

ΨΗΦΙΑΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ - ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1

ΛΟΓΙΚΕΣ ΠΥΛΕΣ NOT, AND, NAND

Σκοπός: Να εξοικειωθούν οι φοιτητές με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της σειράς 7400 για τη σχεδίαση και υλοποίηση απλών λογικών συναρτήσεων. Να επαληθεύσουν πειραματικά τους πίνακες αληθείας των λογικών πυλών NOT, AND, NAND.

1.1 Θεωρητική εισαγωγή

1.1.1 Ψηφιακή λογική

Σύμφωνα με την δυαδική λογική, κάθε αριθμητική ή άλλη πληροφορία παριστάνεται με τη βοήθεια δύο διακριτών καταστάσεων, το λογικό 0 και το λογικό 1. Αυτές οι δύο καταστάσεις αντιστοιχούν στις δύο θέσεις ενός διακόπτη, που μπορεί να είναι ανοιχτός (ON) ή κλειστός (OFF). Επίσης, αντιστοιχεί στις δύο τιμές που μπορεί να πάρει μια λογική πρόταση, που μπορεί να είναι αληθής (TRUE) ή ψευδής (FALSE). Η άλγεβρα που περιγράφει τη δυαδική λογική ονομάζεται άλγεβρα Boole ή άλγεβρα των διακοπών.

Τα ψηφιακά συστήματα λαμβάνουν εισόδους και παράγουν εξόδους που περιγράφονται στο δυαδικό σύστημα, με τη βοήθεια των τιμών 0 και 1. Ένα ψηφιακό κύκλωμα μπορεί να λαμβάνει ως είσοδο ένα σύνολο από δυαδικά ψηφία 0 ή 1, που όλα μαζί παριστάνουν την ψηφιακή κατάσταση της εισόδου, π.χ. 0110. Παρομοίως, μπορεί να παράγει ένα σύνολο δυαδικών ψηφίων στην έξοδο, που όλα μαζί παριστάνουν την κατάσταση της εξόδου, π.χ. 10 (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1 Ψηφιακό κύκλωμα με 4 εισόδους και 2 εξόδους

Έστω για παράδειγμα ότι η είσοδος μπορεί να λάβει τέσσερα δυαδικά ψηφία, οπότε βρίσκεται σε μία από $2^4=16$ διακριτές τιμές, αρχίζοντας από το 0000 (δεκαδικό 0) και τελειώνοντας στο 1111 (δεκαδικό 15). Αν η είσοδος αποτελείται από δύο δυαδικά ψηφία, τότε οι δυνατές καταστάσεις είναι 00, 01, 10, 11, δηλαδή $2^2=4$ διακριτές καταστάσεις (0, 1, 2, 3 στο δεκαδικό σύστημα). Με αντίστοιχο τρόπο κατανοούμε τις δυνατές καταστάσεις της εξόδου, ανάλογα με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που αποτελούν την έξοδο.

Στα ψηφιακά συστήματα οι δύο διακριτές λογικές καταστάσεις του δυαδικού συστήματος αντιστοιχούν σε ηλεκτρικές ποσότητες. Συγκεκριμένα, αντιστοιχούν σε δύο διακριτά δυναμικά, που τα μετράμε σε σχέση με ένα δυναμικό αναφοράς. Ως γνωστό, οι διαφορές δυναμικού οφείλονται στις διαφορές ηλεκτρικού φορτίου ανάμεσα σε σημεία ενός κυκλώματος και έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικού ρεύματος. Στα κυκλώματα που θα μελετήσουμε, το λογικό 1 αντιστοιχεί

στα +5V, ενώ το λογικό μηδέν ταυτίζεται με το δυναμικό αναφοράς και άρα βρίσκεται στα μηδέν Volt (0V). Σε ορισμένα συστήματα το λογικό μηδέν μπορεί να αντιστοιχεί στα +15V και το λογικό 1 στα -15V. Άρα, καταλαβαίνουμε ότι η αντιστοιχία αυτή είναι συμβατική και όχι αναγκαστική.

Στα παρακάτω θα κάνουμε εισαγωγή στις απλές λογικές πύλες. Αυτές είναι απλούστατα ψηφιακά κυκλώματα, που λαμβάνουν εισόδους και παράγουν εξόδους. Οι απλές λογικές πύλες αποτελούν τα δομικά στοιχεία των ψηφιακών κυκλωμάτων.

