
*4^η Θεματική Ενότητα : Καταχωρητές και
Μετρητές*

Επιμέλεια διαφανειών:
Χρ. Καβουσιανός

Εισαγωγή

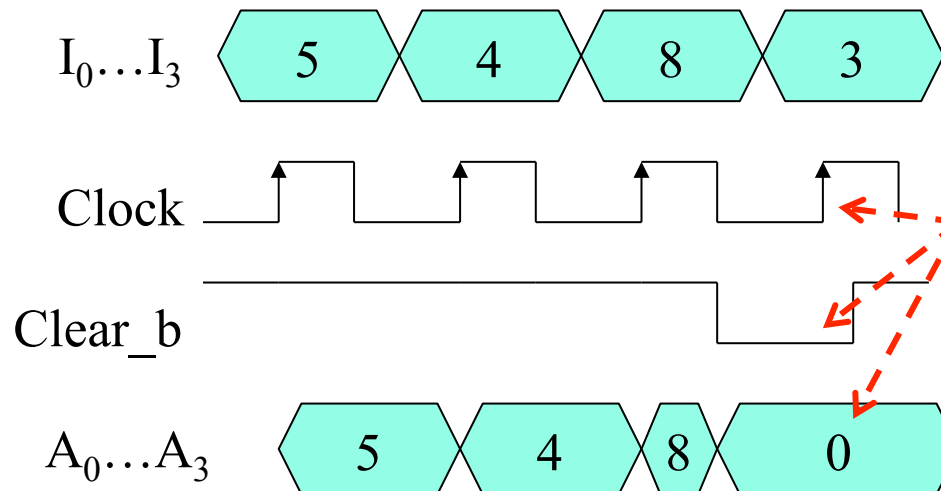
Καταχωρητής: ομάδα από δυαδικά κύτταρα αποθήκευσης και λογικές πύλες που αποθηκεύουν και μεταφέρουν πληροφορίες. Τα κύτταρα μοιράζονται το ίδιο ρολόι

Οι μετρητές είναι καταχωρητές που παίρνουν διαδοχικά μια προκαθορισμένη σειρά καταστάσεων. Η αλληλουχία των καταστάσεων ρυθμίζεται από λογικές πύλες.

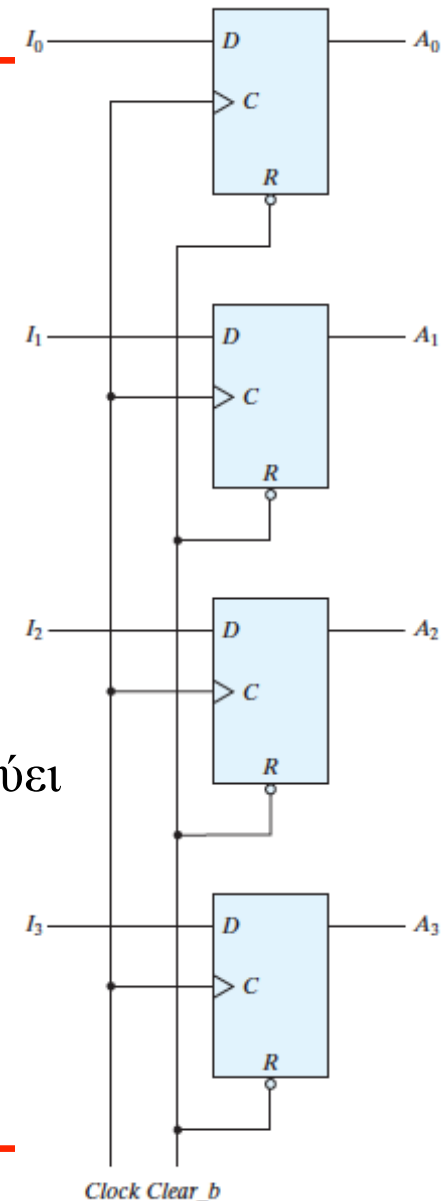
Μονάδα μνήμης είναι ένα σύνολο στοιχείων αποθήκευσης με σχετικά κυκλώματα μεταφοράς πληροφοριών.

Καταχωρητής

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



Καταχωρητές, Μετρητές και Μονάδες Μνήμης



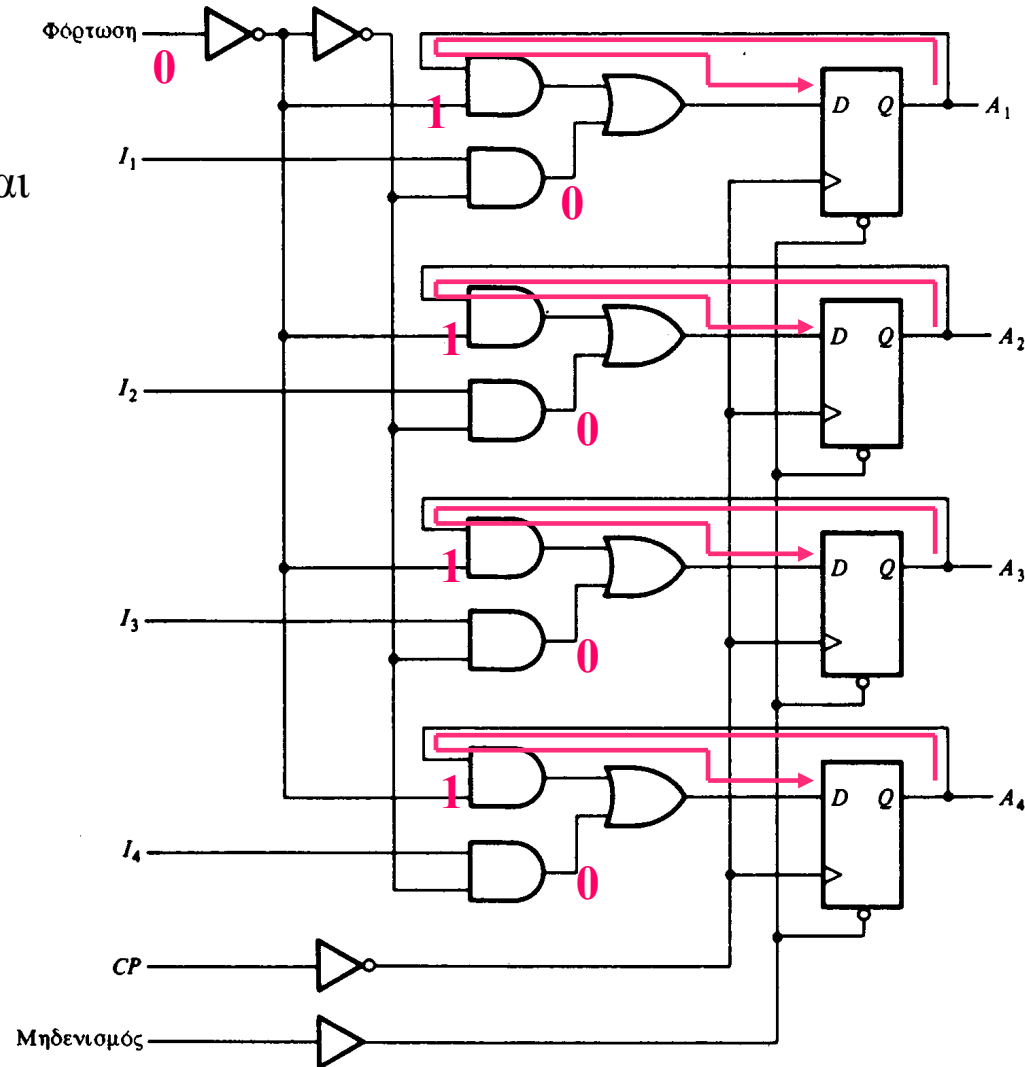
Καταχωρητής με Παράλληλη Φόρτωση

Φόρτωση (loading): η μεταφορά πληροφοριών μέσα σε έναν καταχωρητή. **Παράλληλη** αν γίνεται σε όλα τα bits μαζί. **Σειριακή** αν γίνεται σε ένα ένα cell χωριστά.

Με D-flip flops

Ο αντιστροφέας στο ρολόι χρησιμοποιείται για να μειώσει το φορτίο οδήγησης.

Η είσοδος **μηδενισμού** χρησιμοποιείται για να φέρει τον καταχωρητή σε μία γνωστή αρχική κατάσταση, και για να σταματήσει την λειτουργία του.



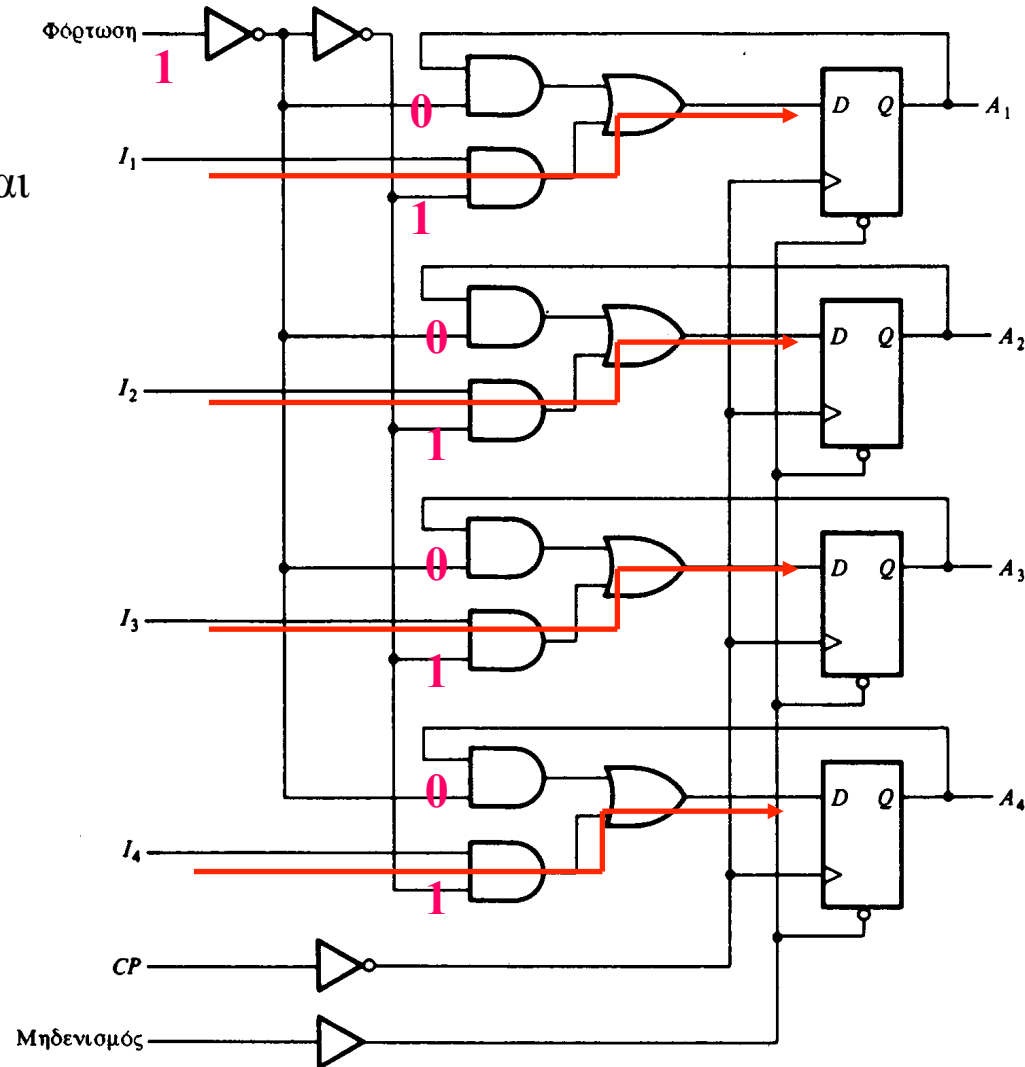
Καταχωρητής με Παράλληλη Φόρτωση

Φόρτωση (loading): η μεταφορά πληροφοριών μέσα σε έναν καταχωρητή. **Παράλληλη** αν γίνεται σε όλα τα bits μαζί. **Σειριακή** αν γίνεται σε ένα ένα cell χωριστά.

Με D-flip flops

Ο αντιστροφέας στο ρολόι χρησιμοποιείται για να μειώσει το φορτίο οδήγησης.

Η είσοδος **μηδενισμού** χρησιμοποιείται για να φέρει τον καταχωρητή σε μία γνωστή αρχική κατάσταση, και για να σταματήσει την λειτουργία του.

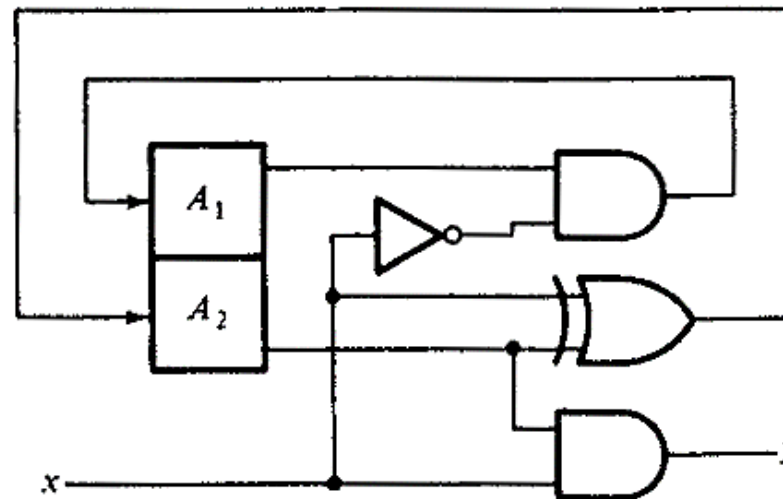


Παράδειγμα χρήσης Καταχωρητών (1)

Με τη χρήση καταχωρητών, ο σχεδιασμός ενός ακολουθιακού κυκλώματος μετατρέπεται σε σχεδιασμό συνδυαστικού.

Παρούσα κατάσταση		Είσοδος x	Επόμενη κατάσταση		Έξοδος y
A_1	A_2		A_1	A_2	
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	1

(α) Πίνακας Καταστάσεων



(β) Λογικό Διάγραμμα

$$A_1(t+1) = \Sigma(4, 6) = A_1 x'$$

$$A_2(t+1) = \Sigma(1, 2, 5, 6) = A_2 \oplus x$$

$$y(A_1, A_2, x) = \Sigma(3, 7) = A_2 x$$

Παράδειγμα χρήσης Καταχωρητών (2)

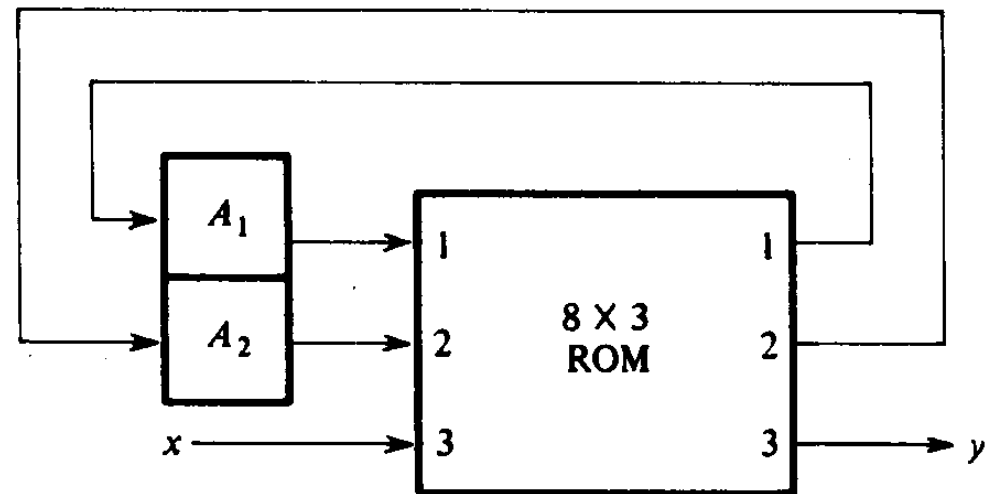
Πίνακας αληθείας της ROM

Διεύθυνση			Έξοδοι		
1	2	3	1	2	3
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	0	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	1	0
1	1	0	1	1	0
1	1	1	0	0	1

