

## HY330 – Ψηφιακά Κυκλώματα - Εισαγωγή στα Συστήματα VLSI

Διδάσκων: Χ. Σωτηρίου, Βοηθοί: θα ανακοινωθούν

<http://inf-server.inf.uth.gr/courses/CE330>

I

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά  
Κυκλώματα 10/16/2014

7<sup>η</sup> διάλεξη – Ακολουθιακά Κυκλώματα

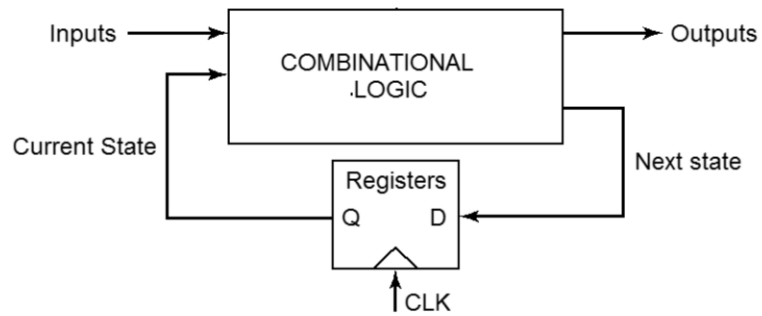
## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Περιεχόμενα

- ▶ **Ακολουθιακή Λογική**
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Ακολουθιακή Λογική - ΜΠΚ



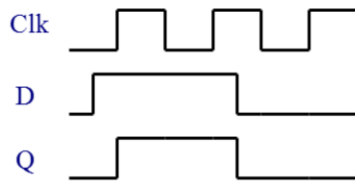
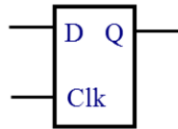
- ▶ Βασικοί Μηχανισμοί Αποθήκευσης (καταχωρητής = μνήμη)
  - ▶ Θετική ανάδραση (Στατική Μνήμη)
  - ▶ Αποθήκευση φορτίου (Δυναμική Μνήμη)

## Περιεχόμενα

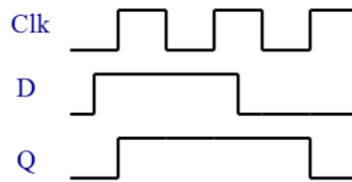
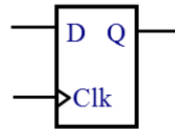
- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ **Μανταλωτές και Καταχωρητές**
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Μανταλωτές (Latch) και Καταχωρητές (Flip-Flop)

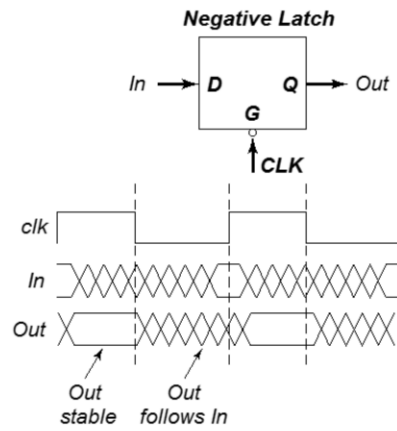
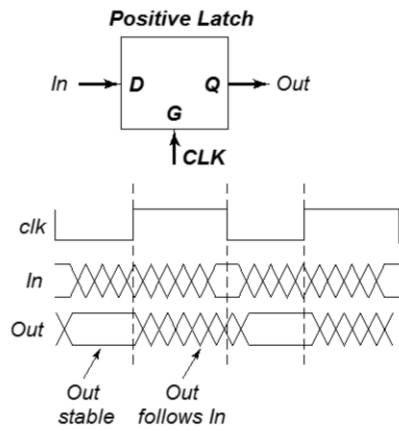
- Μανταλωτής (Latch)  
αποθηκεύει δεδομένα όταν  
το Clk (ή G) είναι ενεργό (1)



- Καταχωρητής (Register)  
αποθηκεύει δεδομένα  
στην ακμή του Clk



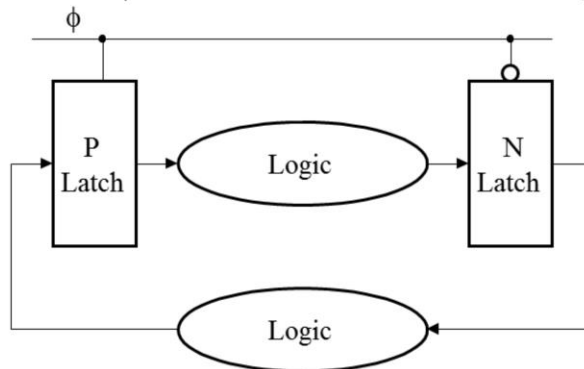
# Μανταλωτές - Θετικής/Αρνητικής Πολικότητας (φάσης ρολογιού)



## Σχεδίαση με Μανταλωτές

• N ανοικτό όταν  $\phi = 1$

• P ανοικτό όταν  $\phi = 0$



► Λογική μεταξύ και των δυο ειδών μανταλωτή

► 8

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Παραπάνω βλέπουμε ακολουθιακό κύκλωμα σχεδιασμένο με μανταλωτές διαφορετικής φάσης.

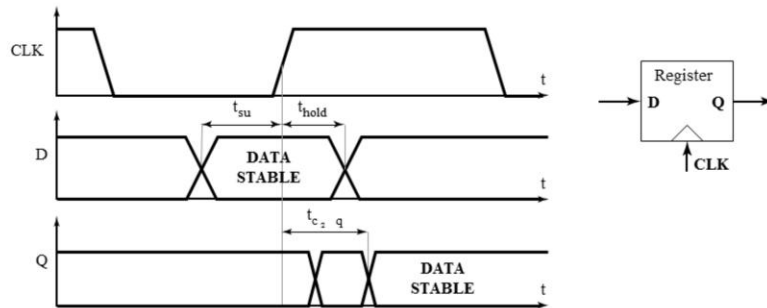
Παρατηρούμε ότι συνδυαστική λογική μπορεί να προστεθεί μεταξύ και των δυο ζευγών (PN και NP). Ο χρόνος αξιολόγησης/καθυστέρηση της λογικής είναι  $T/2$ , για να ικανοποιείται ο χρόνος πρόθεσης ως προς το κλείσιμο των N και P. Επίσης παρατηρούμε ότι οι παραπάνω μανταλωτές είναι κλειστοί εναλλάξ, δηλ. μια ο ένας και μια ο άλλος.



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

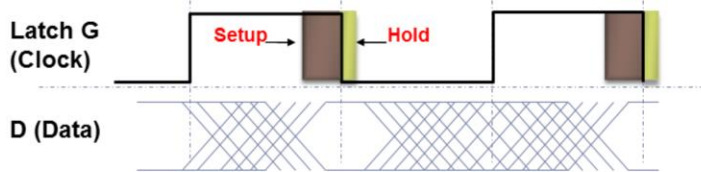
## Χρονισμοί Καταχωρητών



- ▶  $t_{su}$  – setup time – χρόνος πρόθεσης
- ▶  $t_{hold}$  – hold time – χρόνος διατήρησης
- ▶  $t_{c2q}$  – clock to q delay (χειρίστη καθυστέρηση)

## Μανταλωτής - Χρονισμός

- ▶ Όταν το G στο latch κάνει μετάβαση 1→0, το θετικό latch κλείνει
  - ▶ Αν το D αλλάζει κατά την διάρκεια του κλεισίματος, δηλ. σε χρόνο μικρότερο από την σχετική εσωτερική καθυστέρηση, τότε το latch δεν θα αποθηκεύσει την σωστή κατάσταση
  - ▶ Η τελική κατάσταση που θα αποθηκευτεί θα εξαρτάται από τον θόρυβο και δρομήσεις στο κύκλωμα
- ▶ Περιορισμοί Setup (Πρόθεσης) και Hold (Διατήρησης)



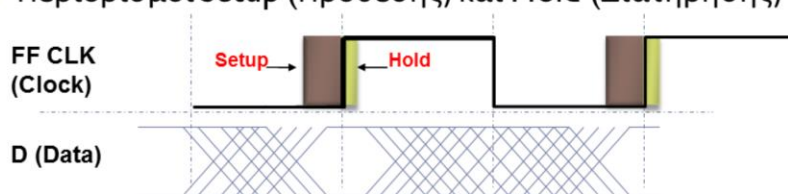
▶ 11

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά  
Κυκλώματα 10/16/2014

Τα XXXX στα δεδομένα επιδεικνύουν τους χρόνους που τα δεδομένα μπορούν να αλλάξουν αυθαίρετα από 0 σε 1. Τα «μάτια», ή σταθερά παράθυρα, επιδεικνύουν τους χρόνους που τα δεδομένα πρέπει να είναι σταθερά, δηλαδή είτε 0 είτε 1.

## Καταχωρητής - Χρονισμός

- ▶ Όταν το CLK κάνει μετάβαση 0→1, το FF ανοιγοκλείνει (αποτελείται από 2 εσωτερικούς μανταλωτές)
  - ▶ Αν το D αλλάζει κατά την διάρκεια του κλεισίματος, δηλ. σε χρόνο μικρότερο από την καθυστέρηση του 1<sup>ου</sup>, τότε ο 2<sup>ος</sup> μανταλωτής δεν θα αποθηκεύσει την σωστή κατάσταση
  - ▶ Η τελική κατάσταση που θα αποθηκευτεί θα εξαρτάται από τον θόρυβο και δρομήσεις στο κύκλωμα
- ▶ Περιορισμοί Setup (Πρόθεσης) και Hold (Διατήρησης)



▶ 12

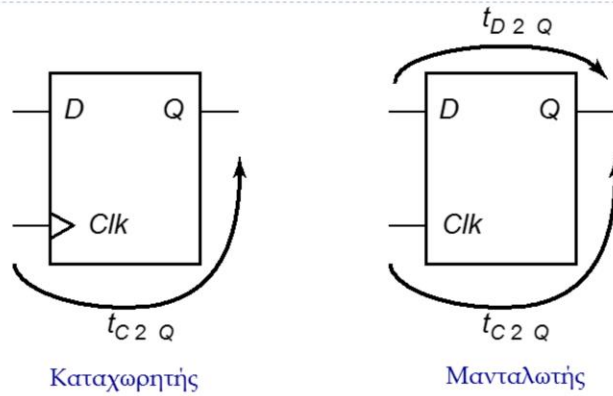
HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Τα XXXX στα δεδομένα επιδεικνύουν τους χρόνους που τα δεδομένα μπορούν να αλλάξουν αυθαίρετα από 0 σε 1. Τα «μάτια», ή σταθερά παράθυρα, επιδεικνύουν τους χρόνους που τα δεδομένα πρέπει να είναι σταθερά, δηλαδή είτε 0 είτε 1.

