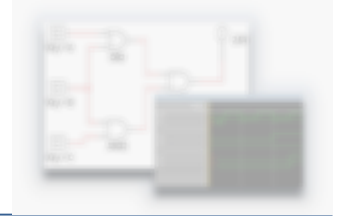


ECE119 – Ψηφιακή Σχεδίαση

Διδάσκοντες Εργαστηρίου: Δ. Καραμπερόπουλος
Δ. Γαρυφάλλου

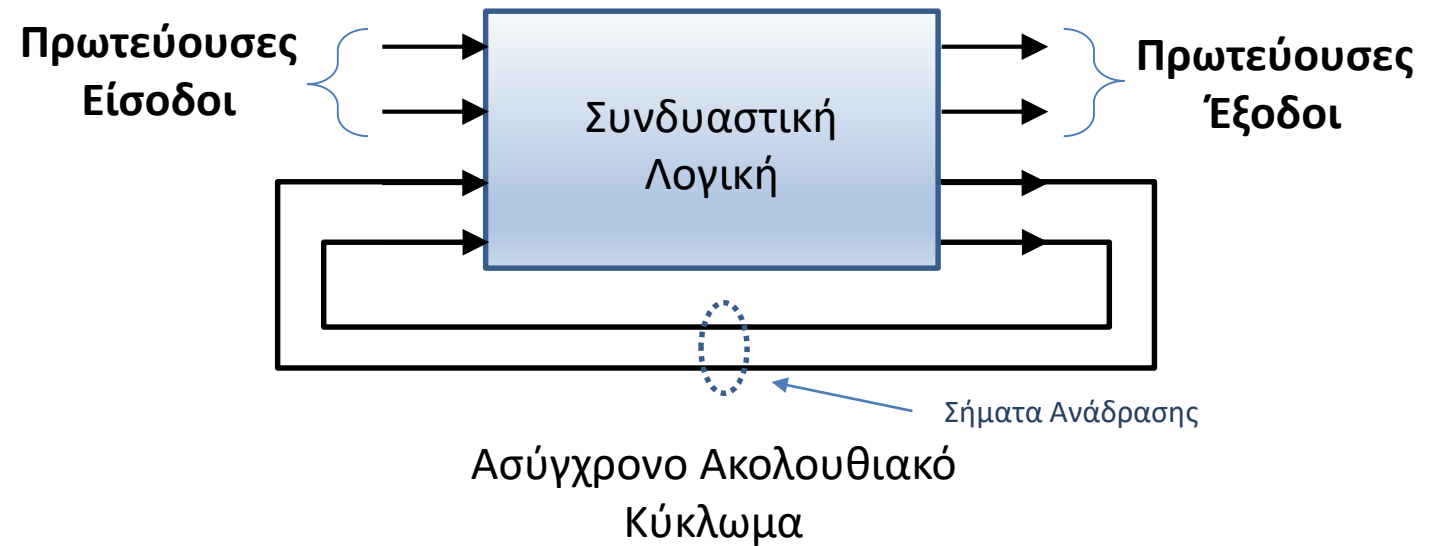
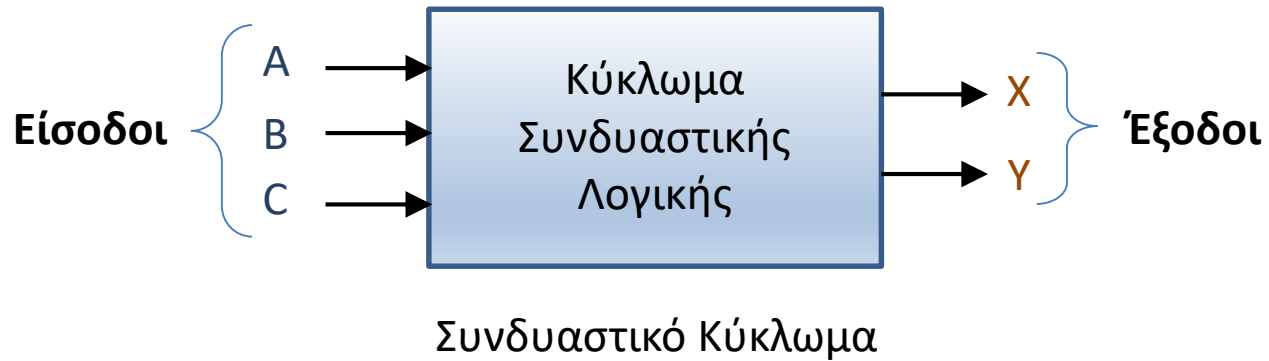
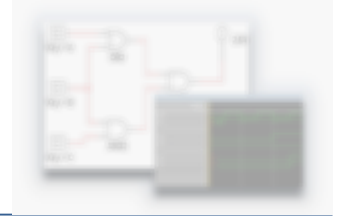
➤ Lab 10: Sequential Circuits - FSM

Περιεχόμενα Εργαστηριακού Μαθήματος

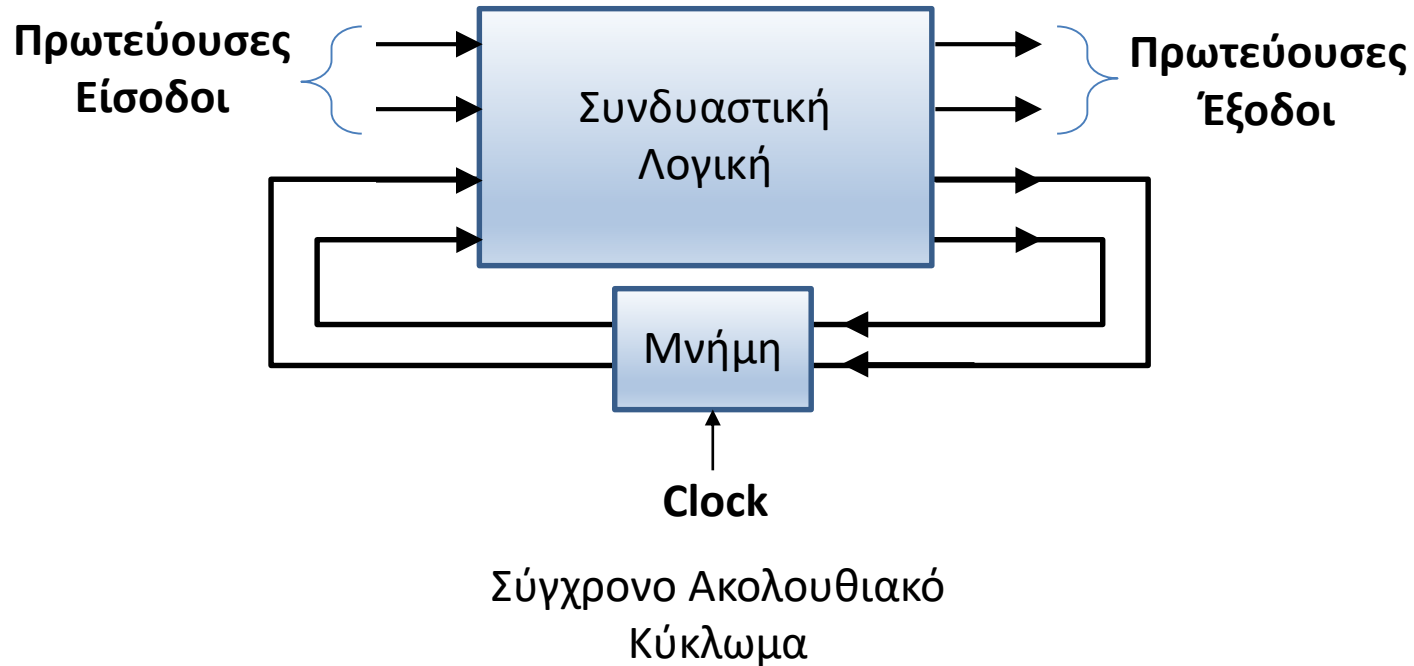
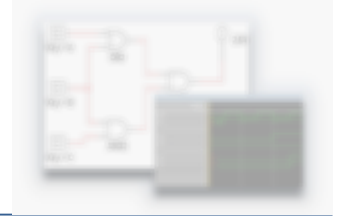


- Εισαγωγή
- Lab 1: Multisim Circuit Simulation and Basic Gates
- Lab 2: Truth Tables and Basic Logic Gates
- Lab 3: Logic Gates Explored and Boolean Algebra
- Lab 4: Karnaugh Maps
- Lab 5: Binary Conversion and Adders
- Lab 6: Encoders and Decoders
- Lab 7: Multiplexers and Demultiplexers
- Lab 8: Latches and Sequential Logic Circuits
- Lab 9: Flip-Flops
- **Lab 10: Sequential Circuits - FSM**

Γενικές μορφές κυκλωμάτων

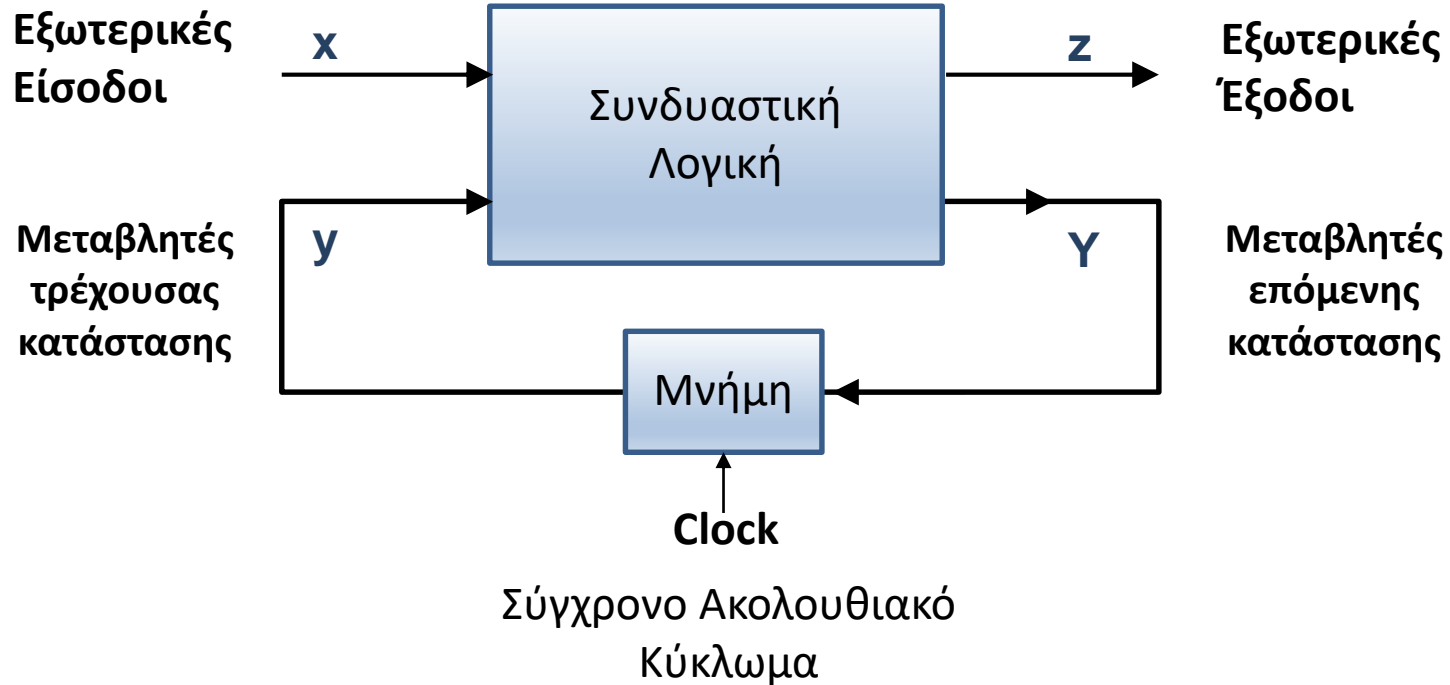
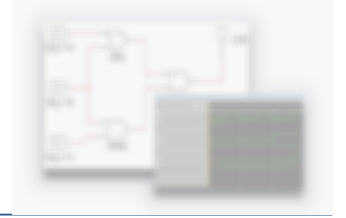


Κυκλώματα ακολουθιακής λογικής



Τα **ακολουθιακά κυκλώματα** σχηματίζονται όταν σε ένα συνδυαστικό κύκλωμα προστεθούν διαδρομές ανάδρασης που μεταφέρουν πληροφορίες κατάστασης. Η έξοδος ενός ακολουθιακού κυκλώματος εξαρτάται από την τρέχουσα είσοδο αλλά και από την κατάσταση, η οποία είναι συνάρτηση των προηγούμενων εισόδων.

Κυκλώματα ακολουθιακής λογικής

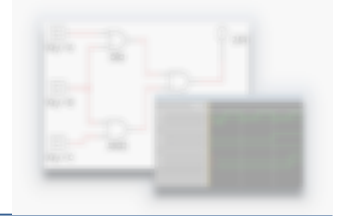


Εξισώσεις Εξόδων

$$z = f(x, y)$$
$$Y = g(x, y)$$

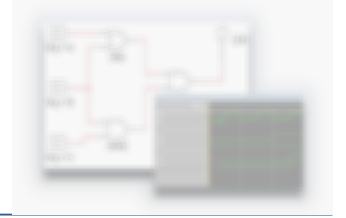
- Στα ακολουθιακά κυκλώματα η έξοδος z δεν είναι συνάρτηση μόνο της εισόδου x αλλά και της παρούσης κατάστασης y του κυκλώματος πριν την εφαρμογή του clock. Το ίδιο συμβαίνει μια με τις μεταβλητές επόμενης κατάστασης.
- Τα ακολουθιακά κυκλώματα «θυμούνται προηγούμενες τιμές» μέσω της σύνδεσης της ανάδρασης.

Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα



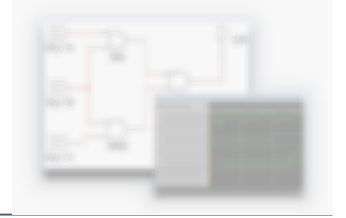
- Τα σήματα ανάδρασης διακόπτονται από **καταχωρητές** που **σκανδαλίζονται από παλμούς ρολογιού**.
- Συνεπώς η **κατάστασή του κυκλώματος αλλάζει σύμφωνα με τους παλμούς του ρολογιού**.
- Η κατάσταση του κυκλώματος ορίζεται από το περιεχόμενο των στοιχείων της μνήμης.
- Ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα πρέπει εξ' ορισμού να χρησιμοποιεί σήματα συγχρονισμού.
- Τα σήματα συγχρονισμού επηρεάζουν τα στοιχεία μνήμης του κυκλώματος, ώστε αυτά να **αλλάζουν κατάσταση σε διακριτές χρονικές στιγμές**
- Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω μιας «γεννήτριας κύριου-ρολογιού» η οποία τροφοδοτεί το σύστημα με μία περιοδική σειρά “παλμών ρολογιού”
- Τα στοιχεία μνήμης μπορούν να αλλάξουν κατάσταση μόνο κατά την έλευση παλμών ρολογιού

Τα FLIP-FLOP ως στοιχεία μνήμης



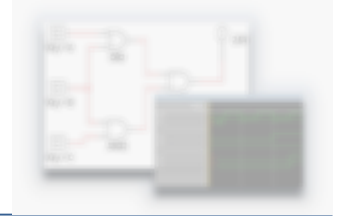
- Βασικά στοιχεία των ψηφιακών κυκλωμάτων είναι οι πύλες. Το χαρακτηριστικό των πυλών είναι ότι η έξοδός τους σε κάποια χρονική στιγμή εξαρτάται αποκλειστικά από την είσοδό τους την συγκεκριμένη χρονική στιγμή και όχι από προηγούμενες καταστάσεις τους. Δηλαδή **οι πύλες δεν έχουν μνήμη**.
- Αντίθετα, **τα flip-flops είναι τα βασικά στοιχεία μνήμης** τα οποία μπορούν να αποθηκεύσουν μία δυαδική πληροφορία. Η πληροφορία αυτή που είναι το “1” ή το “0” παραμένει σταθερή μέχρις ότου το flip-flop να ξαναδιεγερθεί.
- Ένα κύκλωμα flip-flop μπορεί να διατηρηθεί σε μία δυαδική κατάσταση επ’ αόριστον, έως ότου κάποιο σήμα προκαλέσει αλλαγή κατάστασης.

Λειτουργία του FLIP-FLOP

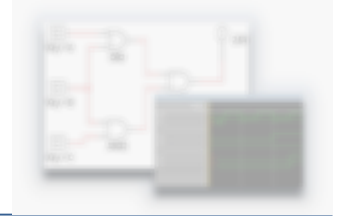


- Το flip-flop έχει **μία ή δύο σύγχρονες εισόδους** και **δύο εξόδους**, δηλαδή την **κατάσταση** του flip-flop που συμβολίζεται με Q και το συμπλήρωμά της που συμβολίζεται με Q'.
- Το flip-flop έχει μία είσοδο ρολογιού (clock), η άφιξη των παλμών του οποίου είναι υπεύθυνη για την πιθανή αλλαγή της κατάστασης του flip-flop, ανάλογα με τα δεδομένα των σύγχρονων εισόδων του. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται σκανδαλισμός (triggering).

Διέγερση του Flip-Flop

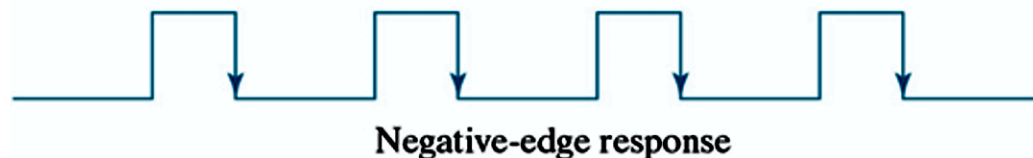


- Τα flip-flop διεγείρονται με τους παλμούς του ρολογιού (**clock**) τους.
- Οι παλμοί του ρολογιού μπορεί να είναι **θετικοί** ή **αρνητικοί**.
- Μία πηγή **θετικών** παλμών ρολογιού παραμένει στο “0” κατά το διάστημα μεταξύ παλμών και πάει στο “1” κατά τη διάρκεια του παλμού.
- Μία πηγή **αρνητικών** παλμών ρολογιού παραμένει στο “1” κατά το διάστημα μεταξύ παλμών και πάει στο “0” κατά τη διάρκεια του παλμού.

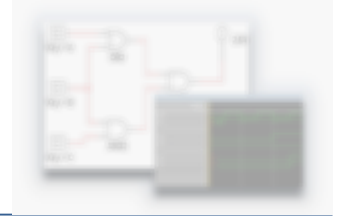


Μεταβάσεις των Παλμών Ρολογιού

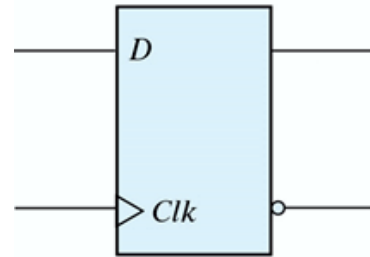
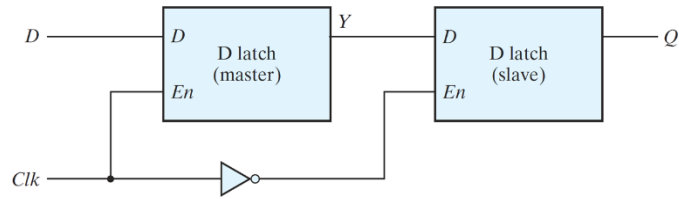
- Οι είσοδοι του flip-flop προετοιμάζουν την αλλαγή κατάστασης του, η οποία πραγματοποιείται με το θετικό ή αρνητικό μέτωπο του παλμού του ρολογιού.
- Η μετάβαση **από το "0" στο "1"** ονομάζεται **θετική μετάβαση** (Positive Going Transition - PGT) ή μετάβαση ανόδου ή θετική ακμή (positive edge) ή θετικό μέτωπο.
- Η μετάβαση **από το "1" στο "0"** ονομάζεται **αρνητική μετάβαση** (Negative Going Transition - NGT) ή μετάβαση καθόδου ή αρνητική ακμή (negative edge) ή αρνητικό μέτωπο.



