



**Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο**  
**Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών**

**Αναφορά Εργαστηρίου #5: Λογική Ελέγχου και Ολοκλήρωση του Pong**  
**“Εργαστήριο Ψηφιακών Συστημάτων”**

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΑ	
ΕΞΑΜΗΝΟ	6ο
ΟΜΑΔΑ	A_Ομάδα 17
ΔΙΔΑΣΚΟΝΤΕΣ	Δ. Πνευματικός, Γ. Παναγόπουλος, Ι. Παναγοδήμος

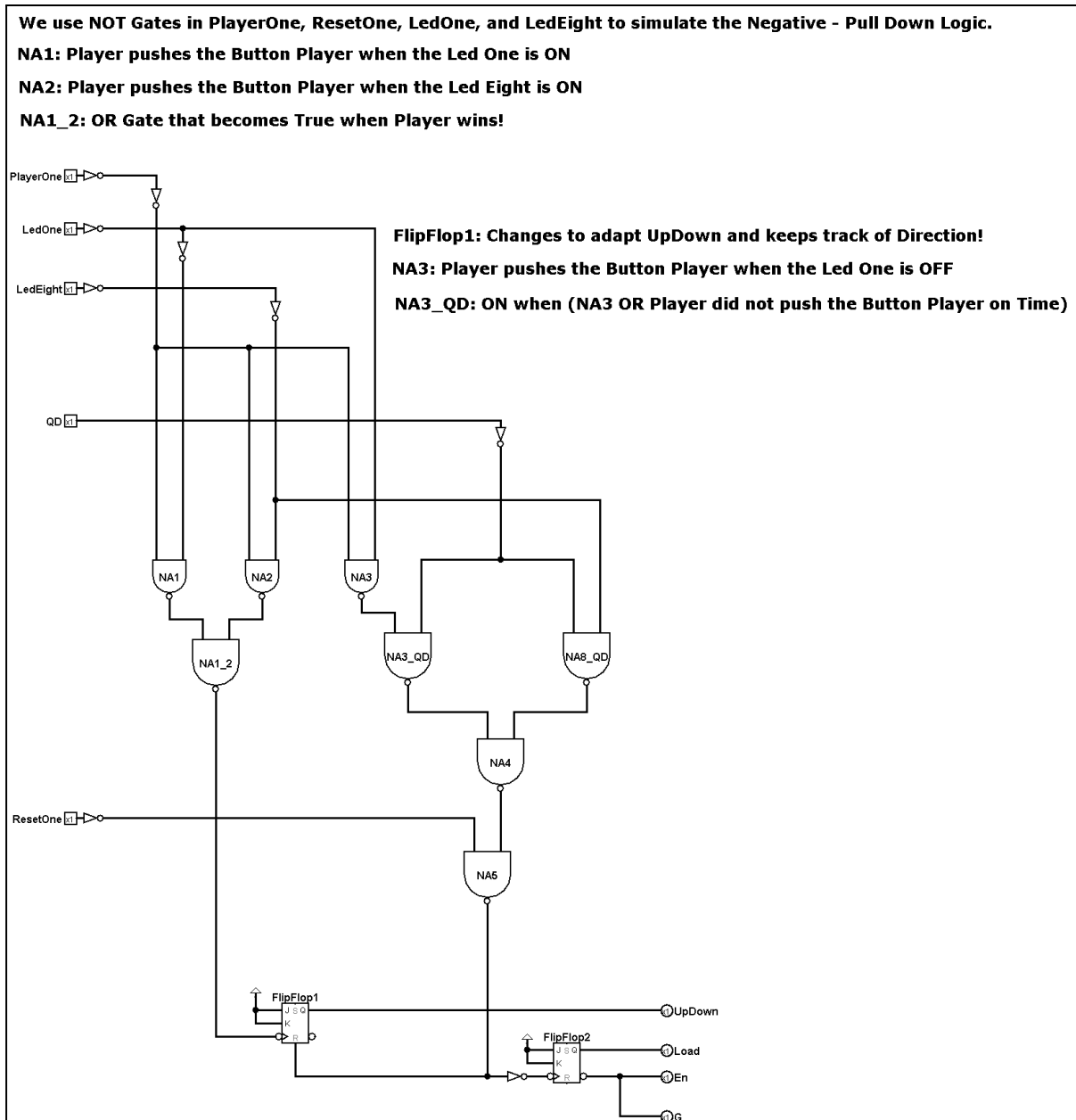
Αθήνα  
2024

## Εισαγωγή

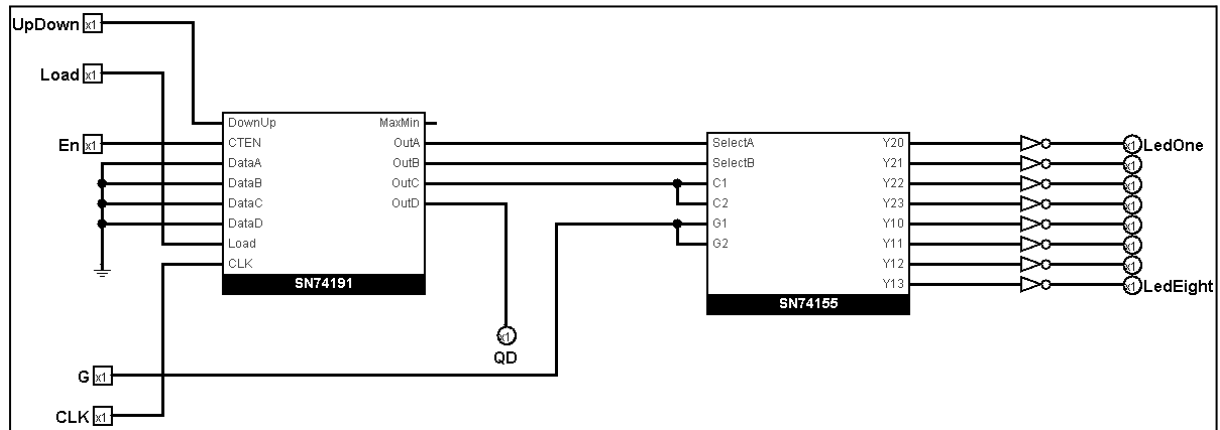
Αρχικά, η υλοποίηση του κυκλώματος του Control σε σχηματικό και η τοποθέτηση αυτού σε Breadboard θα γίνουν με την χρήση ολοκληρωμένων. Συγκεκριμένα, ενός 7473 (JK Flip - Flop), δύο 7400 (NAND) και, τέλος, ενός 