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ **Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης**
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης

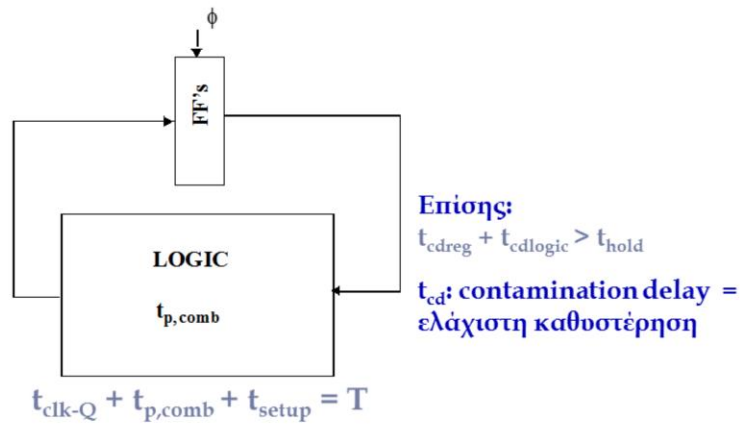


- ▶ Στους μανταλωτές υπάρχει και καθυστέρηση  $t_{d2q}$ 
  - ▶ μικρότερη του  $t_{c2q}$
  - ▶ Περίπτωση που ο μανταλωτής είναι ανοικτός και φτάνουν δεδομένα

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Πάνω όριο στην Συχνότητα



▶ 16

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Για να υπολογίσουμε την μέγιστη συχνότητα ενός κυκλώματος με ρολόι και καταχωρητές, δηλ. το πάνω όριο της και έτσι και την ελάχιστη περίοδο εξετάζουμε (α) την καθυστέρηση των FF  $t_{c2q}$ , (β) την καθυστέρηση του κρίσιμου μονοπατιού του κυκλώματος, δηλ. χειρίστη συνδυαστική καθυστέρηση από καταχωρητή σε καταχωρητή (ή είσοδο σε καταχωρητή ή καταχωρητή σε έξοδο) και (γ) τον χρόνο πρόθεσης  $t_{su}$ .

Έτσι έχουμε από την έξοδο του καταχωρητή που αφορά την κρίσιμη οδό:

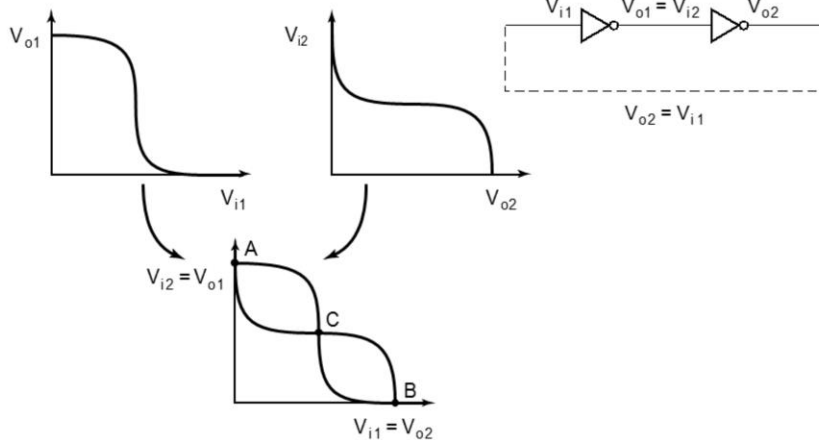
$(t_{c2q} + t_{cp} + t_{su})$  είναι ο ελάχιστος χρόνος που μπορεί να εμφανιστεί η επόμενη ακμή άρα και η ελάχιστη περίοδος, και το αντίστροφο της η μέγιστη συχνότητα.



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ **Δισταθές**
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Θετική Ανάδραση – Δισταθές (Bistable)



- ▶ Στατικές Μνήμες χρησιμοποιούν Δισταθή Κυκλώματα
- ▶ Διατήρηση κατάστασης εφόσον το  $g$  μένει πάνω από το 1

▶ 18

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Παραπάνω βλέπουμε την βασική λειτουργία του απλούστερου δισταθές κυκλώματος, δηλ. δυο αντιστροφών. Ο συνδυασμός των χαρακτηριστικών γραφικά οδηγεί στην χαρακτηριστική του κυκλώματος στην οποία φαίνεται ότι υπάρχουν τρία σημεία λειτουργίας, A, B και C. Το C μια και είναι στο κέντρο της χαρακτηριστικής προφανώς δεν αποτελεί σημείο ψηφιακής λειτουργίας.

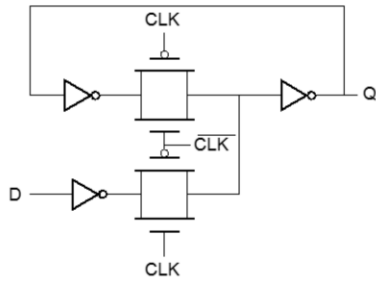
Μεταβατικά, όσο η λειτουργία του κυκλώματος εμμένει κοντά στα A και B, δηλ. στα όρια όπου  $g \geq 1$  (κέρδος αντιστροφή) το κύκλωμα διαρκώς ενισχύει την οποιαδήποτε απόκλιση του δυναμικού από τα δυο σταθερά σημεία A και B.

## Περιεχόμενα

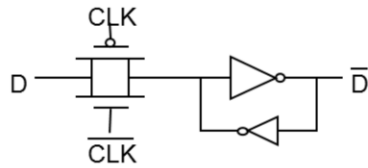
- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ **Εγγραφή Μανταλωτή**
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Εγγραφή σε Μανταλωτή - Προσεγγίσεις

- ▶ Το ρολόι χρησιμοποιείται για διαχωρισμό της κατάστασης
  - ▶ Ανοικτός ή κλειστός



Τύπου Πολυπλέκτη



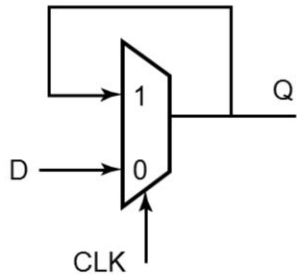
Επιβολή της νέας κατάστασης  
(και μόνο NMOS)

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ **Μανταλωτής Πολύπλεξης**
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

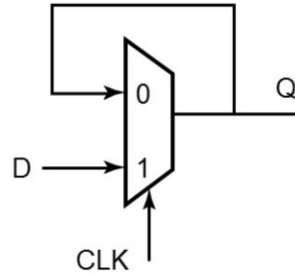
## Μανταλωτής μέσω Πολύπλεξης

Αρνητικός Μανταλωτής  
(ανοικτό όταν CLK=0)



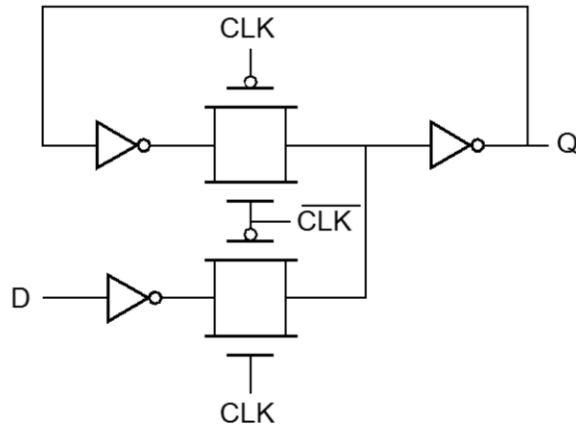
$$Q = \overline{Clk} \cdot Q + Clk \cdot In$$

Θετικός Μανταλωτής  
(ανοικτός όταν CLK=1)



$$Q = Clk \cdot Q + \overline{Clk} \cdot In$$

## Μανταλωτής μέσω Πολύπλεξης

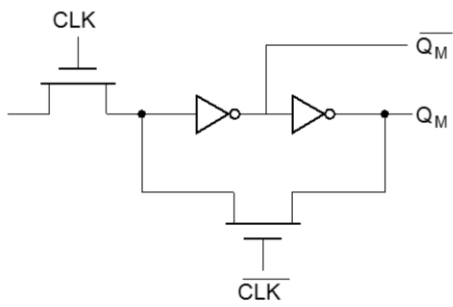


► Σε επίπεδο τρανζίστορ

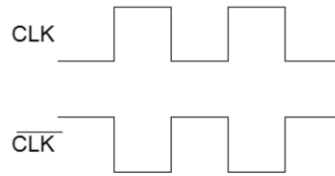
► 23

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

## Μανταλωτής μέσω Πολύπλεξης



Μόνο NMOS μεταβίβασης

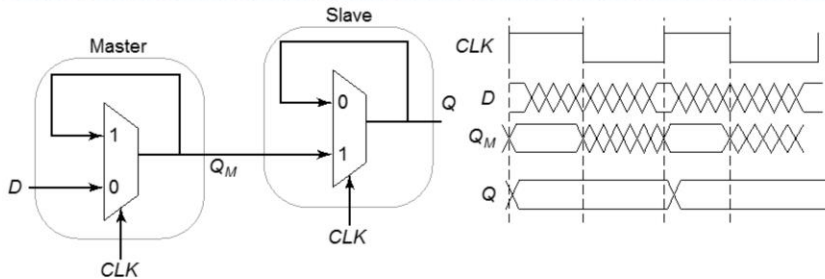


Μη επικαλυπτόμενα ρολόγια!