Οι τύποι των Flip - Flops



Flip - Flop τύπου D



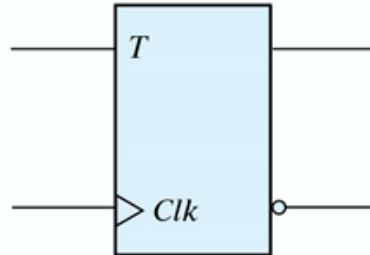
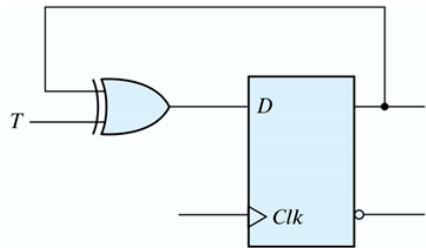
D Flip-Flop

D	Q(t + 1)
0	0 Reset
1	1 Set

Χαρακτηριστική εξίσωση

$$Q(t+1) = D$$

Flip - Flop τύπου T



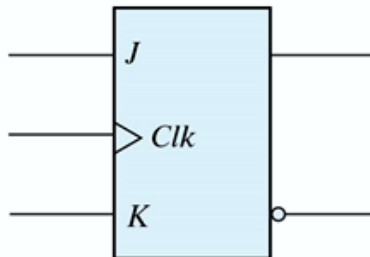
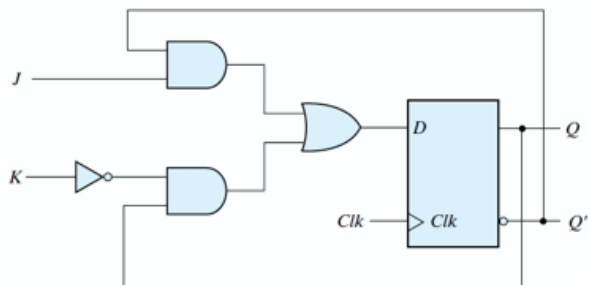
T Flip-Flop

T	Q(t + 1)
0	Q(t) No change
1	Q'(t) Complement

Χαρακτηριστική εξίσωση

$$Q(t+1) = T \oplus Q = T Q' + T' Q$$

Flip - Flop τύπου JK



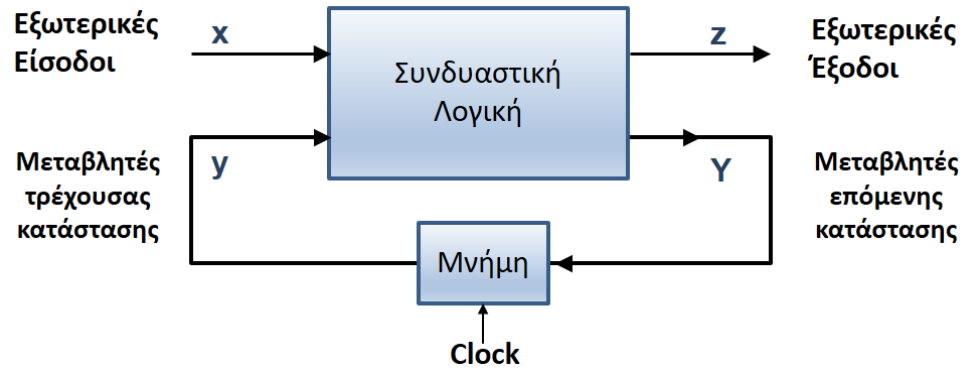
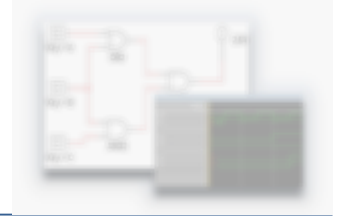
JK Flip-Flop

J	K	Q(t + 1)
0	0	Q(t) No change
0	1	0 Reset
1	0	1 Set
1	1	Q'(t) Complement

Χαρακτηριστική εξίσωση

$$Q(t+1) = J Q' + K' Q$$

Διάγραμμα Καταστάσεων

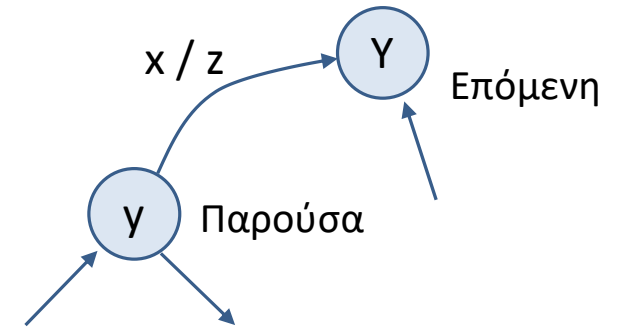


Εξισώσεις Εξόδων

$$z = f(x, y)$$

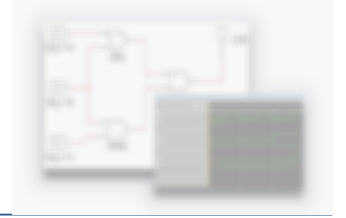
$$Y = g(x, y)$$

x/z = Input/Output

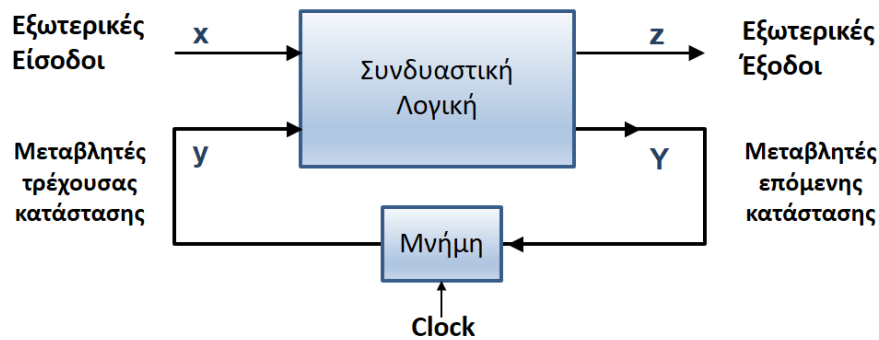


- Οι εξισώσεις περιγράφουν πλήρως το ακολουθιακό κύκλωμα αλλά δεν βοηθάνε στην κατανόηση της λειτουργίας του.
- Το **διάγραμμα καταστάσεων** είναι μια γραφική παράσταση της λειτουργίας του ακολουθιακού κυκλώματος, στο οποίο οι καταστάσεις του κυκλώματος παριστάνονται με κύκλους και οι μεταβάσεις από κατάσταση σε κατάσταση με βέλη. Κάθε βέλος σηματοδοτείται με την είσοδο x που την προκαλεί και την έξοδο z που την συνοδεύει

Πίνακας Καταστάσεων



- Ο **πίνακας καταστάσεων** είναι ένας άλλος τρόπος περιγραφής του ακολουθιακού κυκλώματος ισοδύναμος με το διάγραμμα καταστάσεων.



Είσοδος

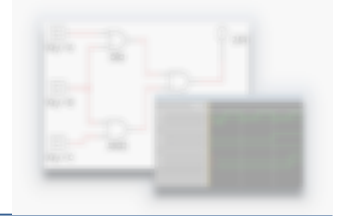
Παρούσα Κατάσταση

	x	0	1
y		$\dots 0$	$\dots 1$
0		\dots / \dots	\dots / \dots
1		\dots / \dots	Y/z

Εξόδος

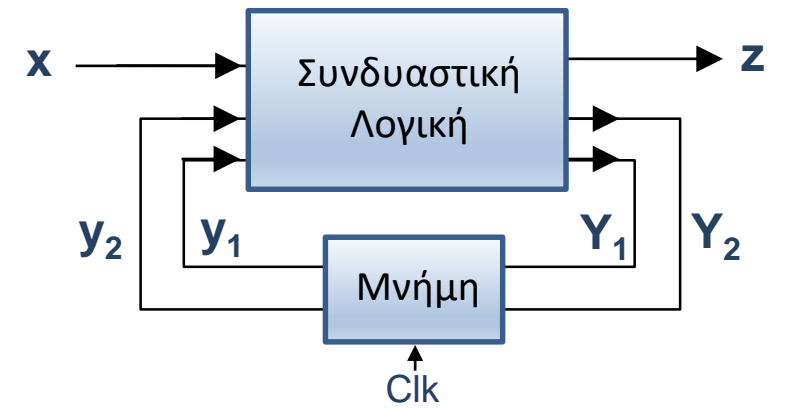
Επόμενη Κατάσταση

Παράδειγμα Ακολουθιακού Κυκλώματος

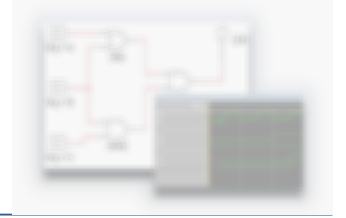


- Έστω ότι έχουμε ένα ακολουθιακό κύκλωμα με:
 - 1 είσοδο x
 - 1 έξοδο z
 - 4 καταστάσεις λειτουργίας.
- Απαιτούνται 2 μεταβλητές παρούσας κατάστασης y_1, y_2 .
- Έστω $\mathbf{y} = [y_1 \ y_2]$
- Συμβολίζουμε τις 4 καταστάσεις ως εξής:

$$\mathbf{A}=[00] \quad \mathbf{B}=[01] \quad \mathbf{C}=[10] \quad \mathbf{D}=[11]$$

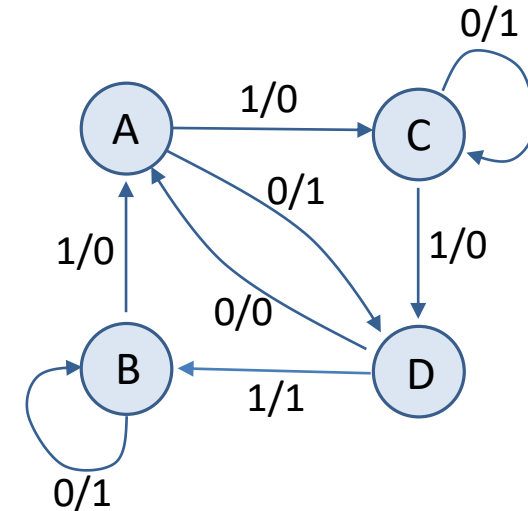


Μοντέλο MEALY



- Έστω επίσης ότι ο **πίνακας** και το **διάγραμμα καταστάσεων** του κυκλώματος έχουν ως εξής:
- Το συγκεκριμένο διάγραμμα καταστάσεων ακολουθεί το μοντέλο **Mealy**.
- Το μοντέλο Mealy λέγεται και μοντέλο μετάβασης γιατί η έξοδος του κυκλώματος εξαρτάται τόσο από την παρούσα κατάσταση όσο και από την είσοδο του κυκλώματος ή (ισοδύναμα) την επόμενη κατάσταση στην οποία μεταβαίνει.

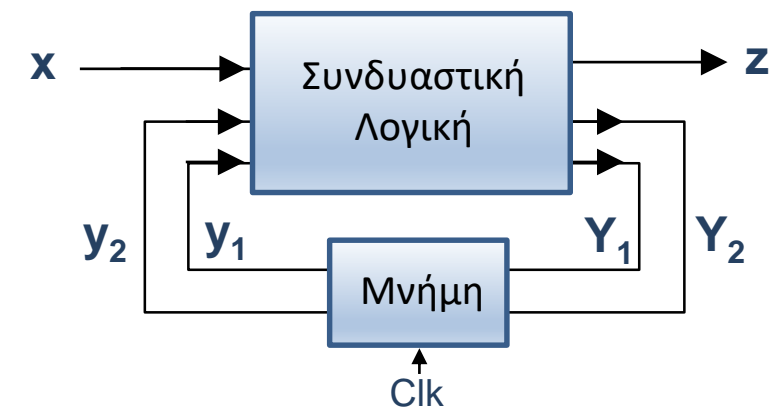
y \ x	0	1
A	D/1	C/0
B	B/1	A/0
C	C/1	D/0
D	A/0	B/1



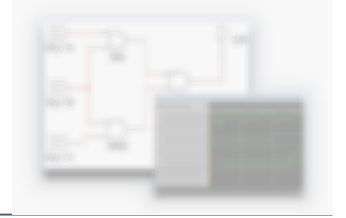
Εξισώσεις Εξόδων

$$z = f(x, y)$$

$$Y = g(x, y)$$

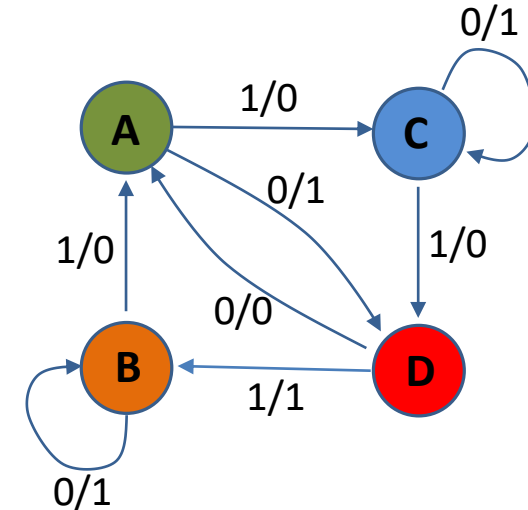


Μοντέλο MEALY

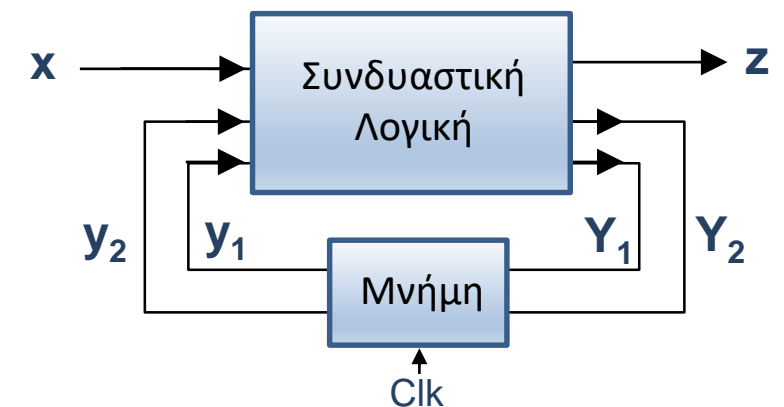


- Έστω ότι στην είσοδο x εφαρμόζεται η ακολουθία δυαδικών συμβόλων: $x = 01100\ 10110$
- Αν το κύκλωμα είναι αρχικά στην κατάσταση A που θα βρεθεί στο τέλος της ακολουθίας εισόδου??

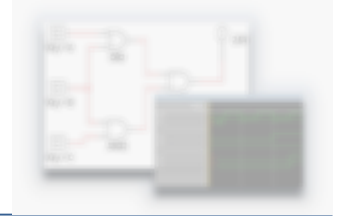
$y \backslash x$	0	1
A	D/1	C/0
B	B/1	A/0
C	C/1	D/0
D	A/0	B/1



Παρούσα κατάσταση	A	D	B	A	D	A	C	C	D	B
Είσοδος	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0
Επόμενη κατάσταση	D	B	A	D	A	C	C	D	B	B
Έξοδος	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1
Χρονικό διάστημα	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

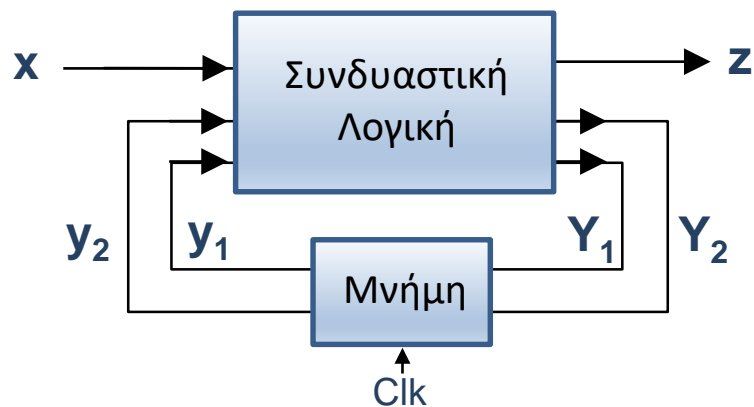


Μοντέλο MOORE



- Ένας άλλος τύπος διαγράμματος ο οποίος είναι κατάλληλος για ακολουθιακά κυκλώματα των οποίων η έξοδος εξαρτάται μόνο από την παρούσα κατάσταση είναι το διάγραμμα που ακολουθεί το μοντέλο **Moore**.
- Έστω τώρα ότι ο **πίνακας** και το **διάγραμμα καταστάσεων** του προηγούμενου κυκλώματος έχουν ως εξής:

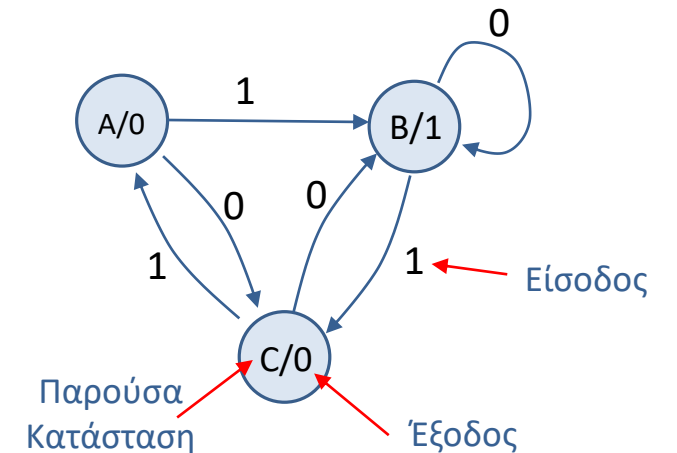
Παρούσα κατάσταση y	Είσοδος x		Έξοδος z
	0	1	
A	C	B	0
B	B	C	1
C	B	A	0



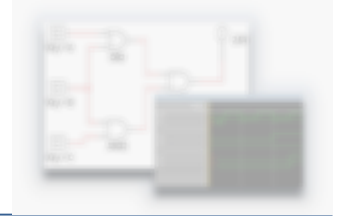
Εξισώσεις Εξόδων

$$z = f(y)$$

$$Y = g(x, y)$$



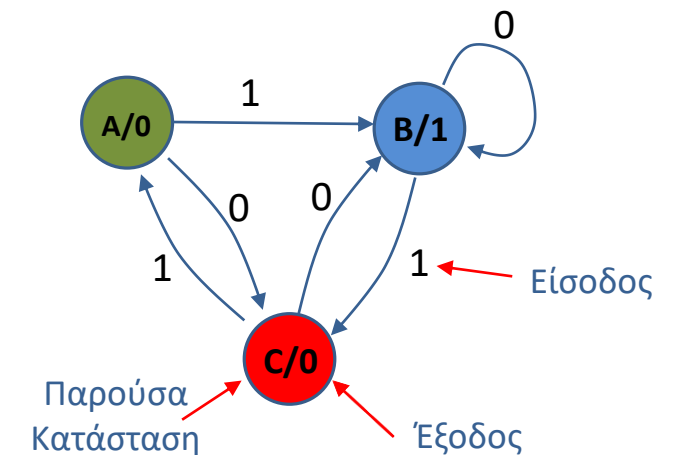
Μοντέλο MOORE



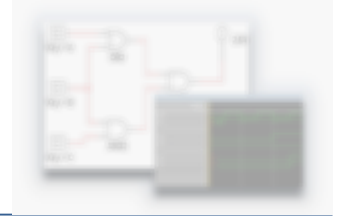
- Έστω ότι στην είσοδο x εφαρμόζεται η ακολουθία δυαδικών συμβόλων: $x = 000111$
- Αν το κύκλωμα είναι αρχικά στην κατάσταση W που θα βρεθεί στο τέλος της ακολουθίας εισόδου??