Παρούσα
κατάσταση

Επόμενη
Κατάσταση

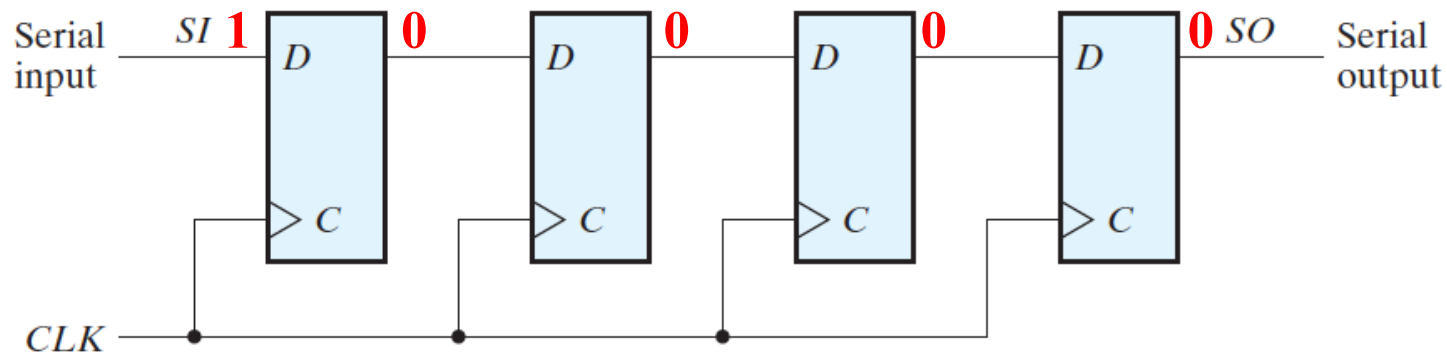
Είσοδος



Έξοδος

Καταχωρητής Ολίσθησης

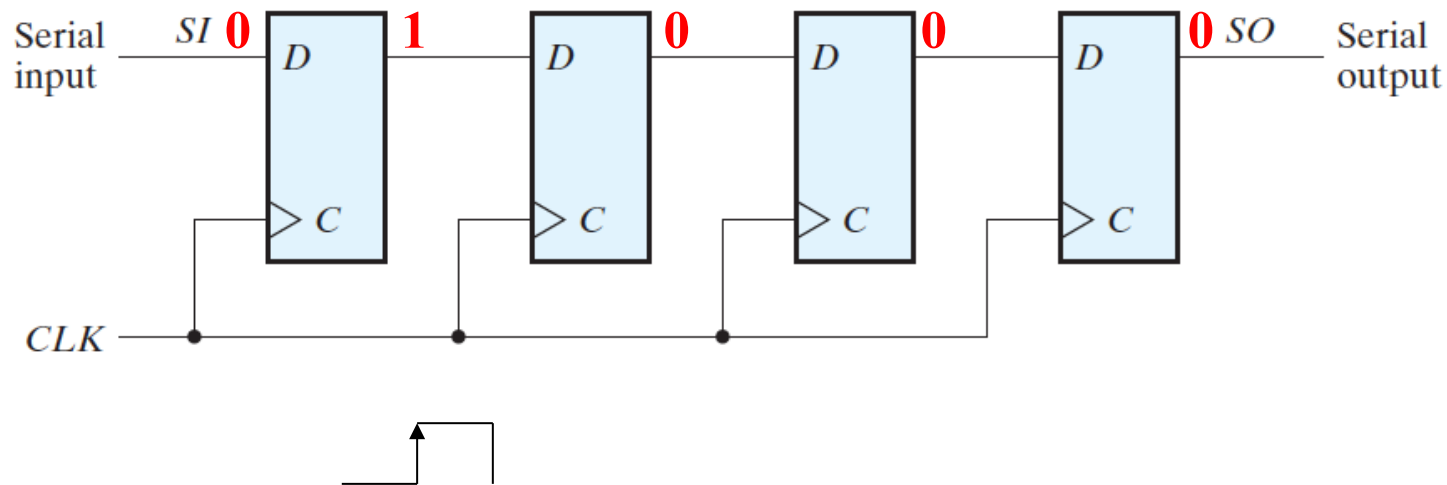
Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν σειριακά.



Απαιτούνται N κύκλοι για να γεμίσει

Καταχωρητής Ολίσθησης

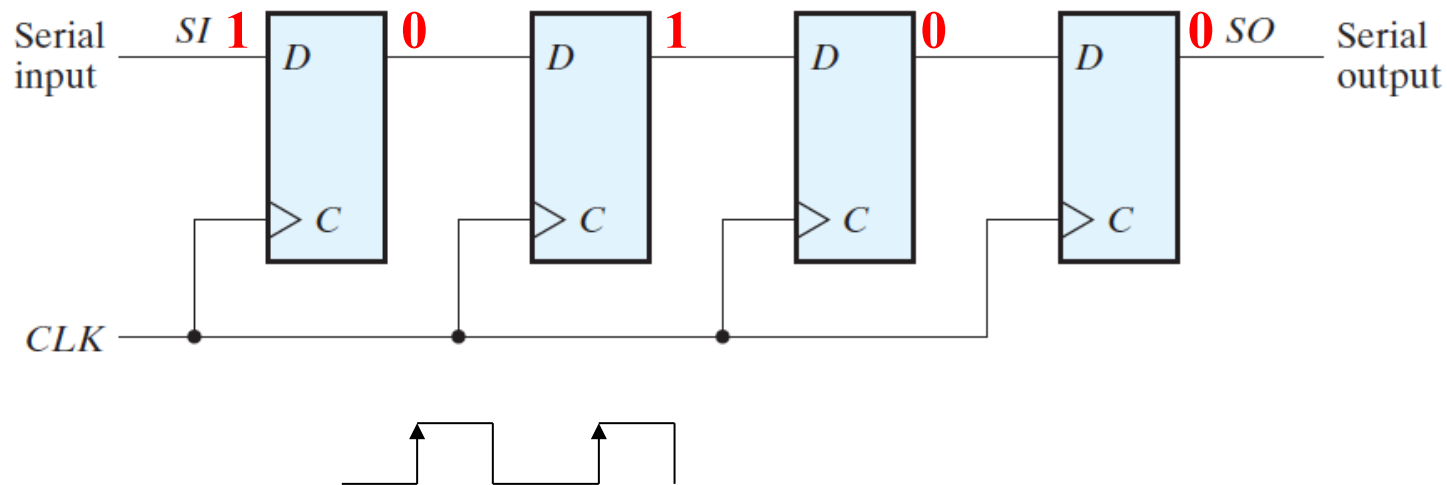
Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν σειριακά.



Απαιτούνται N κύκλοι για να γεμίσει

Καταχωρητής Ολίσθησης

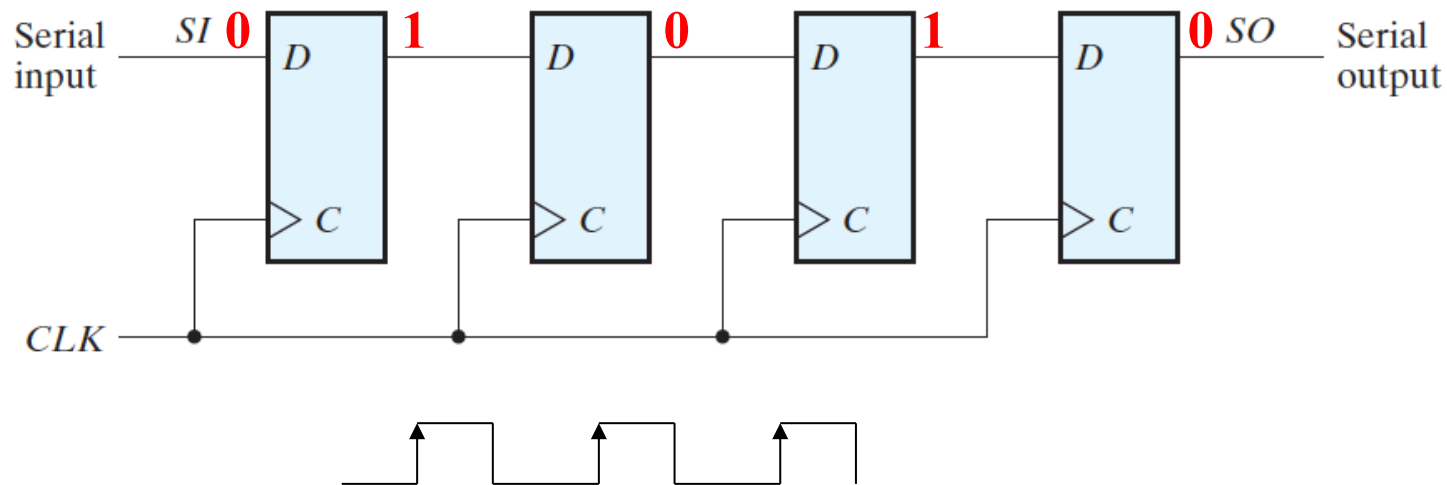
Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν σειριακά.



Απαιτούνται N κύκλοι για να γεμίσει

Καταχωρητής Ολίσθησης

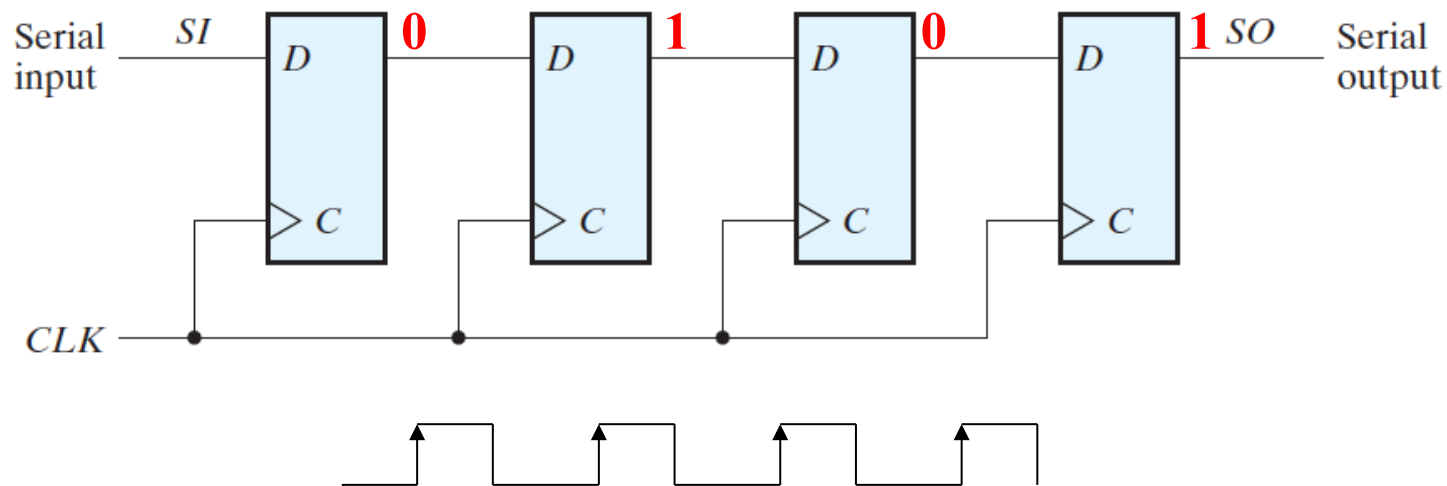
Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν σειριακά.



Απαιτούνται N κύκλοι για να γεμίσει

Καταχωρητής Ολίσθησης

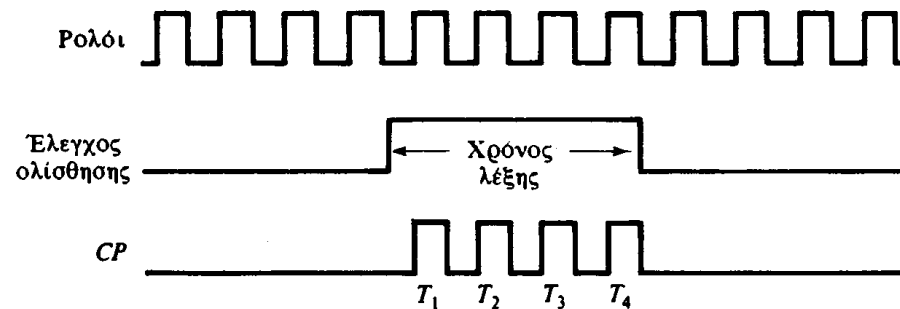
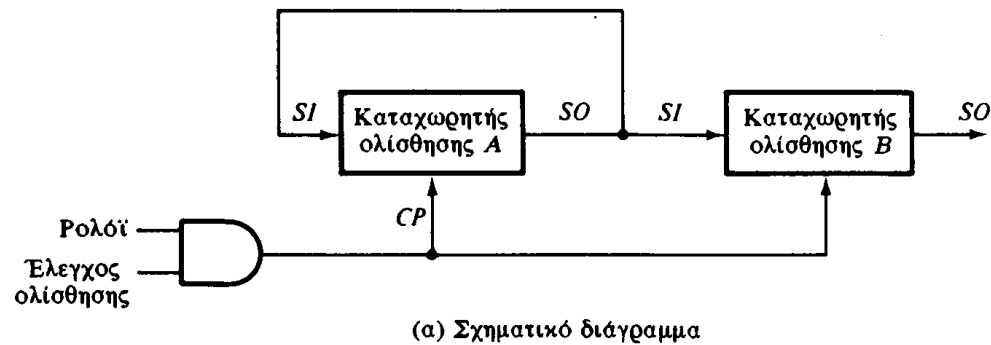
Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του προς τις δύο κατευθύνσεις. Τα δεδομένα μπορούν να φορτωθούν σειριακά.



