

ΗΜΥ-210: Σχεδιασμός Ψηφιακών Συστημάτων Χειμερινό Εξάμηνο 2007

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές (Latches) και Flip-Flops

Διδάσκουσα: Μαρία Κ. Μιχαήλ



Πανεπιστήμιο Κύπρου
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Συνδυαστική Λογική:
 - Η τιμή σε μία έξοδο εξαρτάται μόνο από τις τρέχουσες τιμές των εισόδων.
 - Μπορεί να εκτελέσει χρήσιμες λειτουργίες (πρόσθεση/αφαίρεση/πολλαπλασιασμό/...).
 - Απαιτεί διαδοχή μεταξύ πολλών βασικών στοιχείων.
 - Ακριβή και συνήθως όχι ευέλικτη.

Ακολουθιακά Κυκλώματα (συν.)

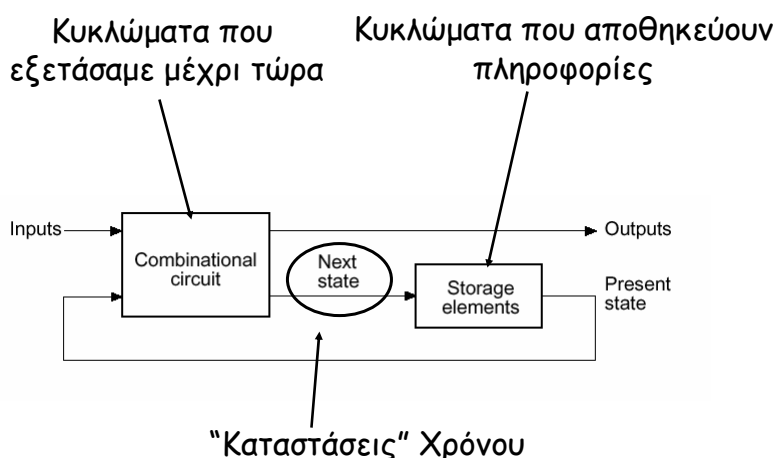
- Ακολουθιακή Λογική:
 - Η τιμή σε μία έξοδο δεν εξαρτάται μόνο από τις τρέχουσες τιμές των εισόδων, αλλά και από τις προηγούμενες τιμές των εισόδων.
 - Αποθηκεύει πληροφορίες μεταξύ λειτουργιών (δεν απαιτεί διαδοχή).
 - Χρειάζεται κάποιου είδους μνήμη για να μπορεί να «θυμάται» τις προηγούμενες τιμές των εισόδων.

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 3

Ακολουθιακά Κυκλώματα (συν.)



Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 4

Ακολουθιακή Λογική: Βασικές έννοιες

- Τα κυκλώματα ακολουθιακής λογικής έχουν την ικανότητα να «θυμούνται» προηγούμενες καταστάσεις του κυκλώματος και προηγούμενες τιμές στις εισόδους.
- Έξοδοι του κυκλώματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως νέες τιμές εισόδου στο κύκλωμα (κυκλώματα ανάδρασης = feedback circuits).
- Τα στοιχεία αποθήκευσης είναι κυκλώματα που μπορούν να αποθηκεύουν δυαδική πληροφορία: μνήμη.

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 5

Σύγχρονα vs. Ασύγχρονα Κυκλώματα

Υπάρχουν 2 τύποι ακολουθιακών κυκλωμάτων:

- **Σύγχρονο (latch mode)** ακολουθιακό κύκλωμα:
 - Η συμπεριφορά του ορίζεται βάσει των τιμών στις εξόδους και στα στοιχεία μνήμης, σε διακριτές στιγμές του χρόνου.
 - Αυτού του είδους τα κυκλώματα πετυχαίνουν συγχρονισμό χρησιμοποιώντας ένα σήμα χρονισμού, το γνωστό ως ρολόι.
- **Ασύγχρονο (fundamental mode)** ακολουθιακό κύκλωμα:
 - Η συμπεριφορά του ορίζεται από την σειρά των αλλαγών των τιμών στις εισόδους σε συνεχή χρόνο.
 - Οι τιμές των εξόδων μπορούν να αλλάξουν ανά πάσα στιγμή, χωρίς κανένα συγκεκριμένο συγχρονισμό (clockless).