Παρούσα κατάσταση y	Είσοδος x		Έξοδος z
	0	1	
A	C	B	0
B	B	C	1
C	B	A	0

Παρούσα κατάσταση	A	C	B	B	C	A
Έξοδος	0	0	1	1	0	0
Είσοδος	0	0	0	1	1	1
Επόμενη κατάσταση	C	B	B	C	A	B
Χρονικό διάστημα	1	2	3	4	5	6

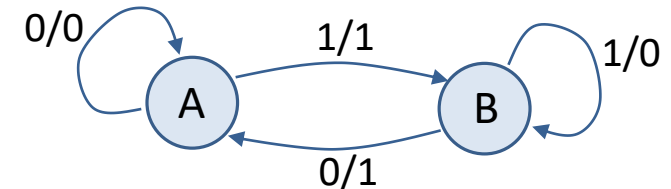
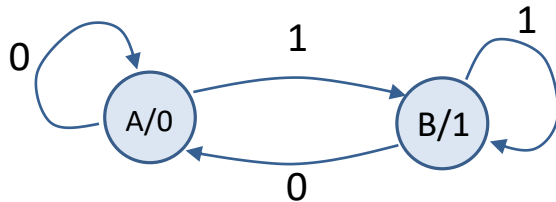
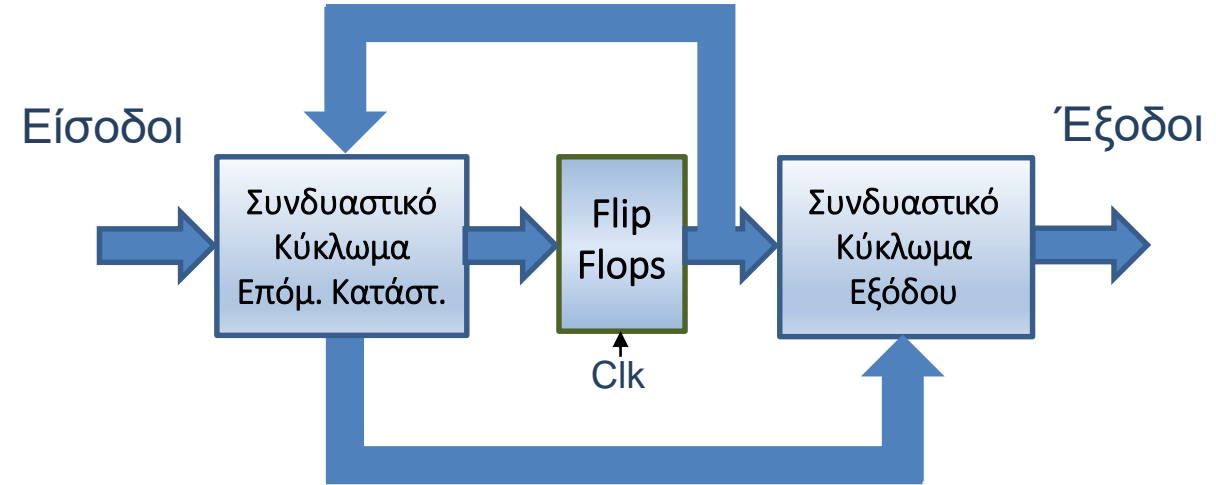
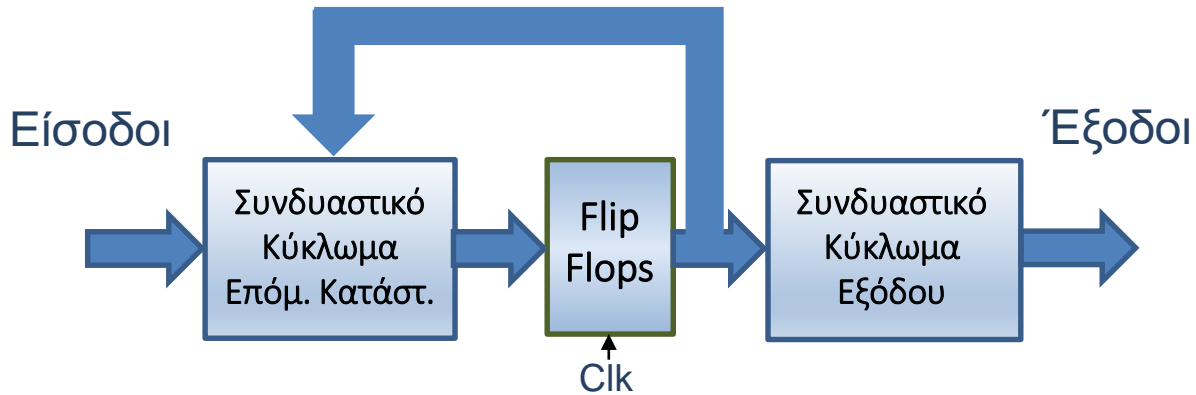


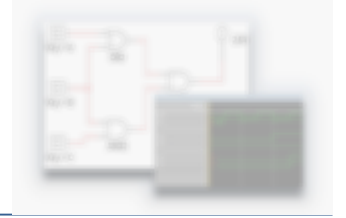
Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα



- **Μοντέλο Moore:** Οι έξοδοι είναι συναρτήσεις της παρούσας κατάστασης μόνο

- **Μοντέλο Mealy:** Οι έξοδοι είναι συναρτήσεις τόσο της παρούσας κατάστασης όσο και των εισόδων





Πίνακες Διέγερσης

- Κατά τη σχεδίαση ακολουθιακών κυκλωμάτων συνήθως γνωρίζουμε τη μετάβαση από την τρέχουσα στην επόμενη κατάσταση και **θέλουμε να βρούμε τις συνθήκες εισόδου των FF's**
- Οι χαρακτηριστικοί πίνακες FF μας δίνουν την επόμενη κατάσταση του FF συναρτήσει των τιμών των εισόδων τους.
- Οι πίνακες διέγερσης FF μας δίνουν τις τιμές που πρέπει να πάρουν οι είσοδοι για να έχουμε μια ορισμένη μετάβαση καταστάσεως

D-FF

Q(t)	Q(t+1)	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

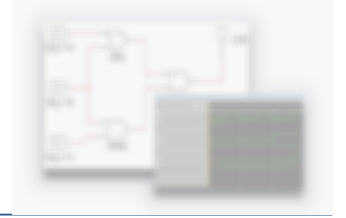
T-FF

Q(t)	Q(t+1)	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

JK-FF

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Σχεδίαση Ακολουθιακών Κυκλωμάτων



1. Φραστική Περιγραφή Απαιτήσεων, Διάγραμμα Καταστάσεων
2. Δημιουργία Πίνακα Καταστάσεων
3. (Ελαχιστοποίηση Καταστάσεων)
4. Κωδικοποίηση Καταστάσεων με δυαδικές τιμές
5. Εύρεση αριθμού flip-flop και ονομασία τους
6. Επιλογή τύπου flip-flop
7. Από πίνακα καταστάσεων -> Πίνακας Διέγερσης του κυκλώματος
8. Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)
9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος

Παράδειγμα 1 - Simple Traffic Lights

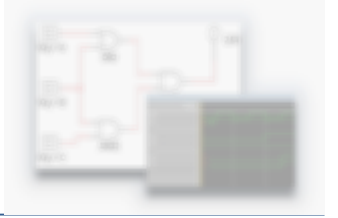
1. Φραστική Περιγραφή Απαιτήσεων, Διάγραμμα Καταστάσεων

- Να σχεδιαστεί ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα το οποίο θα περιγράψει μια απλοποιημένη λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών σε έναν κόμβο.
- Θα έχει 5 σήματα εξόδου τα οποία θα είναι τα εξής:
 - Πράσινο των οχημάτων -> **G**
 - Πορτοκαλί των οχημάτων -> **Y**
 - Κόκκινο των οχημάτων -> **R**
 - Πράσινο των πεζών -> **Go**
 - Κόκκινο των πεζών -> **Wait**
- Χωρίς σήματα εισόδου.
- Οι καταστάσεις λειτουργίας θα είναι 3 και θα αλλάζουν σε κάθε παλμό του ρολογιού:

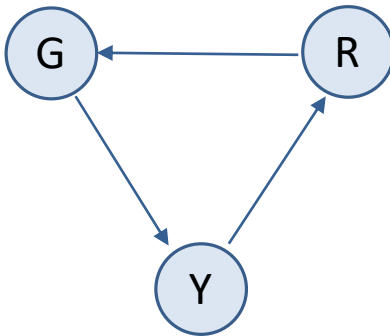
G -> Y -> R και πάλι από την αρχή

Simple Traffic Lights

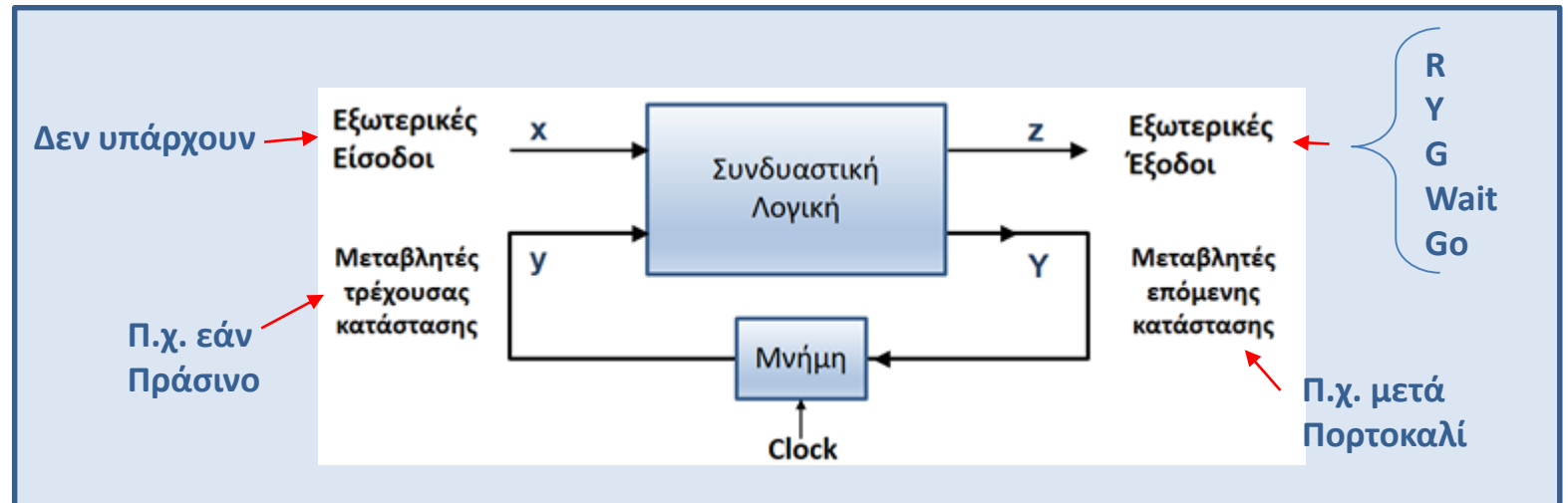
1. Φραστική Περιγραφή Απαιτήσεων, Διάγραμμα Καταστάσεων



- Οι καταστάσεις λειτουργίας είναι οι εξής: **G** -> **Y** -> **R** και πάλι από την αρχή
- Κατασκευή του **Διαγράμματος Καταστάσεων** του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος

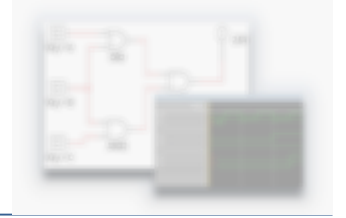


- Το κύκλωμα δεν έχει εισόδους. (ουσιαστικά είναι ένας μετρητής)
- Στο διάγραμμα δεν αναπαρίστανται οι μεταβλητές εξόδου για λόγους ευκρίνειας!



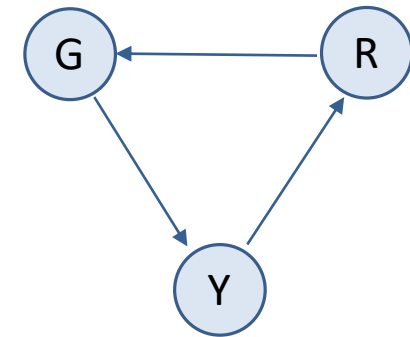
Simple Traffic Lights

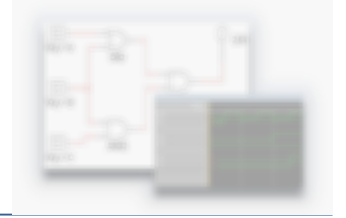
2. Δημιουργία Πίνακα Καταστάσεων



➤ Κατασκευή του **Πίνακα Καταστάσεων** του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος

Παρούσα κατάσταση	Επόμενη κατάσταση	Έξοδος				
		G	Y	R	Wait	Go
G	Y	1	0	0	1	0
Y	R	0	1	0	1	0
R	G	0	0	1	0	1





Simple Traffic Lights

➤ Ελαχιστοποίηση των καταστάσεων

- Από τον Πίνακα Καταστάσεων προκύπτει ότι δεν υπάρχουν ισοδύναμες καταστάσεις. Επομένως, δεν γίνεται παραπέρα ελαχιστοποίηση καταστάσεων.

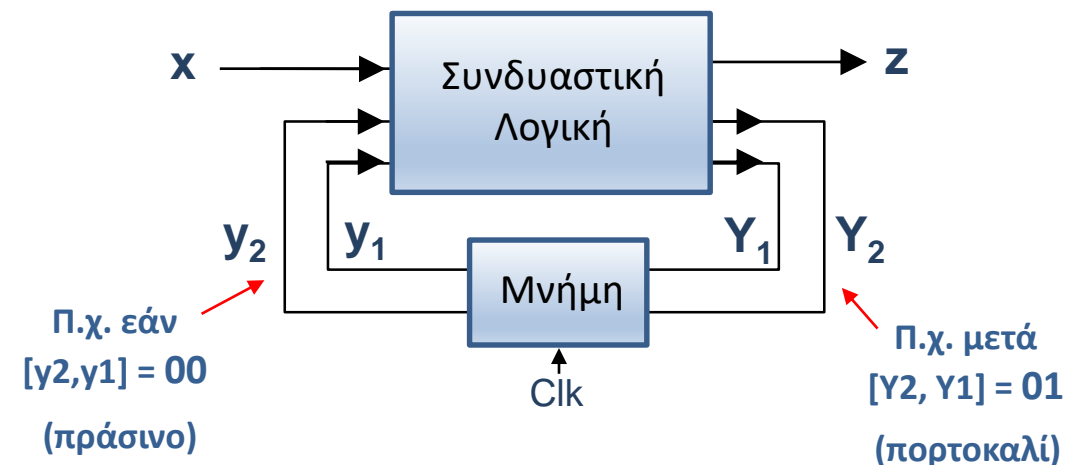
➤ Κωδικοποίηση Καταστάσεων με δυαδικές τιμές

- Υπάρχουν 3 καταστάσεις, άρα απαιτούνται **δύο μεταβλητές** για την καταγραφή τους. Έστω οι μεταβλητές A και B με κωδικοποίηση:

G : AB = 00

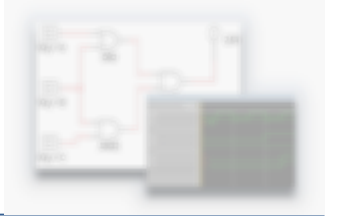
Y : AB = 01

R : AB = 10



Simple Traffic Lights

5. Εύρεση αριθμού flip-flop και ονομασία τους

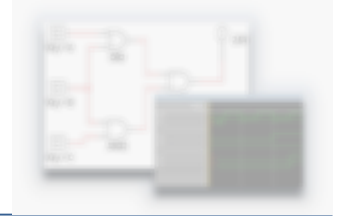


➤ Εύρεση αριθμού flip-flop και ονομασία τους

- Το Σύγχρονο Ακολουθιακό Κύκλωμα έχει τρεις (3) καταστάσεις ($n=3$).
 - Υπενθυμίζεται ότι για n καταστάσεις απαιτούνται $\lceil \log_2 n \rceil$ flip-flop ή ισοδύναμα όταν το πλήθος των καταστάσεων $\in [2^{n-1}+1, 2^n]$ τότε απαιτούνται n flip-flop.
 - Επομένως, απαιτούνται δύο (2) flip-flop ($\log_2 3 = 1.58$).
- Τα ονομάζουμε **FF-A** και **FF-B**.

Simple Traffic Lights

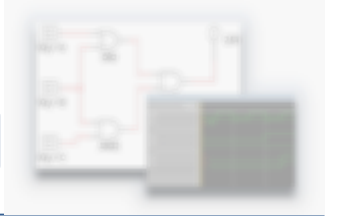
6. Επιλογή τύπου flip-flop



- **Επιλογή του τύπου των flip-flop που θα χρησιμοποιηθούν**
 - Γίνεται η επιλογή να χρησιμοποιηθούν **D flip-flop** στη σχεδίαση του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος.

Simple Traffic Lights

7. Από πίνακα καταστάσεων -> Πίνακας Διέγερσης του κυκλώματος



➤ Πίνακας Καταστάσεων με τις κωδικοποιημένες καταστάσεις

G : AB = 00

Y : AB = 01

R : AB = 10

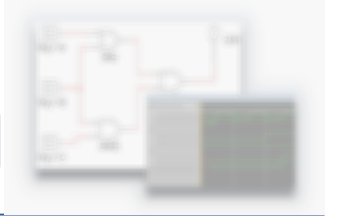
Παρούσα κατάσταση	Επόμενη κατάσταση	Έξοδος				
		G	Y	R	Wait	Go
G	Y	1	0	0	1	0
Y	R	0	1	0	1	0
R	G	0	0	1	0	1



Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Έξοδος				
A	B	A	B	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X

Simple Traffic Lights

7. Από πίνακα καταστάσεων -> Πίνακας Διέγερσης του κυκλώματος



➤ Πίνακας Διέγερσης του κυκλώματος

Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Πίνακας Διέγερσης D-FF

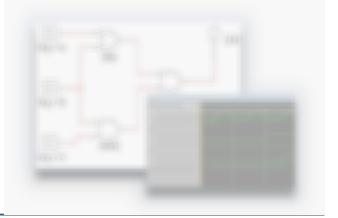
Q(t)	Q(t+1)	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1



- Σημαίνει:
Τι τιμή πρέπει να έχει στη είσοδό του (D) για να πάμε από μια κατάσταση Q(t) σε μια άλλη Q(t+1)
- Δηλαδή, ποια είναι η συνθήκη μετάβασης?!