Απαιτούνται N κύκλοι για να γεμίσει

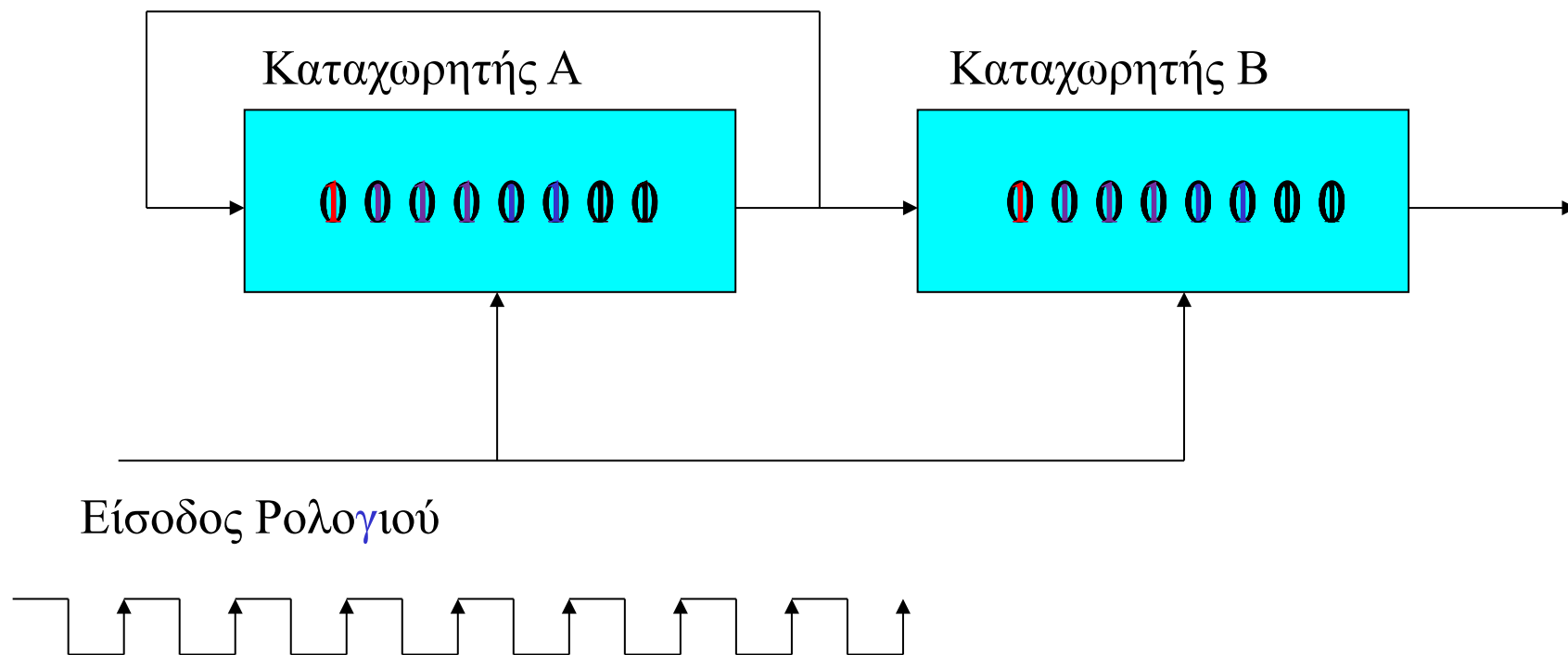
Σειριακή Μεταφορά

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

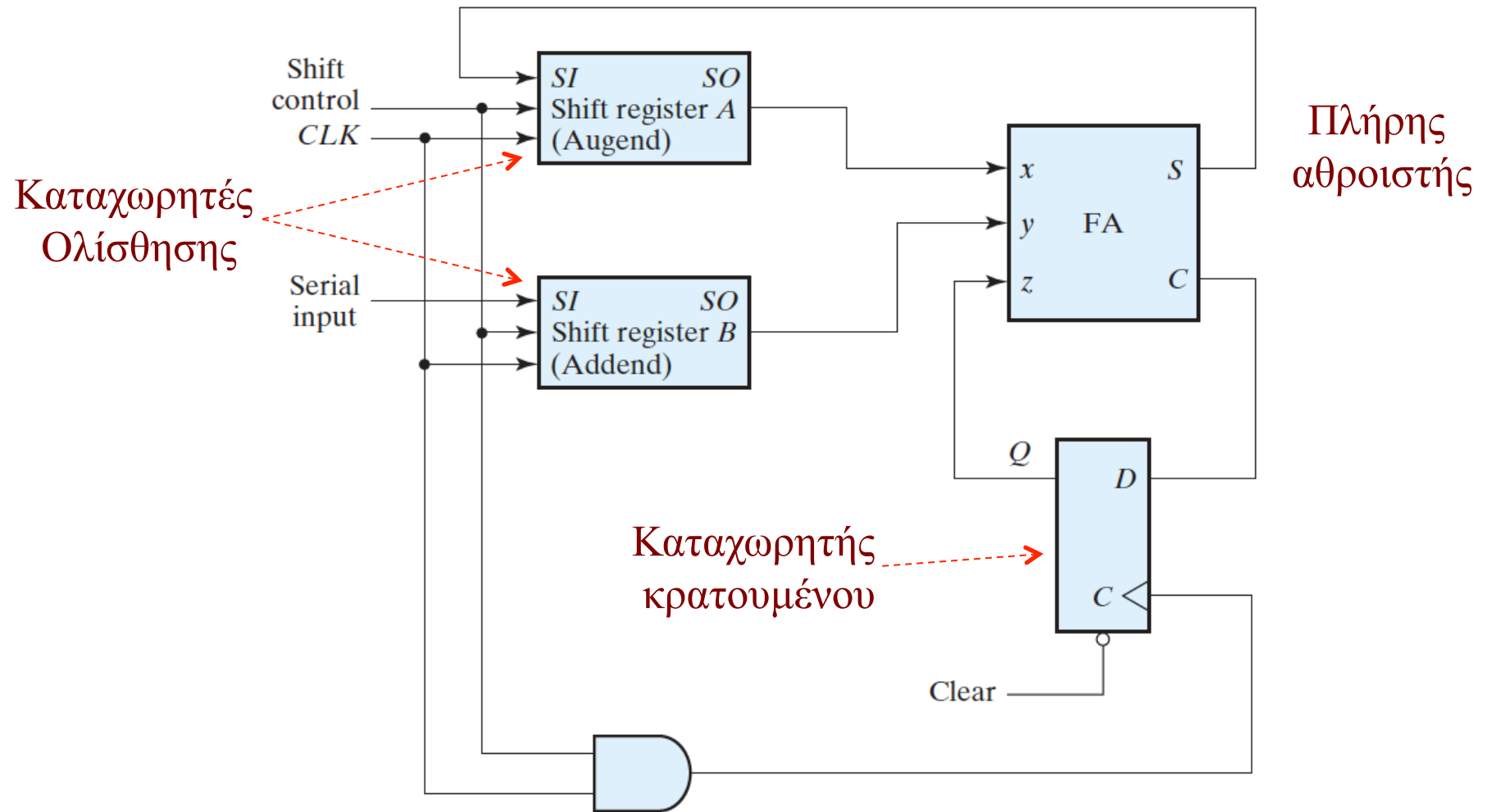


(β) Διάγραμμα χρονισμού

Σειριακή Μεταφορά

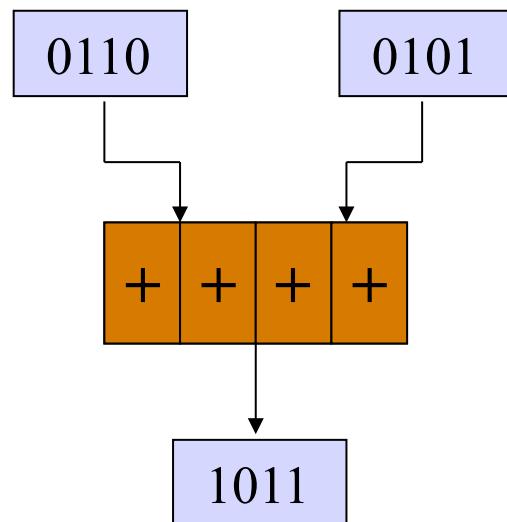


Σειριακή Πρόσθεση

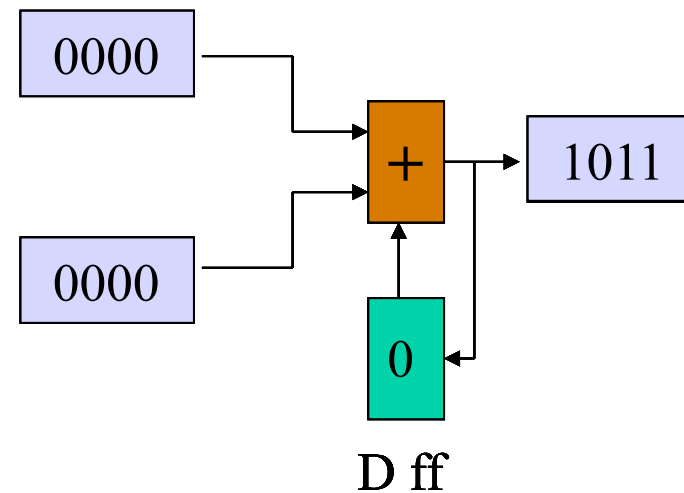


Πρόσθεση

Παράλληλη Πρόσθεση



Σειριακή Πρόσθεση



Σειριακή Πρόσθεση

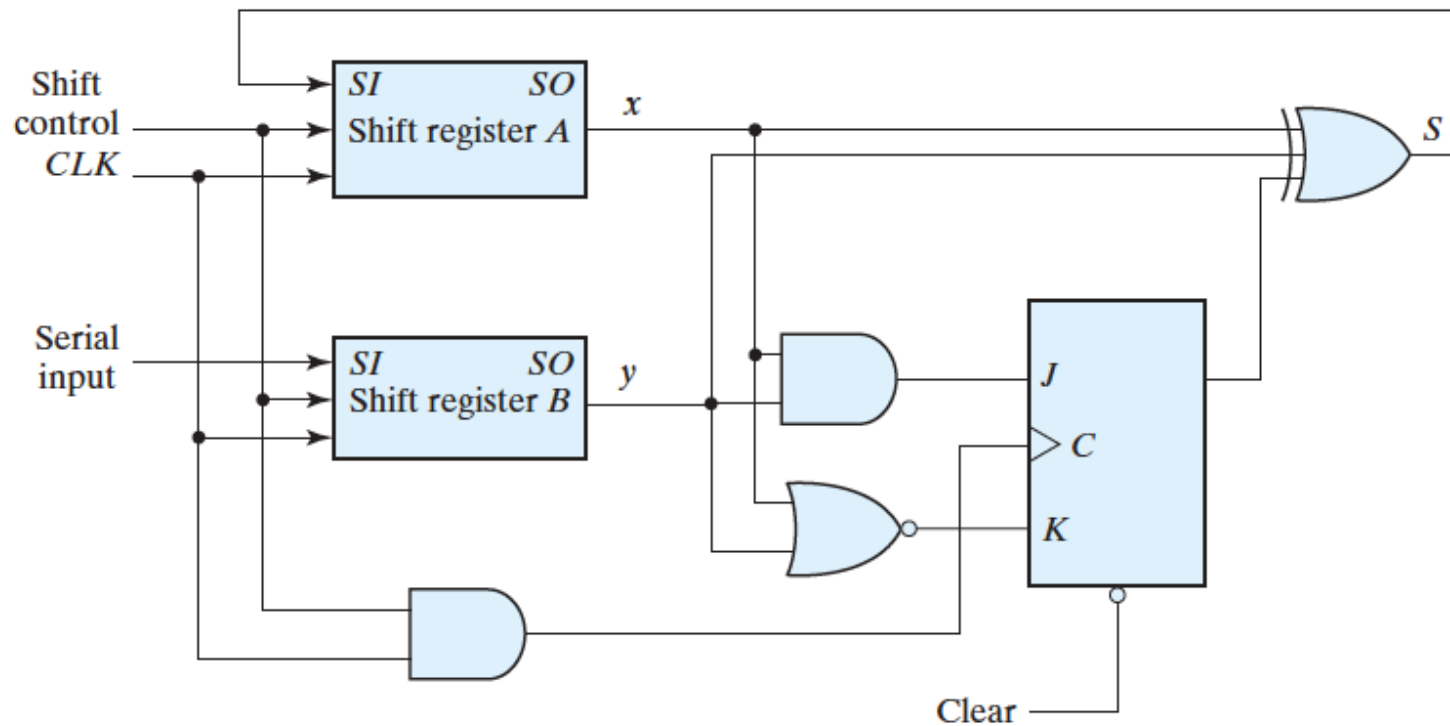
Ο σειριακός αθροιστής μπορεί να υλοποιηθεί και ως ακολουθιακό κύκλωμα

Present State	Inputs		Next State	Output	Flip-Flop Inputs	
Q	x	y	Q	S	J _Q	K _Q
0	0	0	0	0	0	X
0	0	1	0	1	0	X
0	1	0	0	1	0	X
0	1	1	1	0	1	X
1	0	0	0	1	X	1
1	0	1	1	0	X	0
1	1	0	1	0	X	0
1	1	1	1	1	X	0

Μετά από απλοποίηση:

$$JQ = xy, KQ = (x+y)', S = x \text{ xor } y \text{ xor } Q$$

Σειριακή Πρόσθεση



$$JQ = xy, KQ = (x+y)', S = x \text{ xor } y \text{ xor } Q$$

Αμφίδρομος Καταχωρητής Ολίσθησης με Παράλληλη Φόρτωση

Οι δυνατότητες που έχουν συνήθως οι καταχωρητές είναι οι ακόλουθες:

1. Μια είσοδο μηδενισμού (θέτει τον καταχωρητή στο 0).
2. Μία είσοδο CP 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.

Καταχωρητές Ολίσθησης

Ελεγχος τρόπου		Λειτουργία του καταχωρητή
S_1	S_2	
0	0	Αναλλοίωτος
0	1	Δεξιά ολίσθηση
1	0	Αριστερή ολίσθηση
1	1	Παράλληλη φόρτωση

Αμφίδρομος Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του και προς τις δύο κατευθύνσεις.

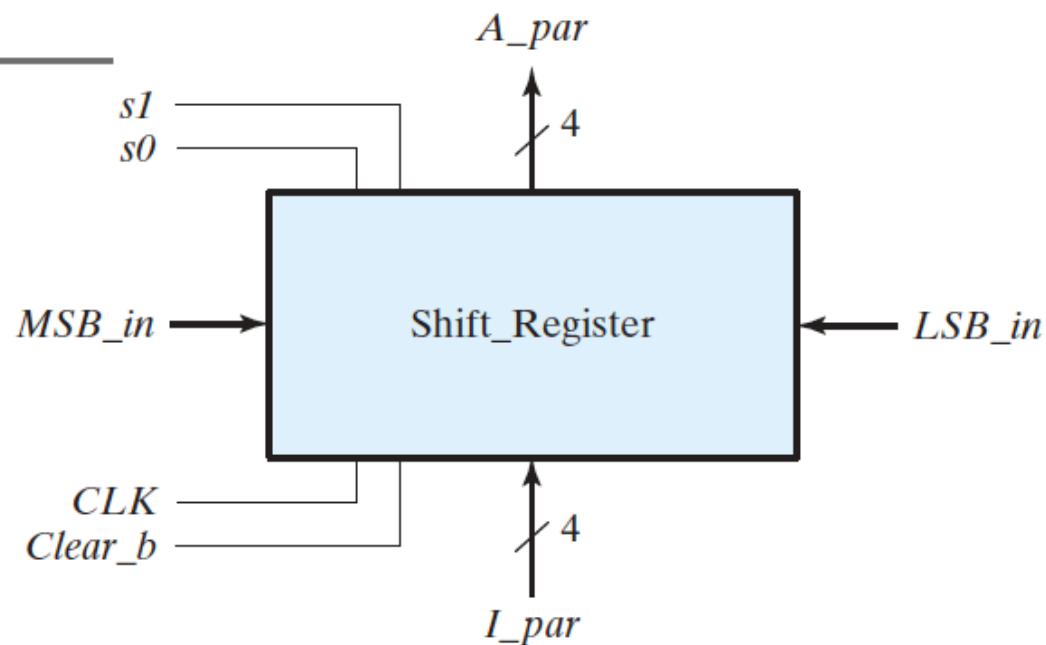
Μονόδρομος Καταχωρητής ολίσθησης: Ένας καταχωρητής που ολισθαίνει τα περιεχόμενά του μόνο προς τη μία κατεύθυνση.

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

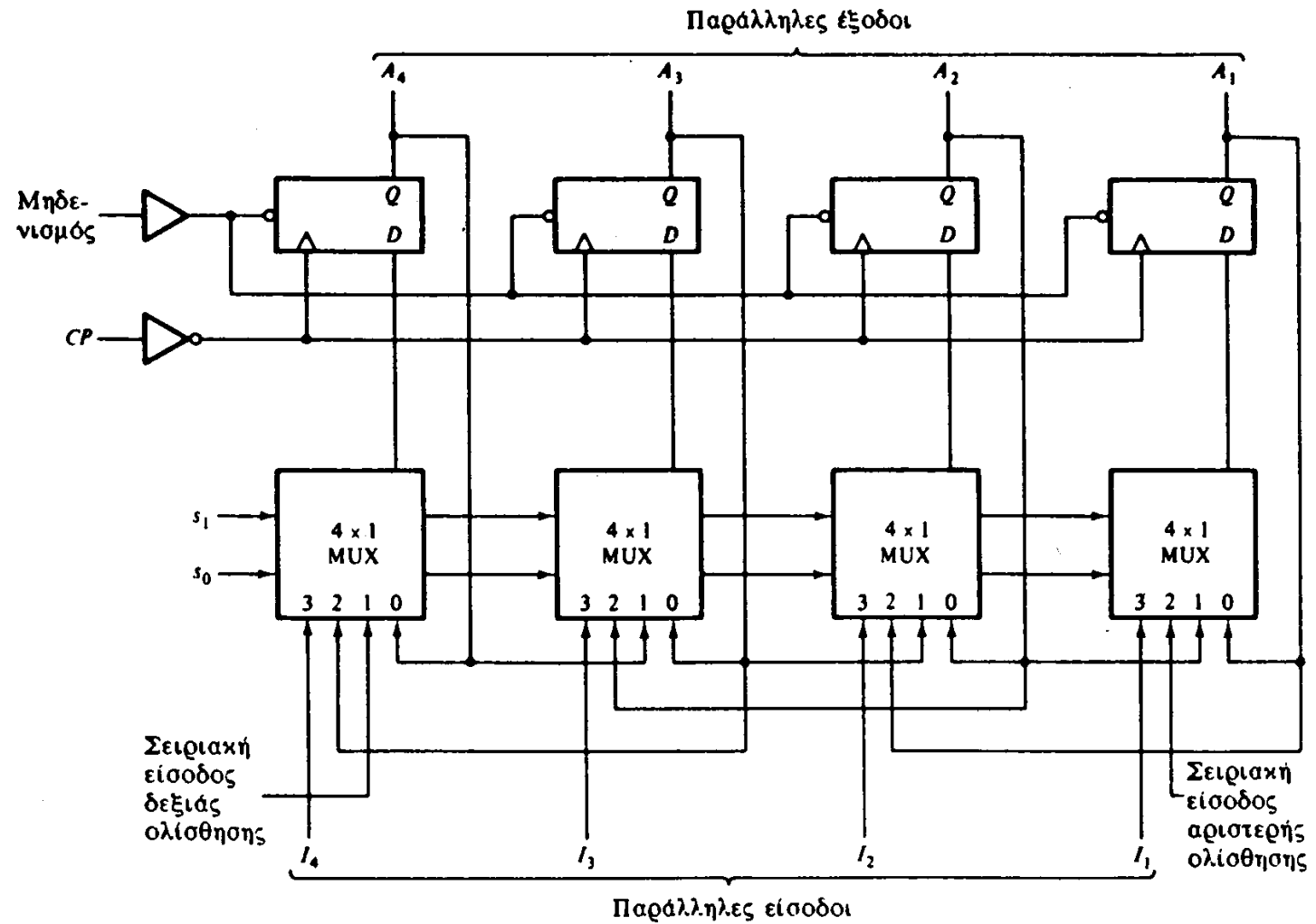
Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης

Mode Control		Register Operation
s_1	s_0	
0	0	No change
0	1	Shift right
1	0	Shift left
1	1	Parallel load

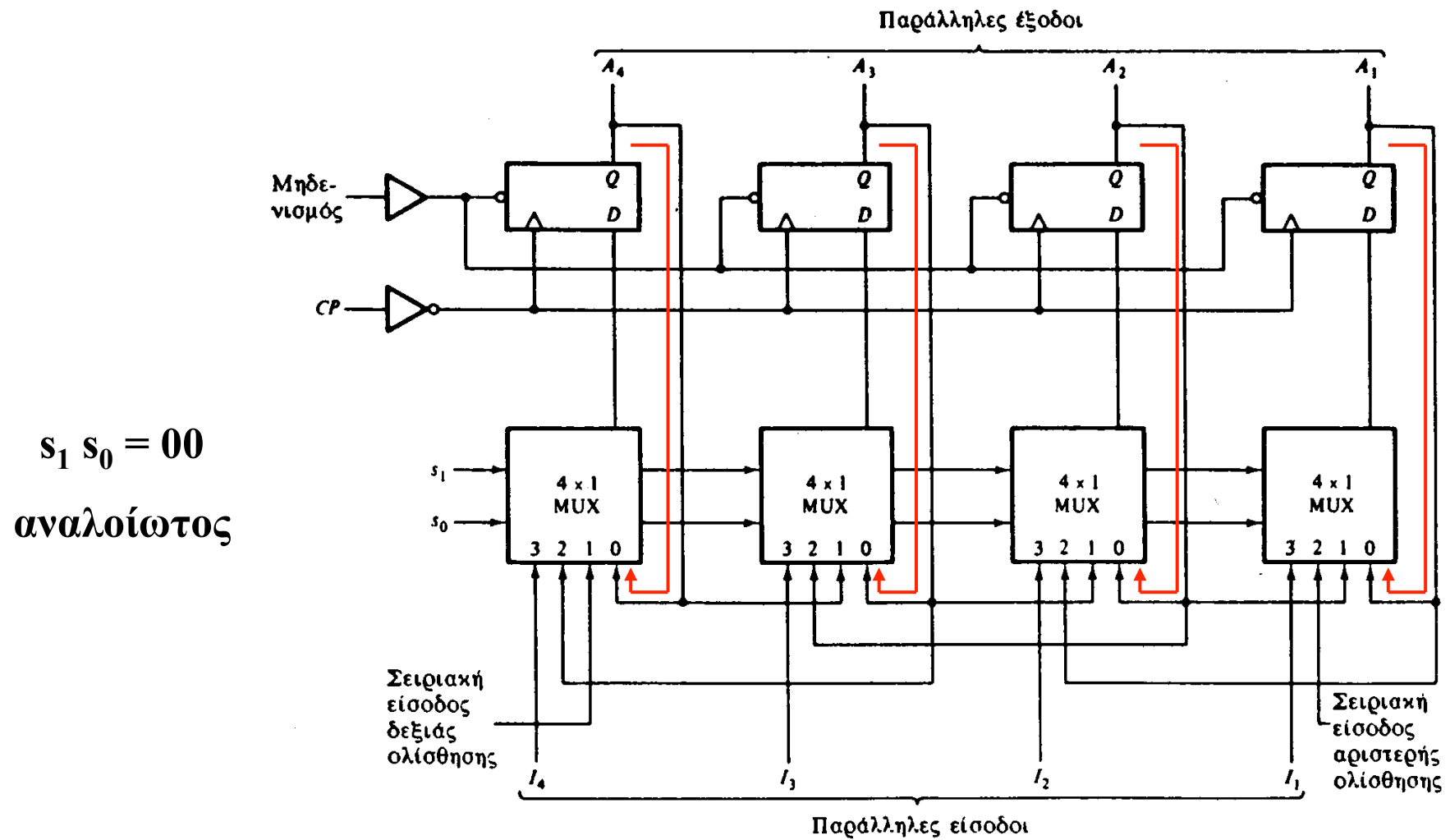
Η δεξιά και η αριστερή κατεύθυνση στην ολίσθηση σχετίζονται με την κατεύθυνση που ακολουθείται κατά την γραφή των αριθμών.



Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης

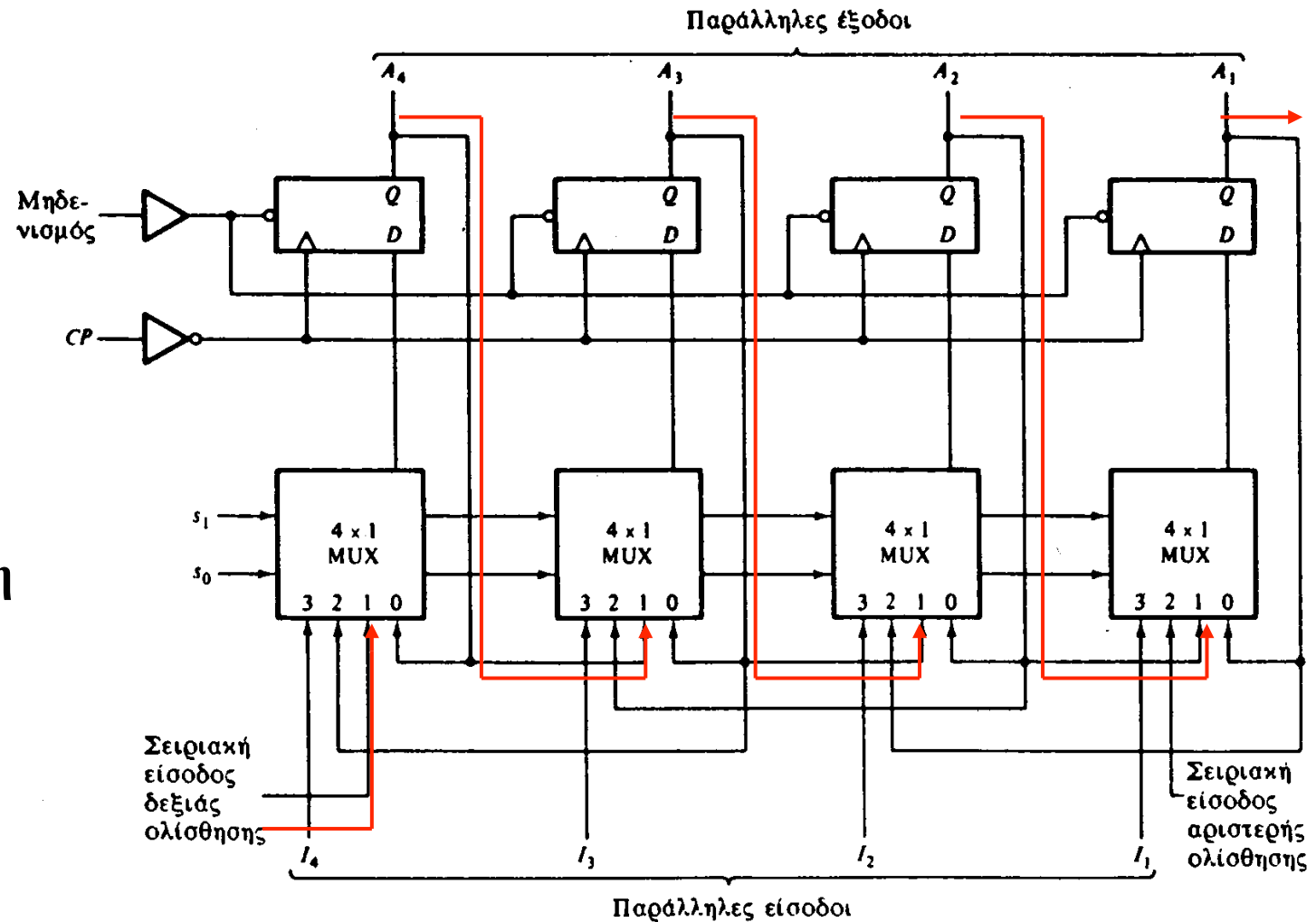


Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης

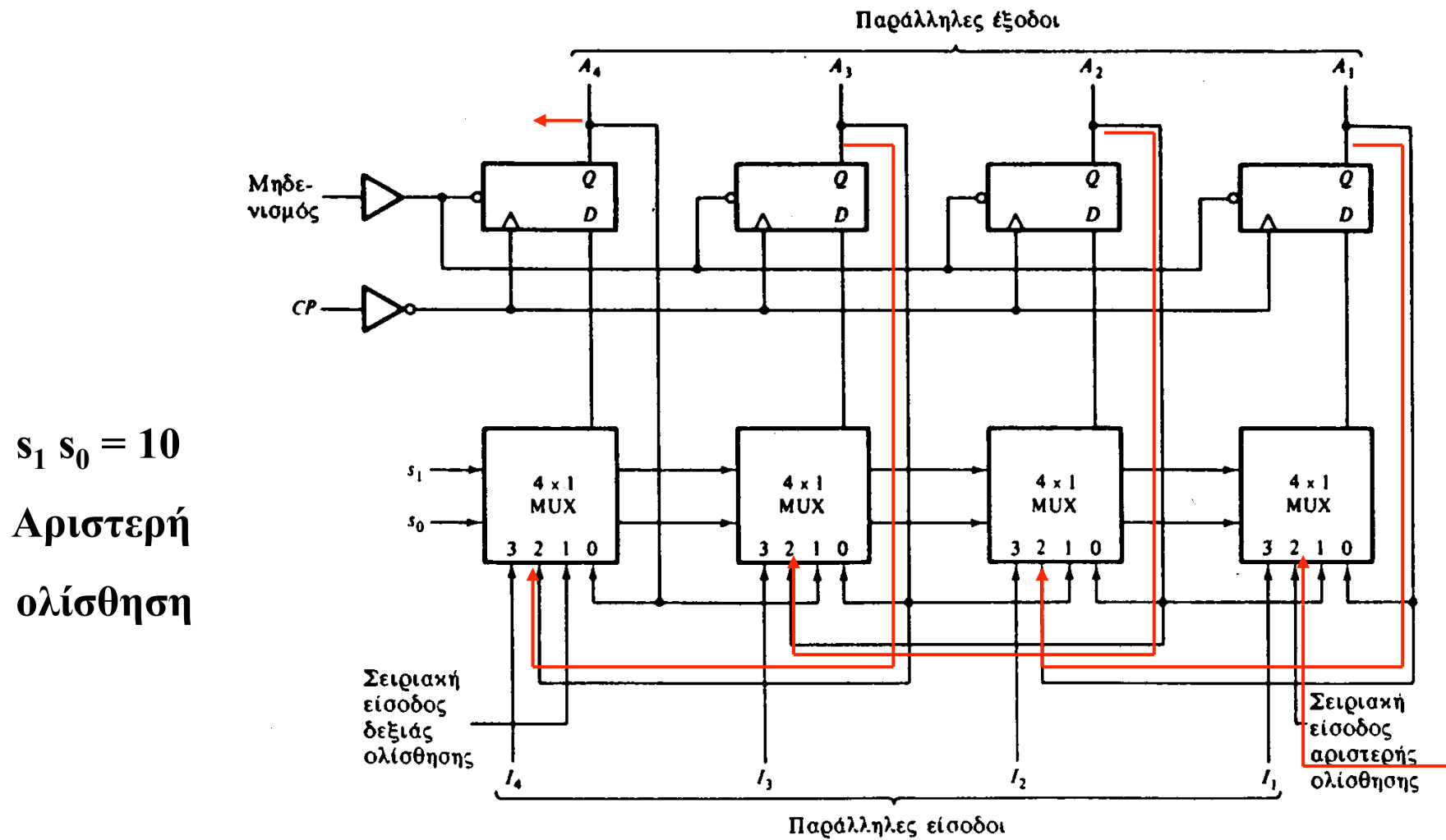


Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης

$s_1 s_0 = 01$
Δεξιά ολίσθηση

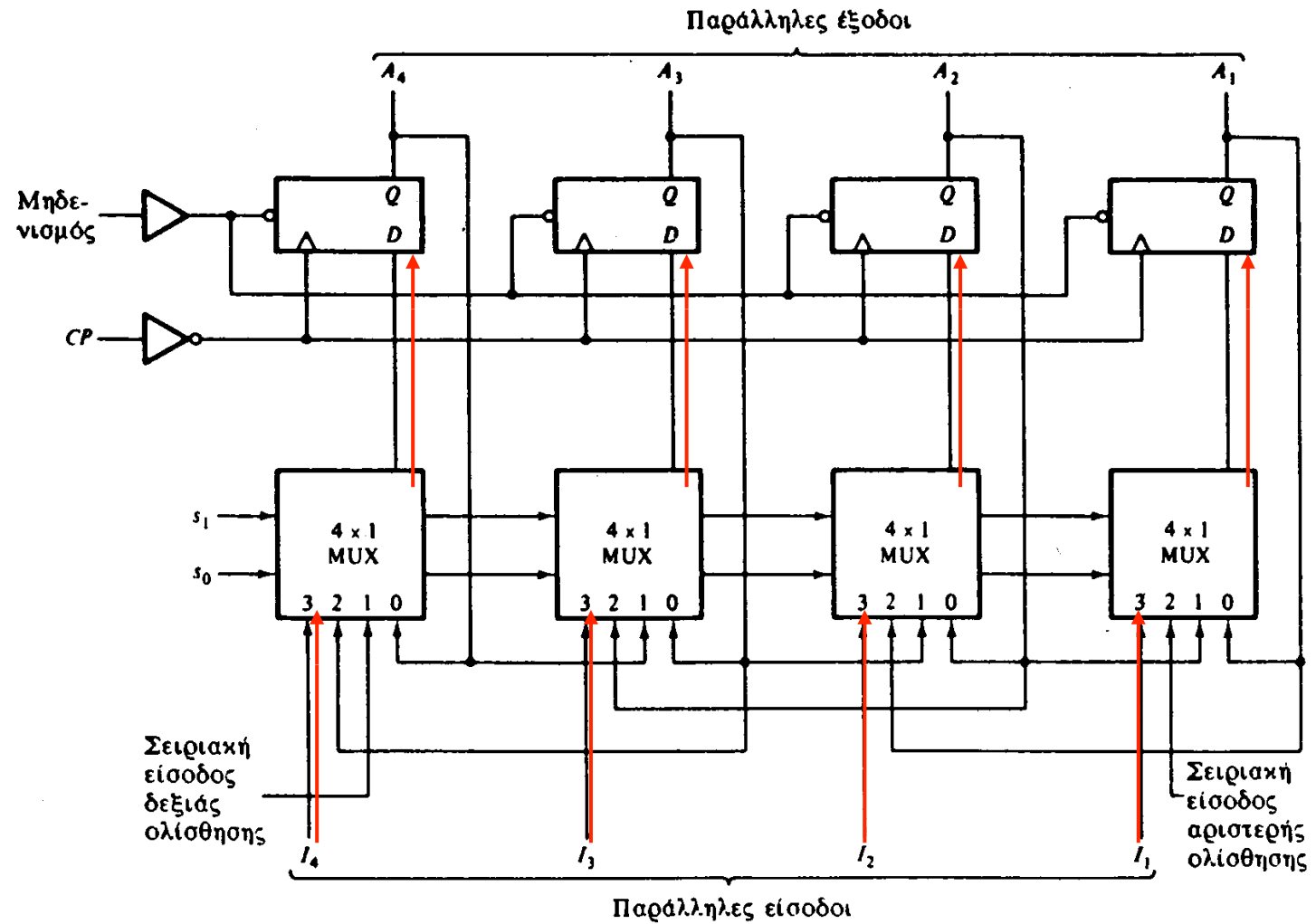


Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης



Καταχωρητής Ολίσθησης-Παράλληλης Φόρτωσης

$s_1 s_0 = 11$
Παράλληλη
φόρτωση

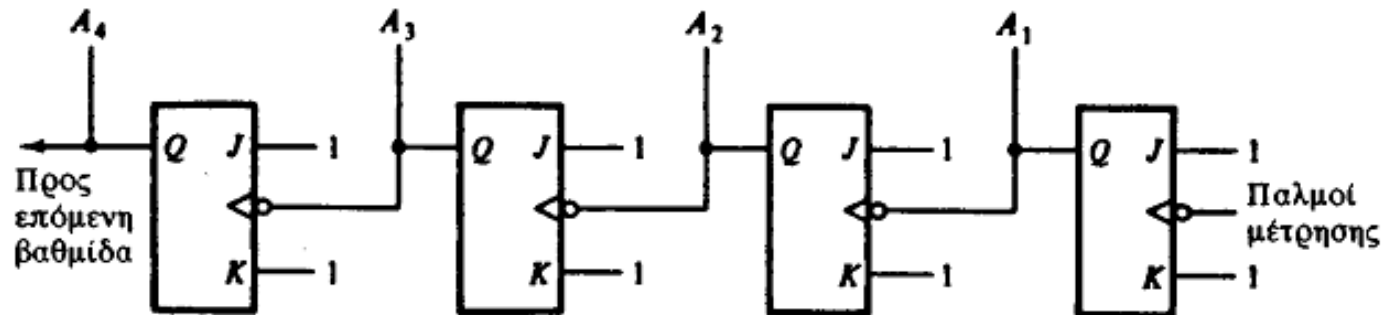


Μετρητές

Μετρητής Ριπής: Οι είσοδοι CP όλων των flip flops εκτός του πρώτου πυροδοτούνται από τις ακμές των κυματομορφών που βγαίνουν από τα άλλα flip flops