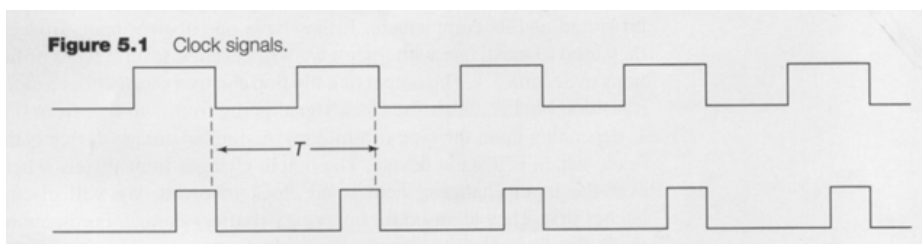
Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 6

Σήμα Ρολογιού

Γεννήτρια Ρολογιού: Περιοδικό σήμα από παλμούς ρολογιού



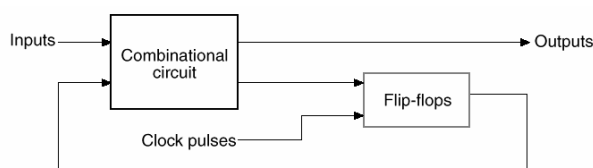
Σήματα με ίδια περίοδο

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 7

Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα: Flip-flops για καταστάσεις μνήμης



(a) Block diagram



(b) Timing diagram of clock pulses

- Τα flip-flops έχουν ως εισόδους σήματα από το συνδυαστικό κομμάτι του κυκλώματος καθώς και σήμα από ένα ρολόι με περιοδικούς παλμούς μεταξύ αμετάβλητων περιοδικών διαστημάτων.

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 8

Στοιχεία Μνήμης

(b)

(c)

(d)

Inverters

Buffers

Η αποθηκευμένη τιμή δεν μπορεί να αλλάξει

Νοε-07 Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops MKM - 9

SR Latch (από NOR)

(a) Logic diagram

S	R	Q	Q̄	
1	0	1	0	Set state
0	0	1	0	
0	1	0	1	Reset state
0	0	0	1	
1	1	0	0	Undefined

(b) Function table

-- SR: "set-reset", στοιχείο 2-καταστάσεων με 2 εισόδους. Προσέξτε την «ακαθόριστη» τιμή για S=R=1.

-- Διαβάζοντας τη λογική:

- $Q = (R+Q')'$ και $Q' = (S+Q)'$

Νοε-07 Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops MKM - 10

R = S = 1 ???

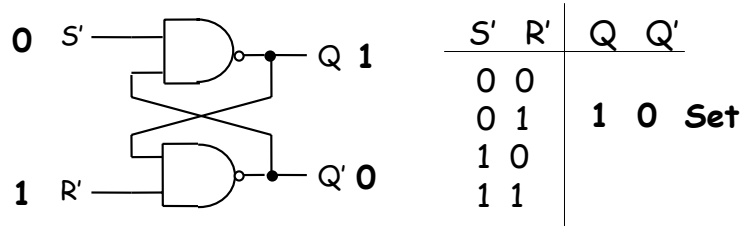
- Ακαθόριστη έξοδος γιατί:
 - Όταν $S=R=1$, τότε και οι 2 έξοδοι γίνονται 0.
 - Εάν και οι 2 έξοδοι είναι 0, η κατάσταση του SR latch εξαρτάται από την είσοδο που παραμένει στην τιμή 1 για περισσότερο χρόνο, πριν γίνει 0.
 - Άρα είναι όντως, "ακαθόριστη" κατάσταση
→ ΠΡΕΠΤΕΙ να αποφευχθεί.