Αν χρησιμοποιήσουμε μόνο τρανζίστορ NMOS τότε μειώνουμε σημαντικά το φορτίο (χωρητικότητα) στο ρολόι του κυκλώματος, όπως φαίνεται παραπάνω. Το μειονέκτημα είναι η πτώση τάσης στην είσοδο του 1<sup>ου</sup> αντιστροφέα, το σχετικό στατικό ρεύμα που καταναλώνεται εκεί (το PMOS είναι συνέχεια ανοικτό) και η μείωση των επιπέδων θορύβου.



## Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος (Master-Slave)



- ▶ Διο μανταλωτές διαφορετικής πολικότητας
  - ▶ Διάταξη Αφέντη-Σκλάβου
  - ▶ CLK = 0 → ο 1ος είναι ανοικτός
  - ▶ CLK = 1 → ο 2ος είναι ανοικτός
- ▶ Στην ακμή (0→1) τα δεδομένα του αφέντη περνάνε στον σκλάβο και ο αφέντης κλείνει

▶ 25

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

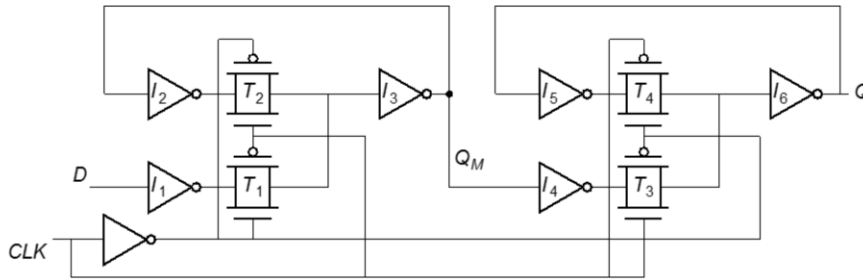
Μόνο στην ακμή 0→1 αλλάζουν τα δεδομένα του καταχωρητή στην παραπάνω διάταξη. Στην άλλη ακμή 1→0 αλλάζουν ταυτόχρονα οι καταστάσεις του αφέντη και σκλάβου, δηλ. ο σκλάβος κλείνει (δεν αλλάζει η έξοδος) ενώ ο αφέντης ανοίγει (για να ξεκινήσει να διαβάζει το επόμενο δεδομένο).

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ **Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος**
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος (Master-Slave)

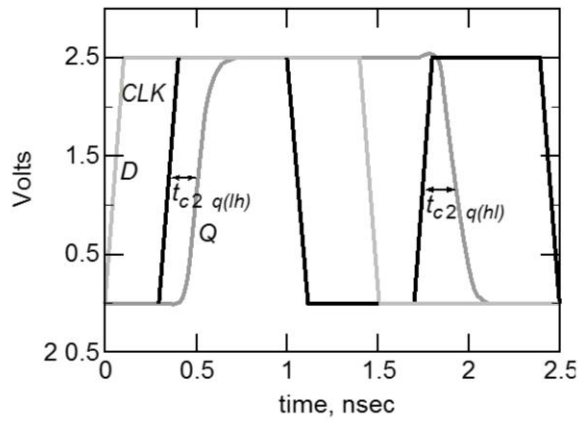
- ▶  $t_{\text{setup}}$  – καθυστέρηση κλεισίματος του αφέντη
  - ▶ μη τροποποίηση του QM από αλλαγή του D στο κλείσιμο
- ▶  $t_{\text{hold}}$  – καθυστέρηση ανοίγματος του σκλάβου
  - ▶ μη τροποποίηση του Q στο μεσοδιάστημα που είναι και οι δυο ανοικτοί



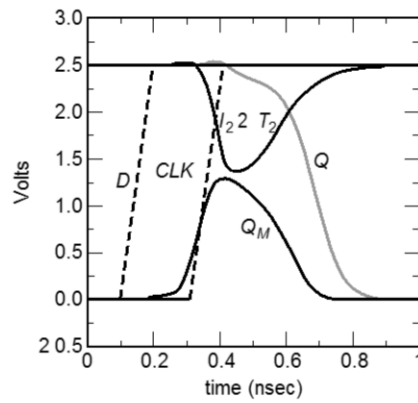
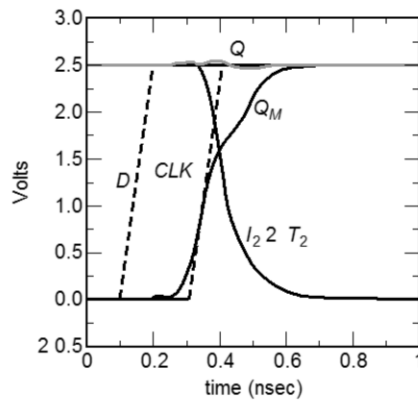
▶ 27

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

## Καθυστέρηση CLK→Q



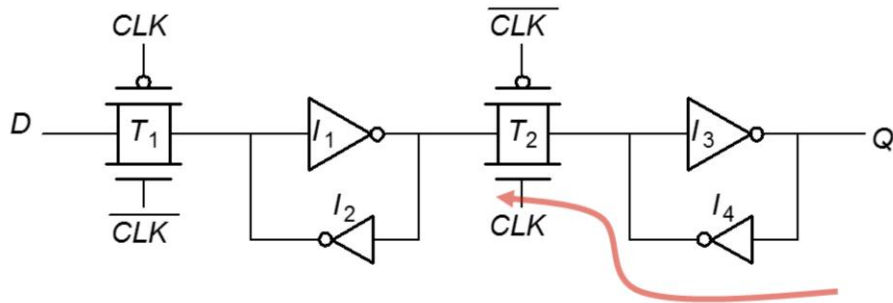
## Χρόνος Πρόθεσης (Setup)



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ **Καταχωρητής μικρού φορτίου**
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Καταχωρητής με μικρότερο φορτίο στο ρολόι



- ▶ Επιλογή μεγεθών για τους αντιστροφείς διατήρησης
- ▶ Στην εγγραφή πρέπει να επιβληθεί η νέα κατάσταση

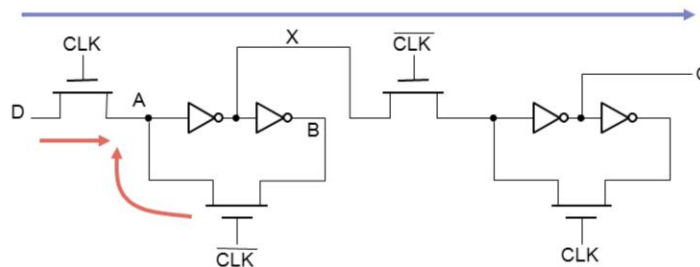
Ο παραπάνω καταχωρητής λειτουργεί στην θετική ακμή ( $0 \rightarrow 1$ )

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ **Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού**
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής



## Μη ιδανικά ρολόγια – Επικάλυψη ρολογιών



(a) Σχηματικό



(b) Επικαλυπτόμενα Ρολόγια

▶ 33

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Ο παραπάνω καταχωτητής λειτουργεί στην αρνητική ακμή ( $1 \rightarrow 0$ ).

Όταν τα ρολόγια επικαλύπτονται με δυο συνέπειες: (α) να υπάρχει στιγμιαίο μονοπάτι από το D στο Q της εξόδου, και (β) η ανάδραση και η διέλευση της νέας κατάστασης είναι ενεργές ταυτόχρονα. Άρα, στην μη ενεργή ακμή μπορεί να υπάρξει αλλαγή δεδομένου στην έξοδο αν δεν κλείσει το CLK' και αλλάξει η κατάσταση του σκλάβου. Επιπλέον, η ταυτόχρονη οδήγηση του A μπορεί να οδηγήσει σε ενδιάμεσο δυναμικό.

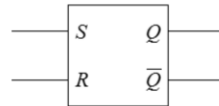
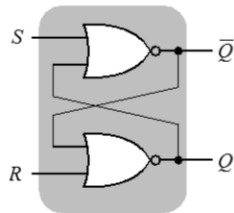
Ένας τρόπος αντιμετώπισης είναι η χρήση διαφορετικών, μη-επικαλυπτόμενων ρολογιών, αντί για ένα ρολόι και την αντιστροφή του, όπου αυτά μπορούν να παραχθούν οδηγώντας έναν SR μανταλωτή από το ρολόι.

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ **Μανταλωτής SR**
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Μανταλωτής μέσω Πύλων με Ανάδραση

### NOR-based set-reset



$S$	$R$	$Q$	$\bar{Q}$
0	0	$Q$	$\bar{Q}$
1	0	1	0
0	1	0	1
1	1	0	0

Forbidden State

## Ακολουθιακά Στοιχεία: Flip-Flop και Latch

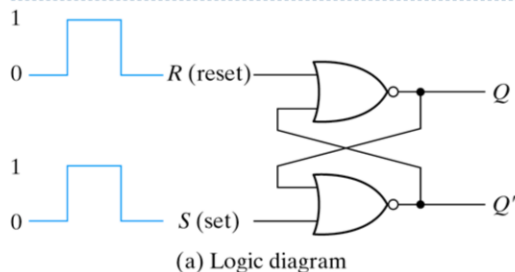


Fig. 5-3 SR Latch with NOR Gates

- ▶ **NOR SR Latch – Θετικά Ενεργό**
- ▶ Αναλύστε την λειτουργία του ξεκινώντας από μια αρχική κατάσταση στα  $Q, Q'$ 
  - ▶ Τι συμβαίνει στην περίπτωση που  $S = R = 1$ ;
  - ▶ Υπάρχει κάποιο πρόβλημα εκεί;

▶ 36

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Ο πίνακας αλήθειας της NOR έχει ως εξής:

$x \ y \mid (x + y)'$

----|-----

0 0 | 1

0 1 | 0      Η NOR είναι μια OR με αντεστραμμένη έξοδο.