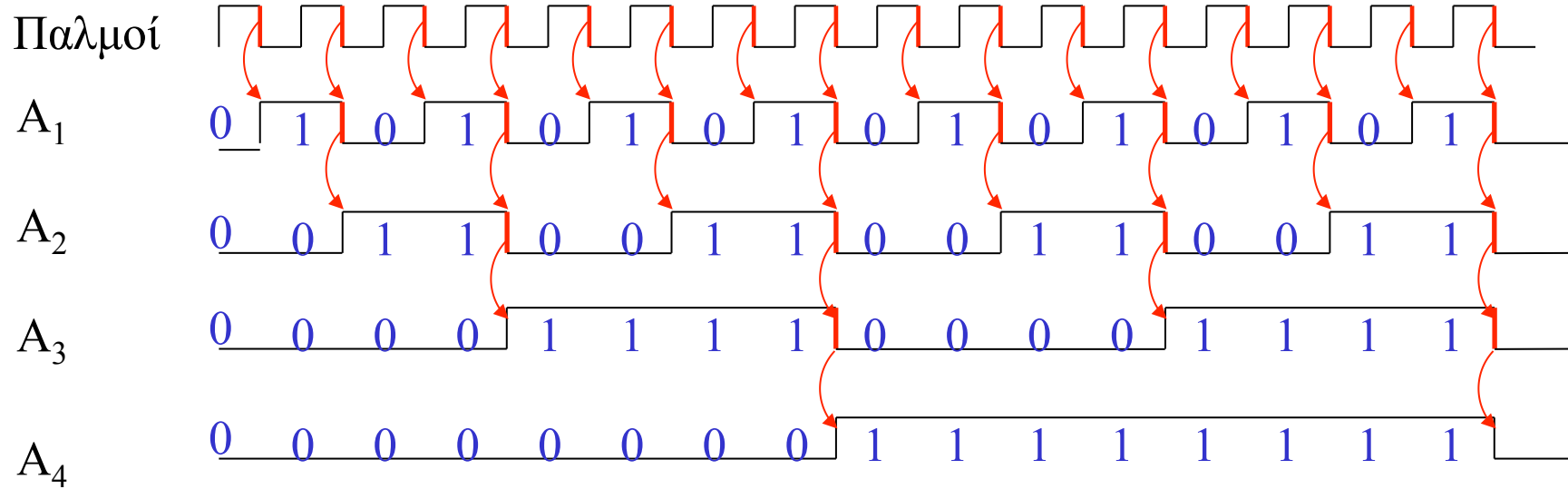
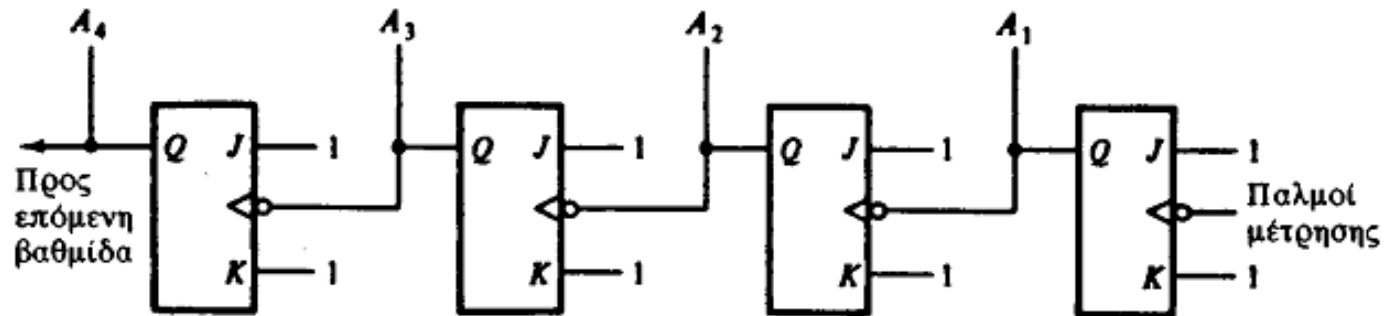
Σύγχρονος Μετρητής: Οι είσοδοι CP όλων των flip flops τροφοδοτούνται από τους ίδιους παλμούς ρολογιού.

Μετρητές Ριπής



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 την θετική ακμή του ρολογιού.

Μετρητές Ριπής



Μετρητής Ριπής

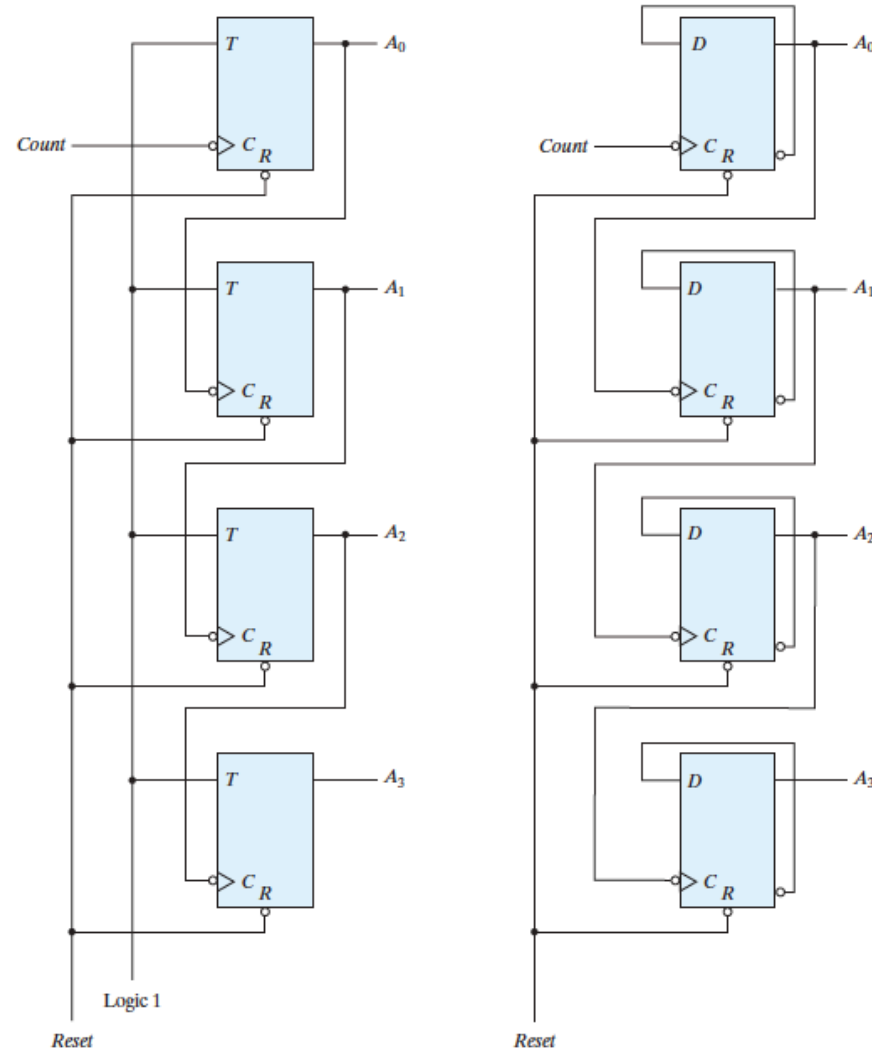
Σε κάθε αρνητική ακμή του ρολογιού το κάθε flip flop αλλάζει τιμή από 0 σε 1 και από 1 σε 0



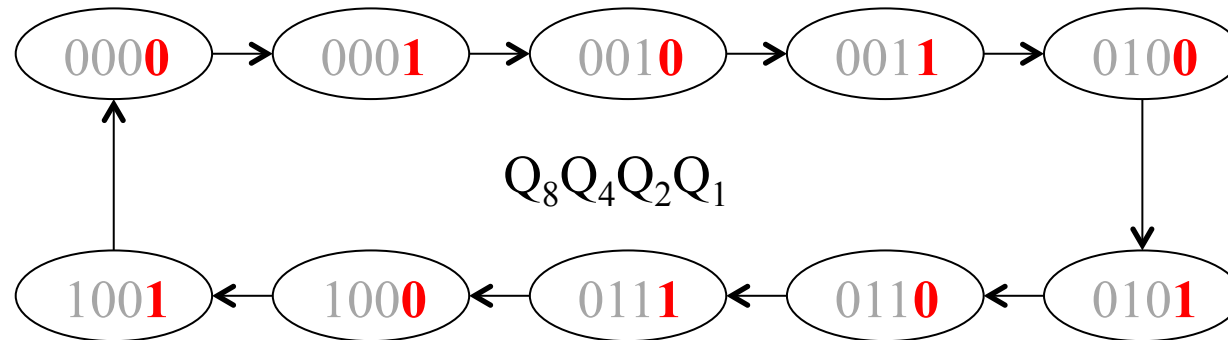
Η μέτρηση βασίζεται στην σωστή ακολουθία αρνητικών ακμών που λαμβάνει το κάθε flip flop



Όταν παρεμβάλονται λογικές πύλες υπάρχουν αιχμές που απειλούν την ακολουθία



Μετρητής Ριπής BCD

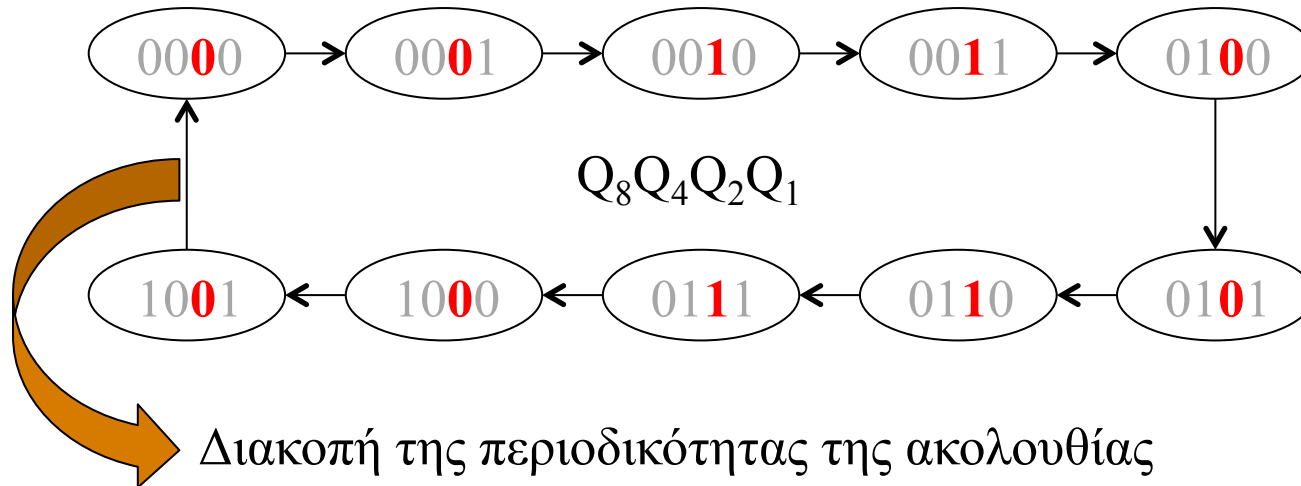


Το Q₁ αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό μέτρησης (θεωρώ αρνητική ακμή).



J₁=1, K₁=1, CP₁=clk

Μετρητής Ριπής BCD

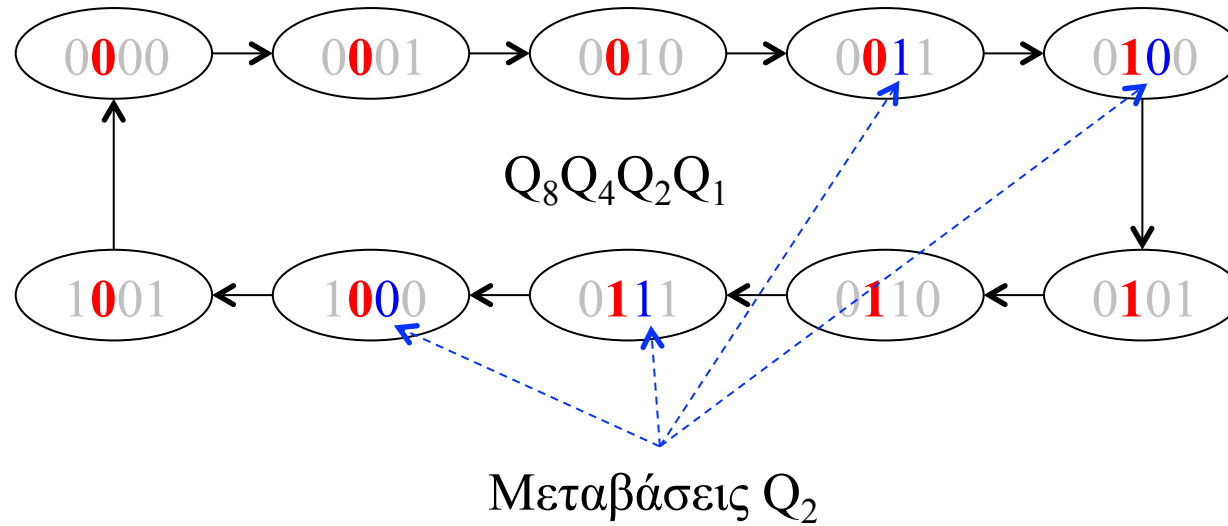


Το Q_2 αντιστρέφεται αν $Q_8=0$ και
μηδενίζεται όταν $Q_8=1$ (με τον
παλμό Q_1).



$$J_2=Q_8', K_2=1, CP_2=Q_1$$

Μετρητής Ριπής BCD

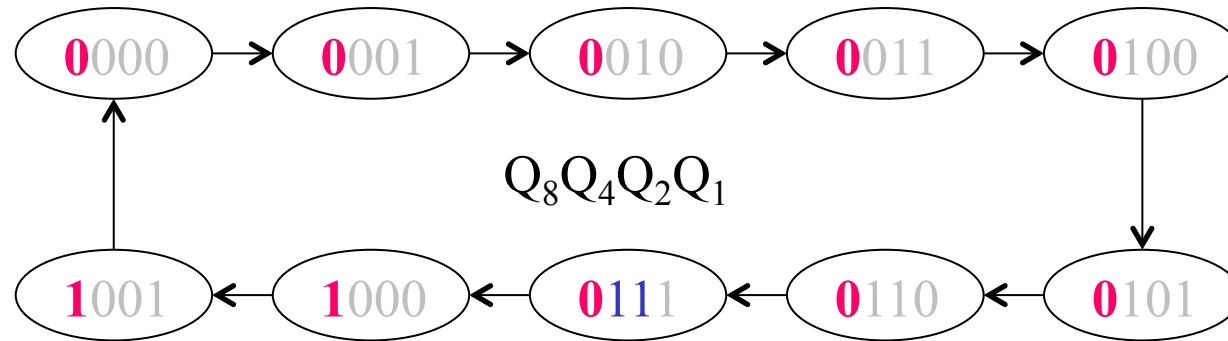


Το Q₄ αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό Q₂.