Simple Traffic Lights

8. Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)

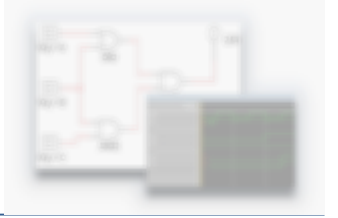


- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι έξοδοι του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
 - Έχουμε 2 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Simple Traffic Lights

8. Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)



- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι έξοδοι του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
 - Έχουμε 2 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

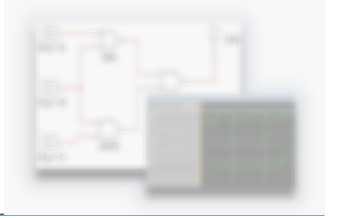
Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$$DA = B$$

Προκύπτει εύκολα στο παράδειγμα αυτό!
Αλλιώς χρειαζόμαστε πίνακες Karnaugh

Simple Traffic Lights

8. Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)



- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι έξοδοι του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
 - Έχουμε 2 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

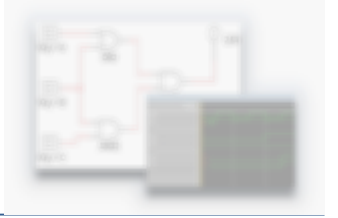
Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$$DA = B$$

$$DB = A'B' = (A + B)'$$

Simple Traffic Lights

8. Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)



- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι έξοδοι του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
 - Έχουμε 2 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

Παρούσα κατάσταση		Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$$DA = B$$

$$DB = A'B' = (A + B)'$$

$$G = A'B' = (A + B)'$$

$$Y = B$$

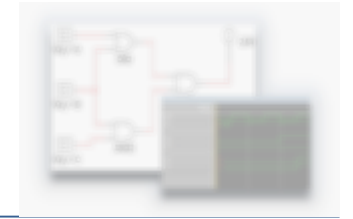
$$R = A$$

$$\text{Wait} = A'$$

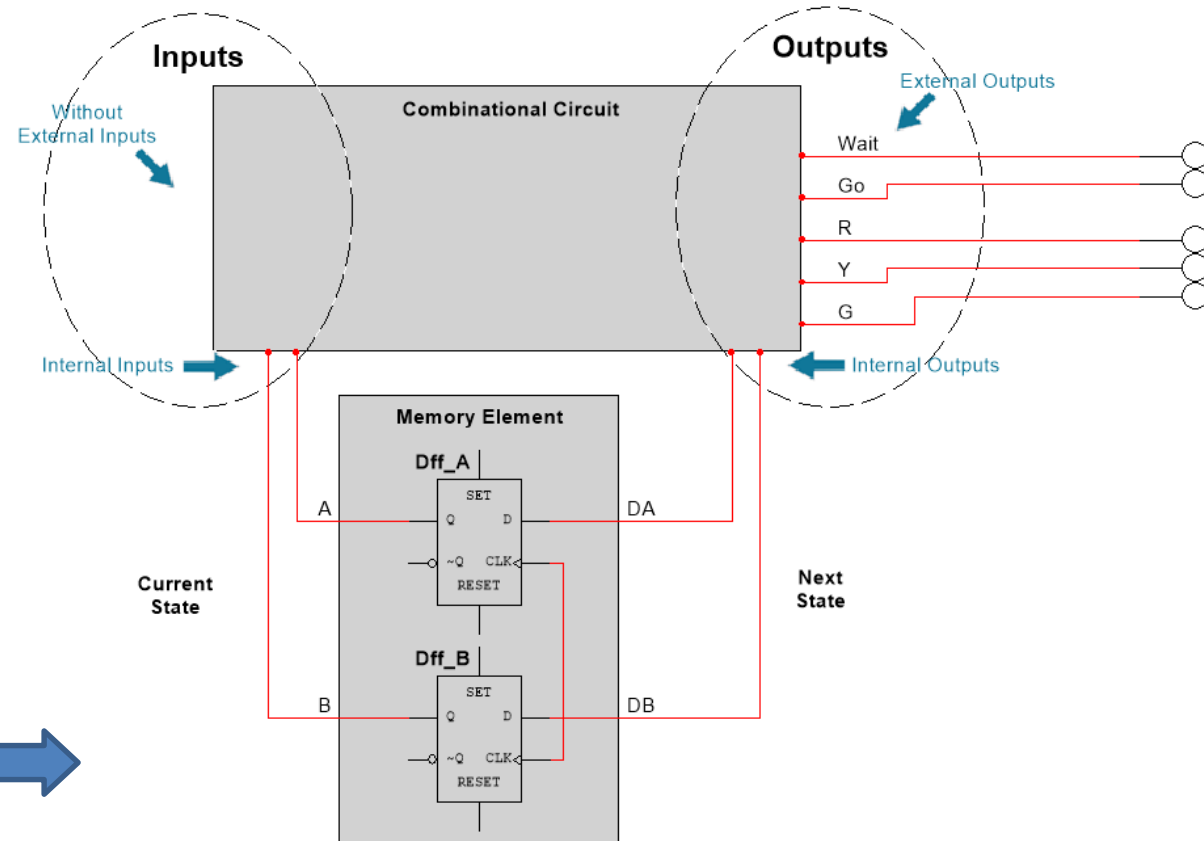
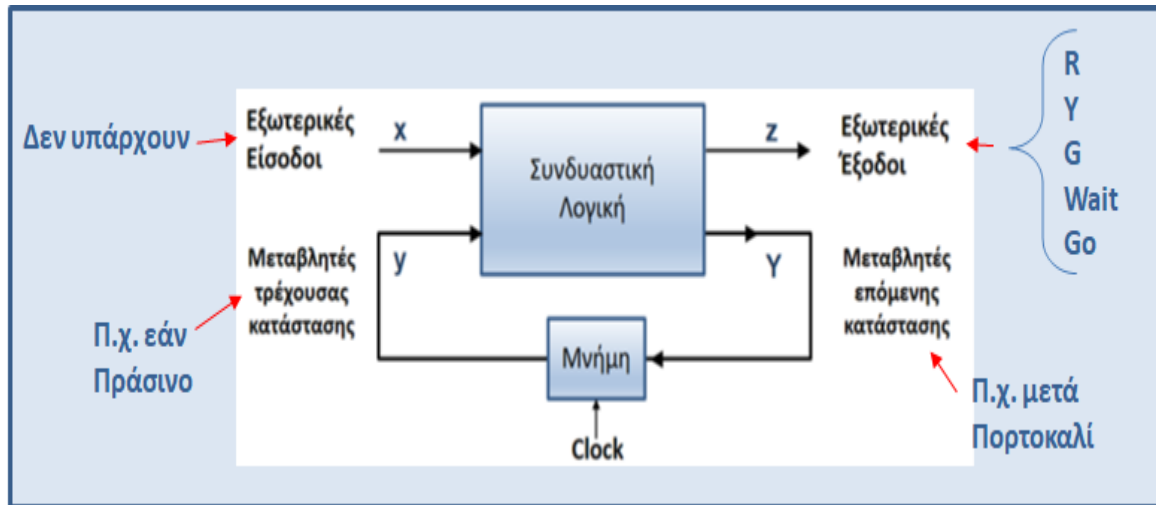
$$\text{Go} = A$$

Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος

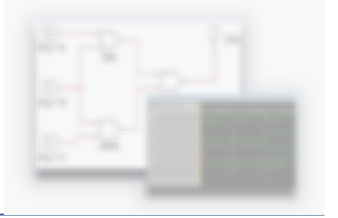


Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

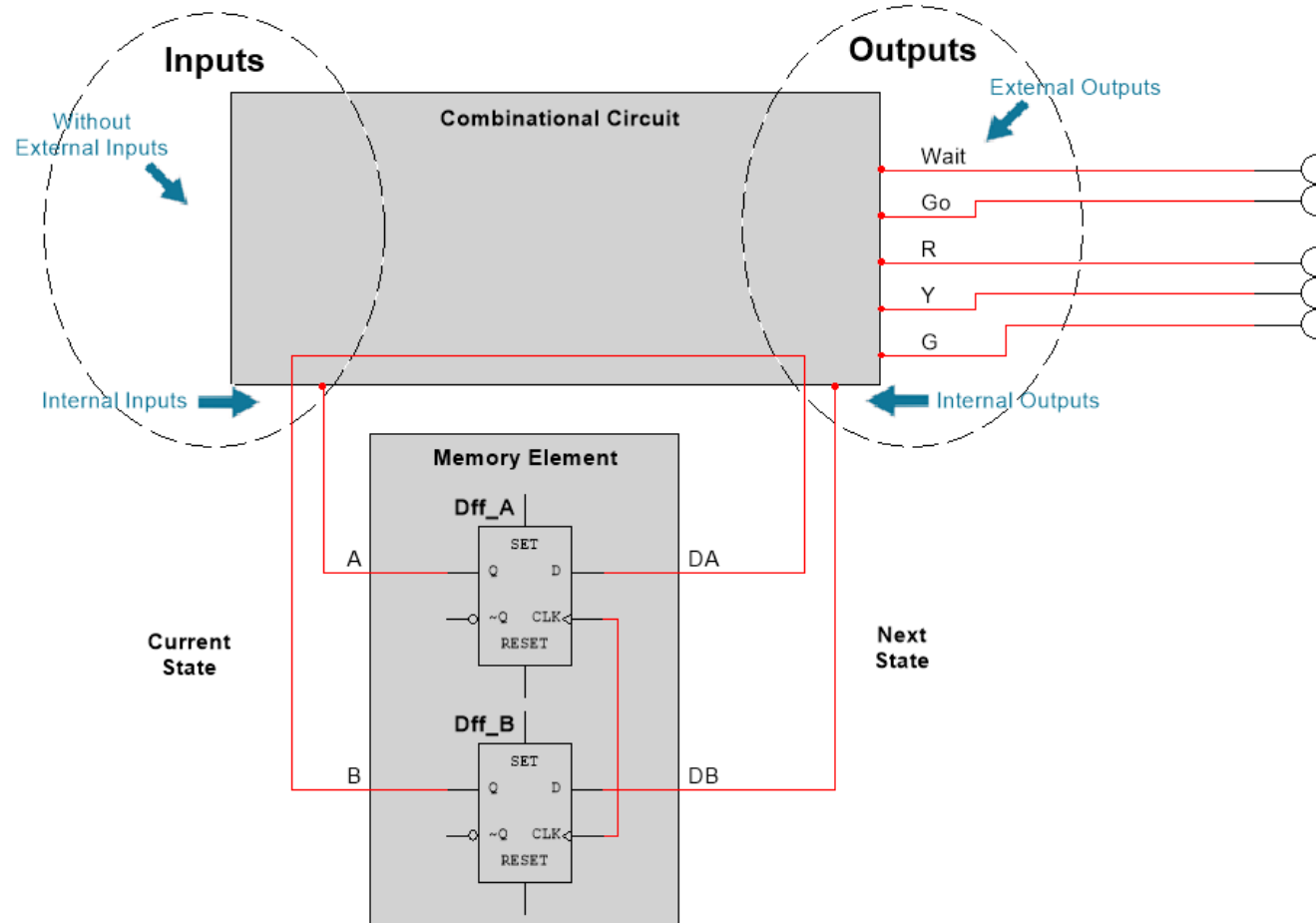
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

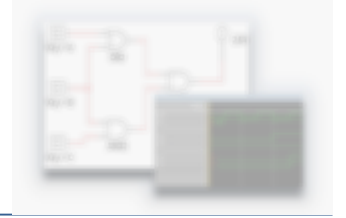
$$\text{Wait} = A'$$

$$\text{Go} = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

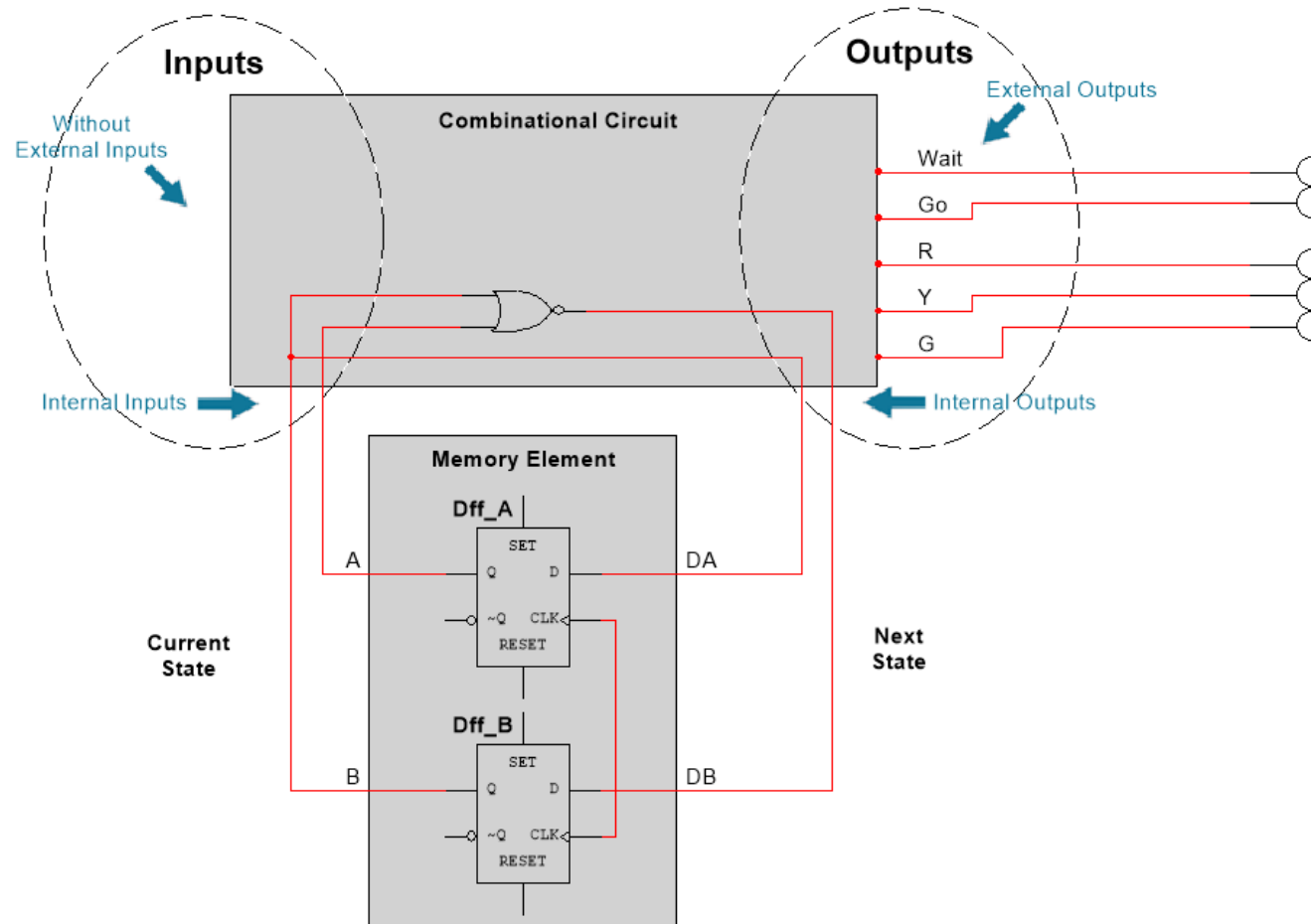
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

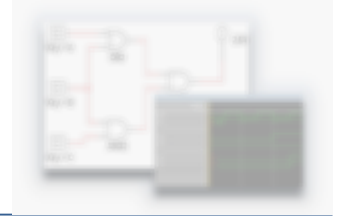
$$Wait = A'$$

$$Go = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

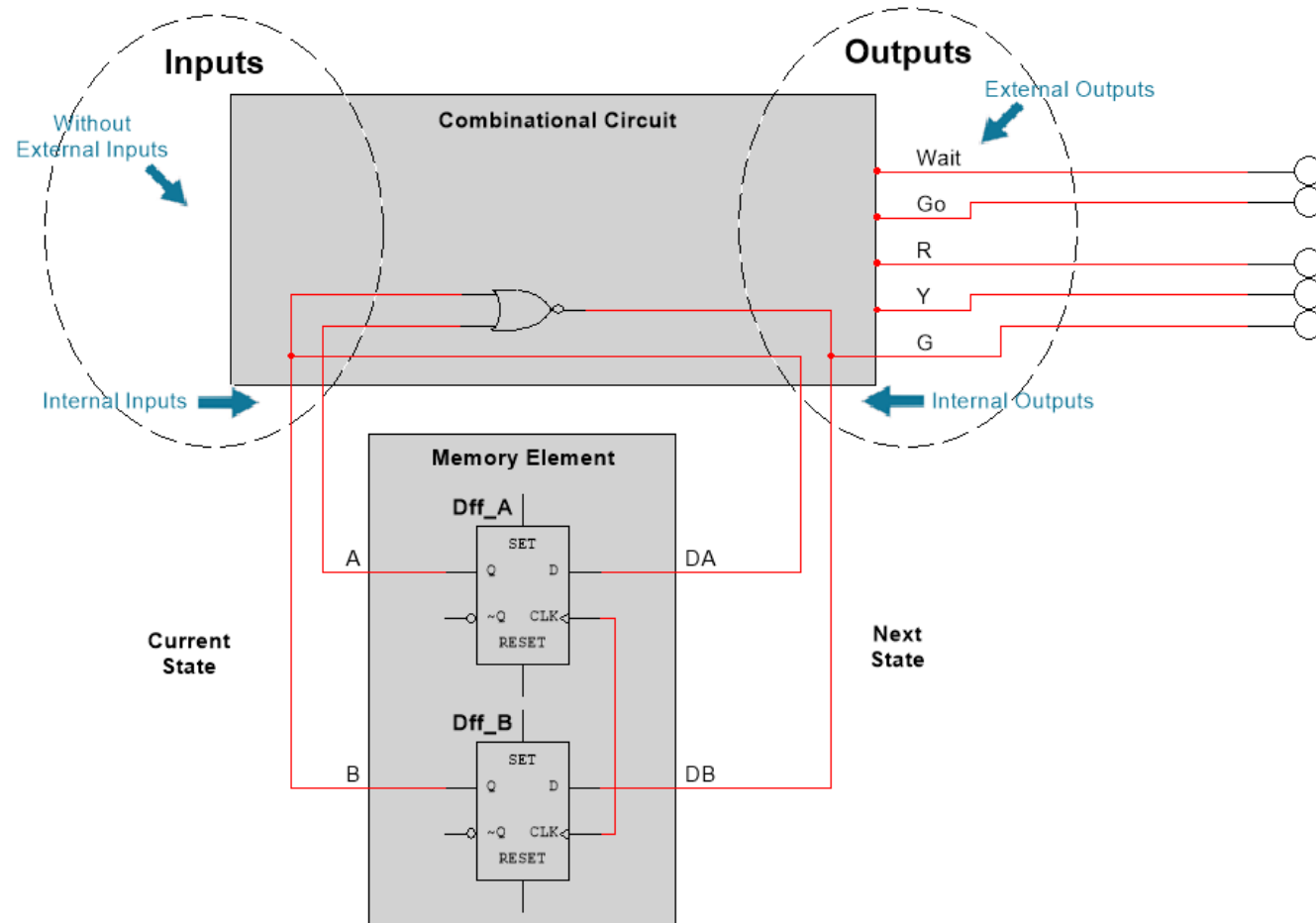
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

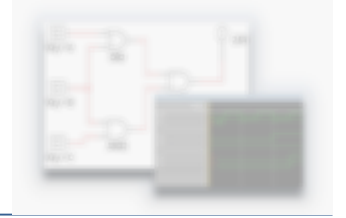
$$Wait = A'$$

$$Go = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

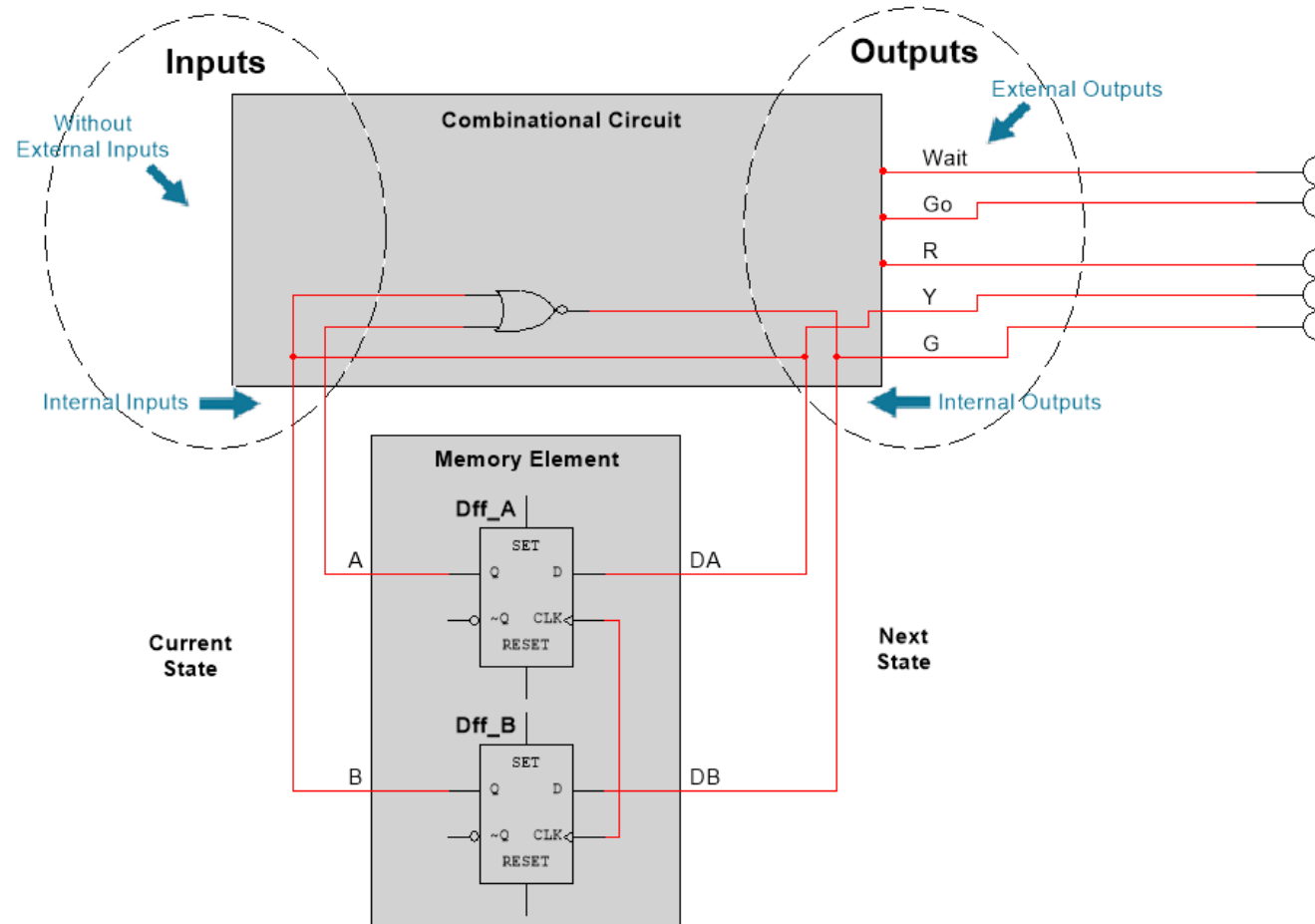
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