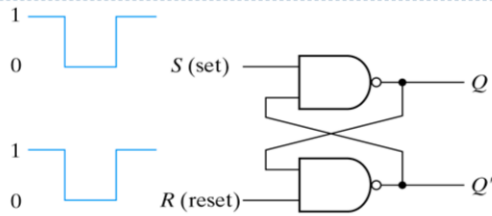
1 0 | 0      Η τιμή 1 είναι τιμή ελέγχου στην έξοδο (παράγει 0)

1 1 | 0

Στην περίπτωση που οι είσοδοί είναι 11, τότε τα  $Q$  και  $Q'$  θα γίνουν 0.

Αν μετά έχουμε σαν επόμενη είσοδο την 00, δηλαδή την διατήρηση της κατάστασης, το κύκλωμα έχει δρόμηση (race) αφού η τελικές τιμές των  $Q, Q'$  εξαρτώνται από το ποια από τις 2 NOR (μαζί με τα σχετικά τους καλώδια, τις συνθήκες θορύβου, κτλ.) θα κάνει πρώτη μια από τις  $Q, Q'$  ένα.

## Ακολουθιακά Στοιχεία: Flip-Flop και Latch



(a) Logic diagram

Fig. 5-4 SR Latch with NAND Gates

- ▶ **NAND SR Latch – Αρνητικά Ενεργό**
- ▶ Αναλύστε την λειτουργία του ξεκινώντας από μια αρχική κατάσταση στα  $Q, Q'$ 
  - ▶ Τι συμβαίνει στην περίπτωση που  $S = R = 0$ ;
  - ▶ Υπάρχει κάποιο πρόβλημα εκεί;

▶ 37

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Ο πίνακας αλήθειας της NAND έχει ως εξής:

$x \ y \mid (x + y)'$

----|-----

0 0 | 1

0 1 | 1      Η NAND είναι μια AND με αντεστραμμένη έξοδο.

1 0 | 1      Η τιμή 1 είναι τιμή ελέγχου στην έξοδο (παράγει 0)

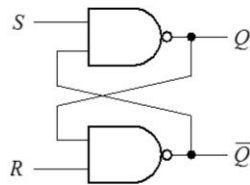
1 1 | 0

Στην περίπτωση που οι είσοδοί είναι 00, τότε τα  $Q$  και  $Q'$  θα γίνουν 1.

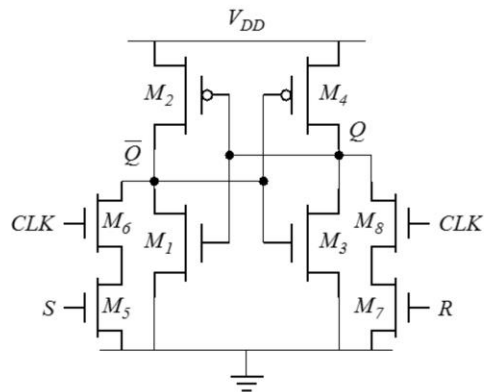
Αν μετά έχουμε σαν επόμενη είσοδο την 11, δηλαδή την διατήρηση της κατάστασης, το κύκλωμα έχει δρόμηση (race) αφού η τελικές τιμές των  $Q, Q'$  εξαρτώνται από το ποια από τις 2 NOR (μαζί με τα σχετικά τους καλώδια, τις συνθήκες θορύβου, κτλ.) θα κάνει πρώτη μια από τις  $Q, Q'$  μηδέν.

## Μανταλωτής μέσω Πύλων με Ανάδραση

Διασταυρωμένες NAND



Επιπρόσθετο Ρολόι



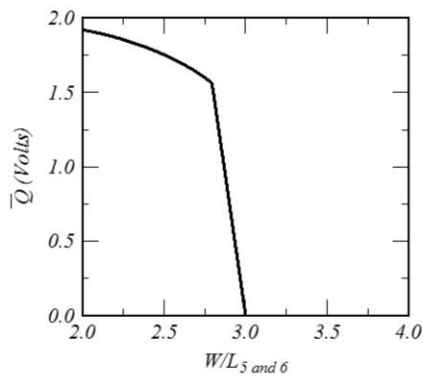
► Δεν χρησιμοποιείται για λογική αλλά για στατική μνήμη

► 38

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

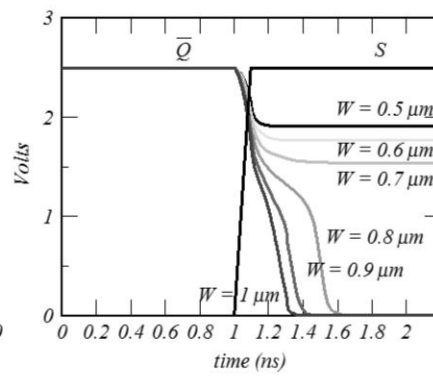
Στην παραπάνω διάταξη η ανάδραση γίνεται σε επίπεδο CMOS, δηλ. διασταυρώνοντας τις εξόδους όπως στην διαφορική λογική. Με αυτό τον τρόπο έχουμε σημαντικό κέρδος σε τρανζίστορ, σε σχέση με την υλοποίηση σε επίπεδο πυλών.

## CMOS SR - Μεγέθη



(a)

Δυναμικό DC σε σχέση με  
τα  $W/L$  των 5 και 6



(b)

Μεταβατική Απόκριση

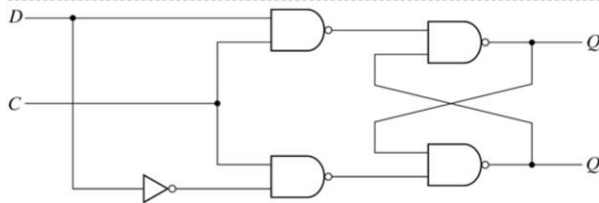
Πάνω δεξιά βλέπουμε ότι τα μεγέθη των M5, M6 (και M7, M8) πρέπει να είναι μεγαλύτερα από αυτά των M2, M4 για να αλλάξει κατάσταση η πύλη

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ **FF τύπου D**
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής



## Ακολουθιακά Στοιχεία: Flip-Flop και Latch



(a) Logic diagram

C	D	Next state of Q
0	X	No change
1	0	Q = 0; Reset state
1	1	Q = 1; Set state

(b) Function table

Fig. 5-6 D Latch

- ▶ Θετικό D Latch (Μανταλωτής), όπου C είναι το ρολόι (συνήθως λέγεται g = gate)
- ▶ Πώς εξασφαλίζεται ότι η περίπτωση  $S = R = 0$  δεν συμβαίνει;
- ▶ Τι θα συμβεί αν  $C = 1$  και το D αλλάζει;

▶ 41

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Η περίπτωση  $S = R = 0$ , στο SR Latch του μανταλωτή δεν μπορεί να συμβεί λόγω του αντιστροφέα στο D.

Οι εξισώσεις έχουν ως εξής:

$$S = (D \cdot C)' = D' + C', \text{ και } S = 0 \text{ συνεπάγεται } DC = 11$$

$$R = (D' \cdot C)' = D + C', \text{ και } R = 0 \text{ συνεπάγεται } DC = 01$$

Άρα, σε λογικό επίπεδο δεν συντρέχει η περίπτωση  $S = R = 0$ , λόγω της διαφορετικής ανάθεσης τιμών στα DC.

Σε ηλεκτρικό επίπεδο, ανάλογα με την καθυστέρηση του αντιστροφέα μπορεί να υπάρχει κίνδυνος για το SR και εξαρτάται από την σχετική ταχύτητα του αντιστροφέα και των NAND πριν το SR. Τέτοιες περιπτώσεις εξασφαλίζονται στην σχεδίαση του D latch χρησιμοποιώντας κατάλληλα μεγέθη στις πύλες (τρανζίστορ) και κάνοντας χρονική ανάλυση της χειρότερης περίπτωσης.

## Ακολουθιακά Στοιχεία: Flip-Flop και Latch

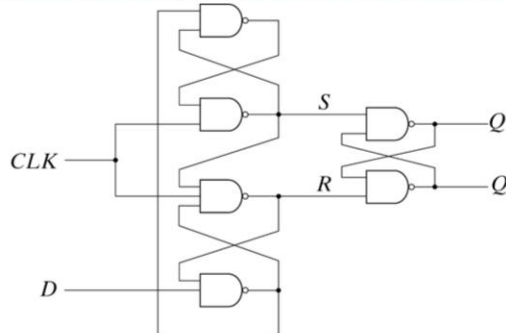


Fig. 5-10 D-Type Positive-Edge-Triggered Flip-Flop

- ▶ D-Type Flip-Flop
- ▶ Το παραπάνω FF, μεγαλύτερου εμβαδού, πρακτικά αποτελείται από τρεις μανταλωτές (D, CLK), (CLK, Y), (S, R)

▶ 42

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Το παραπάνω κύκλωμα είναι καλύτερα να αναλυθεί δόκιμα, σε επίπεδο δηλαδή εξισώσεων και ΜΠΚ των τμημάτων του (των τριών μανταλωτών που αντιστοιχούν σε 3 ΜΠΚ).

Πρακτικά και περιγραφικά, η λειτουργία του είναι η εξής.

1. Όσο το CLK είναι 0, τα σήματα S και R μένουν στο μηδέν και το Q διατηρείται ανεξάρτητα του D.
2. Όταν το CLK γίνει 1, τότε ενεργοποιείται η λειτουργία των 2 αριστερών μανταλωτών
  - Αν το D είναι μηδέν, τότε το R γίνεται 0 και το FF αποθηκεύει 0
  - Αν το D είναι ένα, τότε το S γίνεται 0 και το FF αποθηκεύει 1
3. Όσο το CLK παραμένει 1, τα S και R διατηρούν την τιμή που είχαν στη μετάβαση  $0 \rightarrow 1$ .