1.1.2 Απλές λογικές πύλες NOT, AND, NAND

1.1.2.1 Ο λογικός αντιστροφέας ή πύλη NOT

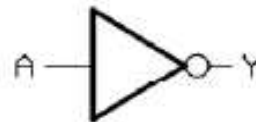
Η απλούστερη ίσως λογική πύλη είναι η NOT, ή αλλιώς ο λογικός αντιστροφέας. Η πύλη αυτή λαμβάνει μία είσοδο και παράγει μία έξοδο. Όταν λαμβάνει ως είσοδο το λογικό 1 δίνει στην έξοδο λογικό 0. Δηλαδή, αν λάβει στην είσοδο +5V, παράγει στην έξοδο δυναμικό 0V. Αντιστρόφως, όταν λαμβάνει λογικό 0 παράγει στην έξοδο το λογικό 1. Αλλιώς λέμε ότι παράγει στην έξοδο το συμπλήρωμα της εισόδου:

$$Y = \bar{A} \quad (1.1)$$

Η παραπάνω λογική συνάρτηση περιγράφεται με τη βοήθεια ενός πίνακα, που ονομάζεται *πίνακας αληθείας*, ο οποίος στην αριστερή στήλη περιέχει την είσοδο και στη δεξιά στήλη περιέχει την κατάσταση της εξόδου (Σχήμα 1.2α)

A	Y
0	1
1	0

(α)



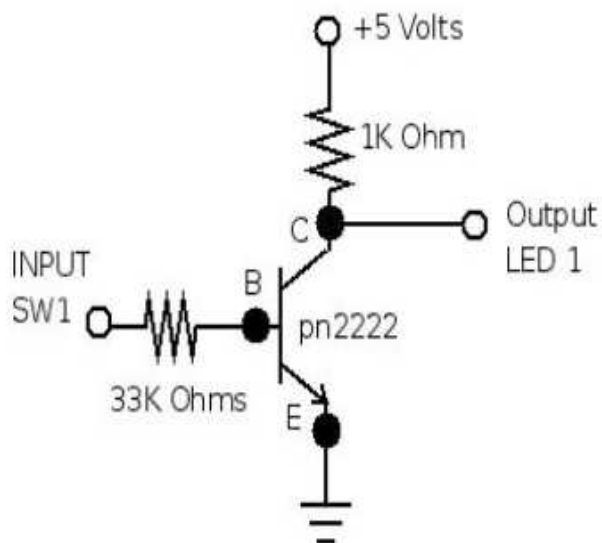
(β)

Σχήμα 1.2: (α) Πίνακας αληθείας της πύλης NOT και (β) κυκλωματικό σύμβολο

Στο Σχήμα 1.2β φαίνεται το κυκλωματικό σύμβολο της πύλης NOT. Ο μικρός κύκλος στην έξοδο της πύλης υποδηλώνει τη λογική αντιστροφή.

Στην πράξη, ένας λογικός αντιστροφέας υλοποιείται με τη βοήθεια ενός τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη (βλέπε σχήμα 1.3).

Όταν η είσοδος A λαμβάνει δυναμικό 5V, τότε η βάση διαρρέεται από ένα ρεύμα βάσης I_B , που οδηγεί το τρανζίστορ στον κόρο. Ως αποτέλεσμα, η αντίσταση του σώματος του τρανζίστορ ανάμεσα στο συλλέκτη (C) και στον εκπομπού (E) γίνεται πολύ μικρή, οπότε πρακτικά στο συλλέκτη εμφανίζεται το δυναμικό του εκπομπού, δηλαδή το δυναμικό αναφοράς (γείωση). Έτσι, στην έξοδο Y θα εμφανιστεί δυναμικό 0 V. Αντίθετα, όταν η είσοδος λάβει δυναμικό 0V, τότε το τρανζίστορ βρίσκεται στην αποκοπή, και η αντίσταση συλλέκτη-εκπομπού είναι πολύ μεγάλη. Το δυναμικό που εμφανίζεται στο συλλέκτη είναι περίπου το δυναμικό της τάσης πόλωσης, δηλαδή 5V.