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 11

S'R' Latch (από NAND)



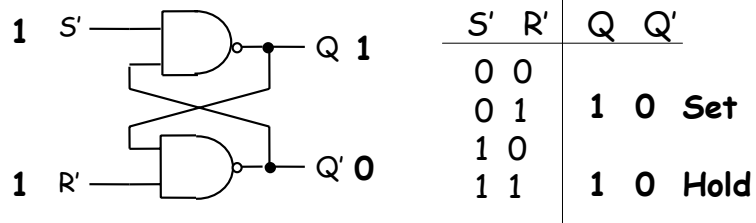
X	Y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 12

S'R' Latch (από NAND)



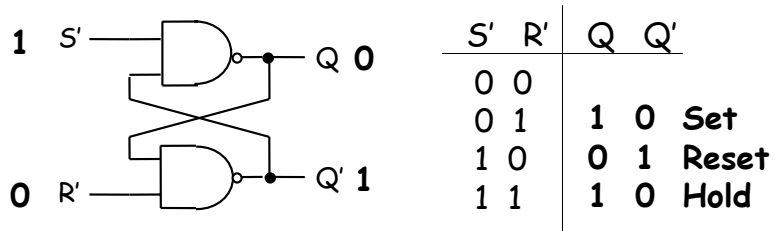
X	Y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 13

S'R' Latch (από NAND)



X	Y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 14

S'R' Latch (από NAND)

S'	R'	Q	Q'	
0	0			
0	1	1	0	Set
1	0	0	1	Reset
1	1	1	0	Hold
0	1	0	1	Hold

X	Y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
MKM - 15

S'R' Latch (από NAND)

S'	R'	Q	Q'	
0	0	1	1	Undefined
0	1	1	0	Set
1	0	0	1	Reset
1	1	1	0	Hold
0	1	0	1	Hold

X	Y	NAND
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
MKM - 16

SR Latches

(a) Logic diagram

S	R	Q	Q̄	
1	0	1	0	Set state
0	0	1	0	
0	1	0	1	Reset state
0	0	0	1	
1	1	0	0	Undefined

(b) Function table

(a) Logic diagram

S	R	Q	Q̄	
0	1	1	0	Set state
1	1	1	0	
1	0	0	1	Reset state
1	1	0	1	
0	0	1	1	Undefined

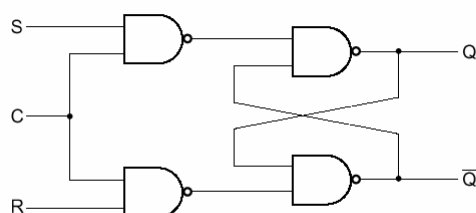
(b) Function table

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
MKM - 17

Προσομοίωση SR Latch

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
MKM - 18

SR Latch με σήμα Ελέγχου



(a) Logic diagram

C	S	R	Next state of Q
0	X	X	No change
1	0	0	No change
1	0	1	Q = 0; Reset state
1	1	0	Q = 1; Set state
1	1	1	Undefined

(b) Function table

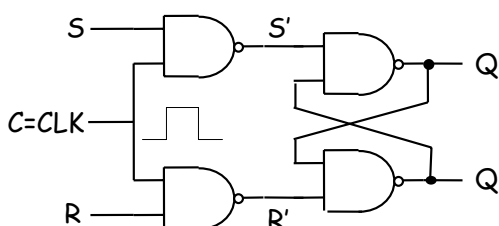
- Το Latch είναι ευαίσθητο σε αλλαγές στις εισόδους ΜΟΝΟ όταν το $C=1$
- Σημαντικό στοιχείο, χρησιμοποιείται για σχεδιασμό άλλων latches και flip-flops
- Θεωρείται και ως flip-flop, αλλά όχι βάση του ορισμού του βιβλίου σας

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 19

SR Latch με σήμα Ελέγχου (συν.)



