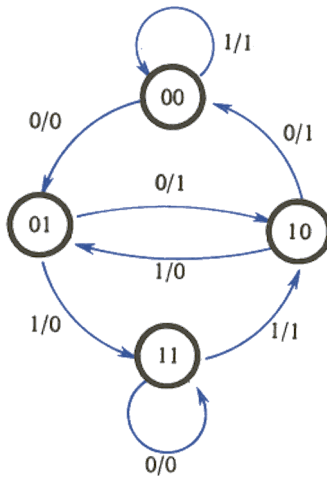
### 11-9 ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

Σε αυτό το πείραμα θα σχεδιάσετε, θα φτιάξετε και θα δοκιμάσετε τρία σύγχρονα, ακολουθιακά κυκλώματα. Και στα τρία κυκλώματα, χρησιμοποιήσετε flip-flops τύπου JK από το chip 7476 (Σχήμα 11-12), καθώς και οποιεσδήποτε πύλες ελαχιστοποιούν τον ολικό αριθμό των chips. Η σχεδίαση σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων καλύφτηκε στις Ενότητες 6-7 και 6-8.

*Μετρητής προς-τα-Πάνω/Κάτω με Επίτρεψη:* Σχεδιάστε, φτιάξτε και δοκιμάστε ένα δίμπιτο μετρητή που να μετράει προς τα επάνω ή προς τα κάτω. Μία είσοδος επίτρεψης, E, καθορίζει κατά πόσο ο μετρητής λειτουργεί ή όχι. Όταν E = 0, ο μετρητής αδρανοποιείται και παραμένει στην παρούσα του μέτρηση, παρόλο που εφαρμόζονται οι παλμοί του ρολογιού στα flip-flops. Όταν E = 1.

η μέτρηση επιτρέπεται και μια δεύτερη είσοδος, η  $x$ , καθορίζει την κατεύθυνση της μέτρησης. Όταν  $x = 1$ , το κύκλωμα μετράει προς τα πάνω, ακολουθώντας τη σειρά 00, 01, 10, 11 και ξανά από την αρχή. Όταν  $x = 0$ , το κύκλωμα μετράει προς τα κάτω, δηλαδή 11, 10, 01, 00 και πάλι από την αρχή. Μη χρησιμοποιήσετε το  $E$  σαν απαγορευτικό του ρολογιού – σχεδιάστε το ακολουθιακό κύκλωμα με το  $E$  και το  $x$  σαν εισόδους.

*Διάγραμμα Καταστάσεων:* Σχεδιάστε, κατασκευάστε και δοκιμάστε ένα ακολουθιακό κύκλωμα που να ακολουθεί το διάγραμμα καταστάσεων που δίνεται στο Σχήμα 11-14. Ονομάστε  $A$  και  $B$  τα δύο flip-flops ( $A$  το πιο σημαντικό),  $x$  την είσοδο και  $y$  την έξοδο.



**ΣΧΗΜΑ 11-14**  
Διάγραμμα καταστάσεων για το πείραμα 9

Συνδέστε την έξοδο του flip-flop  $B$  στην είσοδο  $x$  και προβλέψτε την ακολουθία καταστάσεων που θα προκύψει όταν εφαρμοστεί το ρολόι. Επαληθεύστε ότι το κύκλωμα όντως περνάει από αυτήν την ακολουθία καταστάσεων και δίνει τις προβλεπόμενες εξόδους.

*Σχεδίαση Μετρητή:* Σχεδιάστε, φτιάξτε και δοκιμάστε ένα μετρητή που να παίρνει διαδοχικά τις εξής καταστάσεις: 0, 1, 2, 3, 6, 7, 10, 11, 12, 13, 14, 15 και μετά ξανά πάλι από το 0. Παρατηρήστε ότι οι καταστάσεις 4, 5 και 8, 9 δεν χρησιμοποιούνται. Ο μετρητής πρέπει να έχει αυτόματη εκκίνηση, δηλαδή αν το κύκλωμα αρχίσει από μία από τις άκυρες καταστάσεις, θα πρέπει, μετά

από ορισμένους παλμούς του ρολογιού, να μεταφέρεται σε έγκυρες καταστάσεις για να συνεχίσει από εκεί σωστά.