$$J_4=1, K_4=1, CP_4=Q_2$$

Μετρητής Ριπής BCD

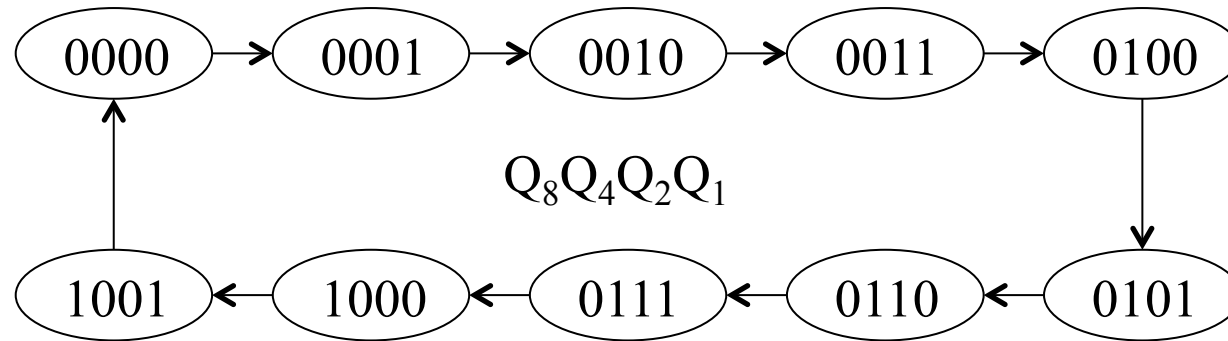


Το Q₈ αντιστρέφεται όταν Q₄Q₂=11
με τον παλμό του Q₁ (αλλιώς
μηδενίζεται).



$$J_8=Q_4Q_2, K_8=1, CP_8=Q_1$$

Μετρητής Ριπής BCD



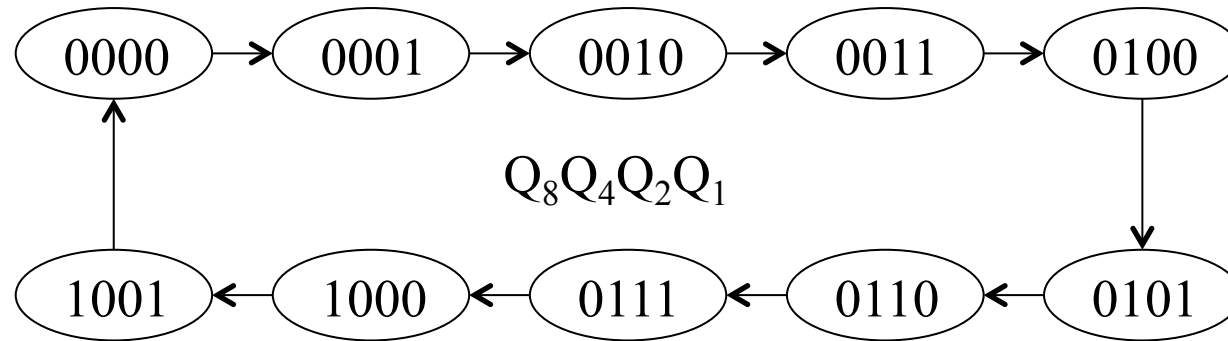
Το Q_1 αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό μέτρησης (θεωρώ αρνητική ακμή). ➡ $J_1=1, K_1=1, CP_1=clk$

Το Q_2 αντιστρέφεται αν $Q_8=0$ και μηδενίζεται όταν $Q_8=1$ (με τον παλμό Q_1). ➡ $J_2=Q_8', K_2=1, CP_2=Q_1$

Το Q_4 αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό Q_2 . ➡ $J_4=1, K_4=1, CP_4=Q_2$

Το Q_8 αντιστρέφεται όταν $Q_4Q_2=11$ με τον παλμό του Q_1 (αλλιώς μηδενίζεται). ➡ $J_8=Q_4Q_2, K_8=1, CP_8=Q_1$

Μετρητής Ριπής BCD



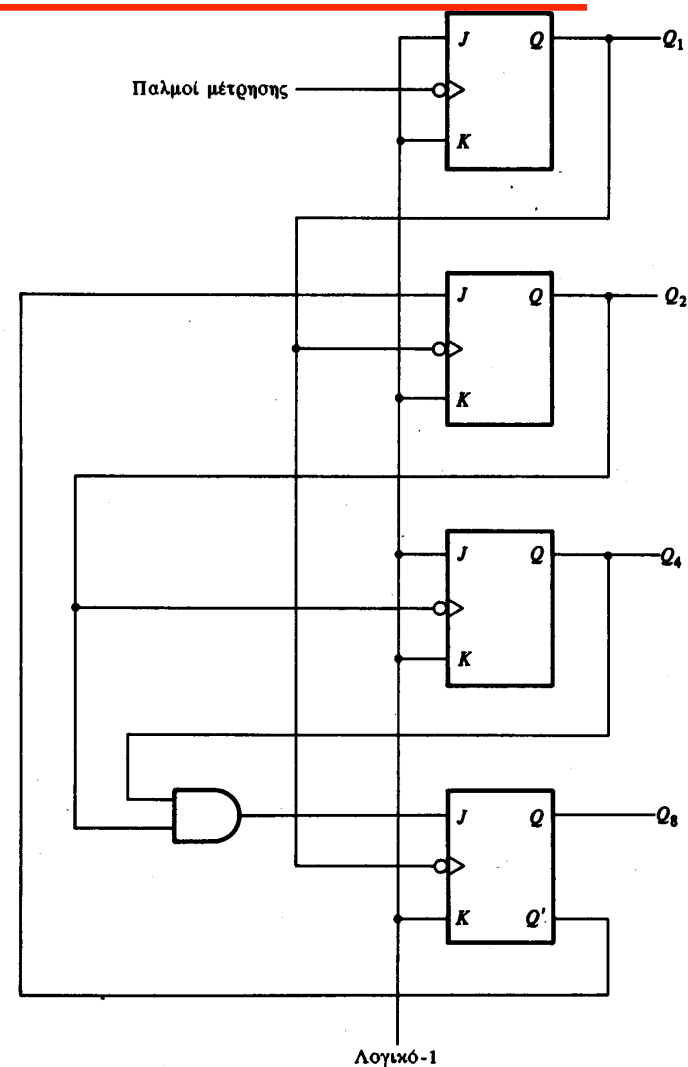
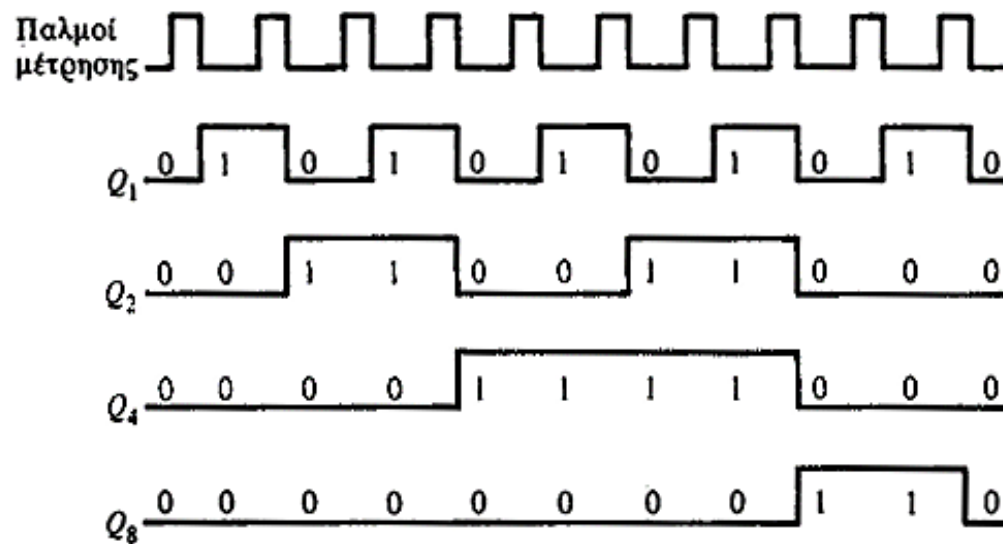
Το Q_1 αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό μέτρησης (θεωρώ αρνητική ακμή). ➡ $J_1=1, K_1=1, CP_1=clk$

Το Q_2 αντιστρέφεται αν $Q_8=0$ και μηδενίζεται όταν $Q_8=1$ (με τον παλμό Q_1). ➡ $J_2=Q_8', K_2=1, CP_2=Q_1$

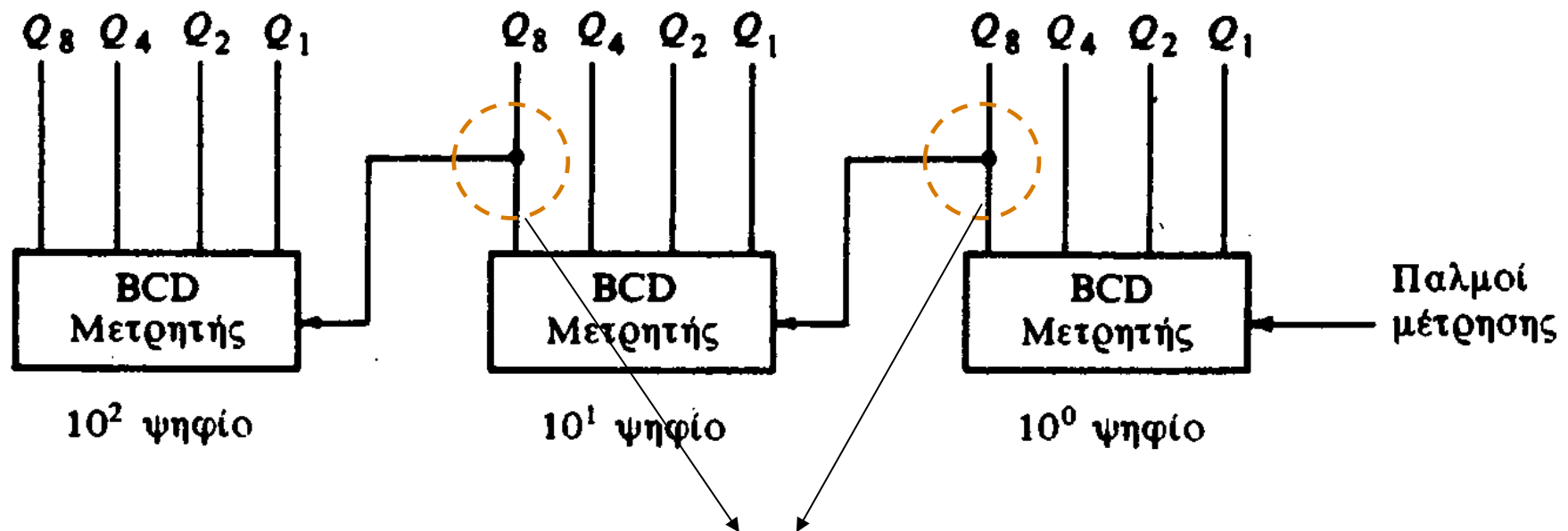
Το Q_4 αντιστρέφεται πάντα με τον παλμό Q_2 . ➡ $J_4=1, K_4=1, CP_4=Q_2$

Το Q_8 αντιστρέφεται όταν $Q_4Q_2=11$ με τον παλμό του Q_1 (αλλιώς μηδενίζεται). ➡ $J_8=Q_4Q_2, K_8=1, CP_8=Q_1$

Μετρητής Ριπής BCD

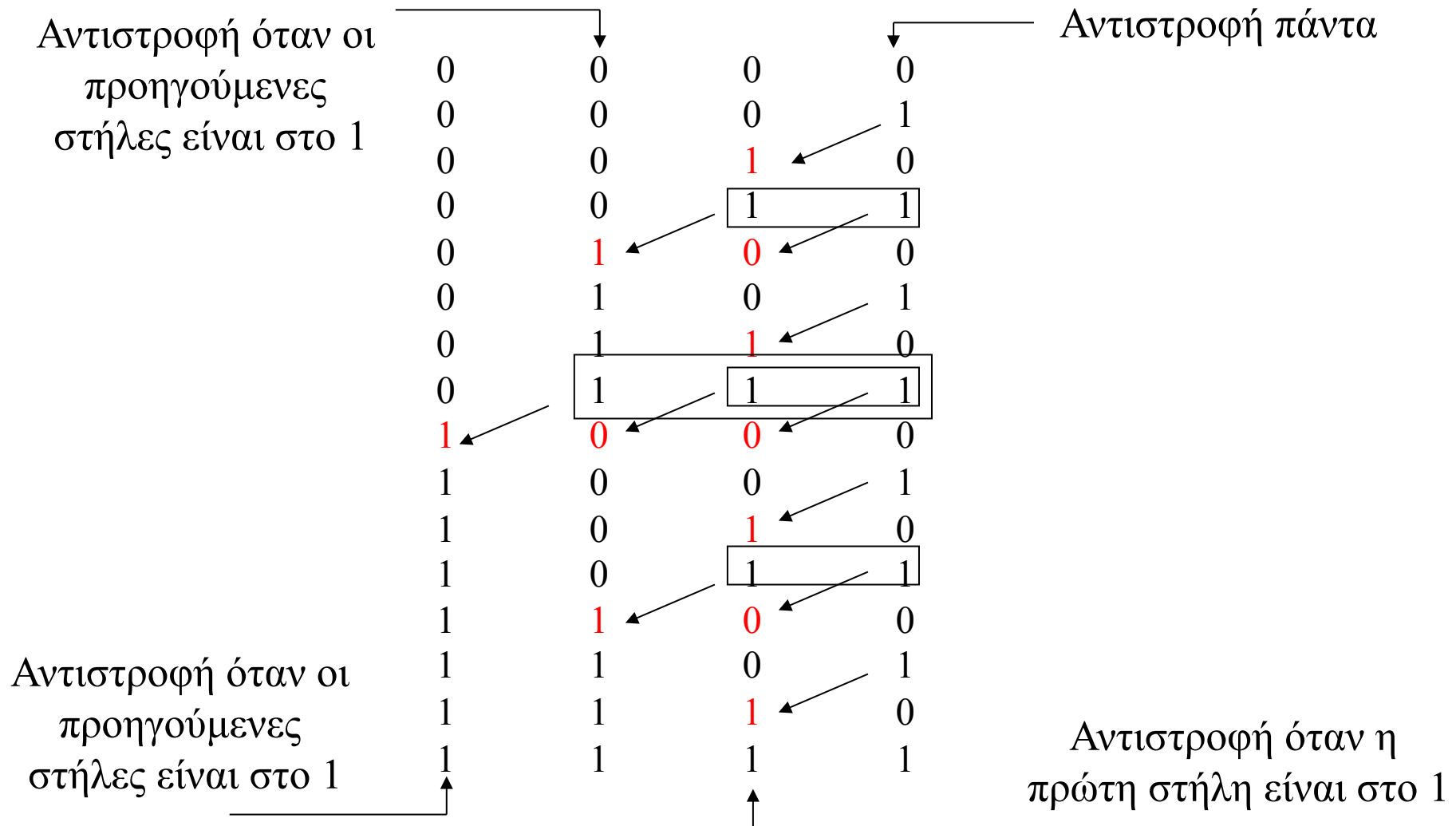


Δεκαδικός Μετρητής BCD 3 ψηφίων



Στην τελευταία μέτρηση γίνεται η μετάβαση από 1 σε 0 (αρχικοποίηση) και πυροδοτείται η μέτρηση της επόμενης βαθμίδας κατά ένα.