S	R	CLK	S'	R'	Q	Q'	
0	0	1	1	1	Q_0	Q_0'	Store
0	1	1	1	0	0	1	Reset
1	0	1	0	1	1	0	Set
1	1	1	0	0	1	1	Not Allowed
X	X	0	1	1	Q_0	Q_0'	Store

Νοε-07

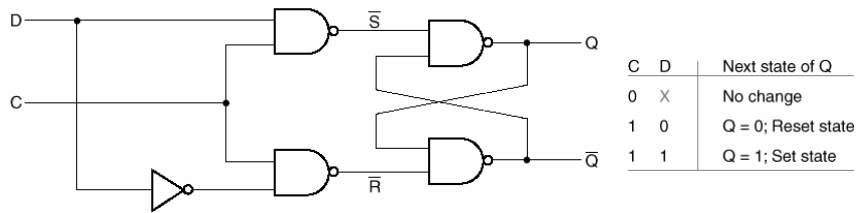
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 20

D Latch

- Ένας τρόπος αποφυγής των ανεπιθύμητων ακαθόριστων καταστάσεων στο RS flip-flop, είναι η εξασφάλιση ότι οι είσοδοι S και R δεν θα πάρουν ποτέ την τιμή 1 ταυτόχρονα.

Αυτό επιτυγχάνεται με ένα SR-latch, όπου $S=D$ και $R=D'$ → D-latch:

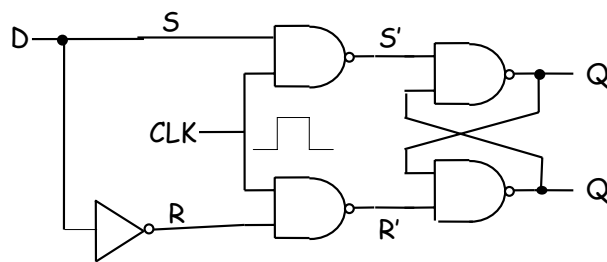


Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 21

D Latch (συν.)



D	CLK	Q	Q'
0	1	0	1
1	1	1	0
X	0	Q ₀	Q ₀ '

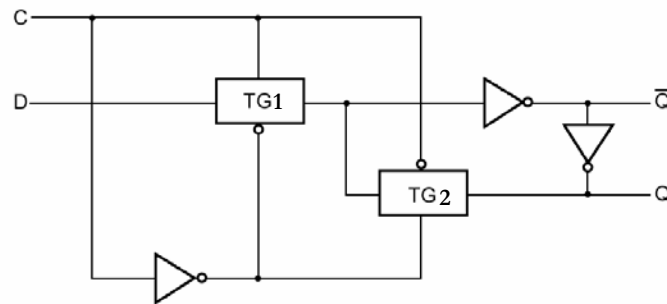
S	R	CLK	Q	Q'	
0	0	1	Q ₀	Q ₀ '	Store
0	1	1	0	1	Reset
1	0	1	1	0	Set
1	1	1	1	1	Not Allowed
X	X	0	Q ₀	Q ₀ '	Store

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 22

D Latch με πύλες μετάδοσης



- $C=1 \rightarrow$ το TG1 κλείνει και το TG2 ανοίγει $\rightarrow Q'=D'$ και $Q=D$
- $C=0 \rightarrow$ το TG1 ανοίγει και το TG2 κλείνει \rightarrow Hold Q και Q'

Noε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 23

Flip-Flops

- Τα Latches είναι "διαυγή" (transparent) δηλ., οποιαδήποτε αλλαγή στην κατάσταση του latch είναι αντιληπτή και στις εξόδους (αν υπάρχει σήμα ελέγχου C, αυτό ισχύει κατά τη διάρκεια που $C=1$).
- Αυτό προκαλεί προβλήματα συγχρονισμού, αφού η κατάσταση ενός latch μπορεί να αλλάξει πολλαπλές φορές όταν $C=1$!
- Λύση:
Χρησιμοποιούμε latches για τη δημιουργία των flip-flops που μπορούν να ανταποκριθούν (update) ΜΟΝΟ σε ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΕΣ χρονικές στιγμές (όχι ανά πάσα στιγμή ούτε κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος).

