

Ηλεκτρονική II

Τμήμα Φυσικής

Μέρος 3

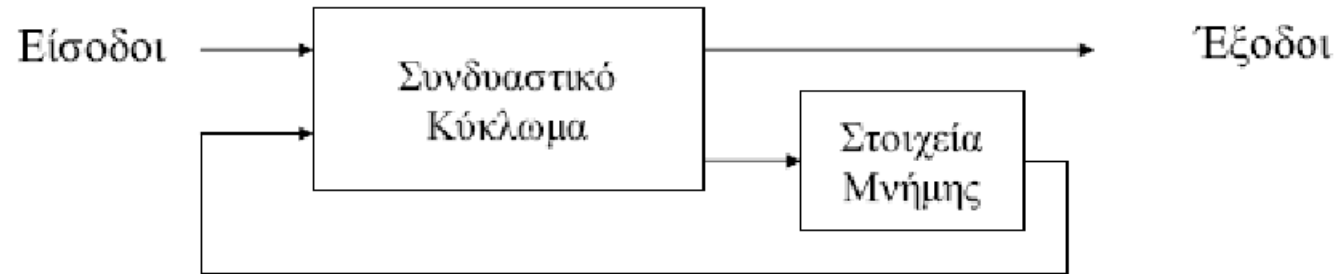


Περιεχόμενα

- Ακολουθιακά Κυκλώματα
- Flip-Flop τύπου SR
- Χρονιζόμενα SR Flip-Flops
- Flip-Flop τύπου D
- JK Flip-Flop

Ακολουθιακά Κυκλώματα

3



- Κατάσταση Ακολουθιακού Κυκλώματος : περιεχόμενα στοιχείων μνήμης
- Η έξοδος εξαρτάται από τις εισόδους και την κατάσταση του κυκλώματος
- Η κατάσταση εξαρτάται από τις εισόδους και την προηγούμενη κατάσταση

Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Ένα ακολουθιακό κύκλωμα καθορίζεται από τη χρονική ακολουθία των ΕΙΣΟΔΩΝ, των ΕΞΟΔΩΝ και των ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.
- Τα ακολουθιακά κυκλώματα διακρίνονται σε:
 - Σύγχρονα: οι τιμές των σημάτων αλλάζουν σε διακριτές χρονικές στιγμές (ρολόι). Οι αλλαγές της κατάστασης γίνονται με την άφιξη των παλμών του ρολογιού.
 - Ασύγχρονα: οι τιμές των σημάτων αλλάζουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή (συνδυαστικά κυκλώματα με ανάδραση). Δε χρησιμοποιούν παλμούς ρολογιού. Η κατάστασή τους αλλάζει με την αλλαγή των εισόδων.

Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Τα στοιχεία μνήμης τροφοδοτούνται από παλμό ρολογιού.
- Ένα σύγχρονο σύστημα δεν έχει προβλήματα χρονισμού λόγω της πυροδότησης-ενεργοποίησης όλων των στοιχείων μνήμης ταυτόχρονα με την ίδια ακμή του παλμού.
- Οι αλλαγές της κατάστασης πραγματοποιούνται σε εκείνες τις χρονικές στιγμές.
- Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται μέσω μιας γεννήτριας « κύριου Ρολογιού (master clock)» η οποία τροφοδοτεί το σύστημα με μια περιοδική σειρά παλμών.
- Οι παλμοί εφαρμόζονται σε πύλες ΚΑΙ και σε συνδυασμό με τα σήματα εισόδου καθορίζουν το πώς πρέπει να μεταβληθεί το περιεχόμενο των στοιχείων μνήμης.

Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Τα στοιχεία μνήμης τροφοδοτούνται από παλμό ρολογιού.
- Χρησιμοποιούνται περισσότερο στην πράξη.
- Δεν παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας.
- Μπορούν να αναλυθούν εύκολα σε ανεξάρτητα διακριτά βήματα.

Ασύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Στοιχεία μνήμης χωρίς ρολόι ή στοιχεία μνήμης τα οποία εισάγουν χρονική καθυστέρηση.
- Η ικανότητα μνήμης των στοιχείων καθυστέρησης, όπως και των λογικών πυλών, βασίζεται στο πεπερασμένο χρονικό διάστημα διάδοσης των σημάτων.
- Είναι συνδυαστικά κυκλώματα με ανάδραση, εύκολα γίνονται ασταθή.
- Η σχεδίαση των ασύγχρονων δυσκολότερη από ό,τι των σύγχρονων, εξαιτίας της ανάδρασης.
- Χρησιμοποιούνται όταν η ταχύτητα λειτουργίας είναι σημαντική.
- Οικονομικά για την υλοποίηση μικρών και ανεξάρτητων συστημάτων.
- Χρήσιμα σε εφαρμογές όπου τα σήματα εισόδου του συστήματος μπορεί να αλλάξουν σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Ασύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Η επικοινωνία μεταξύ δύο μονάδων που η κάθε μία έχει το δικό της ανεξάρτητο ρολόι πρέπει να γίνει με ασύγχρονα κυκλώματα.

ΑΣΥΓΧΡΟΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ:

Δευτερεύουσες μεταβλητές
(παρούσα κατάσταση)

Μεταβλητές διέγερσης
(επόμενη κατάσταση)

- Δευτερεύουσες μεταβλητές = Μεταβλητές διέγερσης
- Συνθήκη μόνιμης κατάστασης, για μία δεδομένη τιμή μεταβλητών εισόδου.

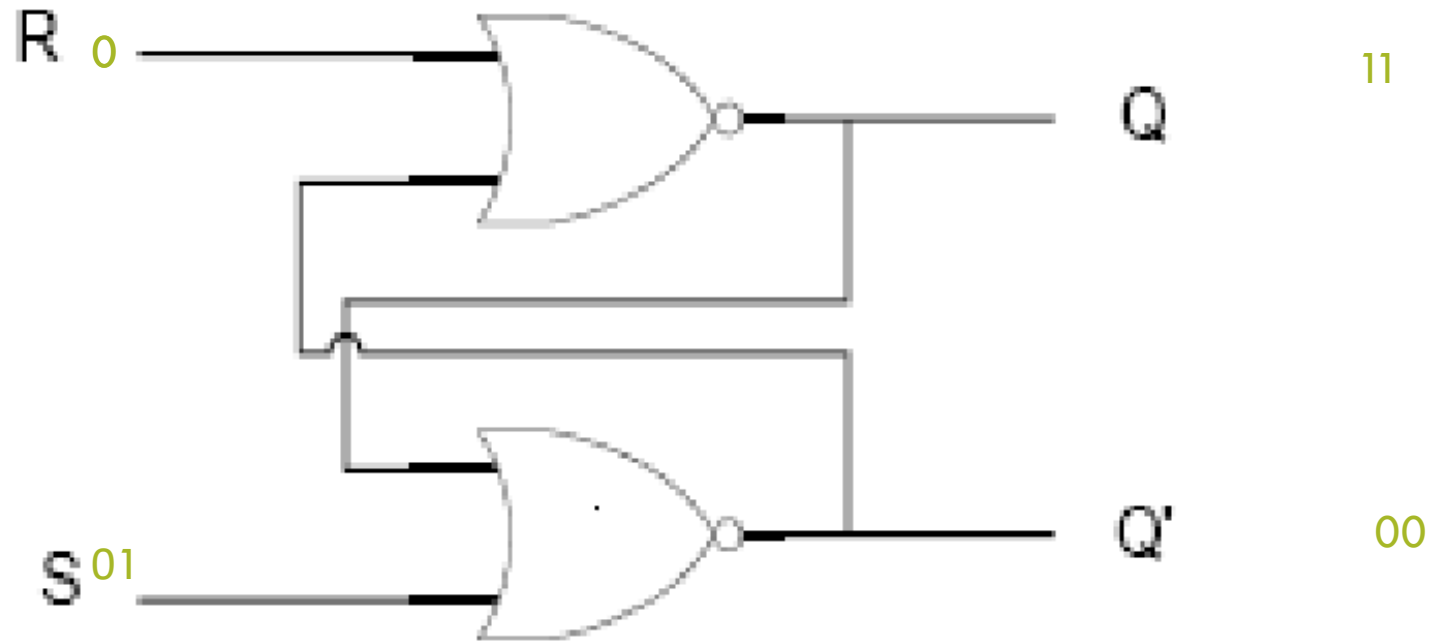
Ασύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα

- Με την αλλαγή των μεταβλητών εισόδου οι δευτερεύουσες μεταβλητές δεν αλλάζουν ακαριαία λόγω της καθυστέρησης διάδοσης των σημάτων, η οποία εισάγεται μέσω του συνδυαστικού κυκλώματος.
- Για την κανονική λειτουργία ενός ασύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος πρέπει το σύστημα να χαρακτηρίζεται από σταθερή κατάσταση πριν από την άφιξη κάποιας (κάποιων) εισόδου(ων).
- Ο χρόνος μεταξύ δύο αλλαγών εισόδου πρέπει να είναι μεγαλύτερος από το χρόνο που χρειάζεται για να φτάσει το σύστημα σε σταθερή κατάσταση. (ΒΑΣΙΚΟΣ ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.)
- Δεν μπορούμε να εξασφαλίσουμε ταυτόχρονη αλλαγή.
- Ο βασικός τρόπος λειτουργίας υποθέτει ότι τα σήματα εισόδου αλλάζουν ένα-ένα και μόνον για να βρίσκεται το κύκλωμα σε σταθερή κατάσταση.