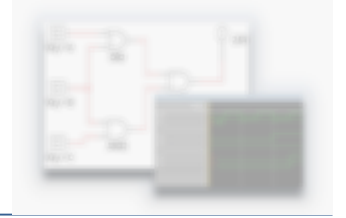
$$Wait = A'$$

$$Go = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

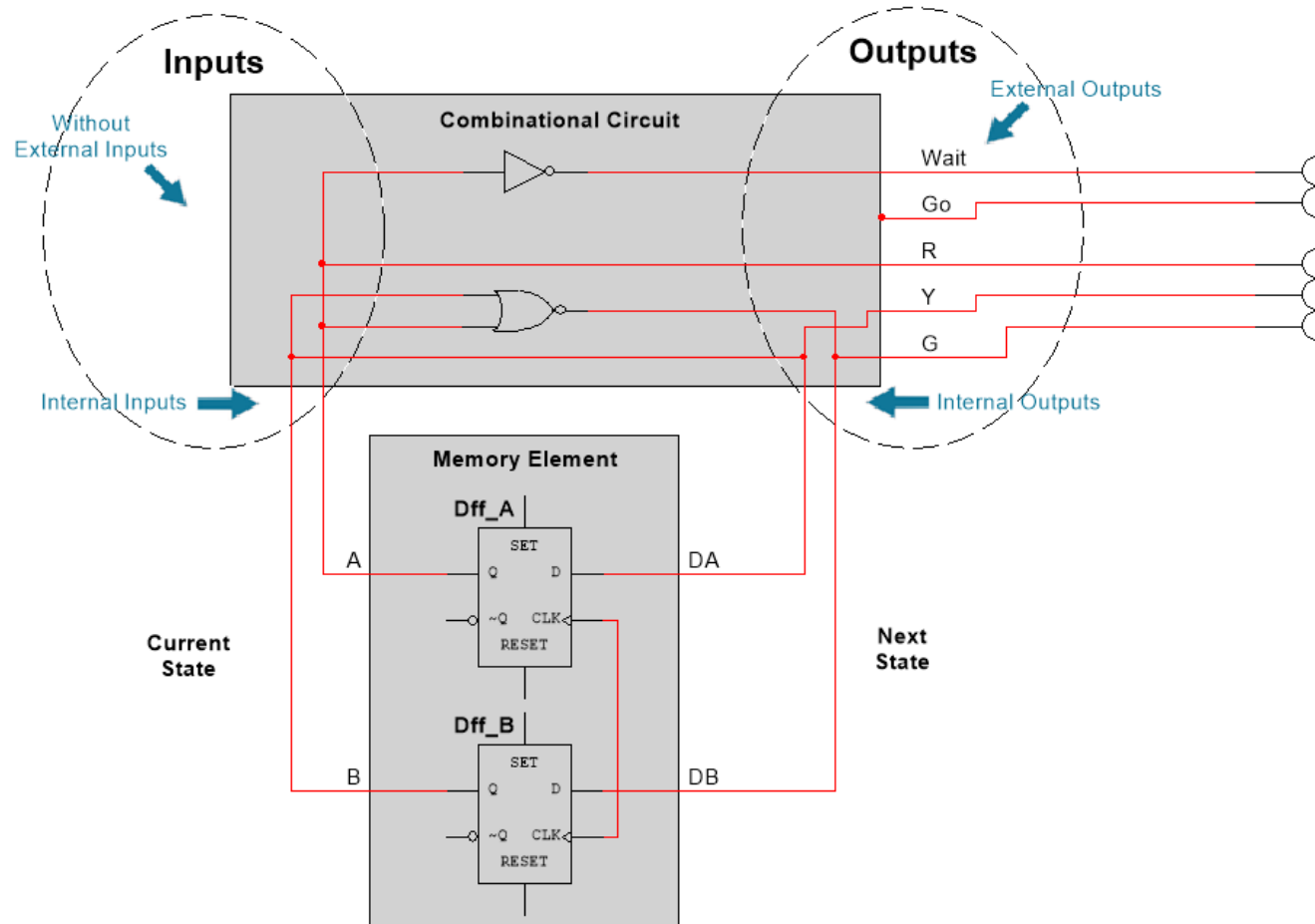
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

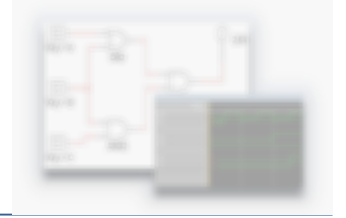
$$\text{Wait} = A'$$

$$Go = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

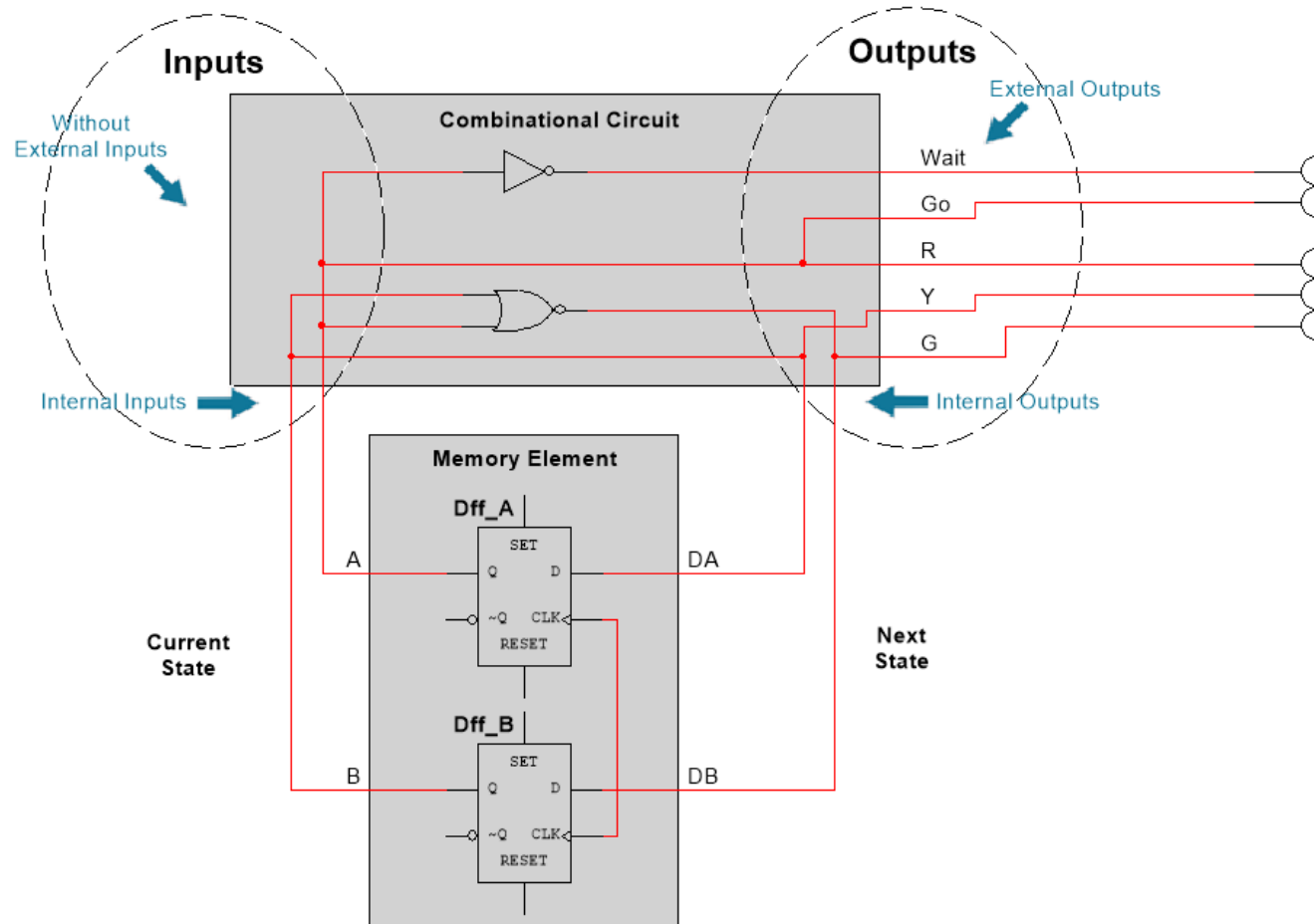
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

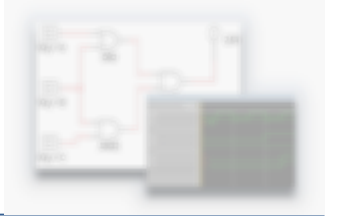
$$Wait = A'$$

$$Go = A$$



Simple Traffic Lights

9. Υλοποίηση του ακολουθιακού κυκλώματος



$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

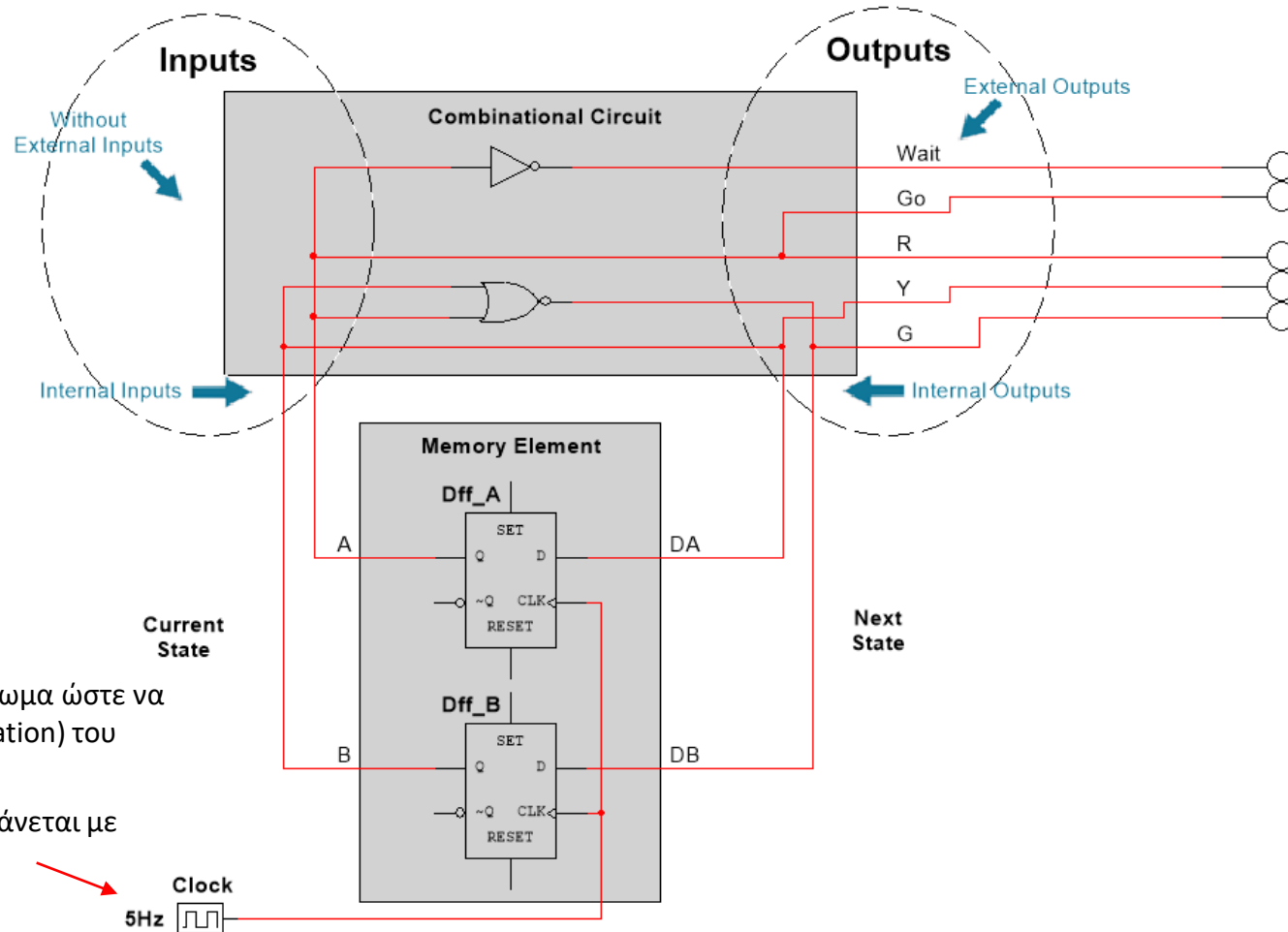
$$R = A$$

$$Wait = A'$$

$$Go = A$$

Τα δύο flip-flop έχουν **κοινό ρολόι** κύκλωμα ώστε να επιτευχθεί ο συγχρονισμός (synchronization) του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος.

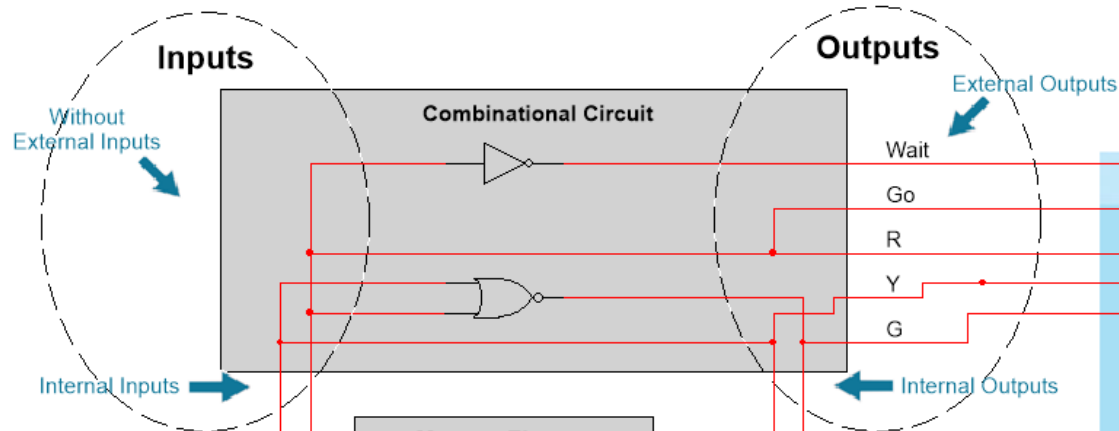
Η ακολουθία των καταστάσεων επιτυγχάνεται με τους παλμούς του ρολογιού.