Noε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 24

Πυροδότηση (Triggering) Latch/FF

- Ο μηχανισμός που επιτρέπει σε ένα στοιχείο μνήμης (latch ή FF) να αλλάξει κατάσταση
- Τρόποι Πυροδότησης:
 - latches
 - Ασύγχρονα, δηλ. εντελώς διαυγή (π.χ. SR-latch)
 - Πυροδότηση-επιπέδου (level trigger, $C=1$) (π.χ. SR-latch ή D-latch με σήμα ελέγχου C)
 - FFs
 - Master-Slave (π.χ. SR-FF, D-FF)
 - Πυροδότηση-ακμής: Θετική ή αρνητική ακμή του C (rising or falling edge trigger, $C=\uparrow$ ή $C=\downarrow$) (π.χ. SR-FF, D-FF)

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 25

Εναλλακτικές λύσεις στην επιλογή FF

- Τύποι FF:
 - SR
 - D
 - JK
- Τρόποι ενεργοποίησης (triggering):
 - Master-Slave: χρησιμοποιεί πυροδότηση-επιπέδου αλλά με 2 latches, έτσι ώστε η κατάσταση του FF αλλάζει μόνο μια φορά σε μία περίοδο του ρολογιού
 - Ενεργοποίηση-ακμής: Θετική ή αρνητική ακμή του C (rising or falling edge trigger, $C=\uparrow$ ή $C=\downarrow$)

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 26

Master-Slave SR-FF χρησιμοποιώντας SR latches

- Χρησιμοποιεί πυροδότηση-επιπέδου.
- Κατάσταση $Q=Y$, όταν $C=0$.
Επίσης, το Y δεν μπορεί να αλλάξει τιμή όταν $C=0$.

Νοε-07 Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops MKM - 27

Master-Slave SR-FF χρησιμοποιώντας SR latches (συν.)

S	R	C	Q	Q'	
0	0	1	Q_0	Q_0'	Store
0	1	1	0	1	Reset
1	0	1	1	0	Set
1	1	1	1	1	Not Allowed
X	X	0	Q_0	Q_0'	Store

·Όταν $C=1$, ο master ενεργοποιείται και φυλάει νέα δεδομένα, και ο slave αποθηκεύει παλιά δεδομένα.

·Όταν $C=0$, η κατάσταση του master αποθηκεύεται στον slave ($Q=Y$), ενώ ο master δεν είναι ευαίσθητος σε νέα δεδομένα.

Νοε-07 Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops MKM - 28

Master-Slave JK Flip-Flop

		Next State of Q	
J	K		
0	0	Q	
0	1	0	
1	0	1	
1	1	\bar{Q}	

Νοε-07
Flops
MKM - 29

Πρόβλημα

1. Η αλλαγή στις εξόδους του FF έχει καθυστέρηση κατά $\frac{1}{2}$ περίοδο του ρολογιού \rightarrow το κύκλωμα γίνεται πιο αργό.
2. S και/ή R μπορούν να αλλάξουν πολλαπλές φορές όταν C=1
 - Q = 1, S = 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 και R = 0
 - Master latch = 1 (set)
 - Slave = 1 (set), όταν C=0
 - Q = 1, S = 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0 και R = 0 \rightarrow 1 \rightarrow 0
 - Master latch = 1 (set) και μετά = 0 (reset)
 - Slave = 0 (reset), όταν C=0
 - Γνωστό ως «1's catching»