Σύγχρονη Μέτρηση προς τα πάνω



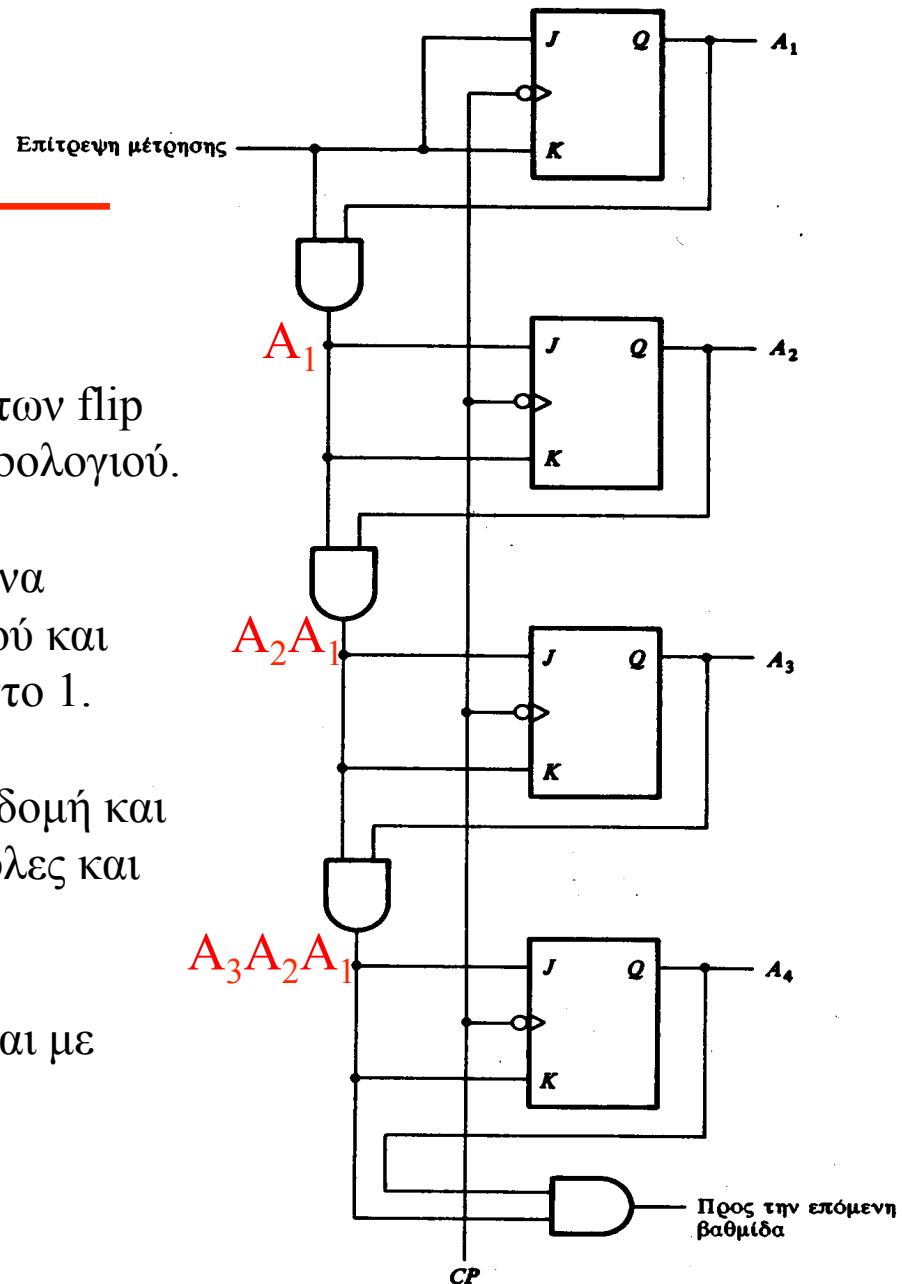
Σύγχρονος Μετρητής

Σύγχρονοι Μετρητές: Οι είσοδοι CP όλων των flip flops πυροδοτούνται από τον κοινό παλμό ρολογιού.

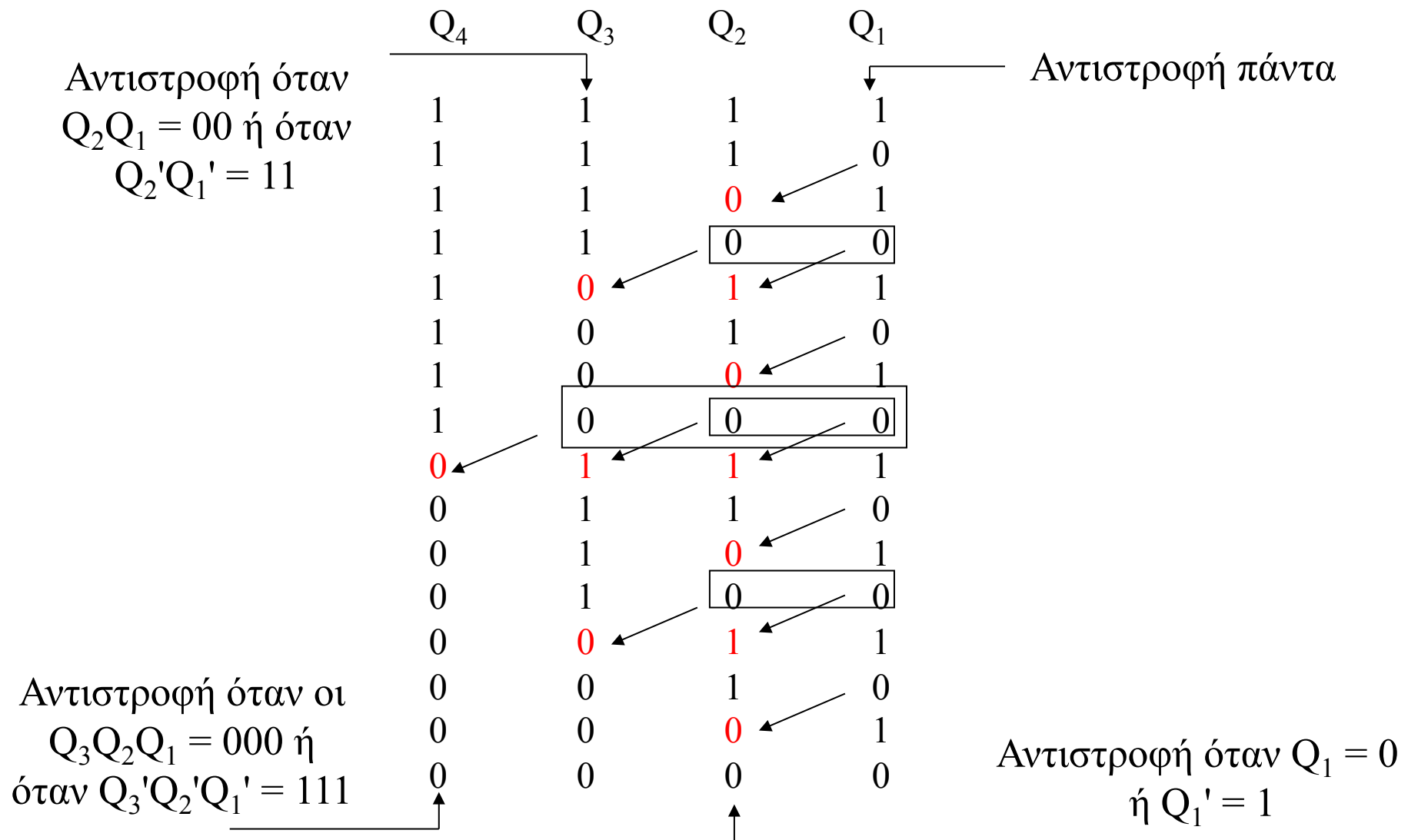
Στο δυαδικό μετρητή κάθε flip flop πρέπει να αντιστρέφεται μόνο στην ακμή του ρολογιού και όταν όλα τα λιγότερο σημαντικά ffs είναι στο 1.

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.

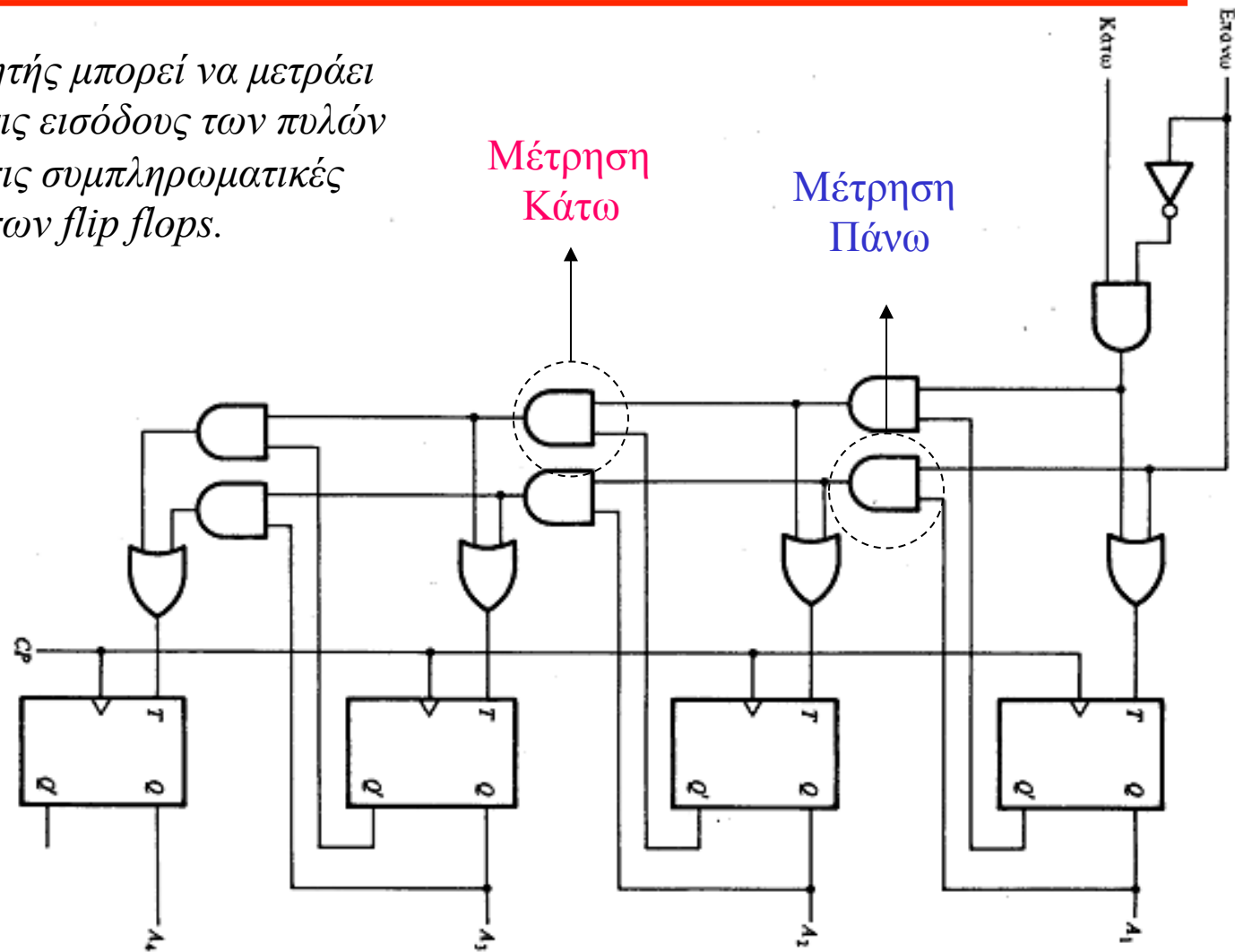


Σύγχρονη Μέτρηση προς τα κάτω

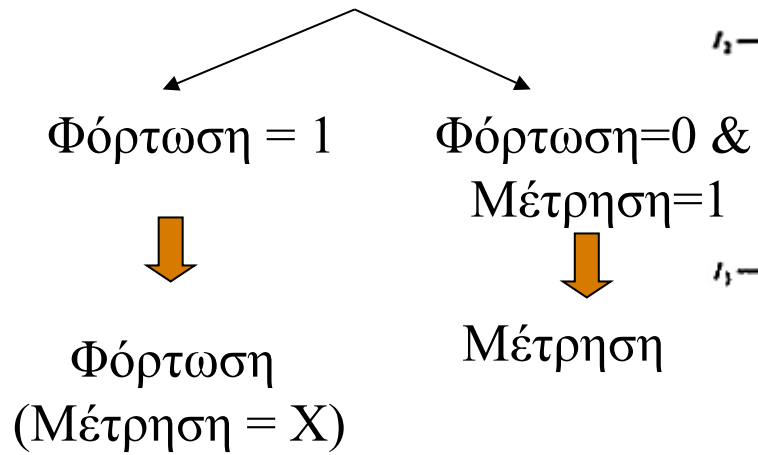


Σύγχρονος Δυαδικός Μετρητής Πάνω/Κάτω

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

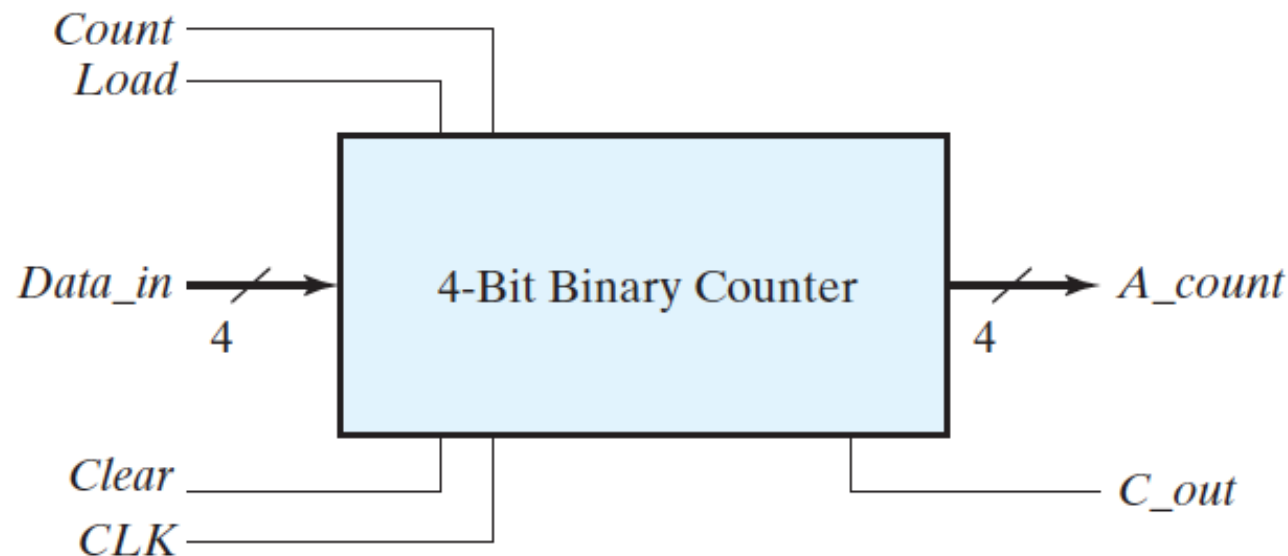


Δυαδικός Μετρητής Παράλληλης Φόρτωσης



Δυαδικός Μετρητής Παράλληλης Φόρτωσης

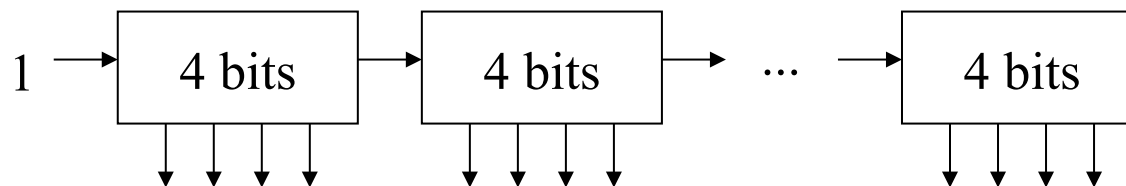
Μηδενισμός	CP	Φόρτωση	Μέτρηση	Λειτουργία
0	X	X	X	Μηδενισμός $A_4A_3A_2A_1 = 0000$
1	X	0	0	Αμετάβλητος
1	↑	1	X	Φόρτωση από εισόδους
1	↑	0	1	Μέτρηση: επόμενος δυαδικός αριθμός



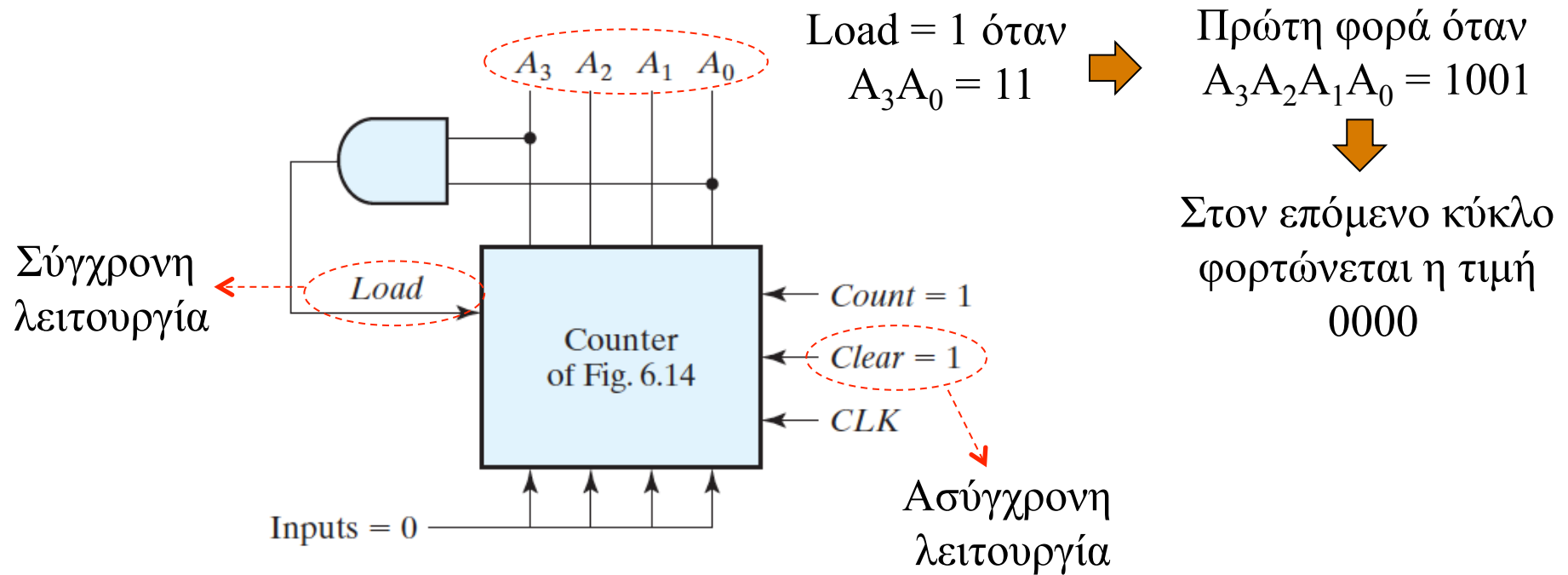
Δυαδικός Μετρητής Παράλληλης Φόρτωσης

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 τετράμπιτος μετρητής 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.