Δοκιμάστε αν το κύκλωμα λειτουργεί σωστά, δηλαδή αν η ακολουθία μετρήσεων είναι αυτή που πρέπει και εάν ο μετρητής έχει αυτόματη εκκίνηση. Γι' αυτό το τελευταίο, φέρτε πρώτα το κύκλωμα σε μια από τις άκυρες καταστάσεις, χρησιμοποιώντας τις εισόδους preset και clear, και μετά εφαρμόστε παλμούς και δείτε αν ο μετρητής μπαίνει στην ακολουθία των έγκυρων καταστάσεων.

## 11-10 ΜΕΤΡΗΤΕΣ

Σε αυτό το πείραμα θα φτιάξετε και θα δοκιμάσετε διάφορα κυκλώματα μετρητών, ριπής ή συγχρόνων. Τους μετρητές ριπής τους συζητήσαμε στην Ενότητα 7-4 και τους σύγχρονους στην 7-5.

*Μετρητής Ριπής:* Φτιάξτε έναν τετράμπιτο δυαδικό μετρητή ριπής, χρησιμοποιώντας δύο chips 7476 (Σχήμα 11-12). Συνδέστε όλες τις εισόδους (ασύγχρονου) preset και clear στο λογικό 1. Συνδέστε την είσοδο παλμών μέτρησης σε ένα κουμπί και δοκιμάστε αν ο μετρητής λειτουργεί σωστά.

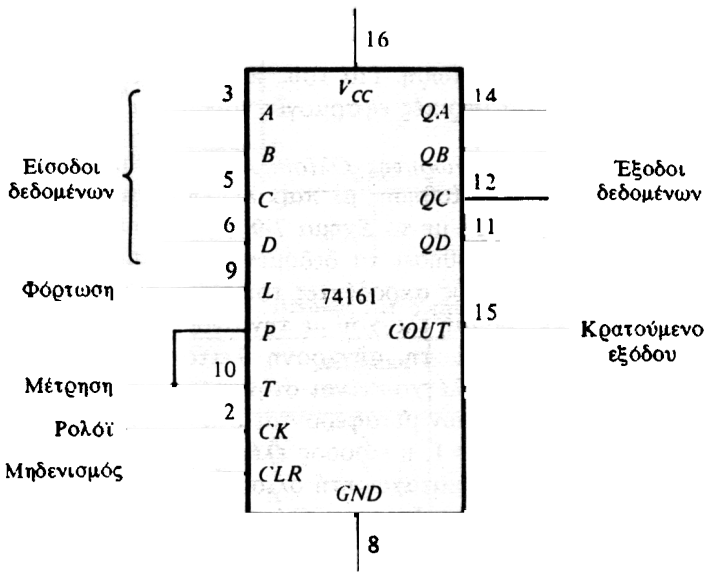
Αλλάξτε το μετρητή, έτσι που να μετράει προς τα κάτω αντί προς τα πάνω και μετά δοκιμάστε τον και σιγουρευτείτε ότι ο κάθε παλμός μειώνει τη μέτρηση κατά 1.

*Σύγχρονος Μετρητής:* Φτιάξτε έναν τετράμπιτο δυαδικό σύγχρονο μετρητή, χρησιμοποιώντας δύο chips 7476 και ένα 7408, και δοκιμάστε αν λειτουργεί σωστά.

*Δεκαδικός Μετρητής:* Σχεδιάστε ένα σύγχρονο μετρητή BCD που να μετράει από το 0000 έως το 1001, και μετά πάλι από την αρχή. Χρησιμοποιείστε δύο chips 7476 και ένα 7408. Φτιάξτε το μετρητή και δοκιμάστε τον αν ακολουθεί τη σωστή σειρά. Επίσης, βρείτε αν έχει αυτόματη εκκίνηση. Για το σκοπό αυτό, φέρτε το μετρητή διαδοχικά σε καθεμιά από τις έξι αχρησιμοποίητες καταστάσεις, μέσω των εισόδων preset και clear, και μετά εφαρμόστε παλμούς και δείτε αν ο μετρητής φτάνει τελικά σε μια από τις έγκυρες καταστάσεις.