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
MKM - 30

Λύση: Πυροδότηση Ακμής

- Ένα ακμοπυροδοτούμενο FF, αγνοεί τις αλλαγές κατά τη διάρκεια ενός παλμού.
Πυροδοτείται μόνο όταν υπάρχει μετάβαση της τιμής του ρολογιού (clock transition, \uparrow / \downarrow)
- Υλοποίηση ακμοπυροδοτούμενων FF:
 - Άμεσα, σε επίπεδο ηλεκτρονικού κυκλώματος
 - Με master-slave D-FF

Νοε-07

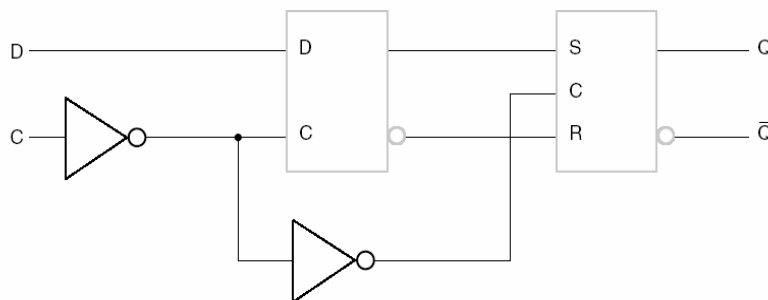
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 31

Ακμοπυροδοτούμενα Flip-Flops

- Συνδέουμε ένα D-latch με πυροδότηση-επιπέδου (master) με ένα SR-latch με πυροδότηση-επιπέδου (slave) και συμπληρωματικά ρολόγια.

D-FF με Θετική Ακμοπυροδότηση

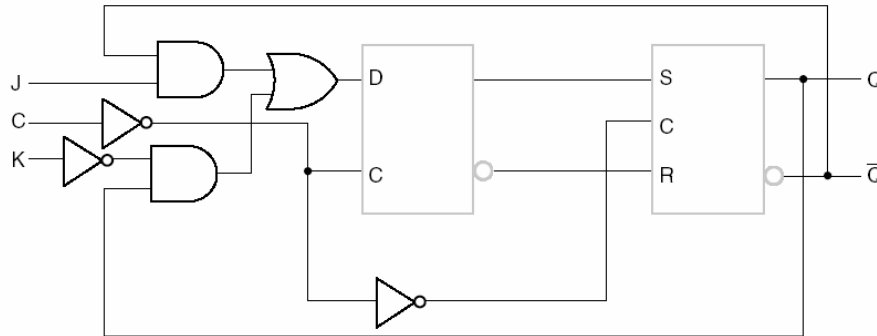


Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 32

JK FF με Θετική Ακμοπυροδότηση



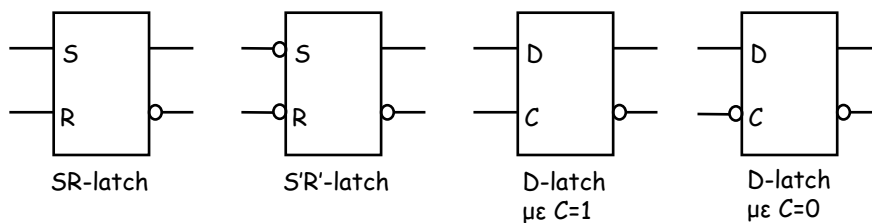
Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 33

Καθιερωμένα Γραφικά Σύμβολα

Μανδαλωτές (latches)



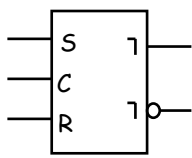
Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

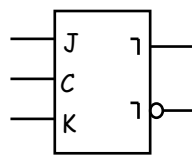
ΜΚΜ - 34

Καθιερωμένα Γραφικά Σύμβολα (συν.)