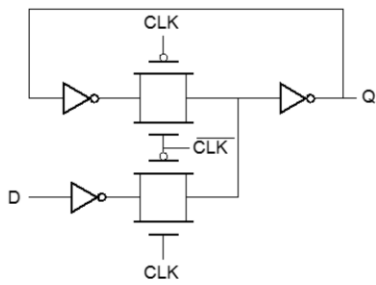
Το παραπάνω ακμοπυροδότητο FF έχει ως ενεργή ακμή την  $0 \rightarrow 1$ .

## Περιεχόμενα

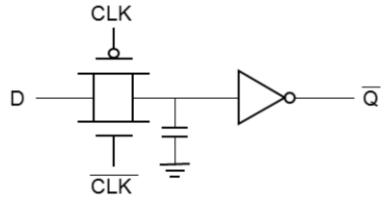
- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ **Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση**
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

# Μηχανισμός Αποθήκευσης

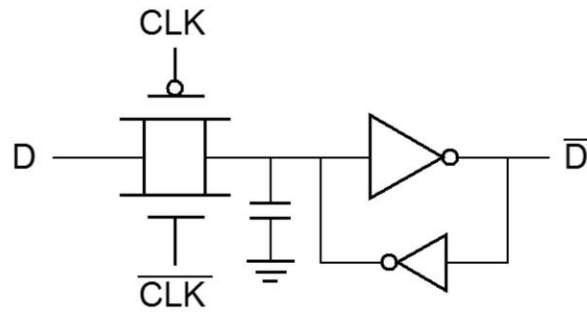
Στατική Αποθήκευση



Δυναμική Αποθήκευση (βάση φορτίου)



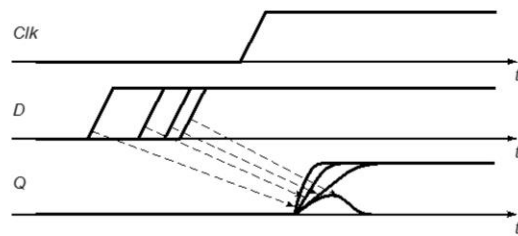
## Μετατροπή Δυναμικού Μανταλωτή σε Ψευδοστατικό



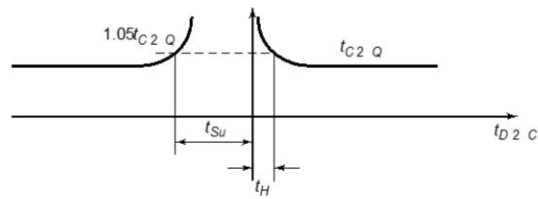
## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης



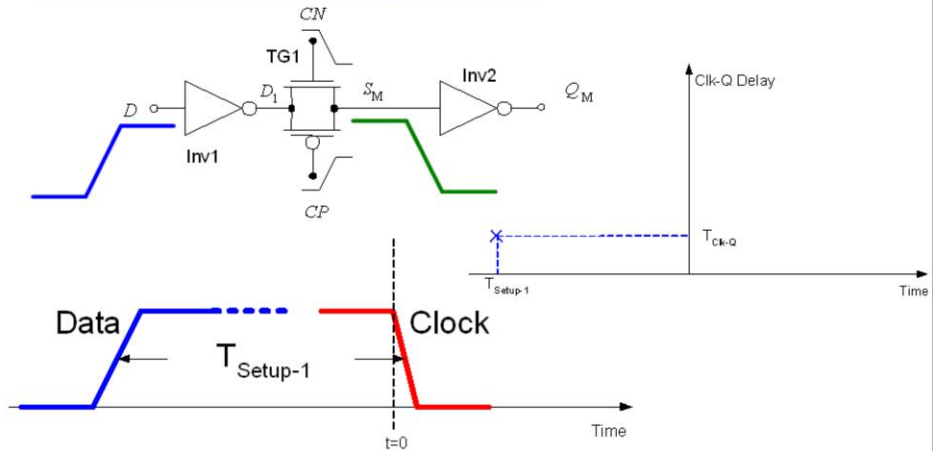
(a)



(b)

# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

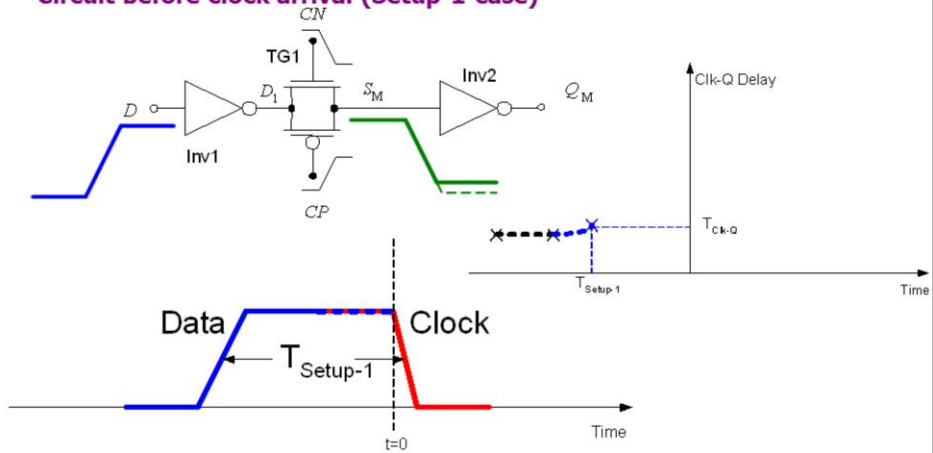
## Circuit before clock arrival (Setup-1 case)





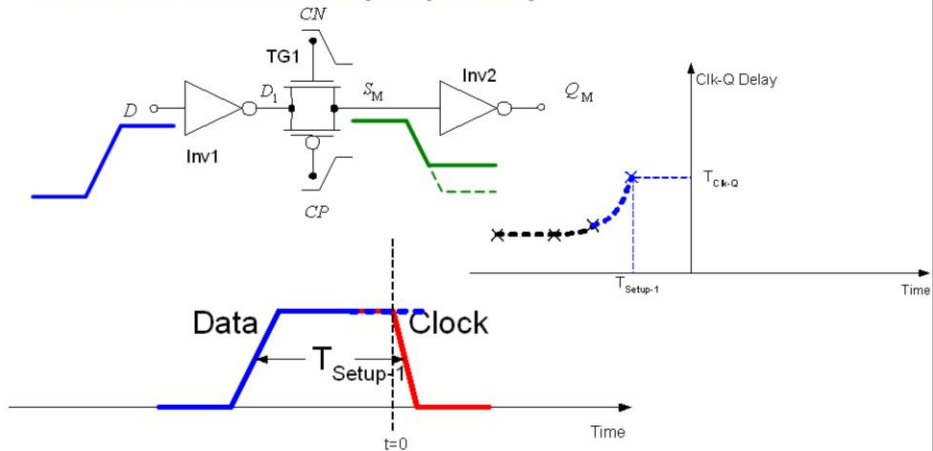
# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

## Circuit before clock arrival (Setup-1 case)



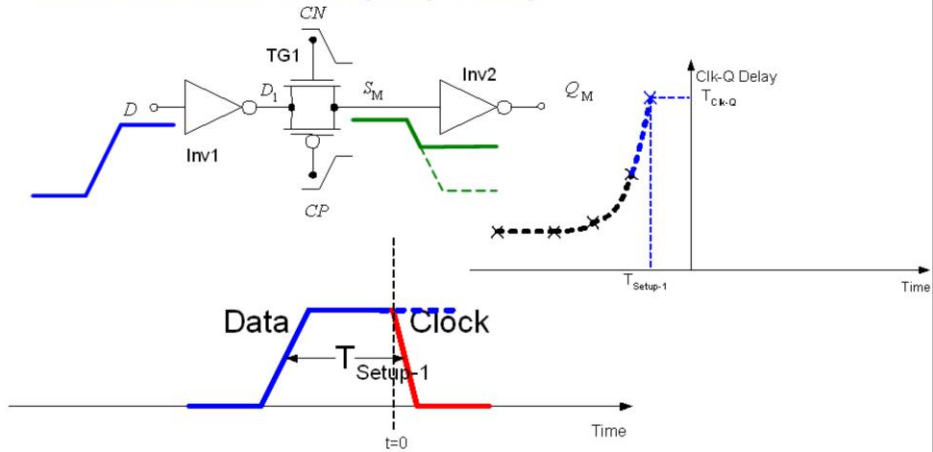
# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

Circuit before clock arrival (Setup-1 case)



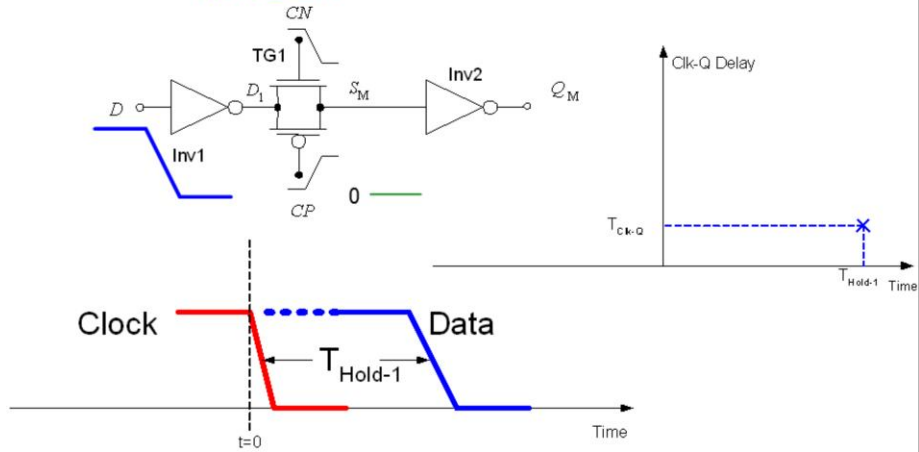
# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