*Δυαδικός Μετρητής με Παράλληλη Φόρτωση:* Το chip 74161 είναι ένας τετράμπιτος σύγχρονος δυαδικός μετρητής, με παράλληλη φόρτωση και ασύγχρονο μηδενισμό. Εσωτερικά, μοιάζει με το κύκλωμα του Σχήματος 7-19. Η θέση των ακροδεκτών φαίνεται στο Σχήμα 11-15. Όταν ενεργοποιείται η είσοδος φόρτωσης, οι τιμές των τεσσάρων εισόδων δεδομένων μεταφέρονται στα τέσσερα εσωτερικά flip-flops, QA ως QD (το QD είναι το πιο σημαντικό bit). Υπάρχουν δύο εισοδοί επίτρεψης μέτρησης, P και T, που και οι δύο πρέπει να

είναι 1 για να προχωρήσει (μετρήσει) ο μετρητής. Ο πίνακας λειτουργίας είναι παρόμοιος με τον Πίνακα 7-6, με μία μόνο εξαίρεση: η φόρτωση στον 7461, ενεργοποιείται με τον αντίστοιχο ακροδέκτη στο 0. Για τη φόρτωση πρέπει επίσης η είσοδος μηδενισμού να είναι 1, ενώ η τιμή των δύο εισόδων μέτρησης είναι αδιάφορη. Τα εσωτερικά flip-flops του μετρητή πυροδοτούνται στη θετική ακμή του ρολογιού. Το κύκλωμα λειτουργεί ως μετρητής, όταν αφενός μεν η είσοδος φόρτωσης είναι 1, αφετέρου δε οι εισόδους μέτρησης  $P$  και  $T$  είναι και οι δύο 1. Εάν έστω και μία από τις  $P$  και  $T$  γίνει 0, τότε οι έξοδοι μένουν αμετάβλητες. Το κρατούμενο εξόδου γίνεται 1, όταν και οι τέσσερις έξοδοι δεδομένων είναι 1. Πάρτε ένα chip 74161 και επαληθεύστε πειραματικά ότι δουλεύει όντως σύμφωνα με τον πίνακα λειτουργίας.



Πίνακας Λειτουργίας

Clear	Ρολοϊ	Φόρτωση	Μέτρηση	Λειτουργία
0	X	X	X	Μηδενισμός Εξόδων
1	↑	0	X	Φόρτωση δεδομένων εισόδου
1	↑	1	1	Μέτρηση: επόμενη δυαδική τιμή
1	↑	1	0	Εξοδοι αμετάβλητες

**ΣΧΗΜΑ 11-15**

Το chip 74161: Δυαδικός μετρητής παράλληλης φόρτωσης

Δείτε πώς ένα chip 74161, μαζί με μία πύλη ΟΧΙ-ΚΑΙ δύο εισόδων, μπορεί να λειτουργήσει ως σύγχρονος μετρητής BCD (δηλαδή που μετράει από το 0000 ως το 1001). Μη χρησιμοποιήσετε την είσοδο μηδενισμού. Χρησιμοποιείτε την πύλη ΟΧΙ-ΚΑΙ για την ανίχνευση της μέτρησης 1001, οπότε και θα προκαλεί τη φόρτωση του αριθμού 0000.

Συνδέστε καθένα από τα τέσσερα κυκλώματα του Σχήματος 7-20 για τη λειτουργία ενός μετρητή modulo 6. Θυμηθείτε ότι η είσοδος φόρτωσης ενεργοποιείται με το 0, οπότε και απαιτείται πύλη ΟΧΙ-ΚΑΙ.

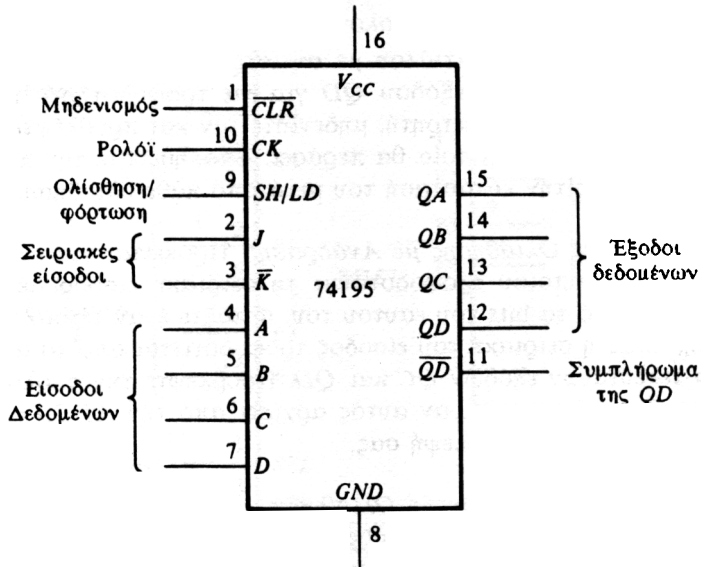
## **11-11 ΚΑΤΑΧΩΡΗΤΕΣ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ**