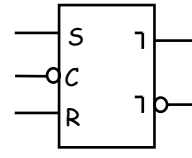
Master-Slave Flip Flops -- Πυροδότηση Επιπέδου (level-triggering)



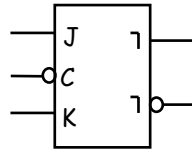
┌ πυροδοτούμενο SR



┌ πυροδοτούμενο JK



┐ πυροδοτούμενο SR

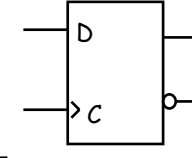


┐ πυροδοτούμενο JK

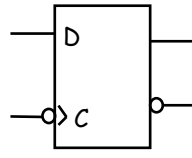
Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
ΜΚΜ - 35

Καθιερωμένα Γραφικά Σύμβολα (συν.)

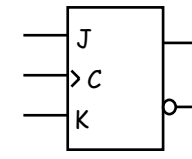
Ακμοπυροδοτούμενα (Edge-triggered) Flip Flops



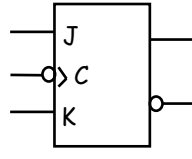
┐ Ακμοπυροδοτούμενο D



┌ Ακμοπυροδοτούμενο D



┐ Ακμοπυροδοτούμενο JK



┌ Ακμοπυροδοτούμενο JK

Νοε-07
Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops
ΜΚΜ - 36

Χαρακτηριστικός Πίνακας (Characteristic Table)

- Καθορίζει τις λογικές ιδιότητες/χαρακτηριστικά ενός flip-flop (όπως ένας πίνακας αληθείας για μια λογική πύλη).
- $Q(t)$ - παρούσα κατάσταση στο χρόνο t
- $Q(t+1)$ - επόμενη κατάσταση στο χρόνο $t+1$

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 37

Χαρακτηριστικός Πίνακας (συν.)

Χρόνος t εννοείται
(δηλ. $J(t)$ και $K(t)$)

JK Flip-Flop

J	K	$Q(t+1)$	Λειτουργία
0	0	$Q(t)$	Καμία Αλλαγή/Hold
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	$Q(t)'$	Συμπλήρωμα

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 38

Χαρακτηριστικός Πίνακας (συν.)

SR Latch

S	R	Q(t+1)	Λειτουργία
0	0	Q(t)	Καμία Αλλαγή/Hold
0	1	0	Reset
1	0	1	Set
1	1	?	Ακαθόριστο/Άκυρο

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 39

Χαρακτηριστικός Πίνακας (συν.)

D Flip-Flop

D	Q(t+1)	Λειτουργία
0	0	Set
1	1	Reset

Χαρακτηριστική Εξίσωση: $Q(t+1) = D(t)$
(Characteristic Equation)

-- Εκφράζει την τιμή των εξόδων στο χρόνο $t+1$ σε σχέση με την τιμή των εισόδων στο χρόνο t

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 40

Χαρακτηριστικός Πίνακας και Χαρακτηριστική Εξίσωση (συν.)

T Flip-Flop
(από JK Flip-Flop με $J=K=T$)

T	Q(t+1)	Λειτουργία
0	Q(t)	Καμία Αλλαγή/Hold
1	Q(t)'	Συμπλήρωμα

Χαρακτηριστική Εξίσωση: $Q(t+1) = T'Q(t) + TQ(t)'$

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 41

Χαρακτηριστικός Πίνακας και Χαρακτηριστική Εξίσωση (συν.)

Ποιες είναι οι χαρακτηριστικές εξισώσεις για το JK flip-flop και το SR latch;

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 42

Ασύγχρονο Set/Reset

- Πολλές φορές είναι επιθυμητό να μπορούμε να θέσουμε την τιμή ενός FF (set ή reset) ανεξάρτητα με το ρολόι → ασύγχρονο set/reset
- Παράδειγμα: Στο ξεκίνημα (power-up) χρησιμοποιούμε ασύγχρονο set/reset έτσι ώστε να ξεκινούμε από μια γνωστή κατάσταση (known state).
- Ασύγχρονο set == άμεσο set == *Preset*
- Ασύγχρονο reset == άμεσο reset == *Clear*

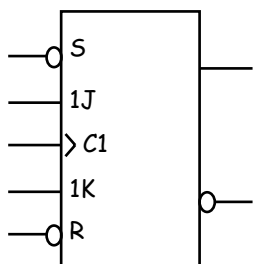
Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 43

Ασύγχρονο Set/Reset (συν.)