Simple Traffic Lights

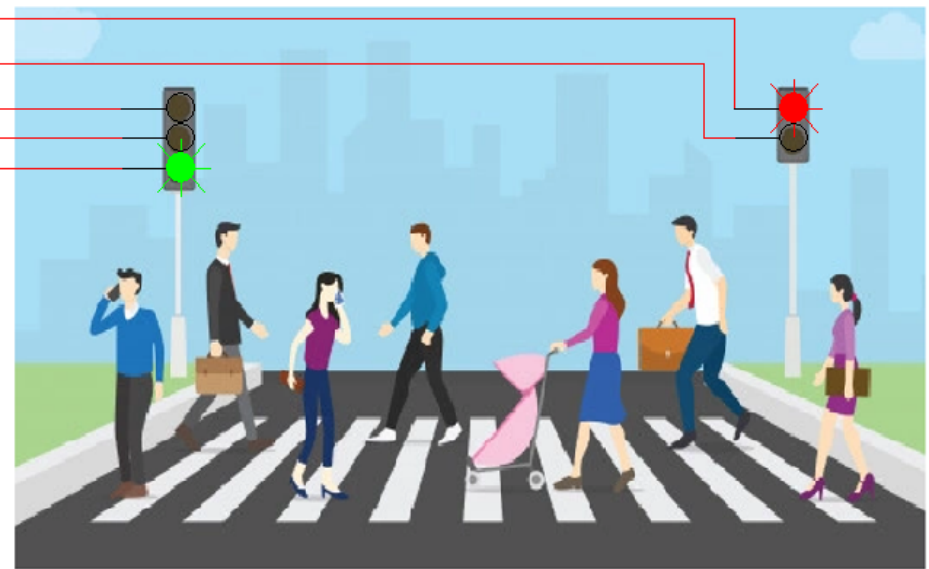


➤ Simulate στο Multisim

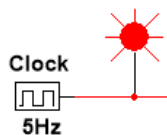


States

G : AB = 00
Y : AB = 01
R : AB = 10



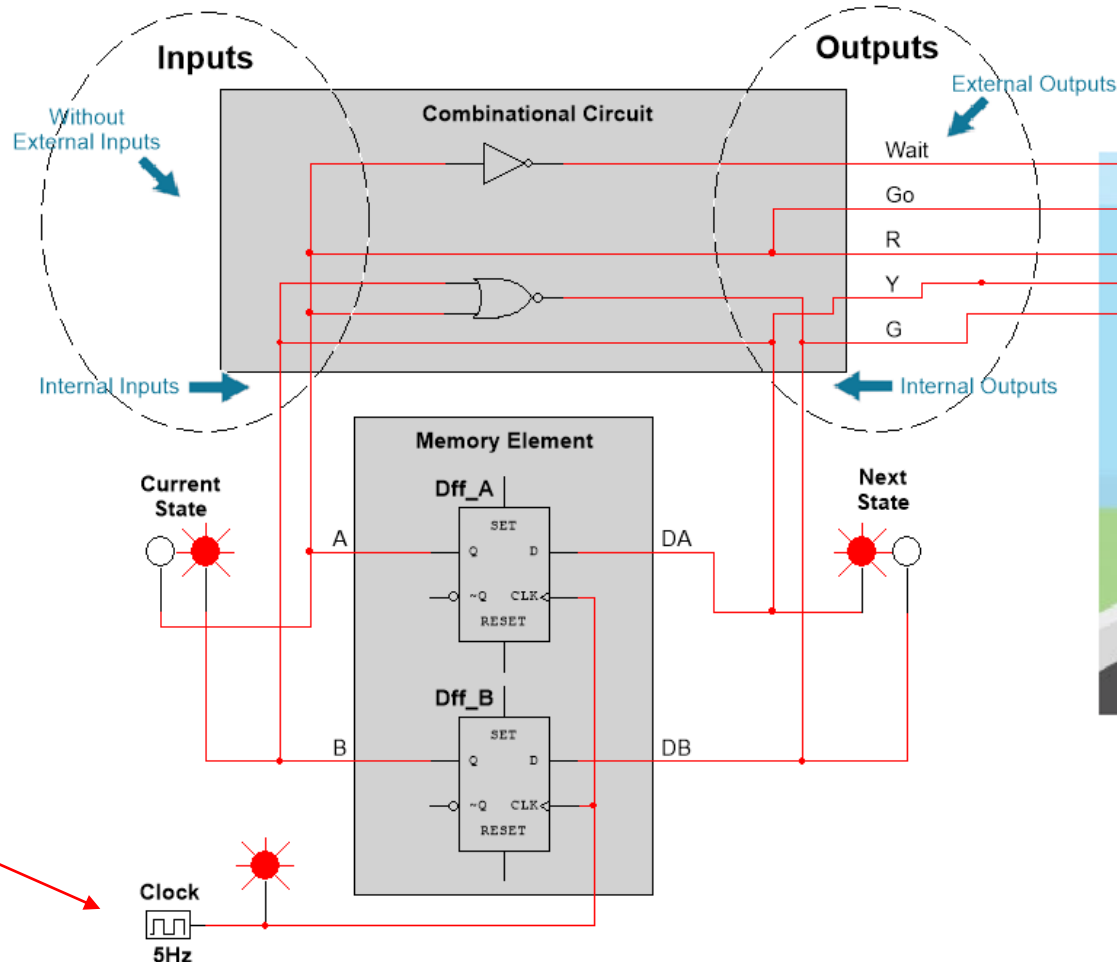
1^{ος} παλμός



Simple Traffic Lights



➤ Simulate στο Multisim

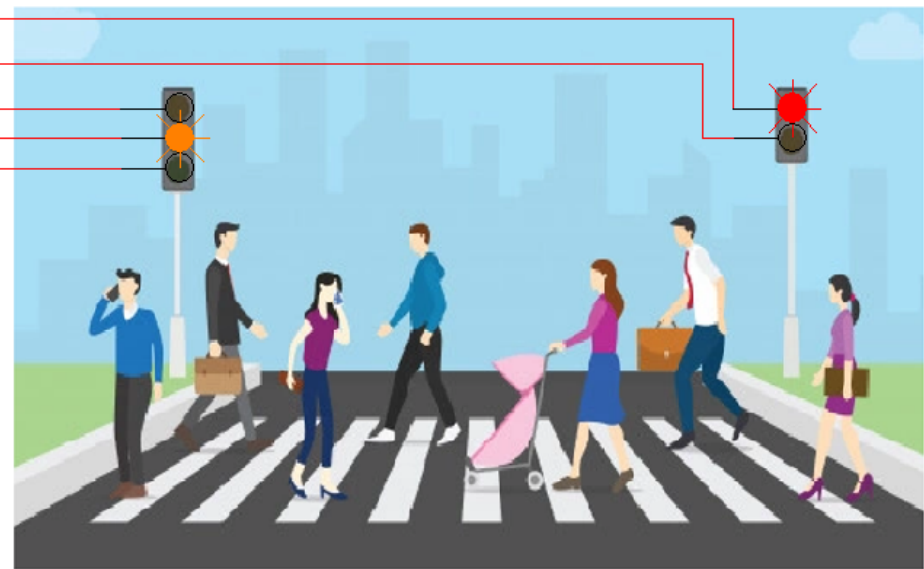


States

G : AB = 00

Y : AB = 01

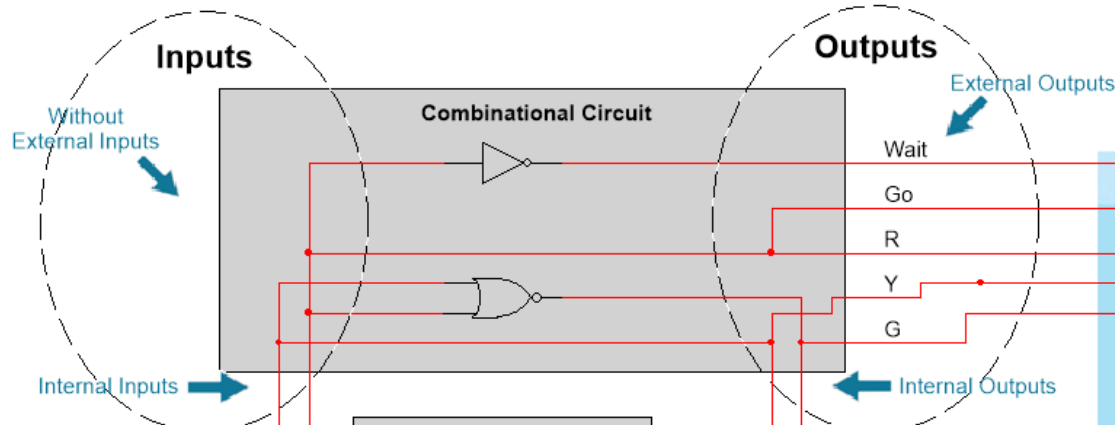
R : AB = 10



Simple Traffic Lights

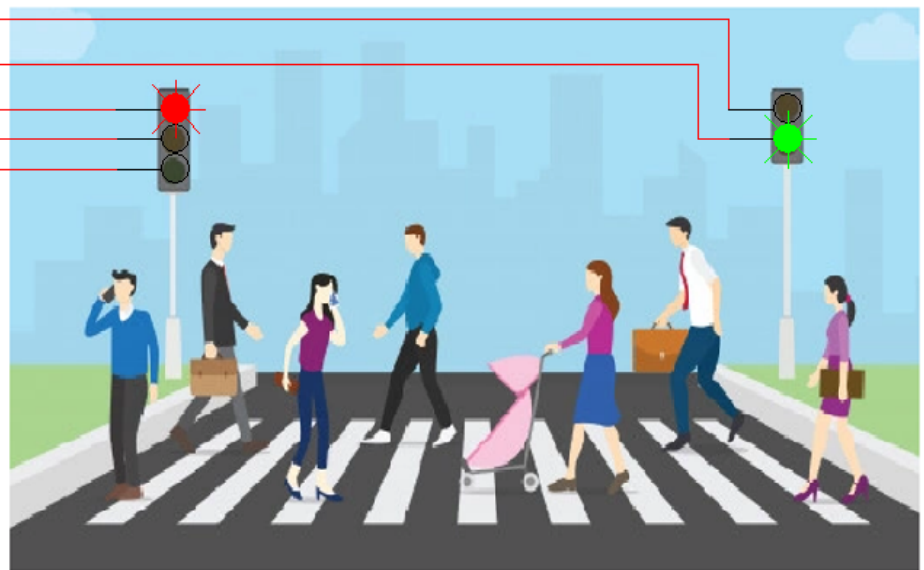


➤ Simulate στο Multisim

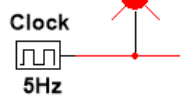


States

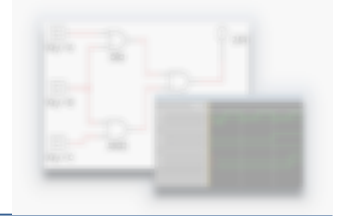
G : AB = 00
Y : AB = 01
R : AB = 10



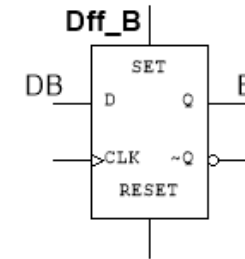
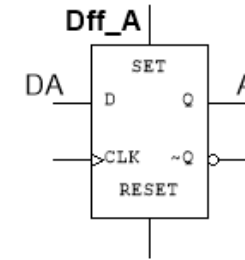
3^{ος} παλμός



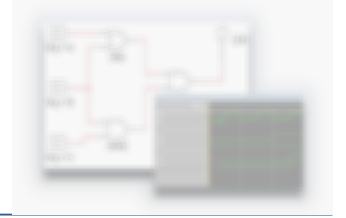
Simple Traffic Lights



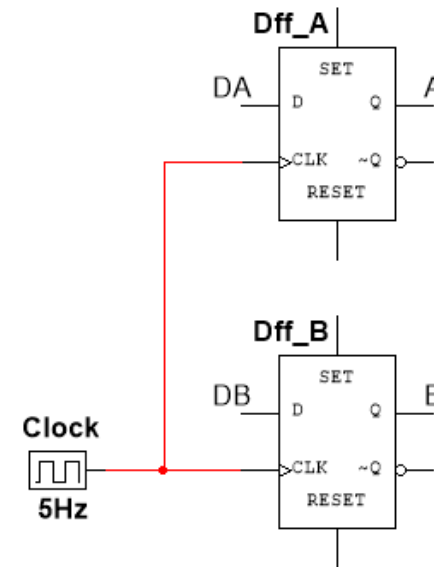
- Πιο απλός τρόπος σχεδίασης
- Αρχικά τοποθετούμε τα flip-flops που χρειαζόμαστε



Simple Traffic Lights



- Συνδέουμε το Clock στα δύο flip-flops



Simple Traffic Lights

- Συνδέουμε μία-μία όλες τις εισόδους των flip-flops

$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

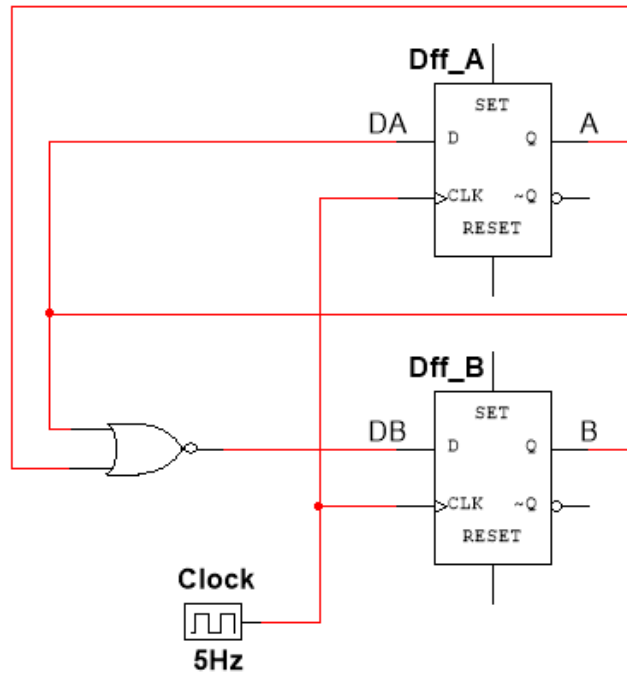
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

$$\text{Wait} = A'$$

$$\text{Go} = A$$



Simple Traffic Lights

- Υλοποιούμε το συνδυαστικό κύκλωμα των εξόδων

$$DA = B$$

$$DB = (A + B)'$$

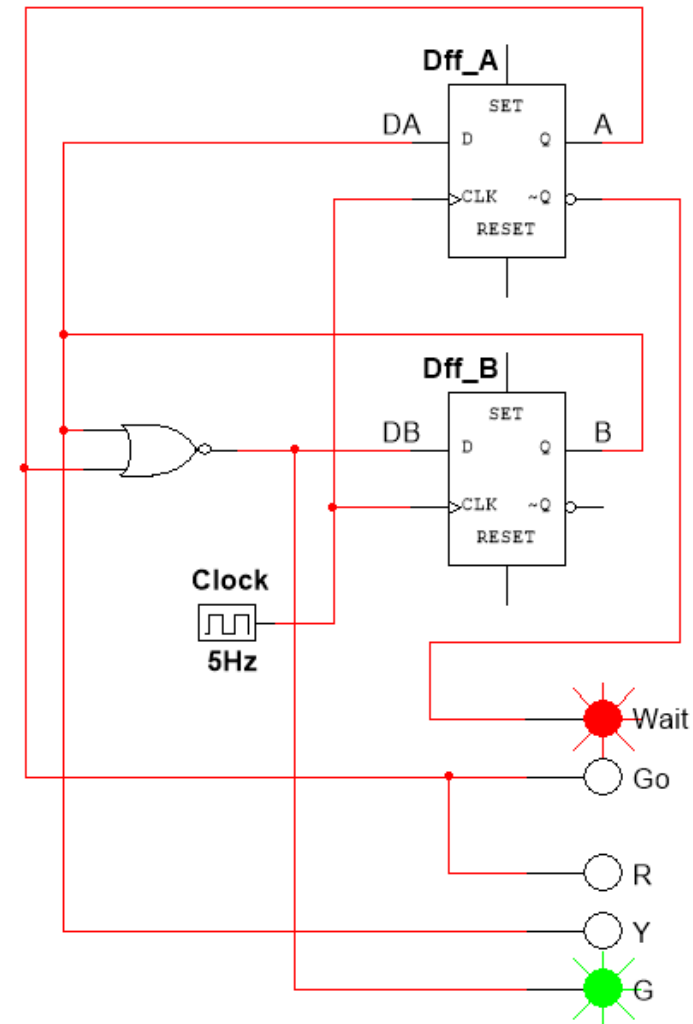
$$G = (A + B)'$$

$$Y = B$$

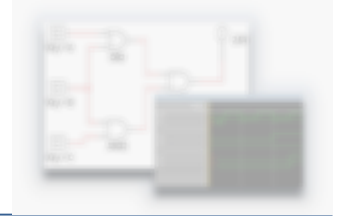
$$R = A$$

$$\text{Wait} = A'$$

$$\text{Go} = A$$

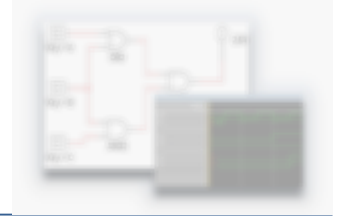


Παράδειγμα 2 - Traffic Lights with Pedestrian Sensor



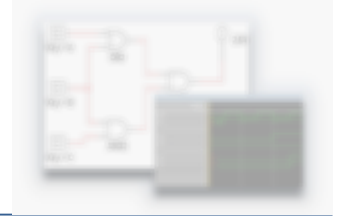
- Να σχεδιαστεί ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα το οποίο θα περιγράφει την λειτουργία των φωτεινών σηματοδοτών σε έναν κόμβο ως εξής:
 - **Όσο δεν υπάρχουν πεζοί** στην διάβαση το φανάρι θα είναι μόνιμα πράσινο για τα αυτοκίνητα και κόκκινο γι' αυτούς.
 - **Όταν το αισθητήριο ανιχνεύσει πεζούς**, το φανάρι θα γίνει πορτοκαλί και έπειτα κόκκινο για τα αυτοκίνητα και πράσινο για τους πεζούς.
 - **Όσο υπάρχουν πεζοί στη διάβαση**, το φανάρι θα παραμένει πράσινο για αυτούς και κόκκινο για τα αυτοκίνητα.
 - Όταν το αισθητήριο δεν ανιχνεύει πια πεζούς, το φανάρι των πεζών θα γίνει κόκκινο και των αυτοκινήτων πράσινο.

Traffic Lights with Pedestrian Sensor

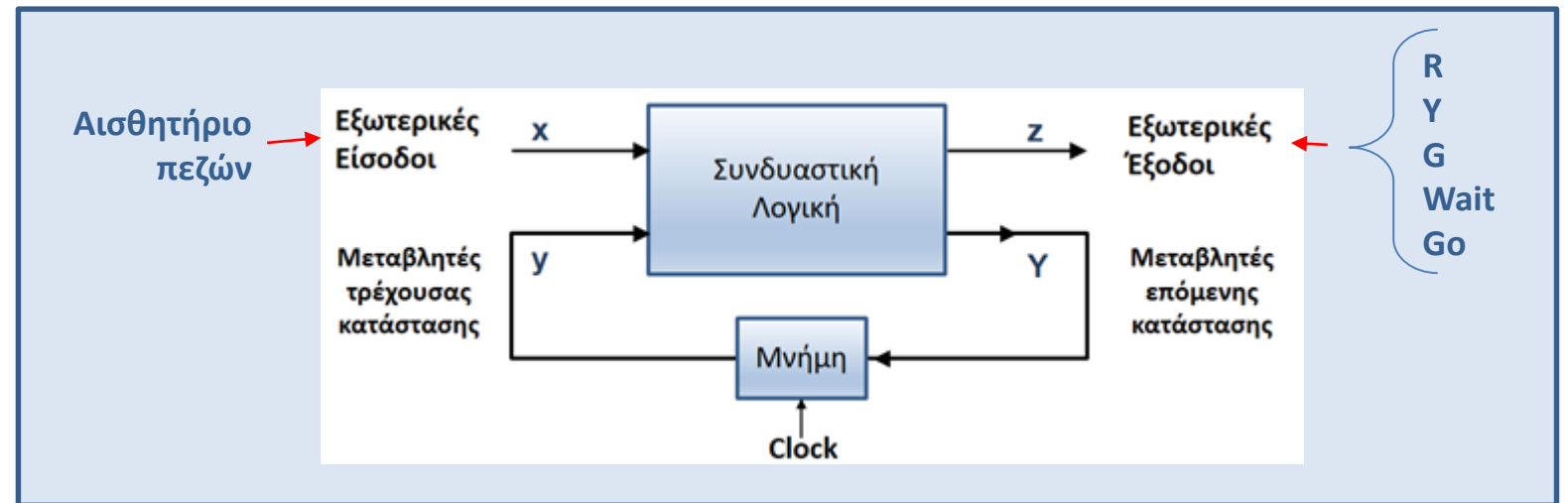
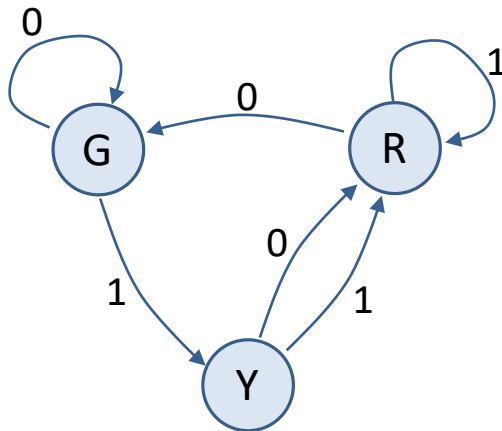


- Θα έχει ένα σήμα εισόδου (αισθητήριο πεζών)
- Θα έχει 5 σήματα εξόδου τα οποία θα είναι τα εξής:
 - Πράσινο των οχημάτων -> **G**
 - Πορτοκαλί των οχημάτων -> **Y**
 - Κόκκινο των οχημάτων -> **R**
 - Πράσινο των πεζών -> **Go**
 - Κόκκινο των πεζών -> **Wait**
- Οι καταστάσεις λειτουργίας θα είναι 3

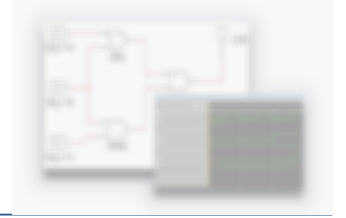
Traffic Lights with Pedestrian Sensor



- Κατασκευή του **Διαγράμματος Καταστάσεων** του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος

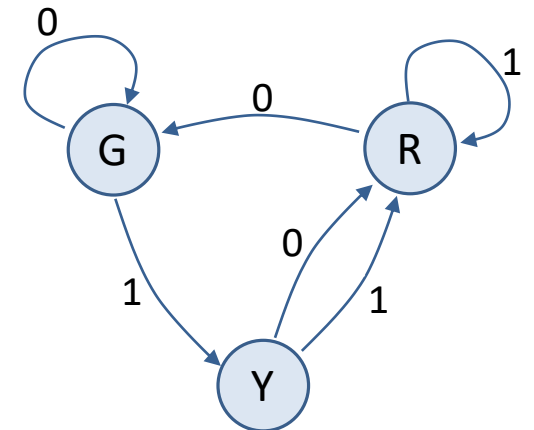


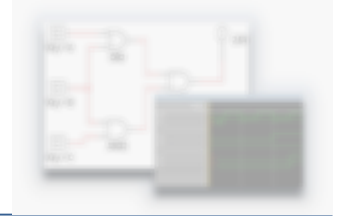
Traffic Lights with Pedestrian Sensor



- Κατασκευή του **Πίνακα Καταστάσεων** του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος

Παρούσα κατάσταση	Είσοδος	Επόμενη κατάσταση	Έξοδος				
	x		G	Y	R	Wait	Go
G	0	G	1	0	0	1	0
G	1	Y	1	0	0	1	0
Y	0	R	0	1	0	1	0
Y	1	R	0	1	0	1	0
R	0	G	0	0	1	0	1
R	1	R	0	0	1	0	1

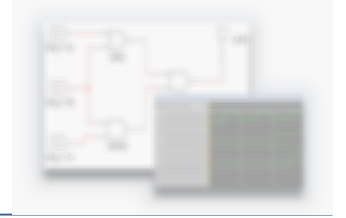




Traffic Lights with Pedestrian Sensor

- **Ελαχιστοποίηση των καταστάσεων**
- Από τον Πίνακα Καταστάσεων προκύπτει ότι δεν υπάρχουν ισοδύναμες καταστάσεις. Επομένως, δεν γίνεται παραπέρα ελαχιστοποίηση καταστάσεων.
- Με την ελαχιστοποίηση των καταστάσεων επιδιώκουμε την μείωση του αριθμού των απαιτούμενων flip-flops και την απλοποίηση του συνδυαστικού μέρους του κυκλώματος.