7404 (Hex Inverter). Συνολικά, χρησιμοποιούμε τέσσερα ολοκληρωμένα στο Control και τρία στο Core.

## Διαδικασία Υλοποίησης

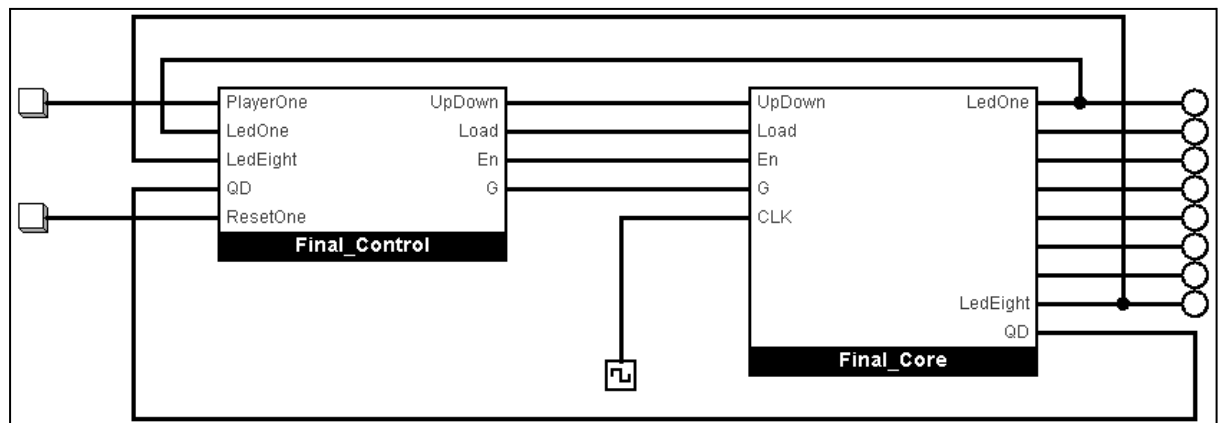
Πρώτη μας μέριμνα είναι η προσαρμογή της λειτουργικότητας του Control που σχεδιάσαμε με Καταχωρητή Αμφίδρομης Ολίσθησης σε αυτή με τον Μετρητή. Κρατάμε ως ζητούμενο το παιχνίδι να ξεκινάει με τον διακόπτη «Reset» και να σταματάει όταν χαθεί η μπάλα. Όσο το παιχνίδι εξελίσσεται, όταν υπάρχει απόκρουση στα ακριανά led η μπάλα αλλάζει φορά. Ξεκινήσαμε την σχεδίαση χρησιμοποιώντας διάφορες πύλες (NAND, NOR, NOT) όπου, έπειτα, με βάση τις ιδιότητες της πύλης NAND ως Universal καταλήξαμε στο εξής σχεδιάγραμμα πυλών:



Προκειμένου να εξετάσουμε την τελική λειτουργικότητα του σχεδιασμού προχωράμε στην υλοποίηση και του Core και, τέλος, του Top Level. Έχοντας σχεδιάσει τα ολοκληρωμένα SN74191 και SN74155, καταλήγουμε στο εξής σχεδιάγραμμα πυλών του Core:

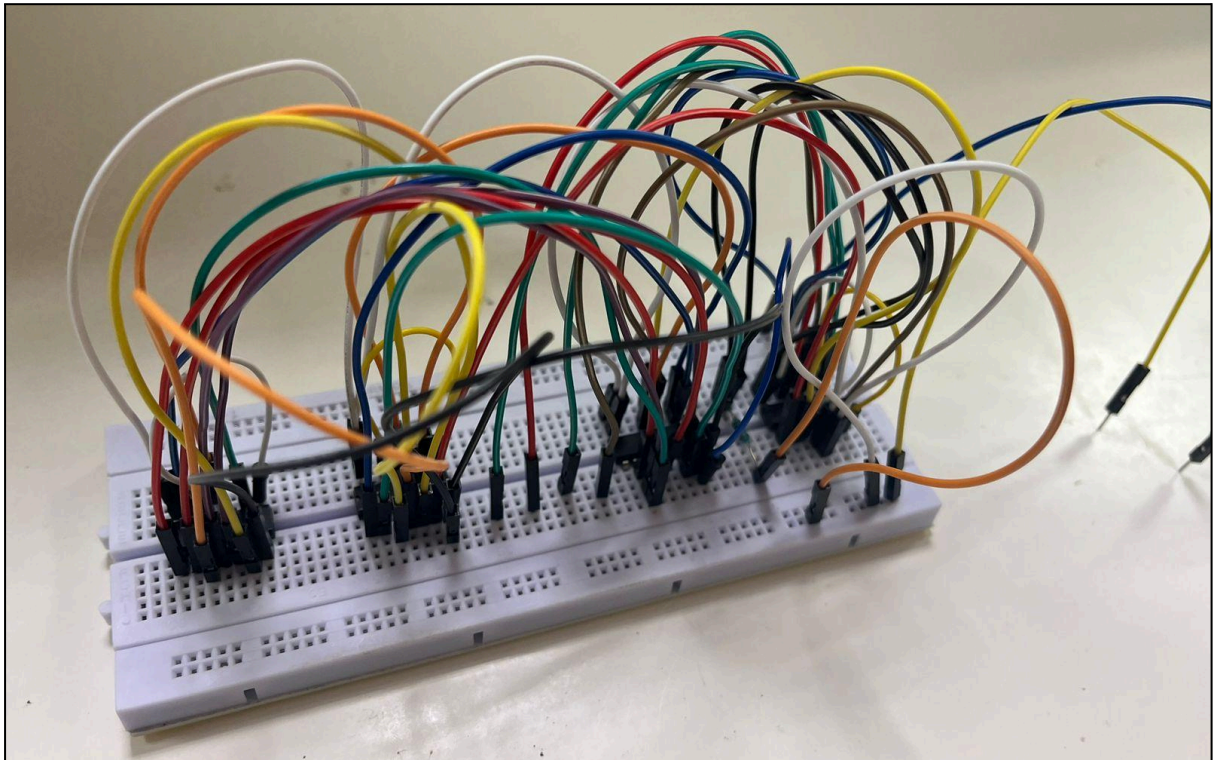


και στο εξής σχεδιάγραμμα πυλών του Top Level:



Το συνολικό κύκλωμα επιτυγχάνει όλα τα ζητούμενα μας, όπως περιγράφονται στο ερώτημα «2.1 Πλήρες κύκλωμα – πλήρης βαθμολογία» και με βάση αυτό προχωράμε στην τοποθέτησή του σε Breadboard ώστε η διαφορά θεωρίας (Logisim) και πράξης (Breadboard) να είναι μηδαμινή.

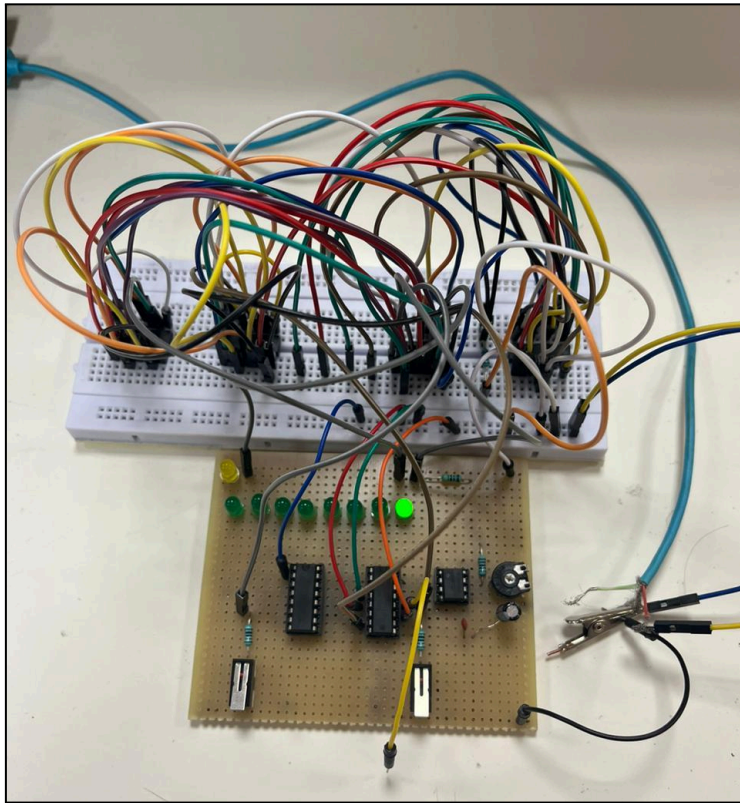
Το τελικό κύκλωμα φαίνεται στις παρακάτω εικόνες εφόσον στοχεύουμε τόσο οι διασυνδέσεις μεταξύ των ακροδεκτών όσο και οι διασυνδέσεις με τον «έξω» κόσμο, δηλαδή το Core, να γίνονται με τις διεπαφές των καλωδίων Jumper. Δηλαδή, έχουμε:



Οπότε, έχουμε τον εξής κατάλογο διεπαφών μεταξύ Core - Control που υλοποιήθηκαν:

Name	Direction
UpDown	Input στο Counter (Pin 5) - Output του Control
En	Input στο Counter (Pin 4) - Output του Control
LOAD	Input στο Counter (Pin 11) - Output του Control
G	Input στο Decoder (Pin 2, 14) - Output του Control
LED1	Input στο Control - Output του Core
LED8	Input στο Control - Output του Core
Player	Input στο Control - Output του Core
Reset	Input στο Control - Output του Core
Qd	Input στο Control - Output του Core (Pin 7)