Circuit before clock arrival (Setup-1 case)



# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

## Hold-1 case

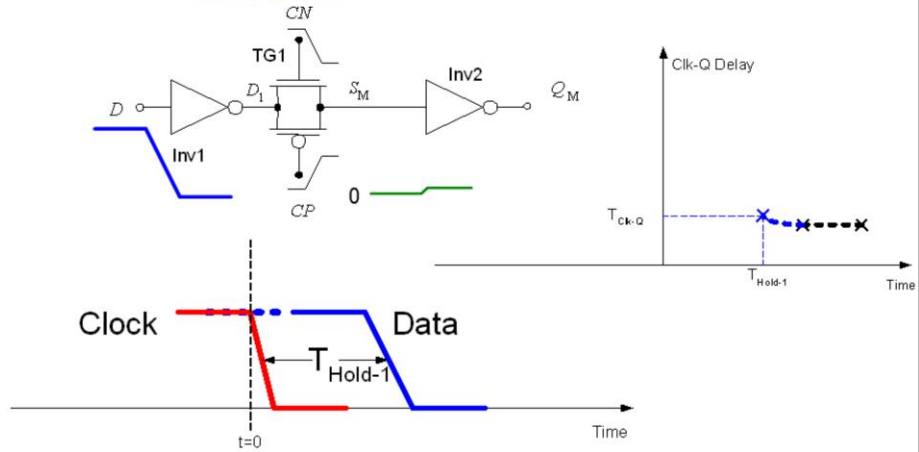


► 52

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

## Hold-1 case

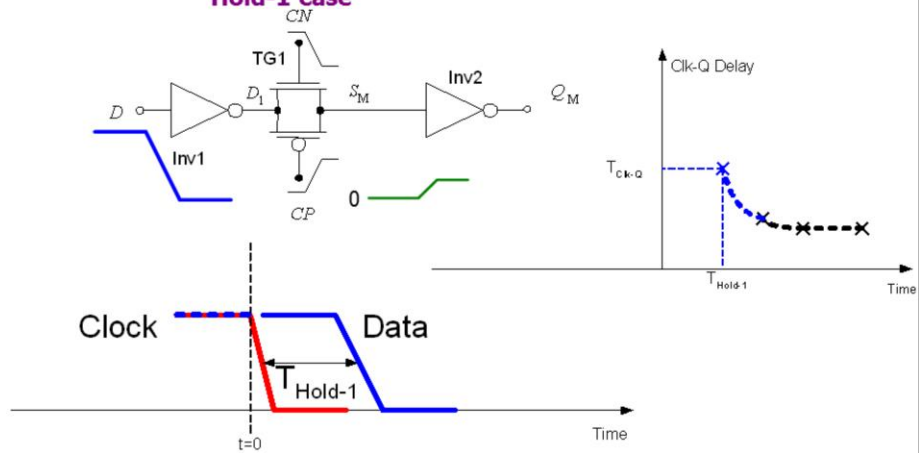


▶ 53

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

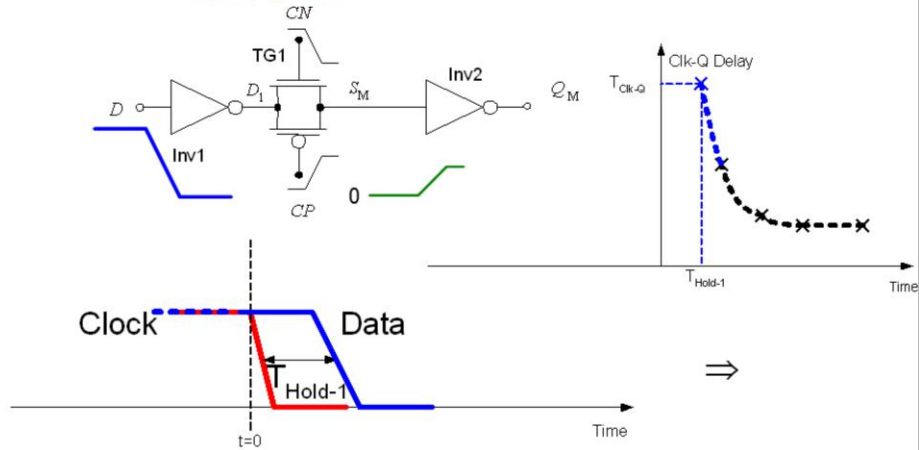
# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

## Hold-1 case



# Ανάλυση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης

## Hold-1 case



▶ 55

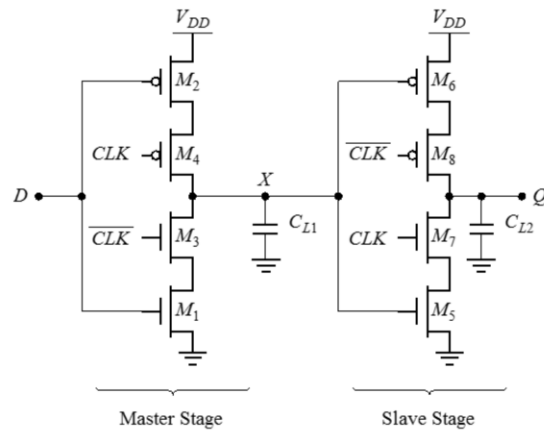
HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής



## C<sup>2</sup>MOS Καταχωρητής



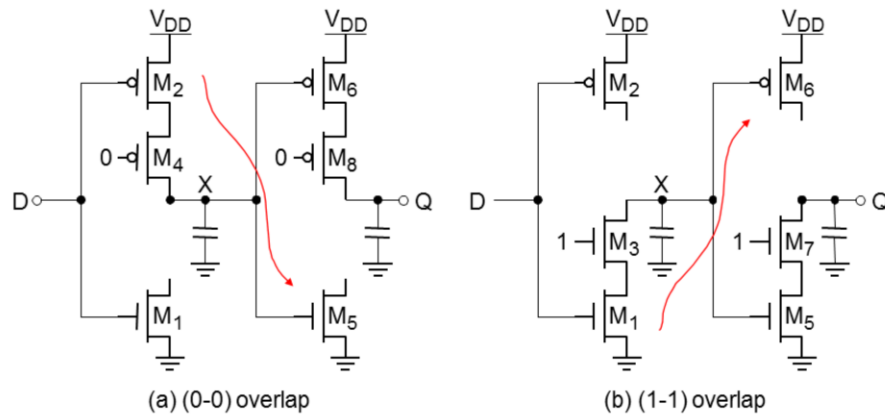
- ▶ Μπορεί να μετατραπεί σε ψευδοστατικό προσθέτοντας συντηρητές (keepers)

▶ 57

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Ο C<sup>2</sup>MOS καταχωρητής είναι ακμοπυροδότητος καταχωρητής υλοποιημένος με δυναμική λογική και έχει αρχιτεκτονική Αφέντη-Σκλάβου. Το χαρακτηριστικό του C<sup>2</sup>MOS καταχωρητή είναι ότι δεν τον επηρεάζει η τυχόν στιγμιαία (και μεταβατική) επικάλυψη στα σήματα του ρολογιού (θετικής και αρνητικής πολικότητας).

## C<sup>2</sup>MOS Καταχωρητής και Επικάλυψη



▶ 58

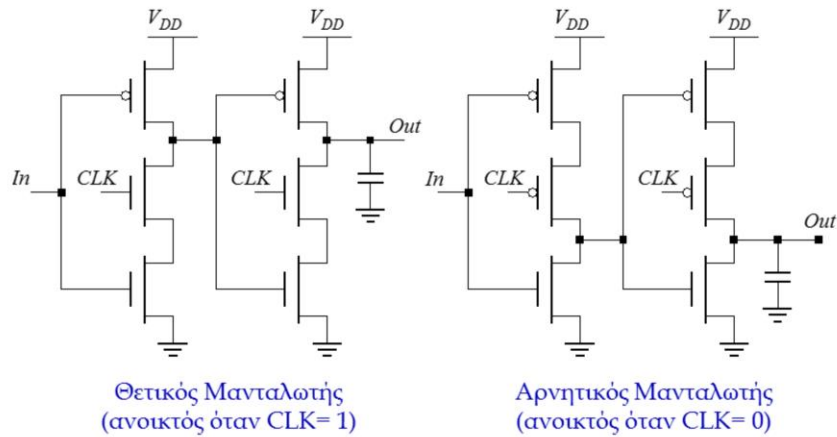
HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Παραπάνω φαίνεται η αντιμετώπιση της επικάλυψης των λογικών τιμών στα σήματα του ρολογιού από τον C<sup>2</sup>MOS καταχωρητή. Αριστερά φαίνεται η 0-0 επικάλυψη (CLK = 0, CLK' = 0 στιγμιαία) και δεξιά η 1-1 επικάλυψη (CLK = 1, CLK' = 1 στιγμιαία). Έτσι, όπως φαίνεται παραπάνω και στις δυο περιπτώσεις η επικάλυψη δεν επηρεάζει την τιμή του κόμβου X ή της εξόδου Q.

