



Πανεπιστήμιο Πατρών  
Τμήμα Φυσικής  
Εργαστήριο Ηλεκτρονικής

## Ψηφιακά Ηλεκτρονικά Καταχωρητές και Μετρητές

Επιμέλεια Διαφανειών: Δ. Μπακάλης

Πάτρα, Φεβρουάριος 2009

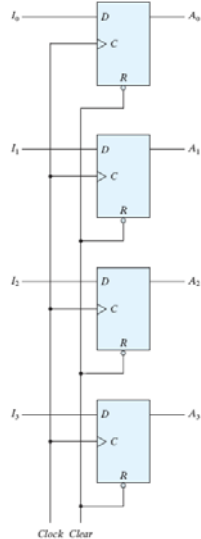
### Εισαγωγή

---

**Καταχωρητής:** είναι μία ομάδα από δυαδικά κύτταρα αποθήκευσης και από λογικές πύλες που διεκπεραιώνουν τη μεταφορά πληροφοριών.

Οι **μετρητές** είναι καταχωρητές που περνούν διαδοχικά από μια προκαθορισμένη ακολουθία καταστάσεων.

## Καταχωρητής



Ο απλούστερος δυνατός τύπος καταχωρητή αποτελείται μονάχα από flip-flops χωρίς εξωτερικές πύλες.

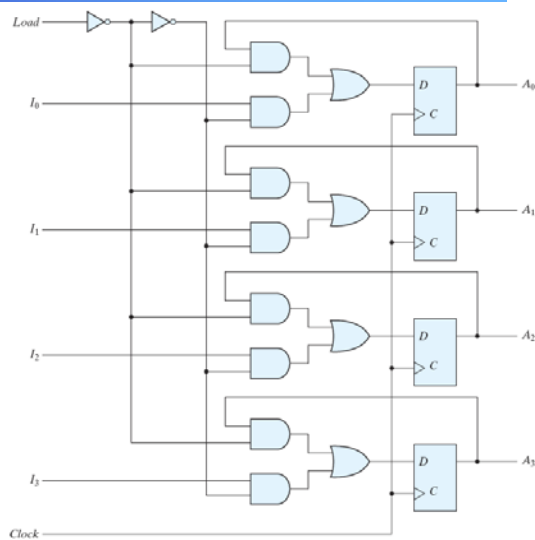
Ο καταχωρητής αποθηκεύει τις τιμές των εισόδων  $I_0-I_3$  σε κάθε θετική ακμή του σήματος Clock.

**Φόρτωση (loading):** η εισαγωγή πληροφοριών μέσα σε έναν καταχωρητή. Παράλληλη αν γίνεται σε όλα τα δυαδικά ψηφία μαζί.

## Καταχωρητής με Παράλληλη Φόρτωση

Ο έλεγχος εισαγωγής νέας πληροφορίας (επίτρεψη/απόρριψη) δεν πρέπει να γίνεται με λογικές πύλες στο σήμα clock αλλά θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οι ασύγχρονες εισοδοί των flip-flop.

Η είσοδος φόρτωσης (load) καθορίζει εάν στον επόμενο παλμό ο καταχωρητής θα δεχτεί νέες πληροφορίες ή θα διατηρήσει τις προηγούμενες.

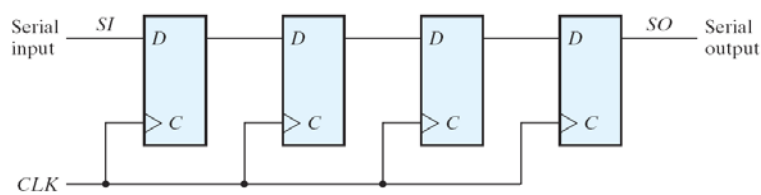


## Καταχωρητής Ολίσθησης

Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής με δυνατότητα ολίσθησης των δυαδικών πληροφοριών προς τα δεξιά ή/και προς τα αριστερά.

Η σειριακή είσοδος καθορίζει την πληροφορία που εισέρχεται κατά την ολίσθηση στον καταχωρητή.

Η σειριακή έξοδος καθορίζει την πληροφορία που εξέρχεται κατά την ολίσθηση από τον καταχωρητή.



## Καταχωρητής Ολίσθησης

Αμφίδρομος Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής με δυνατότητα ολίσθησης των περιεχομένων του και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Μονόδρομος Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής με δυνατότητα ολίσθησης των περιεχομένων του μόνο προς τη μία κατεύθυνση.