Σχήμα 1.3: Κύκλωμα λογικού αντιστροφέα με τρανζίστορ

1.1.2.2 Πύλες AND και NAND

Η απλή πύλη **AND** που εξετάζουμε λαμβάνει δύο εισόδους A , B και παράγει μία έξοδο Y . Η πύλη AND παράγει στην έξοδο το γινόμενο των εισόδων, ώστε παράγει λογικό 1 μόνον αν και οι δύο εισοδοί λάβουν την τιμή λογικό 1. Σε κάθε άλλη περίπτωση εξάγει το λογικό 0:

$$Y = A \cdot B \quad (1.2)$$

Ο πίνακας αληθείας της πύλης AND και το κυκλωματικό σύμβολο δίνονται στο παρακάτω Σχήμα 1.4:

A	B	Y
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



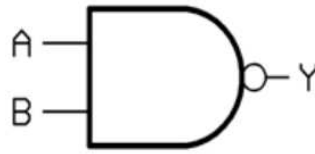
Σχήμα 1.4: Πίνακας αληθείας και κυκλωματικό σύμβολο πύλης AND

Η πύλη **NAND** μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι μια πύλη AND που ακολουθείται από μια πύλη NOT. Ως αποτέλεσμα, η λογική πράξη που επιτελεί είναι να παρέχει το συμπλήρωμα του λογικού πολλαπλασιασμού, που επιτελεί η πύλη AND:

$$Y = \overline{A \cdot B} \quad (1.3)$$

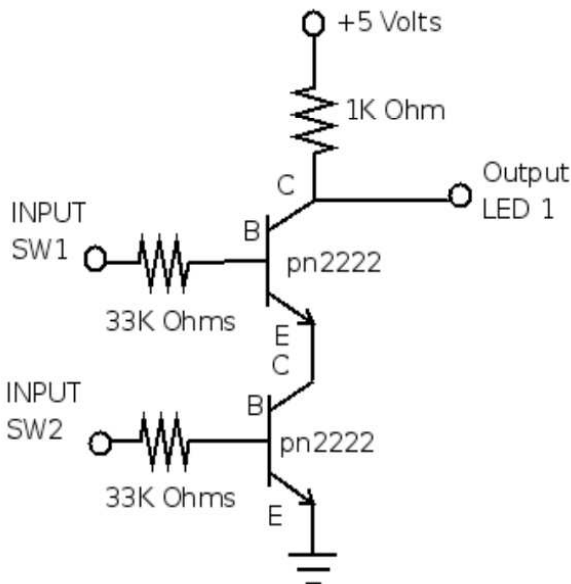
Ο πίνακας αληθείας της πύλης NAND και το κυκλωματικό σύμβολο δίνονται στο παρακάτω Σχήμα 1.5:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0



Σχήμα 1.5: Πίνακας αληθείας και κυκλωματικό σύμβολο πύλης NAND

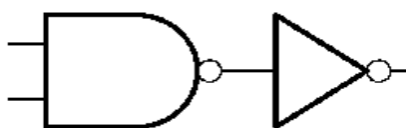
Η πύλη NAND μπορεί να υλοποιηθεί κυκλωματικά ευκολότερα από την πύλη AND, καθώς απαιτούνται λιγότερα κυκλωματικά εξαρτήματα. Έτσι, μια πύλη NAND μπορεί να υλοποιηθεί με τη βοήθεια δύο διπολικών τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1.6:



Σχήμα 1.6: Υλοποίηση πύλης NAND με δύο τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη

Προφανώς, όταν ένα από τα δύο τρανζίστορ δέχεται στην είσοδο λογικό 0, τότε η διέλευση του ρεύματος προς τη γη διακόπτεται, αφού το τρανζίστορ μετάγεται στην αποκοπή (διακόπτης σε κατάσταση OFF). Ως αποτέλεσμα, στην έξοδο εμφανίζονται τα 5 V της πόλωσης του τρανζίστορ, δηλαδή λογικό 1. Αν όμως και τα δύο τρανζίστορ δεχτούν στην είσοδο λογικό 1, τότε αμφότερα μετάγονται στον κόρο, δηλαδή στην κατάσταση ON, και η έξοδος λαμβάνει το δυναμικό της γης, δηλαδή λογικό 0.