Δίνουμε προσοχή στην πολικότητα των σημάτων, αν είναι, για παράδειγμα, Active Low (ενεργοποιούνται στο 0). Έπειτα, συνδέοντας τις διεπαφές του Core και του Control, έχουμε το εξής ολοκληρωμένο Pong:



Εφαρμόζοντας, τέλος, σταθερή τροφοδοσία τάξης 5 V θέτουμε το κύκλωμα σε λειτουργία. Δυστυχώς, παρατηρούμε πως το κύκλωμα δεν συμπεριφέρεται με βάση τις προδιαγραφές, παρότι η θεωρία (Logisim) λειτουργεί. Ακολουθούμε τα εξής βήματα διαδοχικά στην προσπάθεια μας να βρούμε το σφάλμα:

1. Επανατοποθέτηση των ολοκληρωμένων στο Breadboard ώστε να διασφαλίσουμε πως τόσο οι διεπαφές των καλωδίων Jumper είναι «καλές» όσο ότι ακολουθούν την λογική της θεωρίας (Logisim). Ελέγχουμε ξανά και παρατηρούμε πως το κύκλωμα δεν συμπεριφέρεται με βάση τις προδιαγραφές.
2. Έλεγχος του Core πως εξακολουθεί να λειτουργεί με βάση τις προδιαγραφές του τέταρτου εργαστηρίου. Πράγματι, το Core λειτουργεί κανονικά και συμπεραίνουμε πως το σφάλμα βρίσκεται είτε στο Control αυτό καθαυτό είτε στις διεπαφές του Bus που συνδέουν τα δύο.

Στο σημείο αυτό είναι χρήσιμο να αναφέρουμε πως η συμπεριφορά του κυκλώματος είναι η εξής: το άκρο LED ανάβει συνεχόμενα και δεν υπάρχει αντίδραση στους διακόπτες «Reset» και «Player». Συνεχίζουμε τον έλεγχο μας με το εξής βήμα:

3. Έλεγχος των τιμών που λαμβάνουν τα Pin των ολοκληρωμένων με την χρήση του πολυμέτρου. Εδώ παρατηρούμε πως στο Core, μόνο όταν αυτό συνδέεται με το Control, εμφανίζεται «διπλή γείωση». Παρότι δεν γειώνουμε το κύκλωμα του Control μέσω του μαύρου Jumper, εμφανίζεται γείωση, πράγμα που χρειάζεται να διορθώσουμε.

Σε δεύτερο χρόνο θα χρειαστεί να λύσουμε αυτό το σφάλμα για να μελετήσουμε την τελική λειτουργικότητα που σχεδιάσαμε και υλοποιήσαμε.

Ταυτόχρονα, έχουμε επιβεβαιώσει πως ο παλμός του ρολογιού στέλνεται σωστά στο κύκλωμα του Core και εξέρχεται, επίσης, σωστά από την έξοδο του, οπότε τα περιθώρια σφάλματος εντοπίζονται κυρίως στα παραπάνω.

Ωστόσο, μιας που ο χρόνος πίεζε δεν ήμασταν σε θέση να εντοπίσουμε την ρίζα του προβλήματος διότι το επόμενο βήμα που απαιτούνταν ήταν η προσεκτική εξέταση κάθε μίας από τις διεπαφές που υπήρχαν τόσο μεταξύ Core - Control, όσο και εσωτερικά του Control. Μονάχα έτσι θα ήμασταν σε θέση να αναλύσουμε περισσότερο τι «ενοχλεί» το κύκλωμα με τρόπο τέτοιο που «χάνουμε» ακόμα και την ορθή λειτουργία του μετρητή που επιτρέπει στα LED να ανάβουν διαδοχικά με τον ρυθμό που ορίζει το ρολόι.

Ολοκληρώνοντας, και έχοντας πλέον κατακτήσει σε βάθος τις απαραίτητες θεωρητικές γνώσεις που χρειαζόμαστε για να φτιάξουμε ένα λειτουργικό σύστημα, εντοπίσαμε τα παραπάνω πιθανά σφάλματα, τα οποία με τους απαραίτητους ελέγχους θα μας είχαν δώσει την λύση στα διάφορα «μυστήρια» πίσω από την μη λειτουργικότητα του Control μας στην πράξη.