Καταχωρητής ολίσθησης με παράλληλη φόρτωση: Ένας καταχωρητής που μπορεί να κάνει ολισθήσεις και να φορτωθεί παράλληλα.

## Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης με Παράλληλη Φόρτωση

Οι δυνατότητες που έχουν συνήθως οι καταχωρητές είναι οι ακόλουθες:

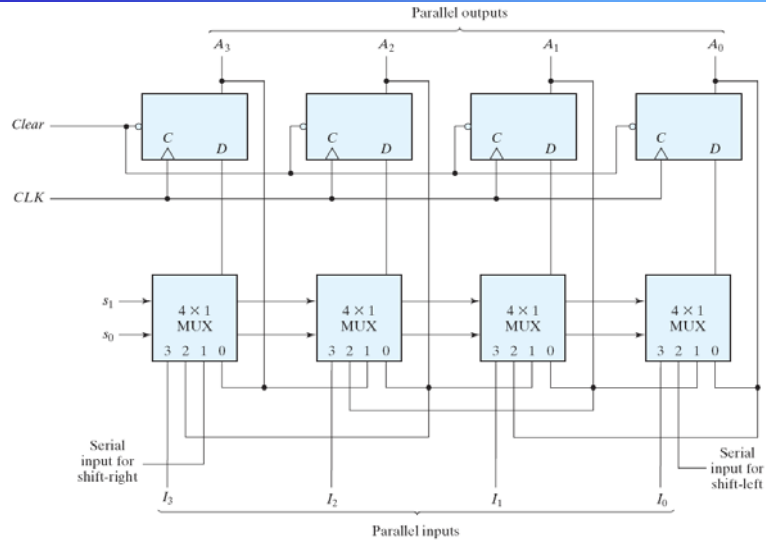
1. Μία είσοδο μηδενισμού (θέτει τον καταχωρητή στο 0).
2. Μία είσοδο CLK για τους παλμούς ρολογιού.
3. Μία είσοδο ελέγχου δεξιάς ολίσθησης.
4. Μία είσοδο ελέγχου αριστερής ολίσθησης.
5. Μία είσοδο ελέγχου παράλληλης φόρτωσης.
6.  $n$  γραμμές παράλληλης εισόδου /  $n$  γραμμές παράλληλης εξόδου.
7. Μία γραμμή σειριακής εισόδου / μία γραμμή σειριακής εξόδου.
8. Μία κατάσταση ελέγχου η οποία αφήνει αναλλοίωτες τις πληροφορίες.

## Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης με Παράλληλη Φόρτωση

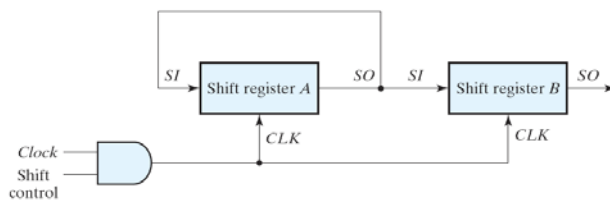
Ελεγχος τρόπου		Λειτουργία του καταχωρητή
$S_1$	$S_0$	
0	0	Αναλλοίωτος
0	1	Δεξιά ολίσθηση
1	0	Αριστερή ολίσθηση
1	1	Παράλληλη φόρτωση

Μπορεί να δημιουργηθεί χρησιμοποιώντας flip-flops τύπου D και πολυπλέκτες 4-σε-1.

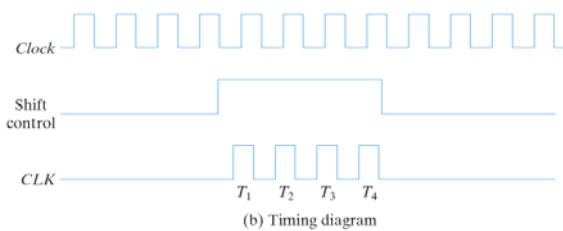
## Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης με Παράλληλη Φόρτωση



## Σειριακή Μεταφορά



(a) Block diagram



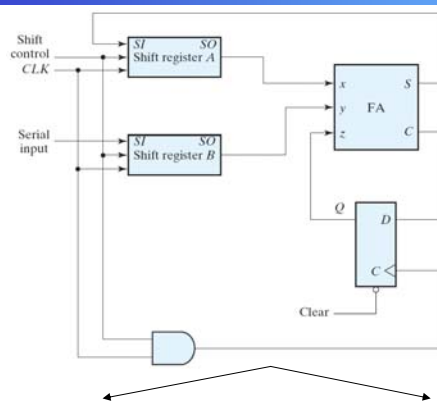
(b) Timing diagram

Ένα ψηφιακό σύστημα λειτουργεί σειριακά, όταν οι πληροφορίες μεταφέρονται και επεξεργάζονται το ένα δυαδικό ψηφίο μετά το άλλο σε διαδοχικούς χρόνους.