Σε αυτό το πείραμα θα μελετήσουμε τη λειτουργία των καταχωρητών ολίσθησης. Θα χρησιμοποιήσουμε το chip 74179 που είναι ένας καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση. Για τους καταχωρητές ολίσθησης μιλήσαμε στην Ενότητα 7-3 και για μερικές εφαρμογές τους στην 7-6.

*Ολοκληρωμένος Καταχωρητής Ολίσθησης:* Το chip 74179 είναι ένας τετρά-μπιτος καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση και ασύγχρονο μηδενισμό. Εσωτερικά μοιάζει με το Σχήμα 7-9, μόνο που ο 74179 είναι μονόδρομος, δηλαδή μπορεί να ολισθήσει τα δεδομένα μόνο προς τη μία κατεύθυνση. Το Σχήμα 11-16 δείχνει τους ακροδέκτες του chip, καθώς και τον πίνακα λειτουργίας του. Η απλή γραμμή ελέγχου με την ονομασία *SH/LD* (ολίσθηση/φόρτωση - shift/load) καθορίζει τη σύγχρονη λειτουργία του καταχωρητή. Όταν  $SH/LD = 0$ , η είσοδος ελέγχου είναι στην κατάσταση φόρτωσης και τα δεδομένα των τεσσάρων εισόδων μεταφέρονται στα τέσσερα εσωτερικά flip-flops, *QA* έως *QD*. Όταν  $SH/LD = 1$ , η είσοδος ελέγχου είναι στην κατάσταση ολίσθησης και η πληροφορία του καταχωρητή ολισθαίνει δεξιά από το *QA* προς το *QD*. Η τιμή της σειριακής εισόδου στο *QA* κατά τη διάρκεια της ολίσθησης καθορίζεται από τις εισόδους *J* και *K*. Οι δύο εισοδοί συμπεριφέρονται όπως το *J* και το αντίστροφο του *K* σε ένα flip-flop τύπου *JK*. Όταν και το *J* και το  $\bar{K}$  είναι 0, το flip-flop *QA* μηδενίζεται μετά την ολίσθηση. Όταν και οι δύο εισοδοί είναι ίσες με 1, το *QA* γίνεται ίσο με 1 μετά την ολίσθηση. Οι δύο άλλες συνθήκες για τις εισόδους *J* και *K* (δεν δείχνονται στον πίνακα λειτουργίας) αντιστοιχούν στις περιπτώσεις που η έξοδος *QA* του flip-flop είναι αντίστροφη ή αμετάβλητη μετά την ολίσθηση.

Ο πίνακας λειτουργίας για το 74195 δείχνει την περίπτωση λειτουργίας του καταχωρητή. Όταν η είσοδος μηδενισμού πάει στο 0, τα τέσσερα flip-flops μηδενίζονται ασύγχρονα χωρίς να απαιτείται η χρήση ρολογιού. Οι σύγχρονες λειτουργίες ενεργοποιούνται από τη θετική ακμή του ρολογιού. Για να φορτώσουμε τα δεδομένα εισόδου, η είσοδος *SH/LD* πρέπει να γίνει 0 και μία θετική ακμή του παλιού του ρολογιού να εμφανιστεί. Για τη δεξιά ολίσθηση, το

*SH/LD* πρέπει να γίνει ίσο με 1. Οι έξοδοι *J* και *K* πρέπει να είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους για να αποτελέσουν τη σειριακή είσοδο.