Μία πύλη NAND μπορεί να γίνει πύλη AND αν συνδέσουμε στην έξοδο έναν λογικό αντιστροφέα:

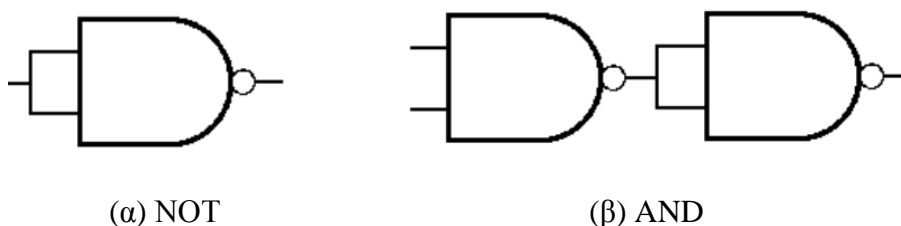


Σχήμα 1.7: Η αντιστροφή της εξόδου της NAND αποδίδει μια πύλη AND

Όπως γνωρίζουμε από τα θεωρήματα της άλγεβρας Boole, ισχύει

$$x \cdot x = x \Rightarrow \overline{\overline{x \cdot x}} = \overline{x} \quad (1.4)$$

Άρα, είναι προφανές ότι αν συνδέσουμε τις δύο εισόδους της πύλης NAND μεταξύ τους και δώσουμε κοινή είσοδο x , δημιουργούμε μια πύλη NOT, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8 (α). Έτσι, και η πύλη AND μπορεί να δημιουργηθεί με χρήση αποκλειστικά πυλών NAND, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.8 (β).



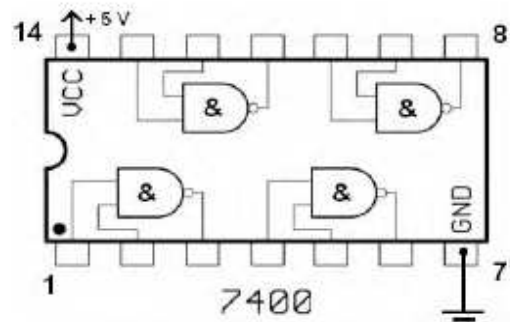
Σχήμα 1.8: Δημιουργία πυλών NOT (α) και AND (β) με χρήση αποκλειστικά πυλών NAND.

Έτσι, η βασική απλή βαθμίδα με τρανζίστορ, που παρουσιάσαμε στο Σχήμα 1.6 μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πυλών NOT και AND. Όπως θα δούμε, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την κατασκευή πυλών OR και XOR και για το λόγο αυτό η πύλη NAND ονομάζεται *οικουμενική πύλη*.

1.1.3 Η οικογένεια ολοκληρωμένων κυκλωμάτων 74xx

Όπως είδαμε στα προηγούμενα, οι λογικές πύλες μπορούν να κατασκευαστούν με τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη. Ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του '50 η τεχνολογία των ημιαγωγών επέτρεψε την ενσωμάτωση πολλών τρανζίστορ και των διασυνδέσεών τους σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα με βάση το πυρίτιο. Πάνω σε ένα υπόστρωμα πυριτίου μπορούν να αναπτυχθούν και να διασυνδεθούν πολλά τρανζίστορ, δημιουργώντας λογικές πύλες ή και πιο πολύπλοκα κυκλώματα. Η πρόοδος στον τομέα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων οδήγησε στους σημερινούς επεξεργαστές, που ενσωματώνουν εκατομύρια εξαρτήματα σε ένα και μοναδικό τσιπ. Στο εργαστήριο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τη σειρά ολοκληρωμένων κυκλωμάτων 74xx, όπου το xx είναι ο αριθμητικός κώδικας του κυκλώματος: xx=00 σημαίνει πύλες NAND, xx=08 σημαίνει πύλες AND κ.ο.κ.

Αυτά τα κυκλώματα, αν και δεν χρησιμοποιούνται πλέον στους σύγχρονους υπολογιστές ή στα καταναλωτικά ηλεκτρονικά, έχουν μεγάλη εκπαιδευτική αξία και χρησιμοποιούνται σε πολλές ψηφιακές σχεδιάσεις. Είναι φθηνά, ανθεκτικά και εύκολο να βρεθούν στην αγορά ή στο internet. Η συνηθισμένη μορφή τους είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα 1.9, με τους ακροδέκτες σε διπλή σειρά, κατάλληλη για τοποθέτηση στο ράστερ. Αυτή η μορφή ονομάζεται Dual-in-line package (DIP).