## Σειριακή Μεταφορά

Παλμός χρονισμού	Καταχωρητής ολίσθησης A	Καταχωρητής ολίσθησης B	Σειριακή έξοδος του B
Αρχική τιμή	1 0 1 1	0 0 1 0	0
Μετά τον T <sub>1</sub>	1 1 0 1	1 0 0 1	1
Μετά τον T <sub>2</sub>	1 1 1 0	1 1 0 0	0
Μετά τον T <sub>3</sub>	0 1 1 1	0 1 1 0	0
Μετά τον T <sub>4</sub>	1 0 1 1	1 0 1 1	1

## Σειριακή Πρόσθεση



### Παράλληλος αθροιστής

1. Καταχωρητές παράλληλης φόρτωσης,
2. Χρειάζεται n πλήρεις αθροιστές
3. Είναι συνδυαστικό κύκλωμα

### Σειριακός αθροιστής

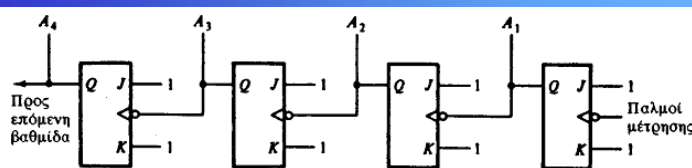
1. Καταχωρητές ολίσθησης,
2. Χρειάζεται 1 πλήρη αθροιστή
3. Είναι ακολουθιακό κύκλωμα

## Μετρητές

**Μετρητής Ριπής:** Οι εισοδοι C όλων των flip flops εκτός του πρώτου πυροδοτούνται από τις ακμές των κυματομορφών που βγαίνουν από τα άλλα flip flops.

**Σύγχρονος Μετρητής:** Οι εισοδοι C όλων των flip flops τροφοδοτούνται από τους ίδιους παλμούς ρολογιού.

## Διαδικός Μετρητής Ριπής

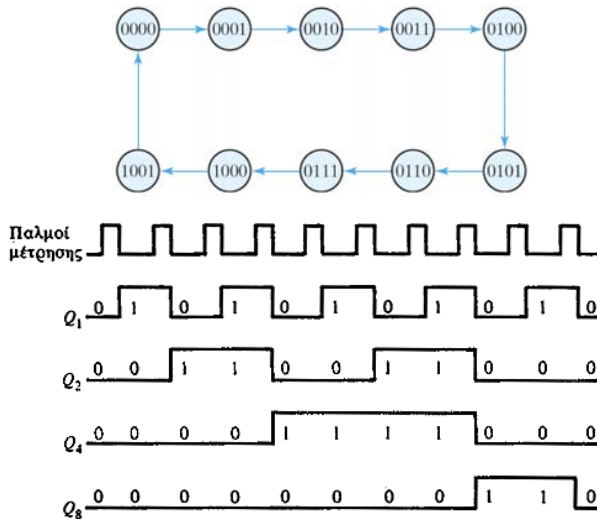


Ακολουθία μετρήσεων

A <sub>4</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	Συνθήκες αντιστροφής της κατάστασης των flip-flops
0	0	0	0	Αντιστρ. A <sub>1</sub>
0	0	0	1	Αντιστρ. A <sub>1</sub> , A <sub>1</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>2</sub>
0	0	1	0	Αντιστρ. A <sub>1</sub>
0	0	1	1	Αντιστρ. A <sub>1</sub> , A <sub>1</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>2</sub> , A <sub>2</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>3</sub>
0	1	0	0	Αντιστρ. A <sub>1</sub>
0	1	0	1	Αντιστρ. A <sub>1</sub> , A <sub>1</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>2</sub>
0	1	1	0	Αντιστρ. A <sub>1</sub>
0	1	1	1	Αντιστρ. A <sub>1</sub> , A <sub>1</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>2</sub> , A <sub>2</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>3</sub> , A <sub>3</sub> πάει από 1 σε 0, άρα αντιστρ. A <sub>4</sub>
1	0	0	0	κ.ο.κ....