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ **Μανταλωτής TSPC**
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## TSPC (True Single-Phase Clock) Μανταλωτής



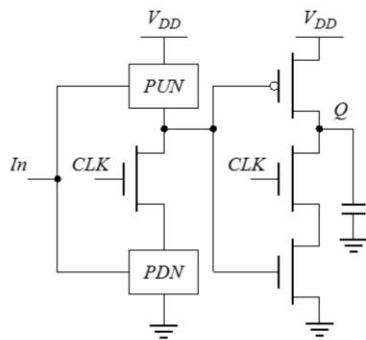
▶ 60

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά 10/16/2014  
Κυκλώματα

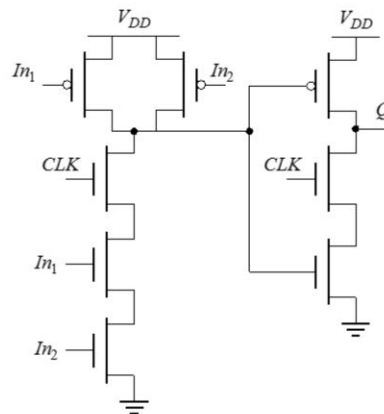
Μια δυναμική υλοποίηση μανταλωτή είναι η TSPC, η οποία φαίνεται παραπάνω και στην θετική και στην αρνητική της εκδοχή. Ο μανταλωτής TSPC όπως φαίνεται παραπάνω εκ πρώτης όψεως δεν έχει κάποιο ιδιαίτερο πλεονέκτημα από τις ψευδοστατικές εκδοχές που παρουσιάστηκαν νωρίτερα.

Όμως, το κρυφό πλεονέκτημα της παραπάνω αρχιτεκτονικής μανταλωτή είναι ότι η δομή της με τα δίκτυα PUN/PDN επιτρέπει για την συγχώνευση συνδυαστικής λογικής στο εσωτερικό του μανταλωτή.

## TSPC Μανταλωτής με επιπρόσθετη λογική



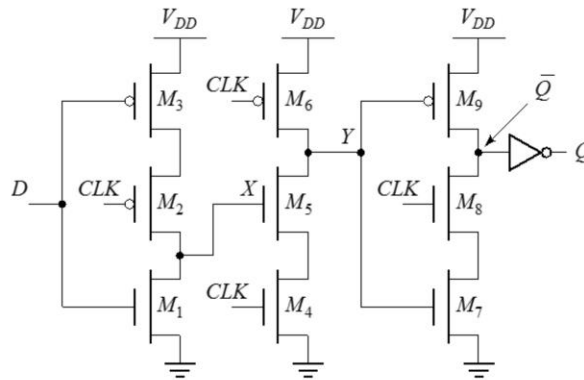
Ενσωματωμένη Λογική  
στον Μανταλωτή



Μανταλωτής AND

Παραπάνω φαίνεται η αρχιτεκτονική TSPC και η ενσωμάτωση λογικής στον μανταλωτή αριστερά. Δεξιά παρουσιάζεται ένας μανταλωτής AND. Προφανώς η αρχιτεκτονική τύπου δυο αντιστροφών συνεπάγεται ότι οι συνδυαστικές πύλες που ενσωματώνονται στον TSPC είναι θετικής πολικότητας.

## TSPC Καταχωρητής



▶ 62

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Παραπάνω βλέπουμε έναν TSPC καταχωρητή. Απαιτεί τέσσερα συνολικά στάδια, αντί για δυο στάδια του μανταλωτή.

- Το 1<sup>ο</sup> οδηγεί το X στο 0 όταν D = 1 ή στο 1 όταν CLK = 0 και D = 0.
- Το 2<sup>ο</sup> προφορτίζει το Y στο 1 όταν CLK = 0, και κατεβάζει το Y όταν CLK = 1 και X = 1.

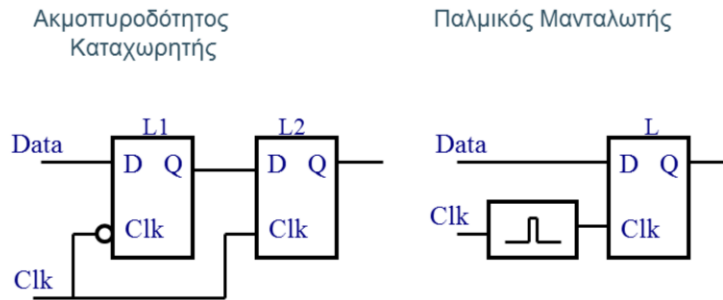
Έτσι, όταν CLK = 0 ο κόμβος Q' δεν οδηγείται και ο καταχωρητής παραμένει στην προηγούμενη του κατάσταση. Προετοιμάζεται όμως ο κόμβος X ο οποίος περιέχει την άρνηση του D. Όταν CLK = 1, το Y οδηγείται από την προηγούμενη τιμή του D και η D' περνάει στο Q' (D περνά στο Q). Αν το D αλλάξει τιμή, γίνει 1, όταν CLK = 1, τότε θα κατέβει το Y (ήταν 1). Το Q' μπορεί να έχει πάρει την τελική του τιμή (0 αφού το Y ήταν 1 ή όχι). Η καθυστέρηση CLK στο Q' αποτελεί την συνθήκη διατήρησης (hold) του παραπάνω καταχωρητή.

## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ **Παλμικοί Μανταλωτές**
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Παλμικοί Μανταλωτές αντί Καταχωρητών

- ▶ Μια εναλλακτική προσέγγιση στους ακμοπυροδοτούς καταχωρητές είναι οι παλμικοί μανταλωτές



▶ 64

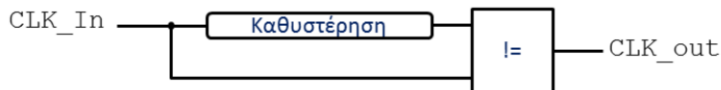
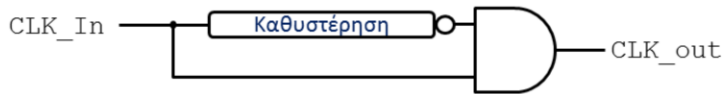
HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Για μικρότερο εμβαδό, μικρότερο φορτίο στο σήμα ρολογιού και στις περισσότερες περιπτώσεις μεγαλύτερη ταχύτητα, στα κυκλώματα υψηλής απόδοσης χρησιμοποιούνται παλμικοί μανταλωτές αντί ακμοπυροδοτούς καταχωρητών. **Μάλιστα, τα πρώτα σύγχρονα κυκλώματα (δεκαετίες 50-60) χρησιμοποιούσαν παλμικούς μανταλωτές.**

Το βασικό μειονέκτημα του παλμικού μανταλωτή είναι ότι η ορθή λειτουργία βασίζεται στο πλάτος του παλμού. Αν το πλάτος γίνει μικρό (λόγω χωρητικότητας) ο μανταλωτής μπορεί να μην αντιδράσει στον παλμό. Έτσι, τέτοια κυκλώματα εκτός από περιορισμούς πρόθεσης και διατήρησης έχουν και περιορισμό πλάτους παλμού!



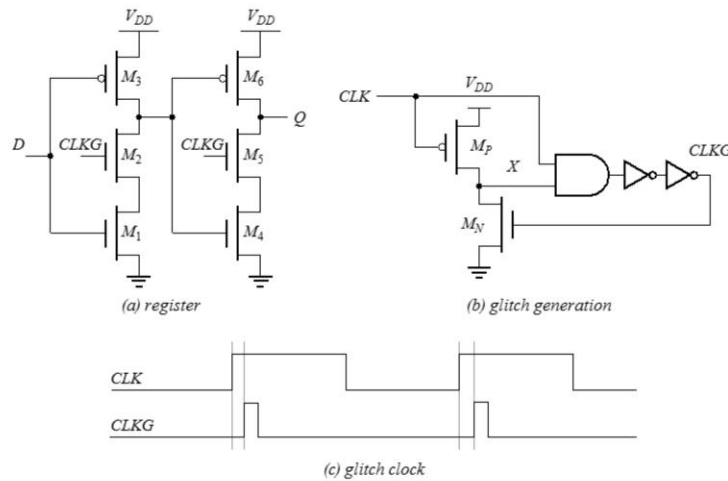
## Μετατροπή Ακμής σε Παλμό



Παραπάνω φαίνονται δυο τρόποι για να μετατρέψουμε ακμές σε παλμούς. Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση (AND) η θετικές ακμές ( $0 \rightarrow 1$ ) μετατρέπονται σε παλμό πλάτους ανάλογου με την αρνητική καθυστέρηση. Στην 2<sup>η</sup> περίπτωση (XOR) και οι δυο ακμές μετατρέπονται σε παλμό πλάτους ανάλογου με την (θετική) καθυστέρηση.

Η καθυστέρηση στα παραπάνω σχήματα μπορεί να υλοποιηθεί από οποιαδήποτε πύλη της βιβλιοθήκη (συνήθως αντιστροφείς) την οποία συνδέουμε πολλαπλές φορές σε διάταξη αλυσίδας.

## Παλμικοί Μανταλωτές

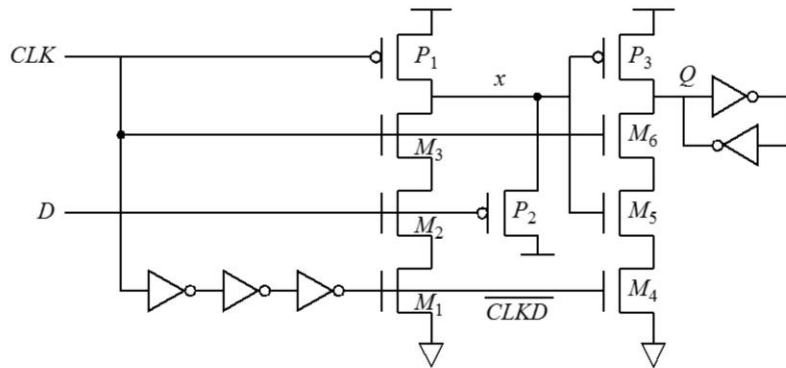


▶ 66

HY330 - Διάλεξη 7η - Ακολουθιακά Κυκλώματα 10/16/2014

Παραπάνω φαίνεται ένας μανταλωτής TSPC, ο οποίος οδηγείται από έναν μετατροπέα ακμής σε παλμό. Ο μετατροπέας κατεβάζει τον X όταν ο X και το CLK είναι 1 και η καθυστέρηση του είναι ανάλογη με την (θετική) αλυσίδα αντιστροφών.