Παρούσα κατάσταση	Είσοδος	Επόμενη κατάσταση	Έξοδος				
	x		G	Y	R	Wait	Go
G	0	G	1	0	0	1	0
G	1	Y	1	0	0	1	0
Y	0	R	0	1	0	1	0
Y	1	R	0	1	0	1	0
R	0	G	0	0	1	0	1
R	1	R	0	0	1	0	1



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

➤ Κωδικοποίηση Καταστάσεων με δυαδικές τιμές

- Υπάρχουν 3 καταστάσεις, άρα απαιτούνται **δύο μεταβλητές** για την καταγραφή τους.
Έστω οι μεταβλητές A και B με κωδικοποίηση:

$$\mathbf{G} : AB = 00$$

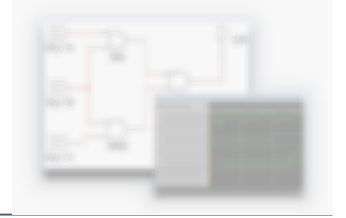
$$\mathbf{Y} : AB = 01$$

$$\mathbf{R} : AB = 10$$

➤ Εύρεση αριθμού flip-flop και ονομασία τους

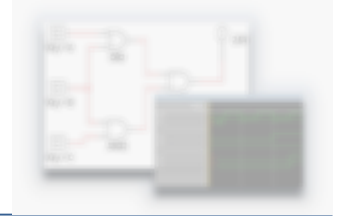
- Χρειαζόμαστε 2 μεταβλητές για την απεικόνιση των καταστάσεων, οπότε απαιτούνται δύο (2) flip-flops
- Τα ονομάζουμε **FF-A** και **FF-B**.

Traffic Lights with Pedestrian Sensor



- **Επιλογή του τύπου των flip-flop που θα χρησιμοποιηθούν**
 - Γίνεται η επιλογή να χρησιμοποιηθούν **D flip-flop** στη σχεδίαση του Σύγχρονου Ακολουθιακού Κυκλώματος.

Traffic Lights with Pedestrian Sensor

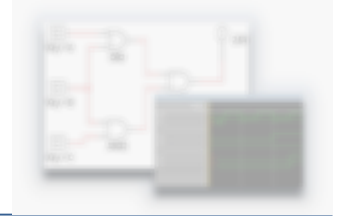


➤ Πίνακας Καταστάσεων με τις κωδικοποιημένες καταστάσεις



Παρούσα κατάσταση	Είσοδος	Επόμενη κατάσταση	Έξοδος				
	x		G	Y	R	Wait	Go
G	0	G	1	0	0	1	0
G	1	Y	1	0	0	1	0
Y	0	R	0	1	0	1	0
Y	1	R	0	1	0	1	0
R	0	G	0	0	1	0	1
R	1	R	0	0	1	0	1

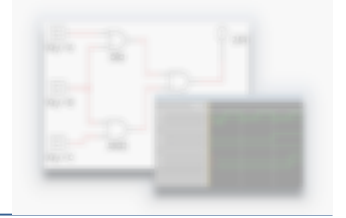
Παρούσα κατάσταση		Είσοδος	Επόμενη κατάσταση		Έξοδος				
A	B		x	A	B	G	Y	R	Wait
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X	X



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

➤ Πίνακας Διέγερσης του κυκλώματος

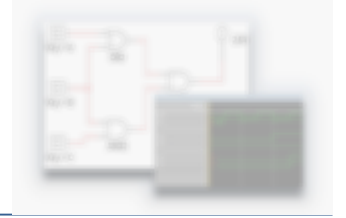
Παρούσα κατάσταση		Είσοδος	Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	x	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι εξοδοί του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
- Έχουμε 3 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης και x) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

Παρούσα κατάσταση		Είσοδος x	Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B		A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

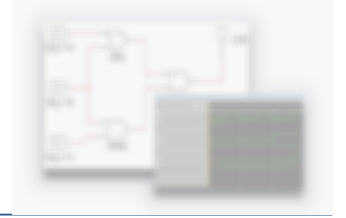
- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι εξοδοί του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
- Έχουμε 3 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης και x) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

Παρούσα κατάσταση			Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B	x	A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$$DA = Ax + B$$

Χρειαζόμαστε πίνακα Karnaugh

Traffic Lights with Pedestrian Sensor



- **Εύρεση συναρτήσεων εισόδου των FF και εξόδων κυκλώματος (μετά από απλοποίηση)**
- Από τον Πίνακα διέγερσης του κυκλώματος προκύπτει ότι οι συναρτήσεις εισόδων DA και DB των flip-flops καθώς και οι εξοδοί του κυκλώματος είναι συναρτήσεις των παρούσων καταστάσεων A, B των flip-flops.
- Έχουμε 3 εισόδους (A, B της παρούσας κατάστασης και x) και 7 εξόδους (DA, DB, G, Y, R, Wait, Go)

Παρούσα κατάσταση		Είσοδος x	Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος				
A	B		A	B	DA	DB	G	Y	R	Wait	Go
0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1
1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X	X