Αν πάρουμε την έξοδο μέτρησης από τους ακροδέκτες Q τότε έχουμε έναν μετρητή προς τα κάτω. Άλλος τρόπος είναι να πυροδοτούνται τα flip flops από τη θετική ακμή του ρολογιού.

## Μετρητής Ριπής BCD



Το  $Q_1$  αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό μέτρησης.

Το  $Q_2$  αντιστρέφεται αν  $Q_8=0$  και μηδενίζεται όταν  $Q_8=1$  (με τον παλμό  $Q_1$ ).

Το  $Q_4$  αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό  $Q_2$ .

Το  $Q_8$  αντιστρέφεται όταν  $Q_4Q_2=11$  με τον παλμό του  $Q_1$  (αλλιώς μηδενίζεται).

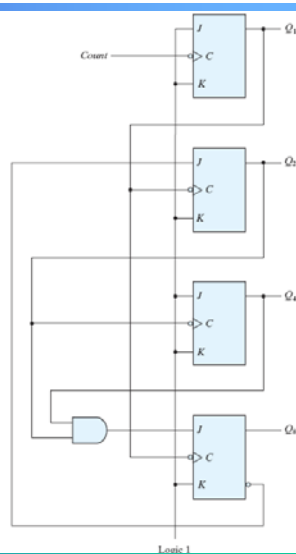
## Μετρητής Ριπής BCD

Το  $Q_1$  αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό μέτρησης.

Το  $Q_2$  αντιστρέφεται αν  $Q_8=0$  και μηδενίζεται όταν  $Q_8=1$  (με τον παλμό  $Q_1$ ).

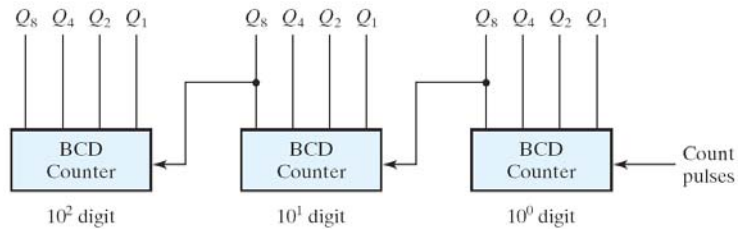
Το  $Q_4$  αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό  $Q_2$ .

Το  $Q_8$  αντιστρέφεται όταν  $Q_4Q_2=11$  με τον παλμό του  $Q_1$  (αλλιώς μηδενίζεται).





## Δεκαδικός Μετρητής BCD 3 ψηφίων



## Σύγχρονος Δυαδικός Μετρητής

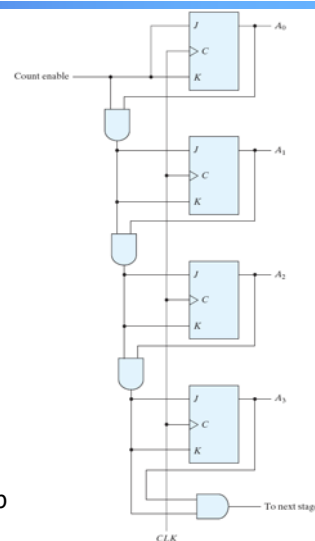
Οι εισοδοί C όλων των flip flops πυροδοτούνται από τον κοινό παλμό ρολογιού.

Στο δυαδικό μετρητή κάθε flip flop πρέπει να αντιστρέφεται μόνο στην ακμή του ρολογιού και όταν όλα τα λιγότερο σημαντικά ffs είναι στο 1.

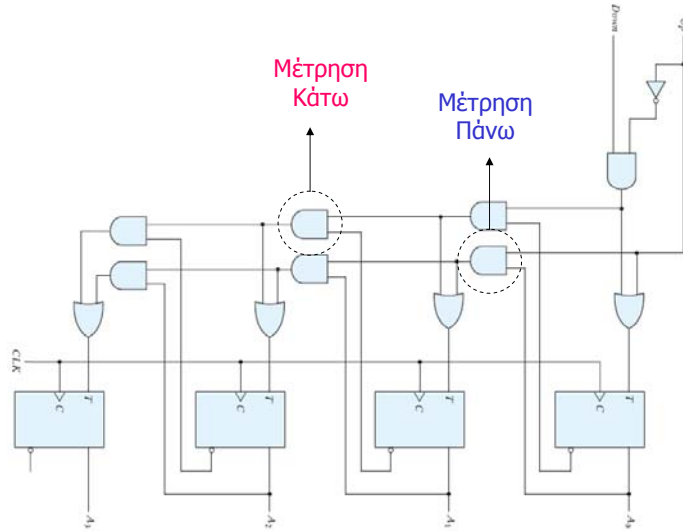
Οι σύγχρονοι μετρητές έχουν ομοιόμορφη δομή και μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα με πύλες και αντιστρέφοντα flip flops.