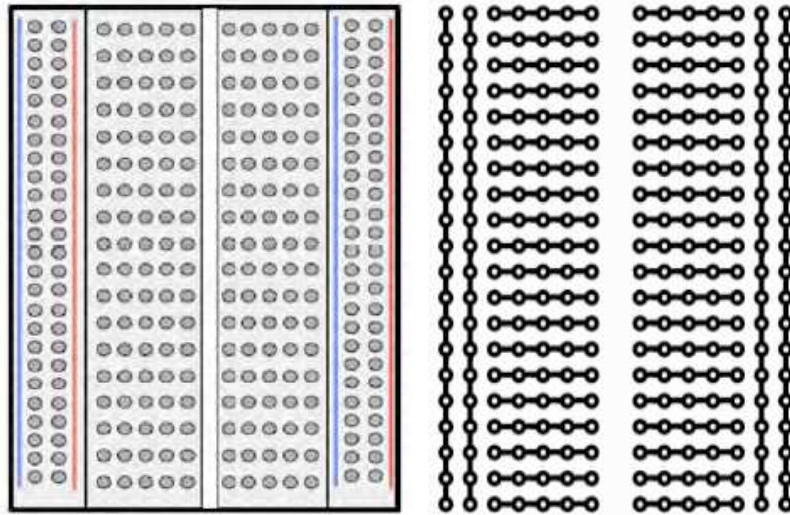
Σχήμα 1.9 Το ολοκληρωμένο κύκλωμα 7400, που περιέχει πύλες NAND.

Όπως βλέπουμε στο Σχήμα 1.9, κάθε ολοκληρωμένο κύκλωμα της σειράς 74xx έχει δεκατέσσερις ακροδέκτες. Αυτοί αριθμούνται από 1 έως 14, όπως φαίνεται στο σχήμα, με τον 1 να βρίσκεται αριστερά της εγκοπής. Δύο από τους ακροδέκτες, ο 14 και ο 7 χρησιμοποιούνται για να εφαρμόσουμε την τροφοδοσία (+5V) και τη γη (0V), που εξασφαλίζουν την πόλωση των τρανζίστορ. Χωρίς τάση πόλωσης, που παρέχεται με τη βοήθεια τροφοδοτικού ή μπαταρίας, το κύκλωμα δεν είναι δυνατό να λειτουργήσει. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.9, κάθε ολοκληρωμένο κύκλωμα περιέχει παραπάνω από μία λογικές πύλες. Ο αριθμός τους εξαρτάται από τους ακροδέκτες εισόδου και εξόδου της κάθε μιας. Έτσι, το 7400 έχει 4 NAND, ενώ το 7404 που περιέχει πύλες NOT χωράει 6 πύλες NOT.

Όταν χρησιμοποιούμε για πρώτη φορά ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα της σειράς 74xx πρέπει να γνωρίζουμε το διάγραμμα ακροδεκτών και τη λογική συνάρτηση/πίνακα αληθείας που επιτελεί. Για το σκοπό αυτό μελετούμε τα λεγόμενα «φύλλα δεδομένων» (data sheets). Αυτά είναι λεπτομερείς πληροφορίες που δίνει ο κατασκευαστής για το κύκλωμα και μπορούν να βρεθούν στο internet πληκτρολογώντας στη μηχανή αναζήτησης το όνομα του ολοκληρωμένου κυκλώματος που έχουμε στα χέρια μας. Για παράδειγμα το κλειδί αναζήτησης “7432 data sheet” θα μας μεταφέρει σε αρχείο pdf που θα περιέχει πληροφορίες για το τυπικό ολοκληρωμένο, που περιέχει πύλες OR. Οι βασικές λειτουργίες και τα διαγράμματα ακροδεκτών των κυκλωμάτων που χρησιμοποιούμε στις ασκήσεις δίνονται στα φύλλα έργου και στα παραρτήματα.

