



## Εργαστήριο Ψηφιακών Συστημάτων

Εαρινό Εξάμηνο 2024-25

### Εργαστήριο #5: Μοντελοποίηση και προσομοίωση του ελέγχου του Pong σε Logisim Evolution

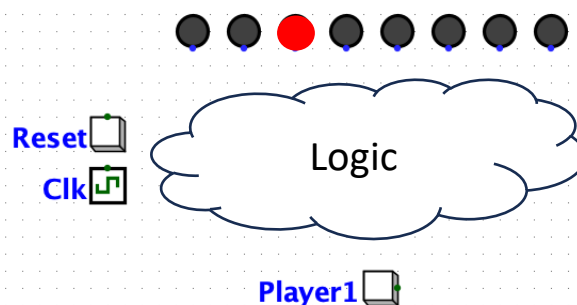
Παράδοση: Δευτέρα 28/4/2025

#### 1 Περιγραφή

Το εργαστήριο του μαθήματος αφορά την σχεδίαση και υλοποίηση του ελέγχου του παιχνιδιού Pong. Η «οθόνη» έχει την διεπαφή που έχει περιγραφεί στα προηγούμενα εργαστήρια. Η εξωτερικές εισοδοι του παιχνιδιού είναι δυο πιεστικοί διακόπτες, ένας για αρχικοποίηση (Reset) και ο άλλος για «απόκρουση» της μπάλας.

Περιγραφή λειτουργίας: Το παιχνίδι ξεκινάει αφού πατηθεί και αφεθεί το reset. Η μπάλα ξεκινάει από την μια πλευρά (έστω αριστερά) και προχωράει προς την άλλη κατεύθυνση. Η ταχύτητα κίνησης της μπάλας καθορίζεται από το (εσωτερικό η εξωτερικό) ρολόι. Η μπάλα μετακινείται μια θέση κάθε κύκλο του ρολογιού.

Η απόκρουση μπορεί να γίνει μόνο αν η μπάλα είναι σε ακραία θέση (δεξιά η αριστερά). Αν ο διακόπτης πατηθεί νωρίτερα η αργότερα, το παιχνίδι τελειώνει και η μπάλα εξαφανίζεται. Εάν η απόκρουση είναι επιτυχής, η μπάλα αλλάζει φορά και αρχίζει να κατευθύνεται προς την άλλη άκρη της «οθόνης». Το ζητούμενο είναι το παιχνίδι να ξεκινάει με το reset και να σταματάει όταν χαθεί η μπάλα. Όσο, όταν υπάρχει απόκρουση η μπάλα αλλάζει φορά.



#### 2 Μοντελοποίηση κυκλώματος ελέγχου στο Logisim Evolution

Στα προηγούμενα εργαστήρια υλοποιήσατε σε διάτρητη πλακέτα το κομμάτι απεικόνισης (Led, αποκωδικοποιητής & μετρητής). Η διεπαφή και η λειτουργικότητα αυτού του κομματιού έχει οριστεί στις αντίστοιχες εκφωνήσεις. Το ζητούμενο σε αυτό το εργαστήριο είναι να μοντελοποιήσετε και να προσομοιώσετε την λογική του ελέγχου στο εργαλείο Logisim Evolution ώστε να έχετε ένα πλήρως λειτουργικό παιχνίδι Pong. Μελετήστε την (επόμενη) παράγραφο §3, καθώς η σχεδίαση σας σε επόμενα βήματα θα πρέπει να υλοποιηθεί με ολοκληρωμένα TTL. Κατόπιν ακολουθήστε τις οδηγίες στην παράγραφο §4 για την σχεδίαση και υλοποίηση στο Logisim Evolution.