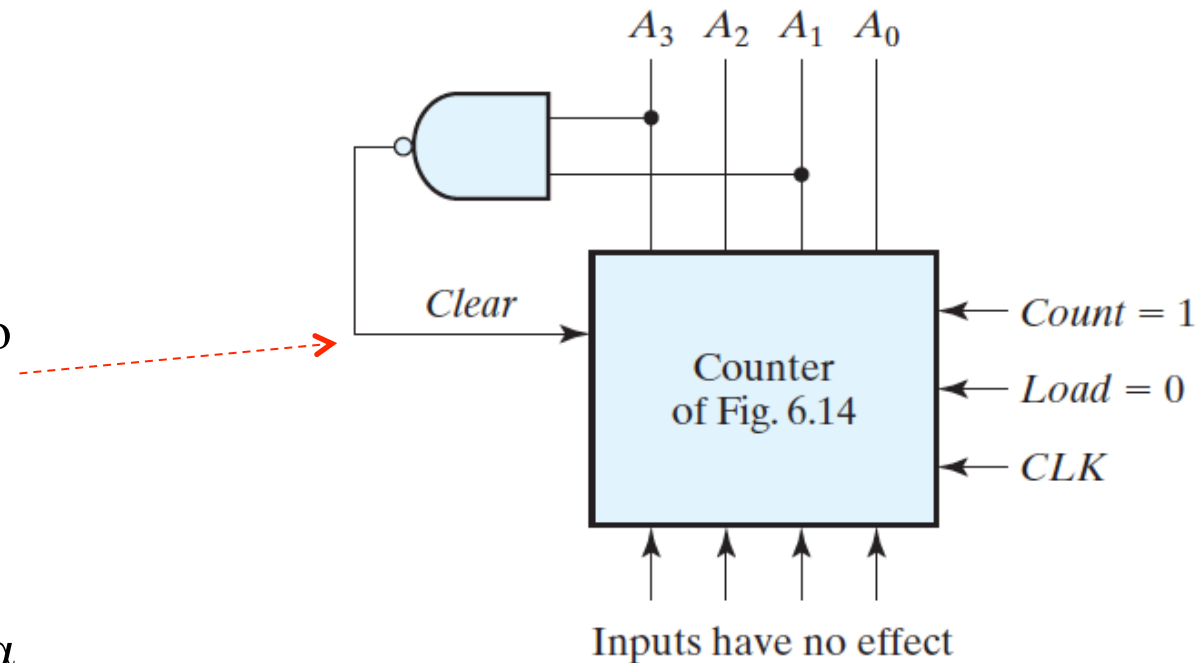


Παράδειγμα Δεκαδικός Μετρητής

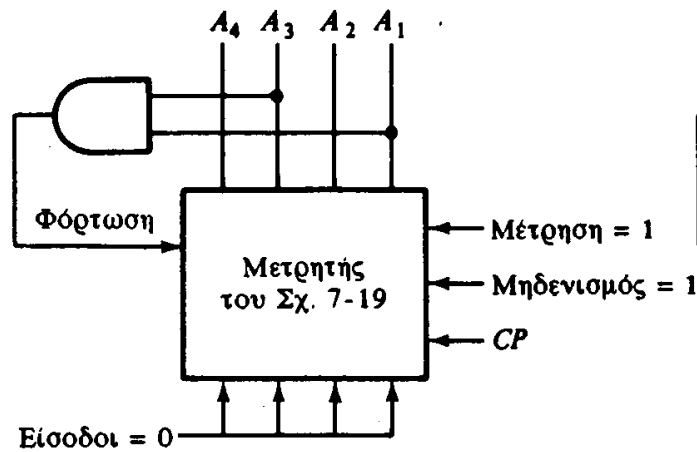


Παράδειγμα Δεκαδικός Μετρητής

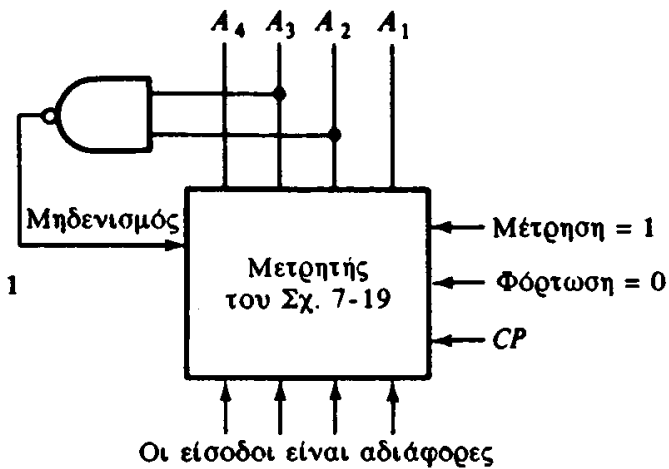
Clear = 0 όταν
 $A_3A_2A_1A_0 = 1010$
↓
Άμεσα μηδενίζεται ο
μετρητής
↓
Η τιμή 1010
εμφανίζεται στιγμιαία
μόνο και
αντικαθιστάται από
την τιμή 0000



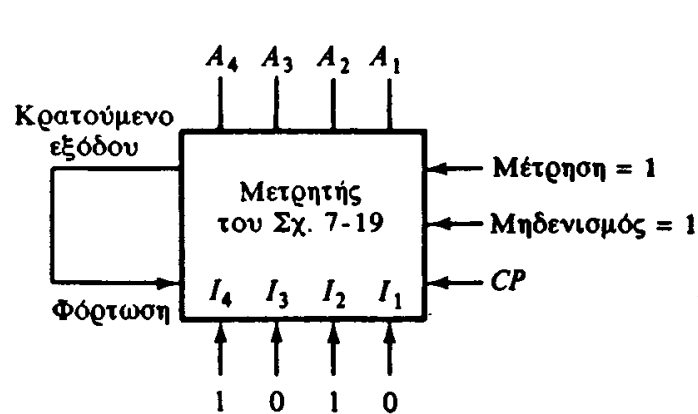
Παράδειγμα Μετρητής mod-6



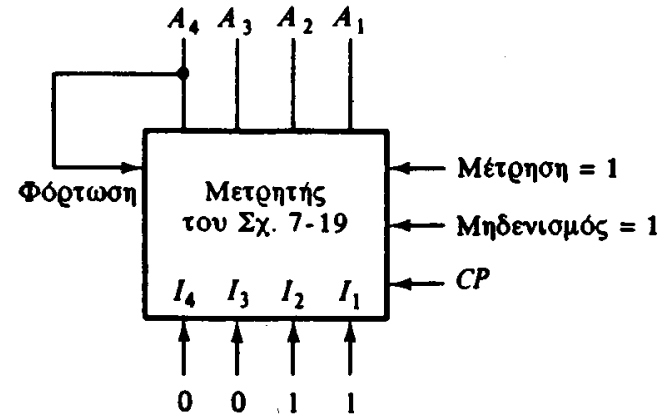
(α) Δυαδικές καταστάσεις 0,1,2,3,4,5



(β) Δυαδικές καταστάσεις 0,1,2,3,4,5

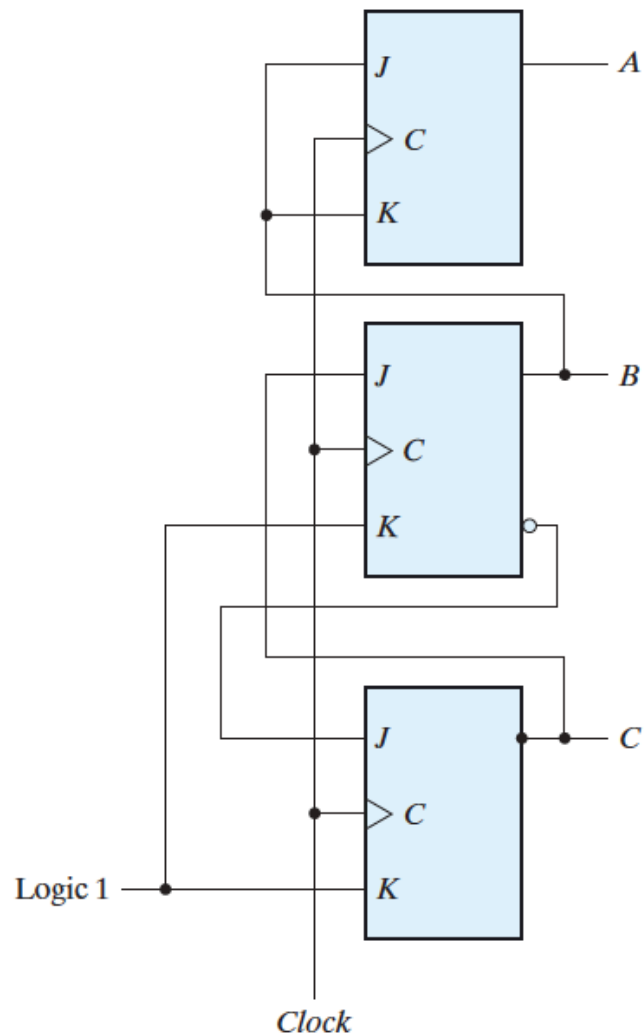


(γ) Δυαδικές καταστάσεις 10,11,12,13,14,15



(δ) Δυαδικές καταστάσεις 3,4,5,6,7,8

Μετρητής με Αχρησιμοποίητες Καταστάσεις

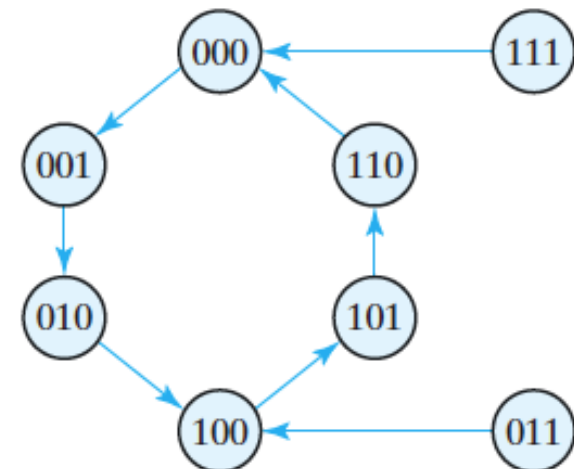


Present State			Next State			Flip-Flop Inputs					
A	B	C	A	B	C	J_A	K_A	J_B	K_B	J_C	K_C
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1	0	X
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	0	0	0	X	1	X	1	0	X

$$J_A = B \quad K_A = B$$

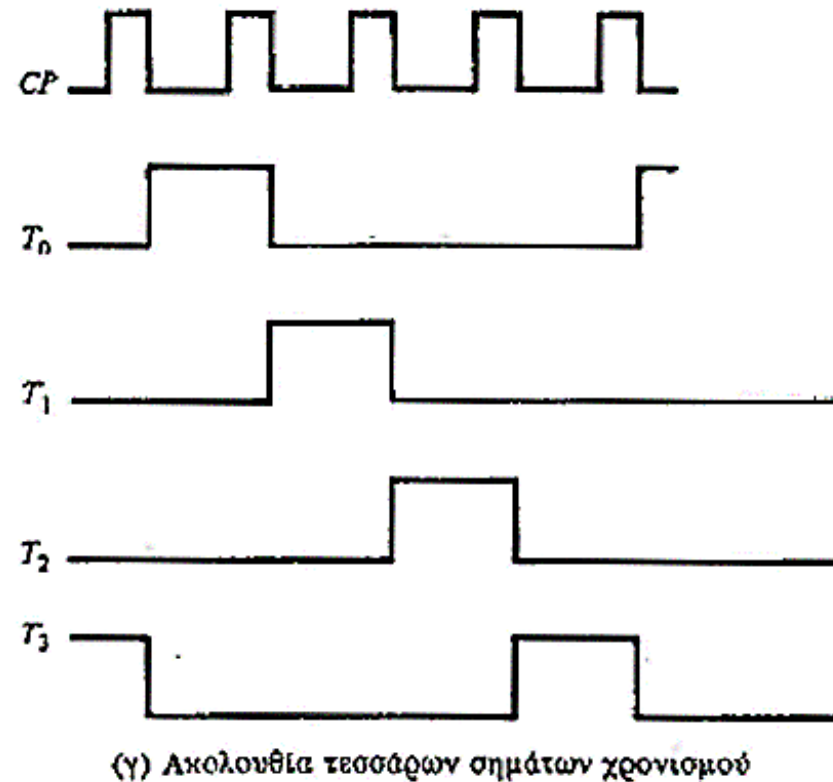
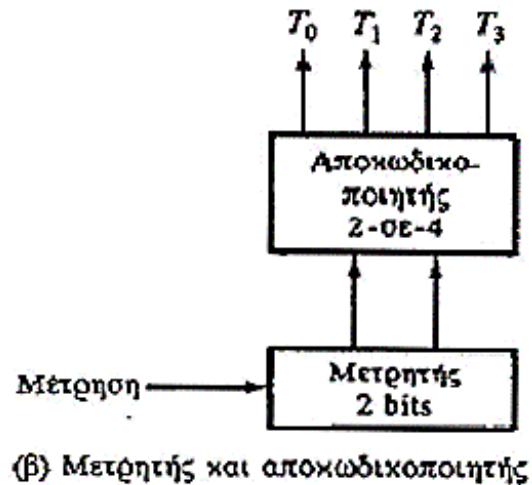
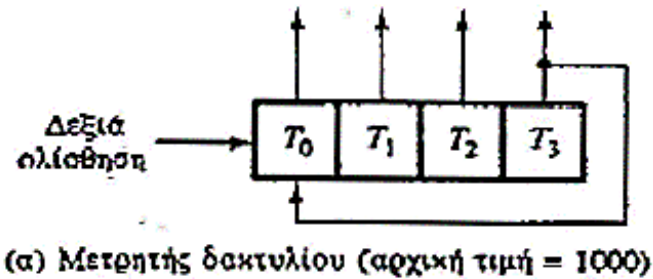
$$J_B = C \quad K_B = 1$$

$$J_C = B' \quad K_C = 1$$



Ακολουθίες Χρονισμού

Μετρητής Δακτυλίου: Ένας κυκλικός καταχωρητής ολίσθησης με μία μονάδα.

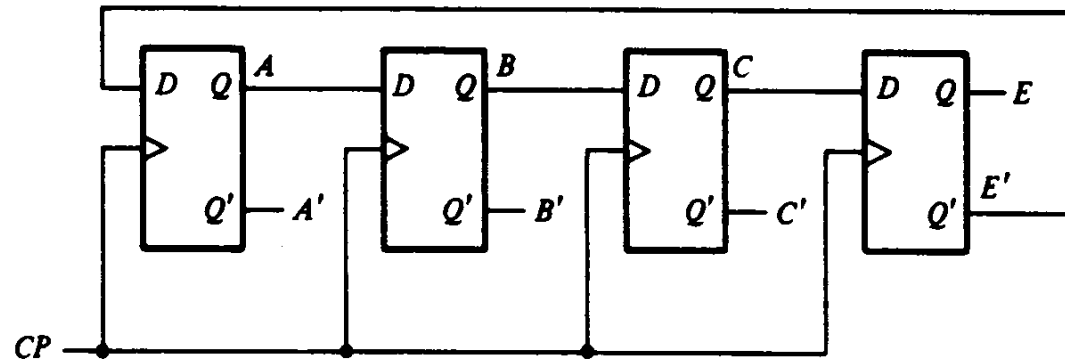


Κατασκευή Πολυφασικών Ρολογιών με χρήση συνδυαστικών πυλών.

Ακολουθίες Χρονισμού

Μετρητής Johnson:

Ένας μετρητής δακτυλίου με αντιστροφή ουράς (παράγει διπλάσιο αριθμό καταστάσεων).



(α) Τετράμπιτος μετρητής δακτυλίου με αντιστροφή ουράς

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

Αύξων αριθμός	Έξοδοι των flip-flops				Πύλη ΚΑΙ για την αποκωδικοποίηση εξόδου
	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	$C'E$

(β) Ακολουθία καταστάσεων και η σχετική αποκωδικοποίηση