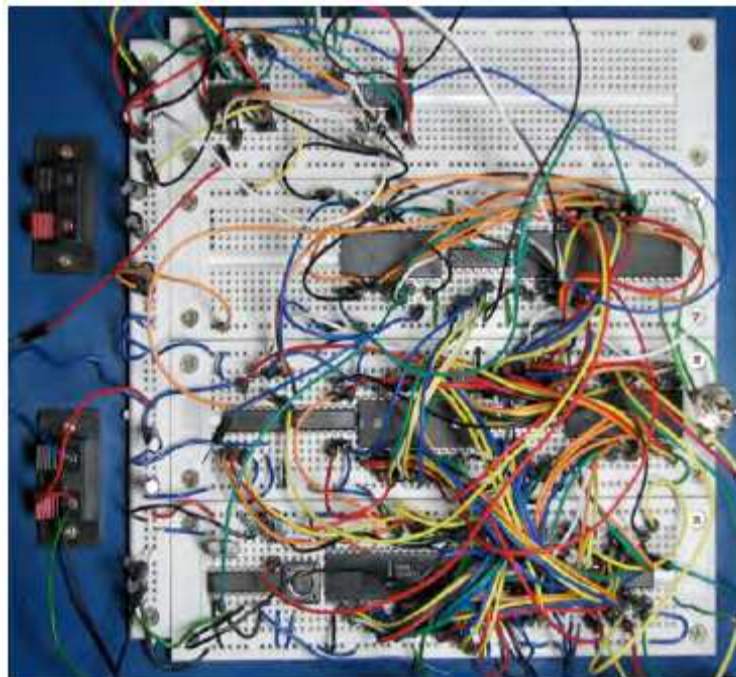
1.1.4 Δημιουργία κυκλωμάτων στο ράστερ, είσοδος και έξοδος στα κυκλώματα του εργαστηρίου

Το ράστερ ή breadboard και η εσωτερική του ενσυρμάτωση, φαίνονται στο Σχήμα 1.10. Χρησιμοποιούμε την επάνω κόκκινη σειρά για την τροφοδοσία +5V και την κάτω μπλε σειρά για τη γείωση. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα τοποθετείται στο κέντρο, με τους ακροδέκτες του πάνω και κάτω από την κεντρική την εγκοπή.



Σχήμα 1.10 Το ράστερ και οι εσωτερικές του διασυνδέσεις

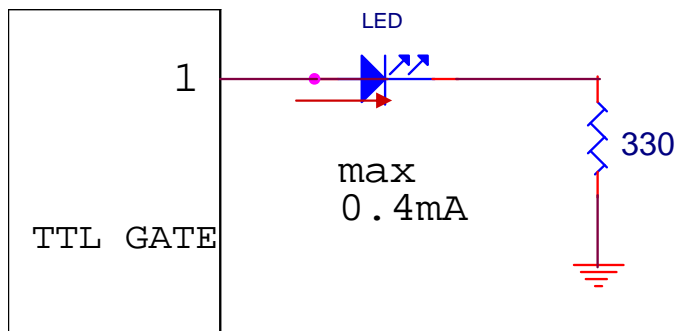
Μια εικόνα ενός πολύπλοκου κυκλώματος φαίνεται στο Σχήμα 1.11. Χρησιμοποιούμε μονόκλιωνα καλώδια για τις διασυνδέσεις.



Σχήμα 1.11 Ένα πολύπλοκο κύκλωμα στο ράστερ

Προκειμένου να δώσουμε λογικό 0 ή λογικό 1 σε μια είσοδο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διακόπτες ή πιο απλά να οδηγήσουμε την είσοδο σε λογικό 1 με ένα καλώδιο που συνδέει την είσοδο στα 5V ή στη γη. Στα κυκλώματα του εργαστηρίου, όταν μια είσοδος είναι ασύνδετη λαμβάνει αυτόματα λογικό 1. Ωστόσο, είναι πιο σωστό να εξασφαλίζουμε το λογικό 1 διασυνδέοντας τις εισόδους με το δυναμικό 5V.

Για να παρατηρήσουμε τη λογική κατάσταση της εξόδου χρησιμοποιούμε διόδους φωτοεκπομπής (Leds). Η διόδος φωτοεκπομπής εκπέμπει φως όταν δεχτεί θετικό δυναμικό στην άνοδο και 0V στην κάθοδο. Αν δεχτεί 0V στην άνοδο, προφανώς δεν ανάβει. Η διόδος φωτοεκπομπής πολώνεται πάντα με τη βοήθεια μιας ωμικής αντίστασης σε σειρά, με τιμή 330Ω έως 1K. Ο ρόλος της αντίστασης είναι να περιορίζει το ρεύμα μέσω της ενδεικτικής διόδου.