Οι υπονοεί ότι το C1 ελέγχει όλα τα άλλα σήματα με σήμανση που ξεκινά από n.
Σε αυτή την περίπτωση, το C1 ελέγχει τα 1J and 1K.



IEEE
καθορισμένο
γραφικό
σύμβολο για
JK-FF με
άμεσα
set & reset

Πίνακας Λειτουργίας

S	R	C1	1J	1K	Q(t+1)
0	1	X	X	X	1 - <i>Preset</i>
1	0	X	X	X	0 - <i>Clear</i>
0	0	X	X	X	Ακαθόριστο
1	1	↑	0	0	Q(t) - Hold
1	1	↑	0	1	0 - Reset
1	1	↑	1	0	1 - Set
1	1	↑	1	1	Q(t)' - Συμπλήρωμα
1	1	≠↑	X	X	Q(t) - Hold

Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

ΜΚΜ - 44

Παράμετροι Χρονισμού για Flip-Flops

- t_s - setup time: απαραίτητος χρόνος όπου οι είσοδοι του FF πρέπει να παραμείνουν σε σταθερές τιμές, πριν την πυροδότηση, για να παρατηρηθεί αλλαγή στην έξοδο.
 - Master-slave: ίσο με το πλάτος του παλμού πυροδότησης
 - Edge-triggered: ίσο με ένα διάστημα, πολύ μικρότερο από αυτό του πλάτους του παλμού πυροδότησης
- t_h - hold time: απαραίτητος χρόνος όπου οι είσοδοι του FF πρέπει να κρατήσουν τις τιμές τους, μετά την πυροδότηση
Συχνά μπορεί να αγνοηθεί (κοντά στο 0).
- t_{px} - propagation delay: καθυστέρηση μετάδοσης, δηλ., χρόνος από την πυροδότηση μέχρι την σταθεροποίηση της νέας τιμής στην έξοδο
 - Μετρείται από την ακμή που πυροδοτεί την αλλαγή στην έξοδο μέχρι την εμφάνιση της αλλαγής στην έξοδο
- Απαραίτητα, $t_{px} > t_h$

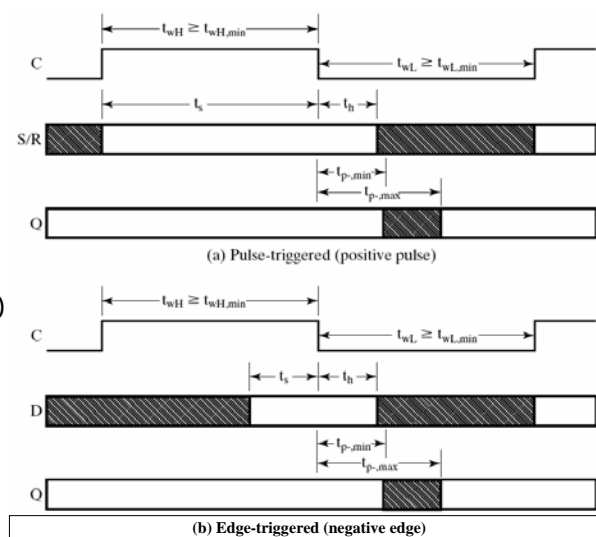
Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 45

Παράμετροι Χρονισμού για Flip-Flops

- t_s - setup time
- t_h - hold time
- t_w - clock pulse width
- t_{px} - propagation delay
 - t_{pHL} - High-to-Low
 - t_{pLH} - Low-to-High
 - $t_{pd} = \max(t_{pHL}, t_{pLH})$



Νοε-07

Ακολουθιακά Κυκλώματα: Μανδαλωτές και Flip-Flops

MKM - 46