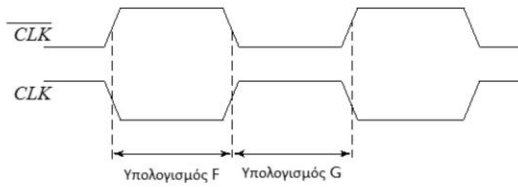
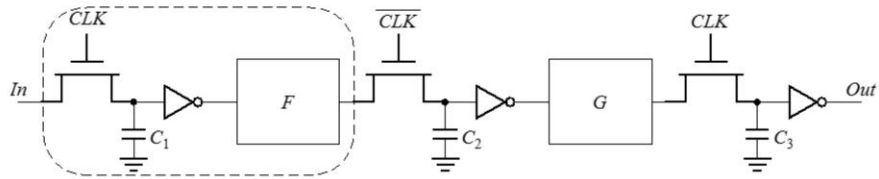
## HLFF (AMD K6-K7)



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ **CMOS Pipeline Υπολογισμού**
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

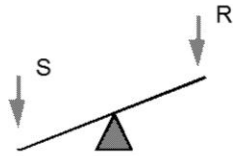
## Πipeline Υπολογισμού



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ **Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης**
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης



**Bistable Multivibrator**  
flip-flop, Schmitt Trigger



**Monostable Multivibrator**  
one-shot



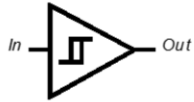
**Astable Multivibrator**  
oscillator

## Περιεχόμενα

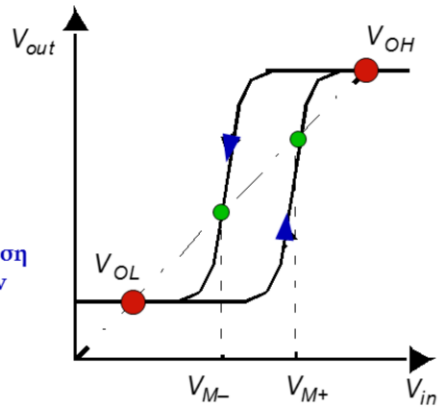
- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ **Υστέρηση – Schmitt Trigger**
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής



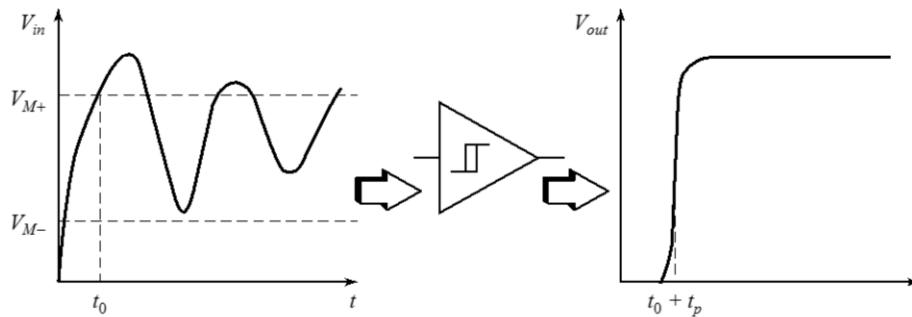
## Schmitt Trigger – Δισταθές με Υστέρηση



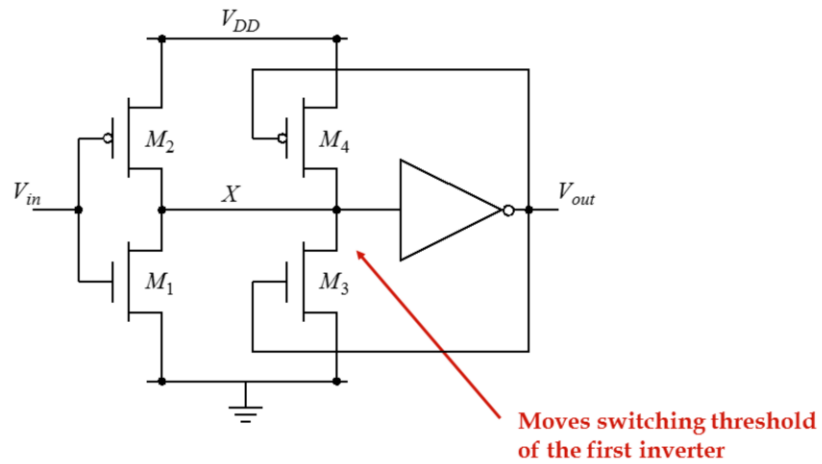
- Καμπύλη μετάβασης με υστέρηση
- Επαναφορά Λογικών Επιπέδων



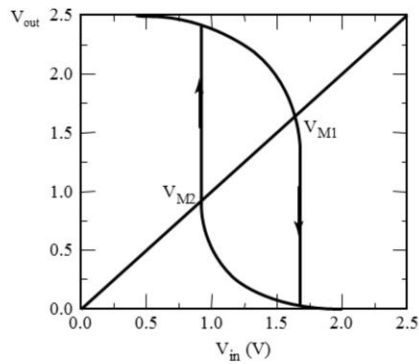
## Ανόρθωση Λογικών Επιπέδων με Schmitt Trigger



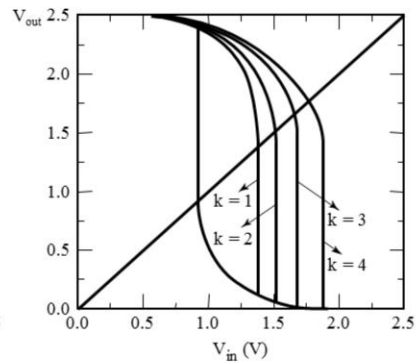
## Υλοποίηση Schmitt Trigger - 1



## Χαρακτηριστική με Υστέρηση

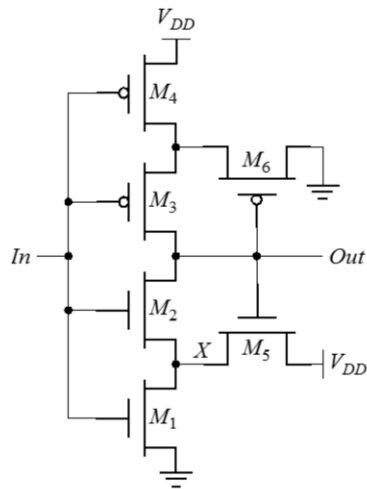


Voltage-transfer characteristics with hysteresis.



The effect of varying the ratio of the PMOS device  $M_4$ . The width is  $k * 0.5 m$ .

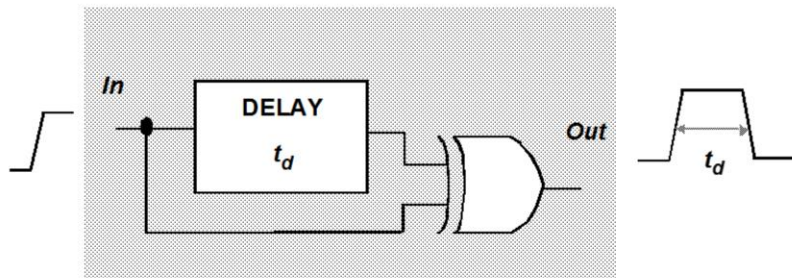
## Υλοποίηση Schmitt Trigger - 2



## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCFF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ **Μονοσταθές**
- ▶ Ασταθές - Ταλαντωτής

## Μονοσταθές - Μετατροπή ακμής σε παλμό

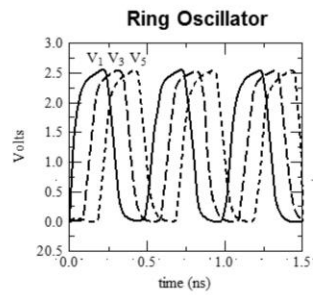
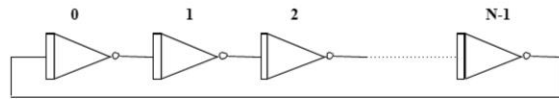


## Περιεχόμενα

- ▶ Ακολουθιακή Λογική
- ▶ Μανταλωτές και Καταχωρητές
  - ▶ Μανταλωτές θετικής, αρνητικής πολικότητας
  - ▶ Σχεδίαση με Μανταλωτές
- ▶ Χρονισμοί Μανταλωτών, Καταχωρητών
- ▶ Χαρακτηρισμός Καθυστέρησης
- ▶ Πάνω όριο στην Συχνότητα
- ▶ Δισταθές
- ▶ Εγγραφή Μανταλωτή
- ▶ Μανταλωτής Πολύπλεξης
- ▶ Καταχωρητής Αφέντης-Σκλάβος
  - ▶ Καθυστέρηση CLK→Q
  - ▶ Χρόνος Πρόθεσης
- ▶ Καταχωρητής μικρού φορτίου
- ▶ Επικάλυψη Σημάτων Ρολογιού
- ▶ Μανταλωτής SR
- ▶ FF τύπου D
- ▶ Δυναμική-Ψευδοστατική Αποθήκευση
- ▶ Παρουσίαση Χρονισμών Πρόθεσης/Διατήρησης
- ▶ Καταχωρητής C<sup>2</sup>MOS
- ▶ Μανταλωτής TSPC
- ▶ Παλμικοί Μανταλωτές
  - ▶ Μετατροπή ακμής σε παλμό
  - ▶ HLCF (AMD K6-K7)
- ▶ CMOS Pipeline Υπολογισμού
- ▶ Είδη Κυκλωμάτων Ταλάντωσης
- ▶ Υστέρηση – Schmitt Trigger
- ▶ Μονοσταθές
- ▶ **Ασταθές - Ταλαντωτής**



## Ασταθές - Ταλαντωτής



Απόκριση ταλαντωτή με αντιστροφείς 5 επιπέδων