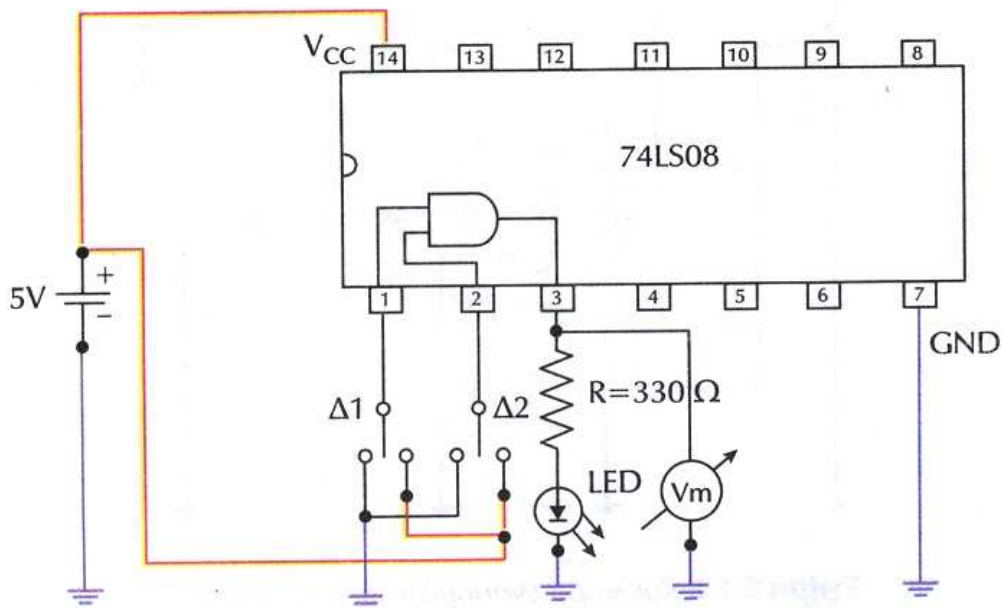


Σχήμα 1.12:
Παρατήρηση της εξόδου
με τη βοήθεια Led

1.2 Εργαστηριακό μέρος

1.2.1 Πίνακας αληθείας πύλης AND

α) Να υλοποιήσετε το παρακάτω κύκλωμα στο ράστερ.
Χρησιμοποιείτε τη σειρά που επισημαίνεται με κόκκινη γραμμή στο ράστερ για να συνδέσετε τα 5V και τη σειρά που επισημαίνεται με μπλέ γραμμή για τη γη (0V). Κατά τη διάρκεια της ενσυρμάτωσης βεβαιωθείτε ότι έχετε αποσυνδέσει το κύκλωμα από την τροφοδοσία. Πριν ανάψετε το τροφοδοτικό ζητήστε από τον διδάσκοντα να ελέγξει τη διασύνδεση. Είστε υπόλογοι για την τυχόν καταστροφή του εξοπλισμού που θα συμβεί με δική σας ευθύνη.



Σχήμα 1.13 Κύκλωμα μέτρησης της πύλης AND στο ράστερ

β) Να δώσετε τιμές στις εισόδους A και B (ακροδέκτες 1, 2 του ολοκληρωμένου κυκλώματος), χρησιμοποιώντας δύο καλώδια ή δύο διακόπτες που ενώνονται με τα +5V για το 1 και με τη γη για το 0. Να συμπληρώσετε τον παρακάτω πίνακα αληθείας:

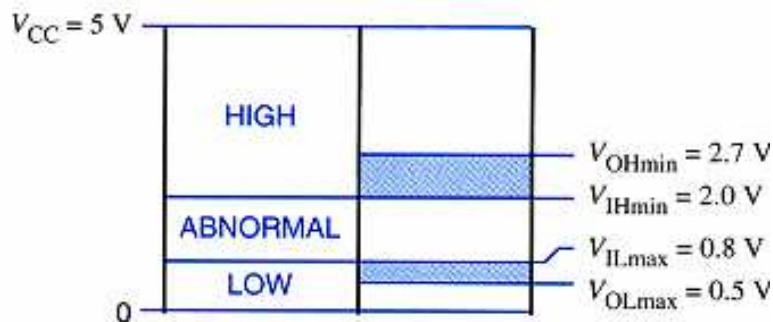
<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

γ) Χρησιμοποιείστε ένα βολτόμετρο για να μετρήσετε την τάση εξόδου της πύλης, όπως φαίνεται στο κύκλωμα, όταν η έξοδος είναι σε λογικό 1 (Led εκπέμπει). Επαναλάβετε τη μέτρηση όταν η έξοδος είναι σε λογικό 0.