Πίνακας Λειτουργίας

Μηδένισμός	Ολίσθηση/φόρτωση	Ρολοί	J	K	Σειριακή είσοδος	Λειτουργία
0	X	X	X	X	X	Ασύγχρονη μηδένιση
1	X	0	X	X	X	Χωρίς αλλαγή στην έξοδο
1	0	↑	X	X	X	Φόρτωση δεδομένων εισόδου
1	1	↑	0	0	0	Ολίσθηση από QA προς QD, QA = 1
1	1	↑	1	1	1	Ολίσθηση από QA προς QD, QA = 0

ΣΧΗΜΑ 11-16

Το chip 74179: Καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση

Εκτελέστε ένα πείραμα που θα επιβεβαιώσει τη λειτουργία του 74195. Δείξτε ότι το chip εκτελεί όλες τις λειτουργίες που φαίνονται στον πίνακα λειτουργίας. Περιλάβετε στον πίνακα λειτουργίας τις δύο συνθήκες:  $J\bar{K} = 01$  και  $J\bar{K} = 10$ .

*Μετρητής Δακτυλίου:* Ένας μετρητής δακτυλίου είναι ένας κυκλικός καταχωρητής ολίσθησης, όπου το σήμα από τη σειριακή έξοδο *QD* ξαναμπάνει στη σειριακή είσοδο. Συνδέστε τα *J* και  $\bar{K}$  μεταξύ τους για να σχηματίσετε τη σει-



ριακή είσοδο. Χρησιμοποιείτε τη λειτουργία φόρτωσης για να δώσετε στο μετρητή την αρχική τιμή 1000. Μετά δώστε παλμούς ρολογιού, ώστε το ένα bit αυτό να αρχίσει να κυκλοφορεί και ελέγξτε την κατάσταση του καταχωρητή μετά από κάθε παλμό του ρολογιού.

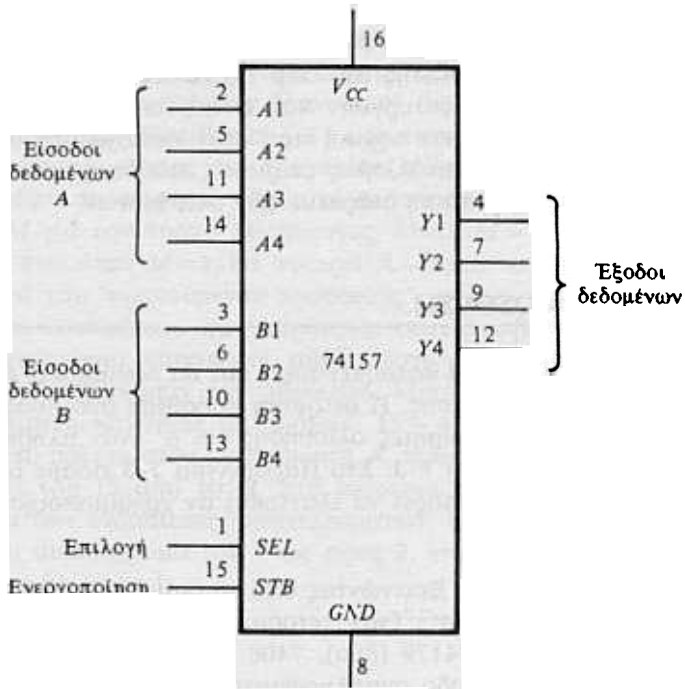
Ένας μετρητής δακτυλίου με αντιστροφή ουράς χρησιμοποιεί το συμπλήρωμα της σειριακής εξόδου  $QD$  για να τροφοδοτήσει τη σειριακή είσοδο. Φτιάξτε έναν τέτοιο μετρητή, μηδενίστε τον και προβλέψτε την ακολουθία καταστάσεων από την οποία θα περάσει. Επαληθεύστε την πρόβλεψή σας, παρακολουθώντας την κατάστασή του μετά από κάθε ολίσθηση.

*Καταχωρητής Ολίσθησης με Ανάδραση:* Πρόκειται για έναν καταχωρητή ολίσθησης του οποίου τροφοδοτούμε τη σειριακή είσοδο με κάποια συνάρτηση κάποιων από τα bits του εαυτού του. Φτιάξτε έναν τέτοιο τετράμπιτο καταχωρητή, όπου η σειριακή του είσοδος τροφοδοτείται από το αποκλειστικό-Ή των δύο τελευταίων εξόδων  $QC$  και  $QD$ . Προβλέψτε την ακολουθία των καταστάσεων του καταχωρητή, αν αυτός αρχίσει από την  $ABCD = 1000$ . Επαληθεύστε πειραματικά την πρόβλεψή σας.

*Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης:* Ο 74179 μπορεί να ολισθαίνει μόνο προς τα δεξιά, από το  $QA$  προς το  $QD$ . Είναι δυνατόν, όμως, να χρησιμοποιήσουμε την παράλληλη φόρτωση για να πετύχουμε και αριστερή ολίσθηση από το  $QD$  προς το  $QA$ . Αυτό γίνεται συνδέοντας την έξοδο του κάθε flip-flop στην είσοδο του αριστερού του flip-flop και χρησιμοποιώντας την είσοδο ελέγχου-φόρτωσης ως έλεγχο αριστερής ολίσθησης. Η είσοδος  $D$  αποτελεί τότε τη σειριακή είσοδο για την αριστερή ολίσθηση.

Συνδέστε τον 74179 σαν αμφίδρομο καταχωρητή ολίσθησης (που όμως δεν θα έχει παράλληλη φόρτωση). Τροφοδοτείστε τη σειριακή είσοδο της δεξιάς ολίσθησης από ένα διακόπτη. Συνδέστε την αριστερή ολίσθηση σαν μετρητή δακτυλίου, δηλαδή τροφοδοτείστε τη σειριακή είσοδο  $D$  από τη σειριακή έξοδο  $QA$ . Μηδενίστε τον καταχωρητή και μετά ελέγξτε τη λειτουργία του, ολισθαίνοντας μία μόνο μονάδα από το διακόπτη που τροφοδοτεί τη σειριακή είσοδο. Ολισθείστε δεξιά τρεις ακόμα φορές και τροφοδοτείστε με 0 από τον διακόπτη σειριακής εισόδου. Μετά ολισθείστε αριστερά. Μία και μόνο μία μονάδα πρέπει να μένει ορατή καθ' όλη τη διάρκεια.

*Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης με Παράλληλη Φόρτωση:* Ο 74179 μπορεί να μετατραπεί σε αμφίδρομο καταχωρητή ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση, εάν χρησιμοποιήσουμε και έναν πολυπλέκτη. Θα χρησιμοποιήσουμε το chip 74157 που είναι ένας τετράμπιτος πολυπλέκτης 2-σε-1, με εσωτερική οργάνωση όπως αυτή του Σχήματος 5-17. Η θέση των ακροδεκτών φαίνεται στο Σχήμα 11-17. Παρατηρήστε ότι η είσοδος επίτρεψης στο chip 74157 καλείται στροβοσκοπική (strobe).



Πίνακας Λειτουργίας

Ενεργοποίηση	Επιλογή	Έξοδοι δεδομένων Y
1	X	Όλες 0
0	0	Επιλογή των εισόδων A
0	1	Επιλογή των εισόδων B

**ΣΧΗΜΑ 11-17**

Το chip 74157: Τετραπλός πολυπλέκτης 2-σε-1

Σχεδιάστε έναν αμφίδρομο καταχωρητή ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση, χρησιμοποιώντας το 74179 και το 74157. Το κύκλωμά σας πρέπει να έχει τις εξής δυνατότητες:

1. Ασύγχρονο μηδενισμό.
2. Δεξιά ολίσθηση.
3. Αριστερή ολίσθηση.
4. Παράλληλη φόρτωση.
5. Σύγχρονο μηδενισμό.

## 578      Κεφάλαιο 11   Εργαστηριακά Πειράματα

Φτιάξτε έναν πίνακα γι' αυτές τις πέντε λειτουργίες, σιναρτήσει των εισόδων μηδενισμού, ολισθήσεως/φόρτωσης φόρτωσης και ρολογιού του 74179 και επιλογής και ενεργοποίησης του chip 74157. Συνδέστε το κύκλωμα και επαληθεύστε τον πίνακα λειτουργιών που φτιάξατε. Χρησιμοποιείτε την είσοδο φόρτωσης, για να δώσετε αρχική τιμή στον καταχωρητή, και συνδέστε τις σειριακές εξόδους στις κατάλληλες σειριακές εισόδους ούτως ώστε να μη χάνονται πληροφορίες κατά τη διάρκεια των ολισθήσεων.