#### 3 Μελλοντική υλοποίηση του κυκλώματος ελέγχου σε TTL σε breadboard.

Η **τελική** υλοποίηση (σε επόμενα εργαστήρια, όχι αυτή που κάνετε εδώ) θα γίνει σε breadboard με χρήση ολοκληρωμένων TTL. Έχετε στην διάθεση σας τα ακόλουθα:

- FF: Μπορείτε να διαλέξετε μεταξύ D-FF (7474) ή JK-FF (7473). Θα σας διατεθεί ένα ολοκληρωμένο το οποίο έχει εσωτερικά 2 FF.
- Λογικές πύλες: μπορείτε να χρησιμοποιήσετε πύλες 2 εισόδων NAND (7400, με 4 πύλες) και NOR (7402, 4 πύλες) και αντιστροφείς (7404, εξι αντιστροφείς). Εάν χρειαστεί πιθανόν να μπορούμε να σας παρέχουμε πύλες OR 2 εισόδων (7432).
- Συνολικά δεν θα (πρέπει να) σας χρειαστούν πάνω από 4-5 ολοκληρωμένα. Ξεκινήστε θεωρώντας ότι θα έχετε 2x NAND, 1x NOR και 1x αντιστροφείς συν τα FF.

- Μπορείτε να έχετε και περισσότερα ολοκληρωμένα (λογικές πύλες, FF, ΚΛΠ) αλλά όσο περισσότερα είναι, τόσο πιο πολύπλοκο θα είναι το κύκλωμα και θα χρειάζεται περισσότερη προσπάθεια σχεδίασης, αντιμετώπιση προβλημάτων, κλπ.

## 4 Προσέγγιση

Ξεκινήστε συστηματικά ορίζοντας την συμπεριφορά του συστήματος. Δείξτε με μια κυματομορφή την αρχή λειτουργίας του συστήματος, μια επιτυχή και μια λανθασμένη (πρώιμη) απόκρουση. Κατόπιν, επαναλάβετε για καθυστερημένη απόκρουση.

Κωδικοποιήστε τον έλεγχο σε μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων (FSM), είτε Mealy είτε Moore ανάλογα με τι σας βολεύει. Δώστε το διάγραμμα καταστάσεων.

Αξιολογήστε (ακόμα και προσεγγιστικά) το αναμενόμενο κόστος υλοποίησης αυτού του FSM σε τεχνολογία TTL σύμφωνα με την προηγούμενη παράγραφο. Είναι εντός των περιορισμών στα ολοκληρωμένα η υλοποίησή σας;

Αν χρειάζεται, σκεφτείτε αλλαγές στην προσέγγιση ώστε να μειώσετε το κόστος υλοποίησης. Υλοποιήστε την νέα σχεδίαση σε Logisim Evolution και προσομοιώστε τη ώστε να βεβαιωθείτε ότι λειτουργεί σωστά σε όλες τις περιπτώσεις.

## 5 Παρατηρήσεις

Χρησιμοποιήστε τις διεπαφές όπως έχουν οριστεί στα προηγούμενα εργαστήρια. Αν είναι απόλυτα απαραίτητο να αλλάξετε τις διεπαφές, μπορείτε να τις αλλάξετε, αλλά τεκμηριώστε την ανάγκη και το όφελος της αλλαγής που προτείνετε.

Προσοχή: η χρήση λογικών συναρτήσεων (δηλαδή εξόδων πυλών) ως ρολόι είναι επικίνδυνη, χρησιμοποιήστε με δικό σας ρίσκο. Ομοίως και η χρήση ασύγχρονων εισόδων (π.χ. reset) μπορεί να είναι προβληματική αν δεν χρησιμοποιηθεί σωστά. Τέτοιες διατάξεις ακόμα και αν λειτουργούν σωστά σε προσομοίωση συχνά δημιουργούν προβλήματα χρονισμού σε πραγματικά συστήματα.

Η χρήση του ασύγχρονου Reset ομοίως μπορεί να είναι προβληματική. Αν χρησιμοποιήσετε τέτοιες λύσεις, αναλύστε την συμπεριφορά του κυκλώματος και καταγράψτε αυτή την ανάλυση στην αναφορά σας.

## 6 Παραδοτέα, Αναφορά

A] Αρχεία υλοποίησης

B] Αναφορά της διαδικασίας σου συμπεριλαμβάνει (1) τις κυματομορφές κατανόησης (2) το διάγραμμα καταστάσεων, (3) την αρχική υλοποίηση αυτού και (4) βελτιστοποιημένη υλοποίηση.

Γ] Αν έχετε κάνει αλλαγές στην διεπαφή της οθόνης περιγράψτε την αλλαγμένη διεπαφή και τους λόγους και τα οφέλη της αλλαγής.