Ο σύγχρονος μετρητής λειτουργεί το ίδιο και με πυροδότηση στη θετική ακμή.

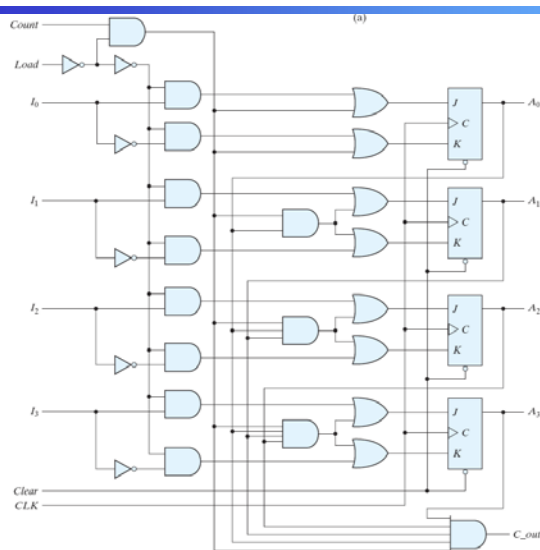
Ο σύγχρονος μετρητής μπορεί να μετράει προς τα κάτω αν στις εισόδους των πυλών ΚΑΙ περάσουμε τις συμπληρωματικές εξόδους των flip flops.



## Σύγχρονος Διαδικός Μετρητής Πάνω/Κάτω



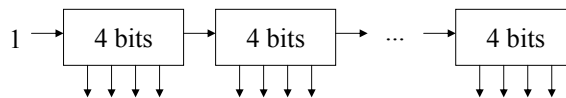
## Διαδικός Μετρητής Παράλληλης Φόρτωσης



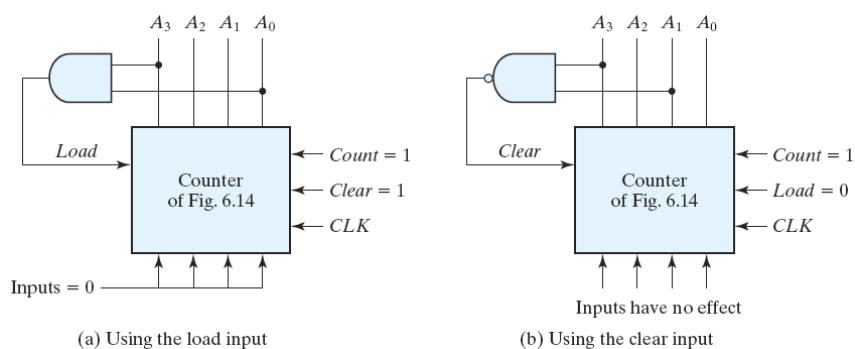
## Διαδικός Μετρητής Παράλληλης Φόρτωσης

Μηδενισμός	CP	Φόρτωση	Μέτρηση	Λειτουργία
0	X	X	X	Μηδενισμός $A_4A_3A_2A_1 = 0000$
1	X	0	0	Αμετάβλητος
1	↑	1	X	Φόρτωση από εισόδους
1	↑	0	1	Μέτρηση: επόμενος δυαδικός αριθμός

Ο μετρητής των 4 δυαδικών ψηφίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για τη δημιουργία οποιουδήποτε μετρητή. Για παράδειγμα, ο μετρητής των 8 bits προκύπτει αν συνδέσουμε το κρατούμενο εξόδου του μετρητή χαμηλότερης σημαντικότητας στην είσοδο μέτρησης του μετρητή υψηλότερης σημαντικότητας.