$$DA = Ax + B$$

$$DB = A'B'x$$

$$G = A'B'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

$$Wait = A'$$

$$Go = A$$

Traffic Lights with Pedestrian Sensor

➤ Σχεδίαση του ακολουθιακού κυκλώματος

$$DA = Ax + B$$

$$DB = A'B'x$$

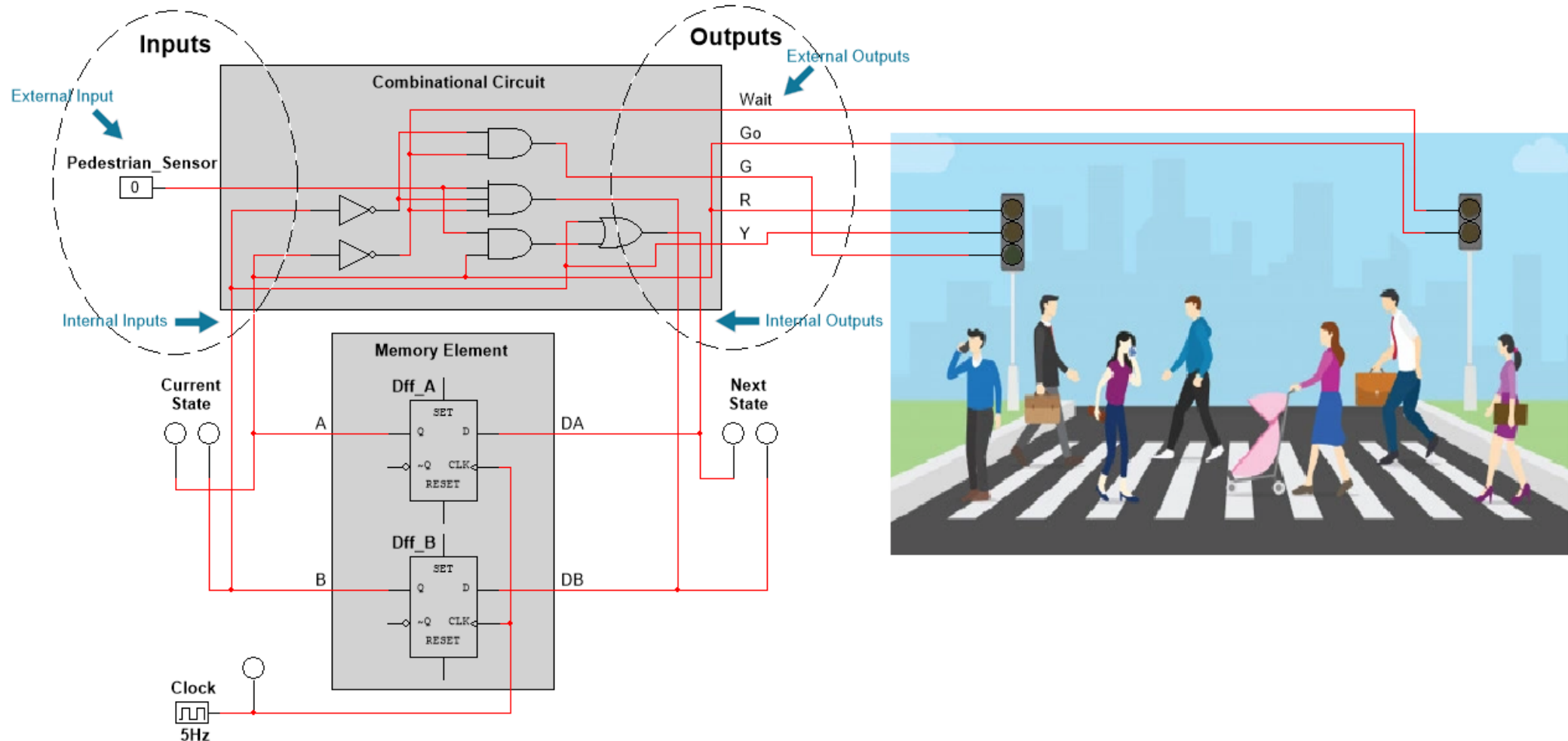
$$G = A'B'$$

$$Y = B$$

$$R = A$$

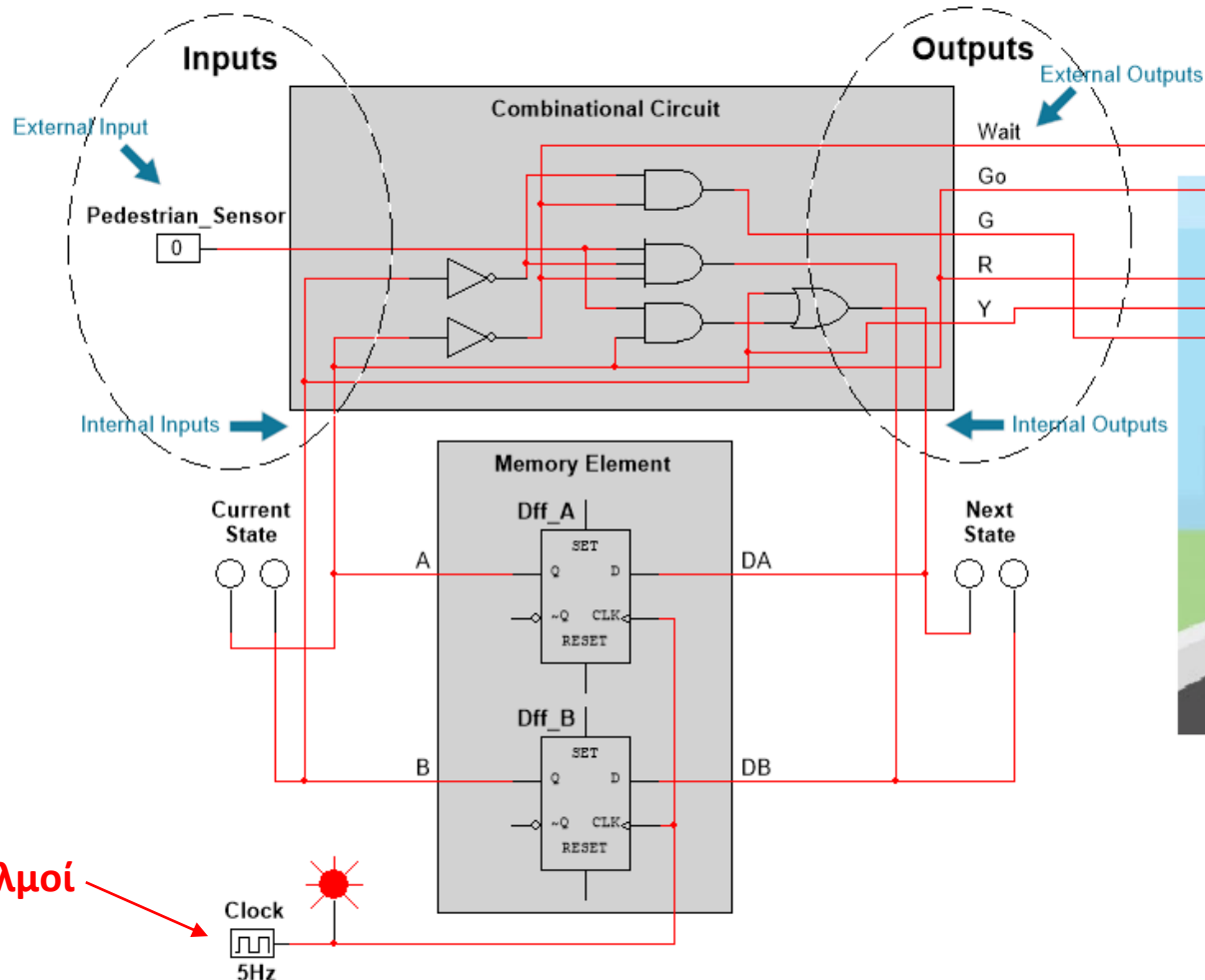
$$\text{Wait} = A'$$

$$\text{Go} = A$$



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

Simulate στο Multisim



Input

$x = 0$

States

G : AB = 00

Y : AB = 01

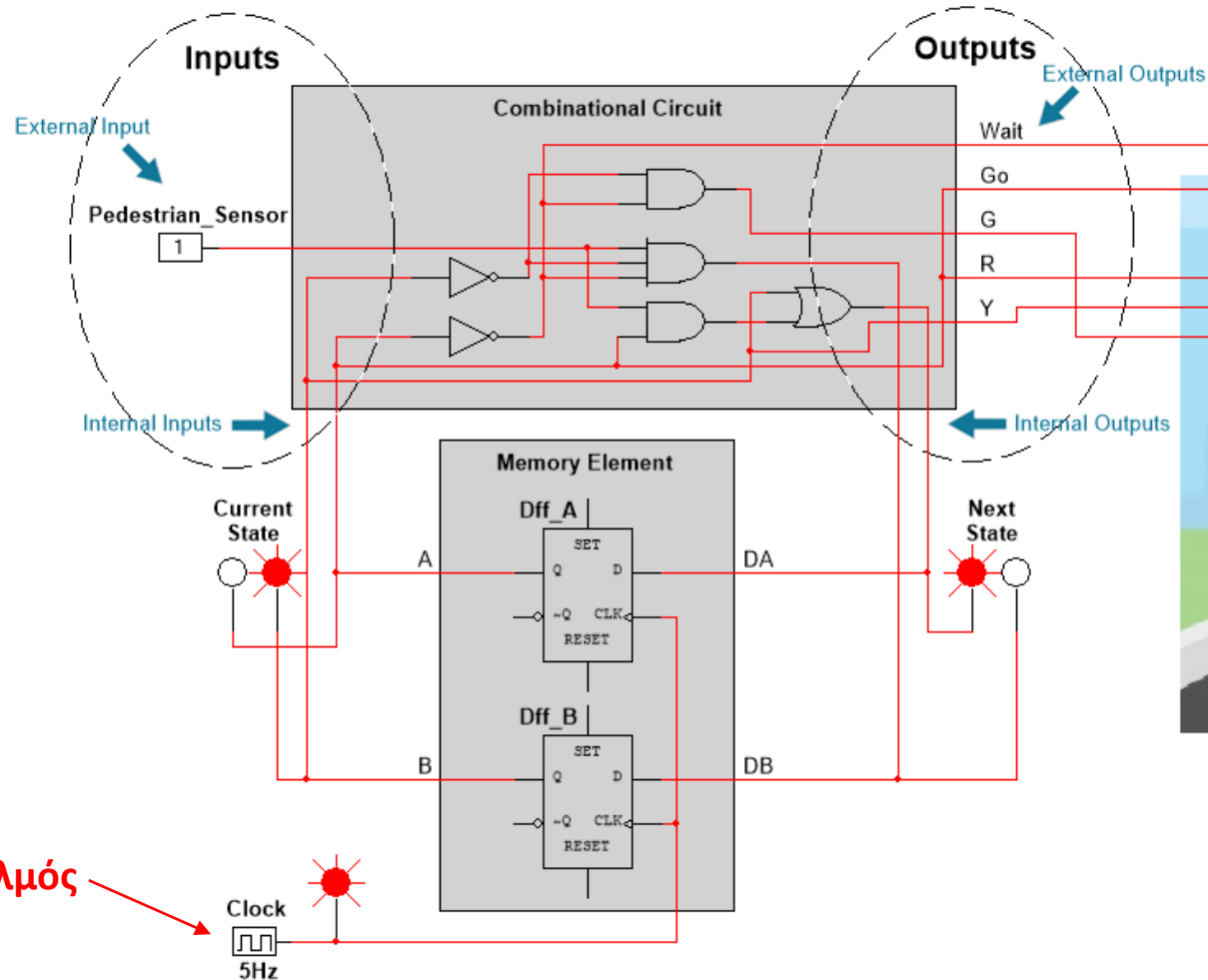
R : AB = 10



1, 2, 3, ... παλμοί

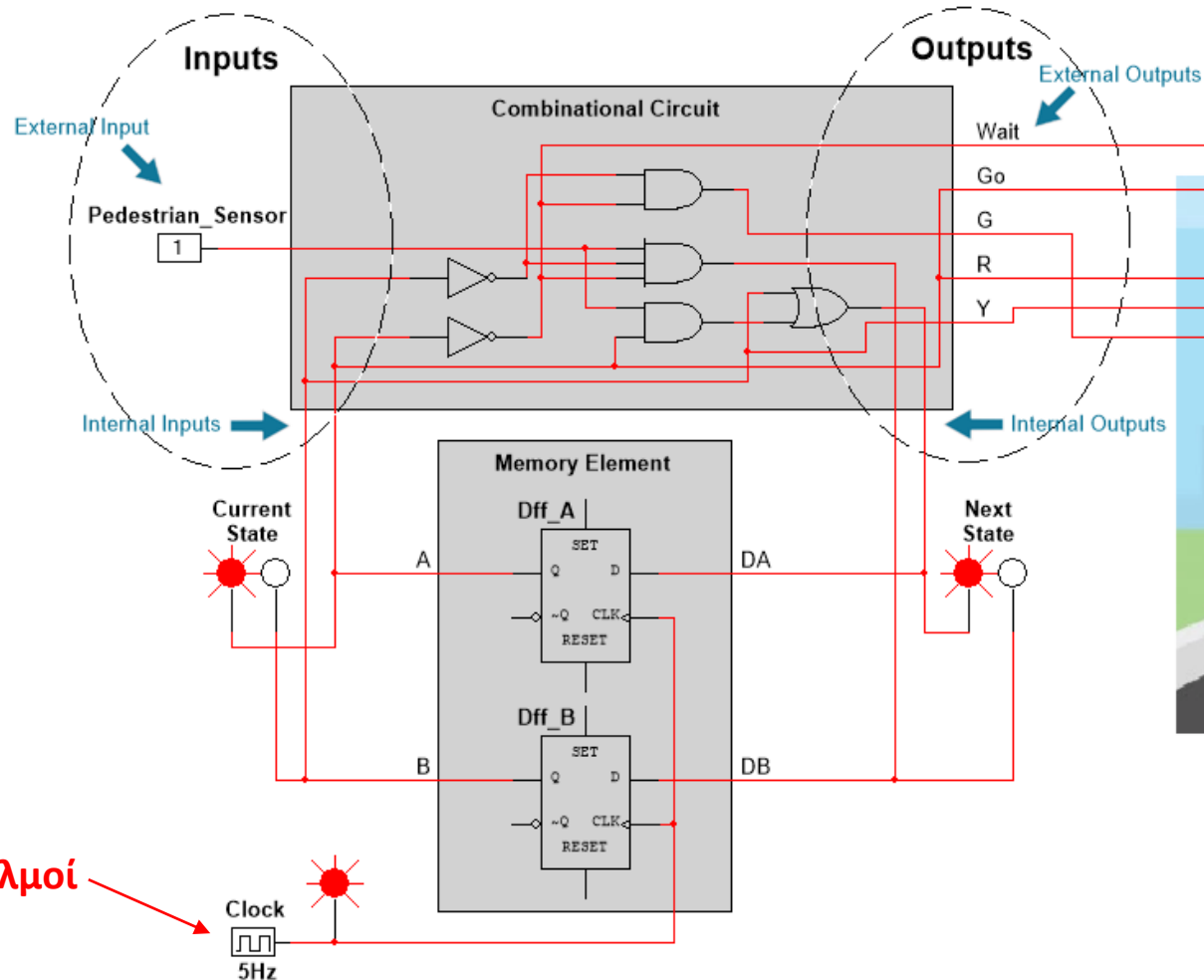
Traffic Lights with Pedestrian Sensor

Simulate στο Multisim



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

Simulate στο Multisim



Input

$x = 1$

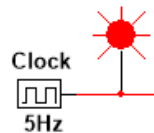
States

G : AB = 00

Y : AB = 01

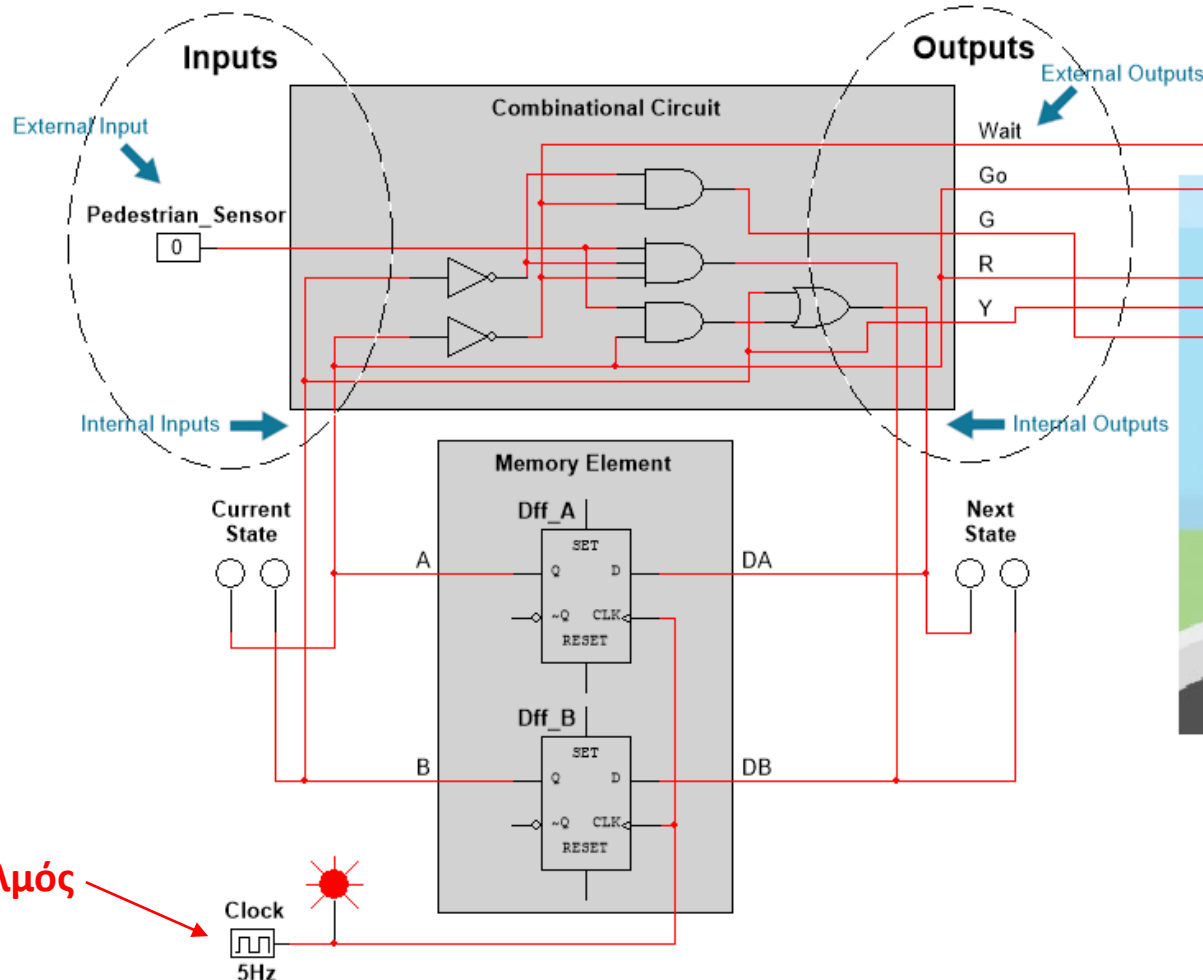
R : AB = 10

n+1, n+2, n+3, ... παλμοί



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

➤ Simulate στο Multisim



Input

$x = 0$

States

G : AB = 00

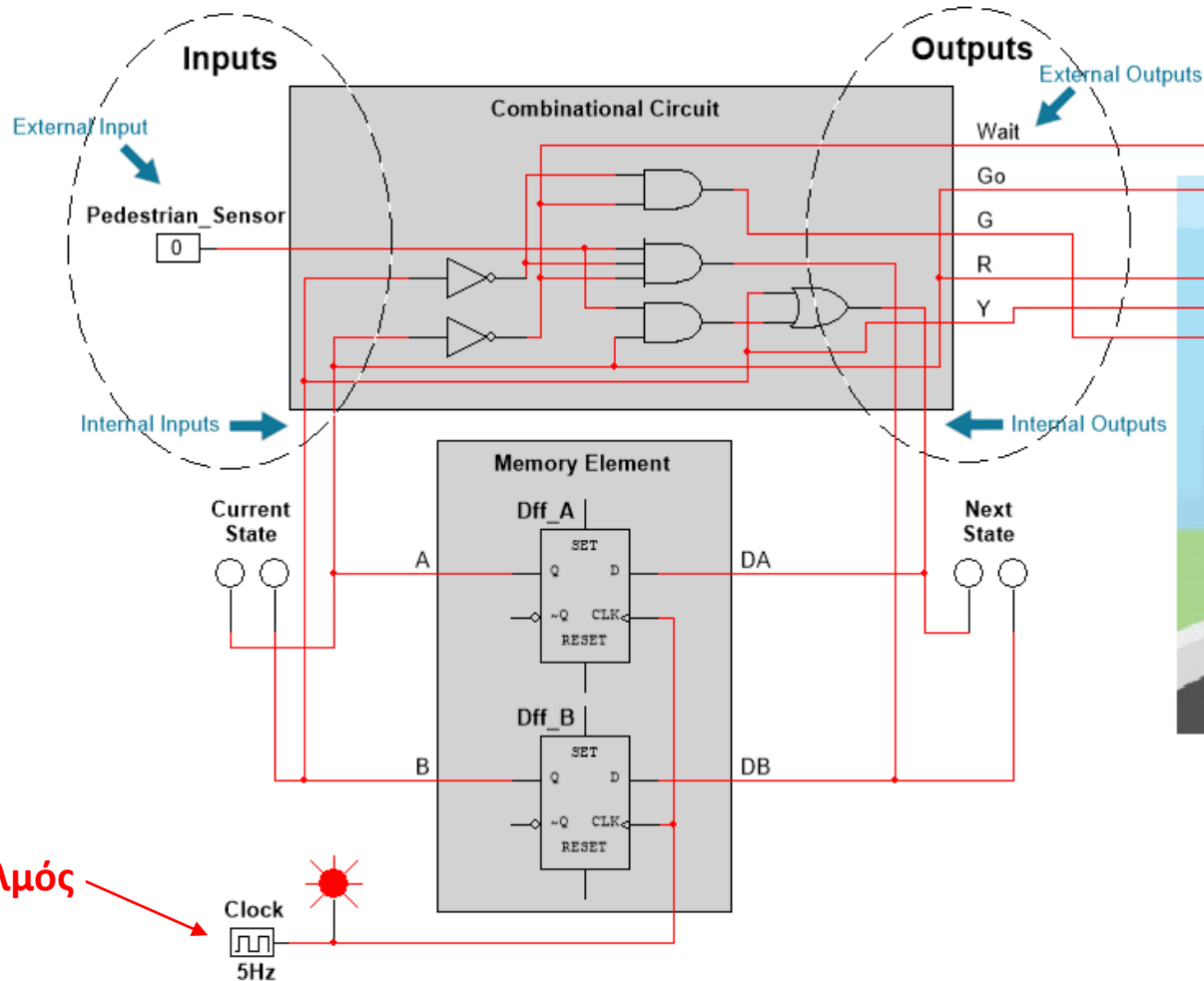
Y : AB = 01

R : AB = 10



Traffic Lights with Pedestrian Sensor

➤ Simulate στο Multisim



Input

$x = 0$

States

G : AB = 00

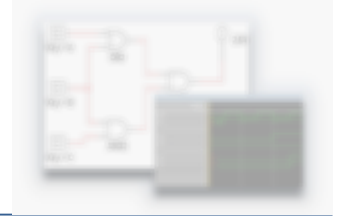
Y : AB = 01

R : AB = 10



$m+1, m+2, m+3, \dots$ παλμός

Traffic Lights with Pedestrian Sensor



➤ Πιο απλός τρόπος σχεδίασης

$$DA = Ax + B$$

$$DB = A'B'x$$

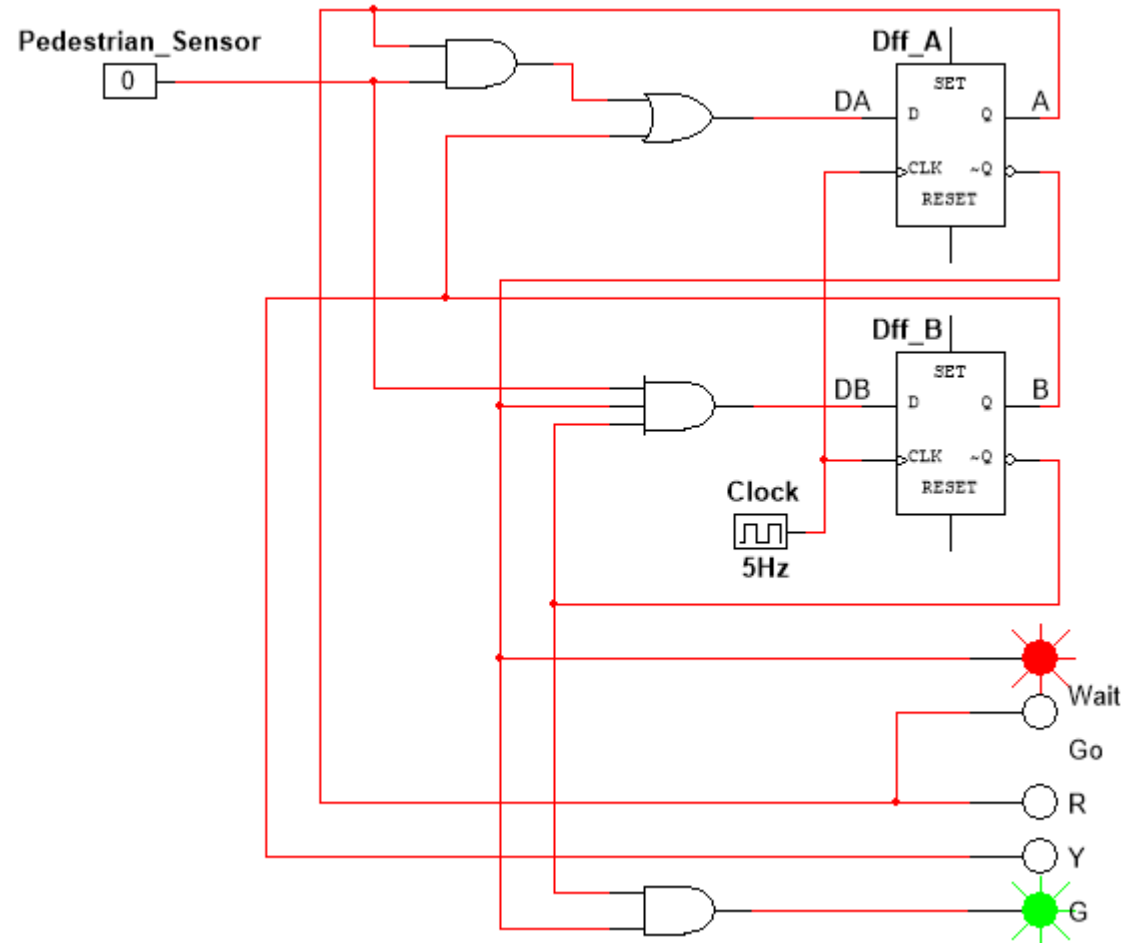
$$G = A'B'$$

$$Y = B$$

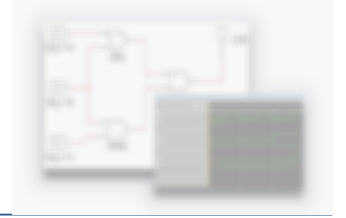
$$R = A$$

$$\text{Wait} = A'$$

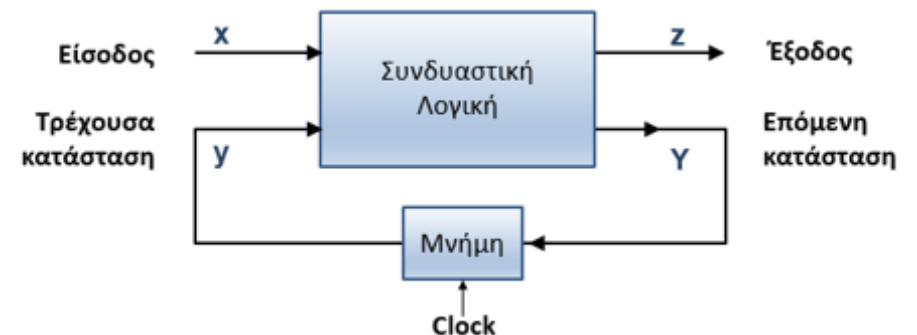
$$\text{Go} = A$$



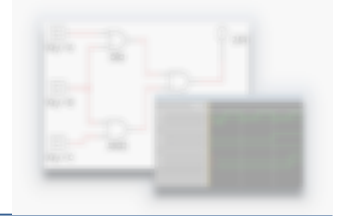
FSM (finite-state-machine)



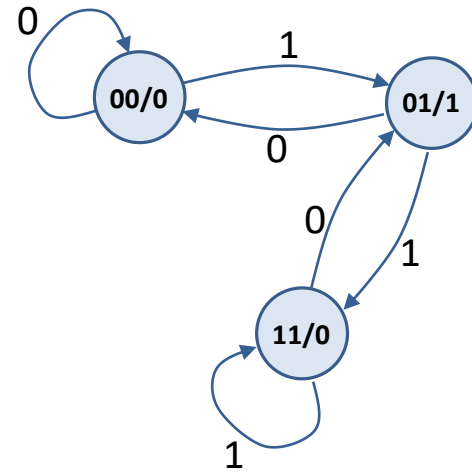
- Ένα σύγχρονο ακολουθιακό λογικό κύκλωμα λέγεται και **Μηχανή Πεπερασμένων Καταστάσεων** (finite-state-machine, FSM)
- Ένα FSM περιγράφεται πλήρως από 2 λογικές συναρτήσεις
 - Η μία υπολογίζει την **επόμενη κατάσταση** ως συνάρτηση της εισόδου και τρέχουσας κατάστασης.
 - Η άλλη υπολογίζει την **εξοδό του** επίσης ως συνάρτηση της εισόδου? και τρέχουσας κατάστασης.
- Αυτές οι δύο συναρτήσεις περιγράφονται με έναν πίνακα καταστάσεων ή ένα διάγραμμα καταστάσεων.
- Άρα η σύνθεση μιας μηχανής πεπερασμένων καταστάσεων συνίσταται απλώς στη σύνθεση των λογικών συναρτήσεων επόμενης κατάστασης και εξόδου.



Υλοποίηση FSM



- Έχουμε 3 καταστάσεις, 1 είσοδο και 1 έξοδο
- Οι καταστάσεις κωδικοποιούνται με δύο D-type flip-flops, A και B.



state encoding

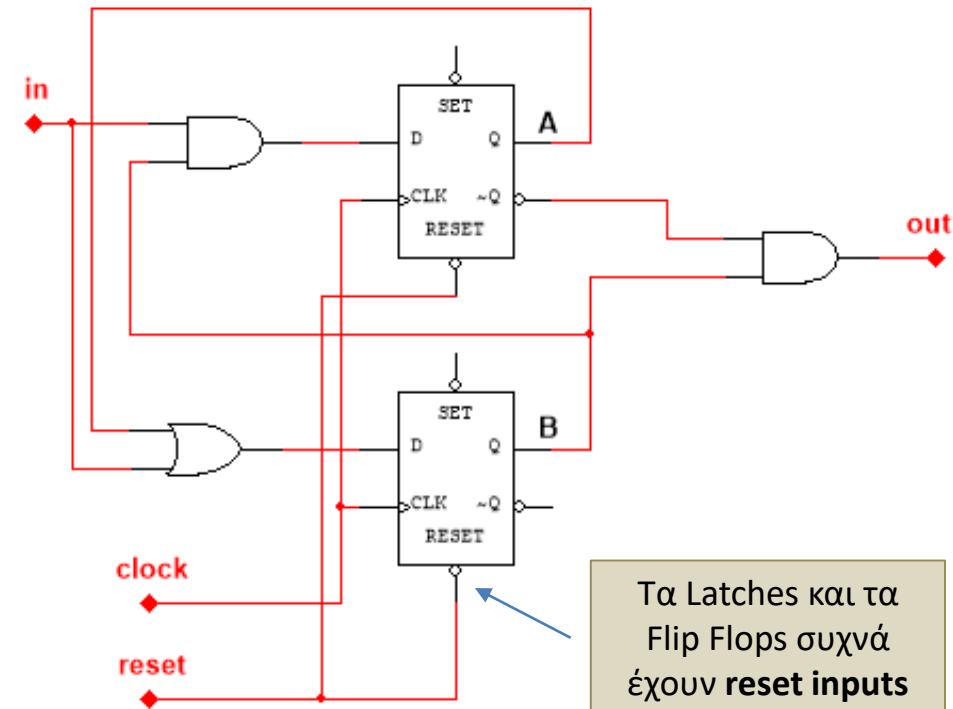
AB/out

Παρούσα κατάσταση		Είσοδος	Επόμενη κατάσταση		Είσοδοι flip-flop		Έξοδος
A	B	in	A	B	DA	DB	out
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	X	X	X	X	X	X
1	0	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	1	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	0

$$DA = B \& in$$

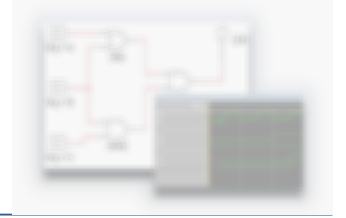
$$DB = A + in$$

$$out = A' \& B$$

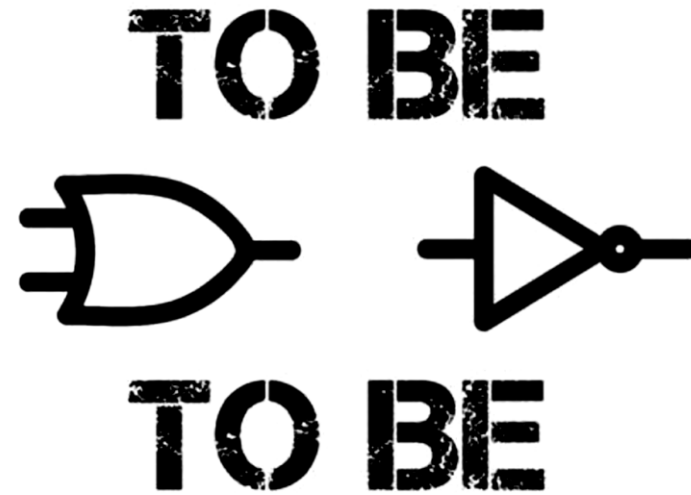


Τα Latches και τα Flip Flops συχνά έχουν reset inputs

Ευχαριστώ για την προσοχή σας!



➤ Ερωτήσεις / Απορίες ;



Επικοινωνία: ece119.uth@gmail.com