Τάση εξόδου σε λογικό 1:.....

Τάση εξόδου σε λογικό 0:.....

Να συγκρίνετε τα δυναμικά που μετρήσατε, με το παρακάτω διάγραμμα που δείχνει τα αποδεκτά επίπεδα δυναμικού για μια πύλη 74xx τεχνολογίας TTL. Θα πρέπει η τάση εξόδου σε λογικό 1 να είναι μεγαλύτερη από τη στάθμη V_{OHmin} . Η τάση εξόδου σε λογικό 0 θα πρέπει να είναι μικρότερη από την τάση V_{OLmax} . Συζητήστε το νόημα αυτών των δυναμικών στην τάξη.



Σχήμα 1.14. Επιτρεπτά δυναμικά σε κατάσταση Low και High για τις πύλες 74xx τεχνολογίας TTL.

δ) Να αφήσετε μια είσοδο ασύνδετη, ενώ τη δεύτερη είσοδο να τη συνδέσετε σε λογικό 1 (δυναμικό $V_{CC}=+5V$). Παρατηρήστε την κατάσταση της εξόδου. Σε ποιά λογική κατάσταση (0 ή 1) αντιστοιχεί η ασύνδετη είσοδος;

Η ασύνδετη είσοδος αντιστοιχεί σε κατάσταση

ε) Λαμβάνοντας κοινή είσοδο στους ακροδέκτες 1, 2 (δηλαδή $A=B$), να επιβεβαιώσετε το θεώρημα της άλγεβρας Boole $A \cdot A = A$

Με βάση τις παρατηρήσεις σας να συμπληρώσετε τον πίνακα

A	$B=A$	Y
0	0	
1	1	

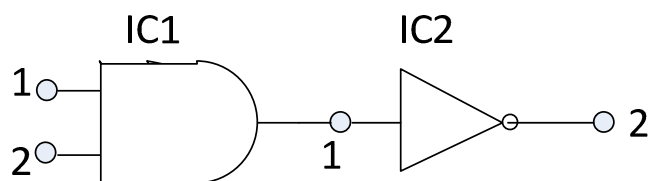
ζ) Διατηρώντας τη μία είσοδο σταθερά στο μηδέν να επαληθεύσετε το θεώρημα της άλγεβρας Boole $A \cdot 0 = 0$

Με βάση τις παρατηρήσεις σας να συμπληρώσετε τον πίνακα

<i>A</i>	<i>B=0</i>	<i>Y</i>
0	0	
1	0	

1.2.2 Πύλη NAND

Να χρησιμοποιήσετε το 7408 (IC1) και το 7404 (IC2) για να υλοποιήσετε μια πύλη NAND, σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα



Σχήμα 1.15: Κύκλωμα πύλης NAND με χρήση πυλών AND και NOT.

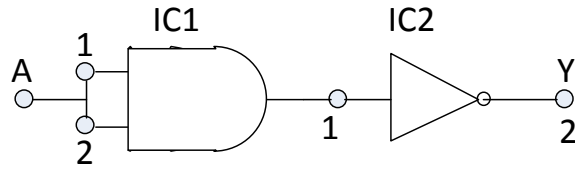
α) Να συμπληρώσετε τον πίνακα αληθείας του κυκλώματος:

<i>A</i>	<i>B</i>	<i>Y</i>
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

β) Να σχεδιάσετε το κυκλωματικό σύμβολο της πύλης NAND

.....

γ) Να βραχυκυκλώσετε τις εισόδους της πύλης και να ελέγξετε αν η νέα πύλη ισοδυναμεί με πύλη NOT:



Να συμπληρώσετε τον πίνακα αληθείας

<i>A</i>	<i>Y</i>
0	
1	

δ) Ποιό ολοκληρωμένο κύκλωμα της σειράς 74xx επιτελεί τη λειτουργία της πύλης NAND, σύμφωνα με τη θεωρία σας;

.....