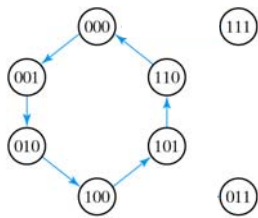


## Παράδειγμα Μετρητής mod-10



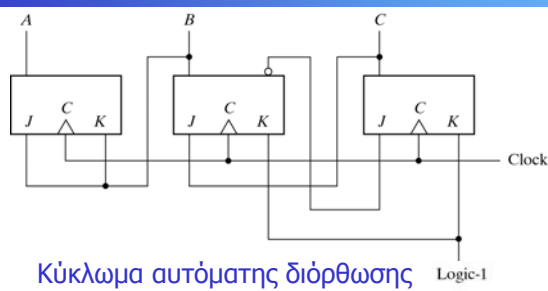
## Παράδειγμα: Μετρητής με μη δυαδική ακολουθία

Παρούσα κατάσταση			Επόμενη κατάσταση			Είσοδοι flip-flop					
A	B	C	A	B	C	JA	KA	JB	KB	JC	KC
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1	0	X
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	0	0	0	X	1	X	0	0	X

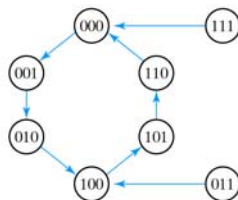


$$\begin{aligned}
 JA &= B & KA &= B \\
 JB &= C & KB &= 1 \\
 JC &= B' & KC &= 1
 \end{aligned}$$

## Παράδειγμα: Μετρητής με μη δυαδική ακολουθία

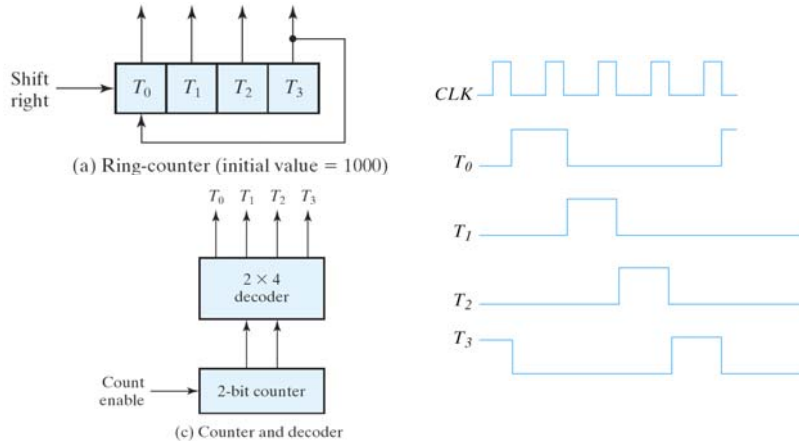


Κύκλωμα αυτόματης διόρθωσης



## Ακολουθίες Χρονισμού

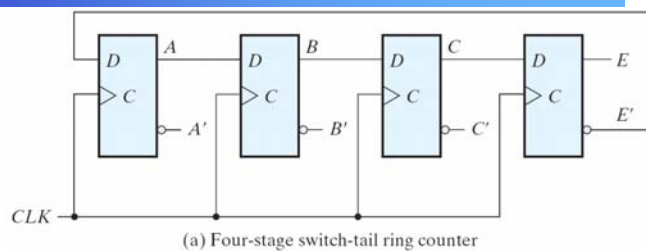
**Μετρητής Δακτυλίου:** Ένας κυκλικός καταχωρητής ολίσθησης με μία μονάδα.



Κατασκευή Πολυφασικών Ρολογιών με χρήση συνδυαστικών πυλών.

## Ακολουθίες Χρονισμού

**Μετρητής Johnson:**  
Ένας μετρητής δακτυλίου με αντιστροφή ουράς (παράγει διπλάσιο αριθμό καταστάσεων).



Μειονέκτημα: Αν μπει σε κάποια από τις αχρησιμοποίητες καταστάσεις δεν μπορεί να βγει.

Sequence number	Flip-flop outputs				AND gate required for output
	A	B	C	E	
1	0	0	0	0	$A'E'$
2	1	0	0	0	$AB'$
3	1	1	0	0	$BC'$
4	1	1	1	0	$CE'$
5	1	1	1	1	$AE$
6	0	1	1	1	$A'B$
7	0	0	1	1	$B'C$
8	0	0	0	1	$C'E$

## Βιβλιογραφία

---

1. Ψηφιακή Σχεδίαση (3<sup>η</sup> έκδοση), M. Morris Mano, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2005
2. Ψηφιακή Σχεδίαση Αρχές και Πρακτικές, J. Wakerly, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, 2002
3. Digital Design (4<sup>th</sup> edition), M. Morris Mano & M. Ciletti, Pearson Prentice Hall, 2007