Σύγκριση Ακολουθιακών Κυκλωμάτων

ΑΚΟΛΟΥΘΙΑΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ	
ΣΥΓΧΡΟΝΑ	ΑΣΥΓΧΡΟΝΑ
<ul style="list-style-type: none">• Η λειτουργία ενός σύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος περιγράφεται πλήρως από τις τιμές των σημάτων του σε συγκεκριμένες (διακριτές) χρονικές στιγμές.	<ul style="list-style-type: none">• Η λειτουργία ενός ασύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος εξαρτάται από τη σειρά με την οποία αλλάζουν οι τιμές των σημάτων εισόδου του και μπορεί να επηρεασθεί σε κάθε χρονική στιγμή.
<ul style="list-style-type: none">• Ο συγχρονισμός τους επιτυγχάνεται μέσω ενός ρολογιού (clock), το οποίο τροφοδοτεί το όλο κύκλωμα με μια περιοδική παλμοσειρά (clock pulses).	<ul style="list-style-type: none">• Ένα συνδυαστικό κύκλωμα με ανατροφοδότηση αποτελεί ουσιαστικά ένα ασύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα.
<ul style="list-style-type: none">• Δεν παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας και ο χρονισμός τους μπορεί εύκολα να αναλυθεί σε διακριτά βήματα.	<ul style="list-style-type: none">• Παρουσιάζουν προβλήματα αστάθειας λόγω της υπάρχουσας ανατροφοδότησης (feedback).

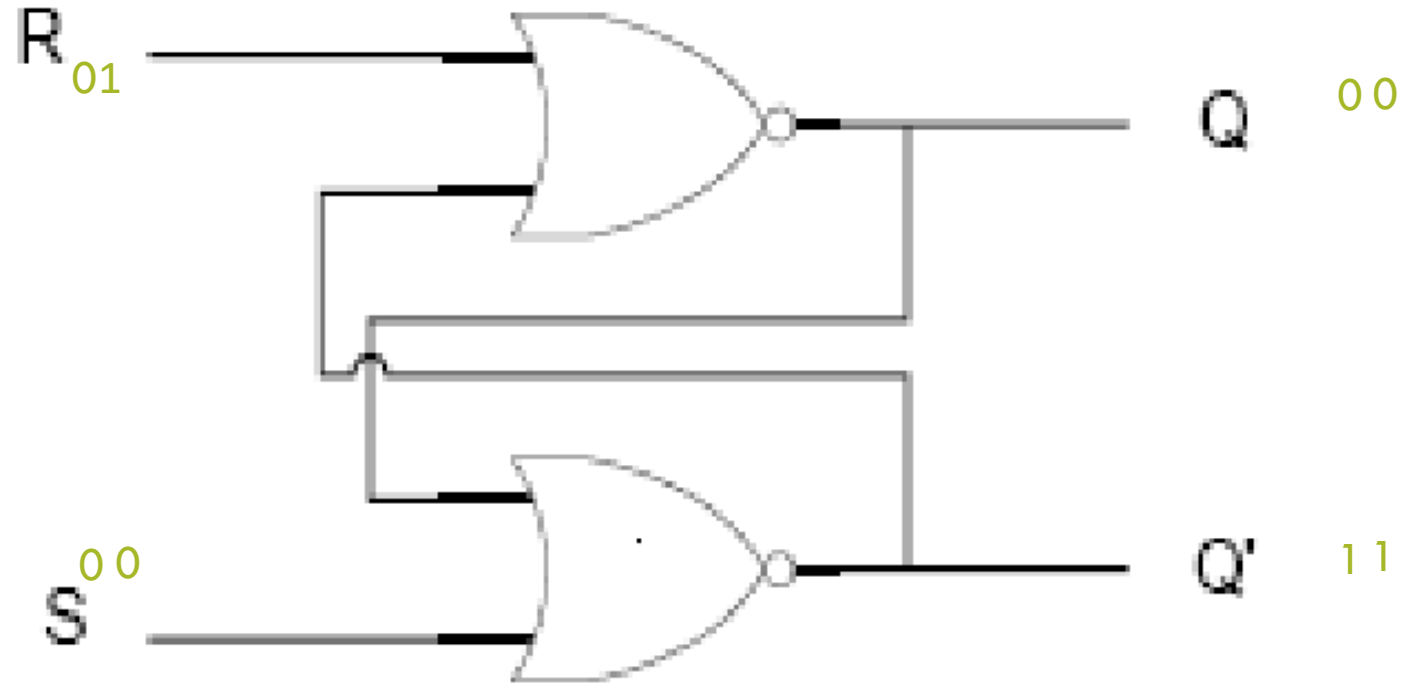
Μανταλωτής με Πύλες NOR



A	B	F
1	X	0
0	0	1
0	1	0

Πίνακας αληθείας πύλης NOR

Μανταλωτής με Πύλες NOR



A	B	F
1	X	0
0	0	1
0	1	0

Πίνακας αληθείας πύλης NOR

Μανταλωτής με Πύλες NOR

S	R	Q	Q'
1	0	1	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	0	0	1

SET: ΘΕΣΗ ή ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ

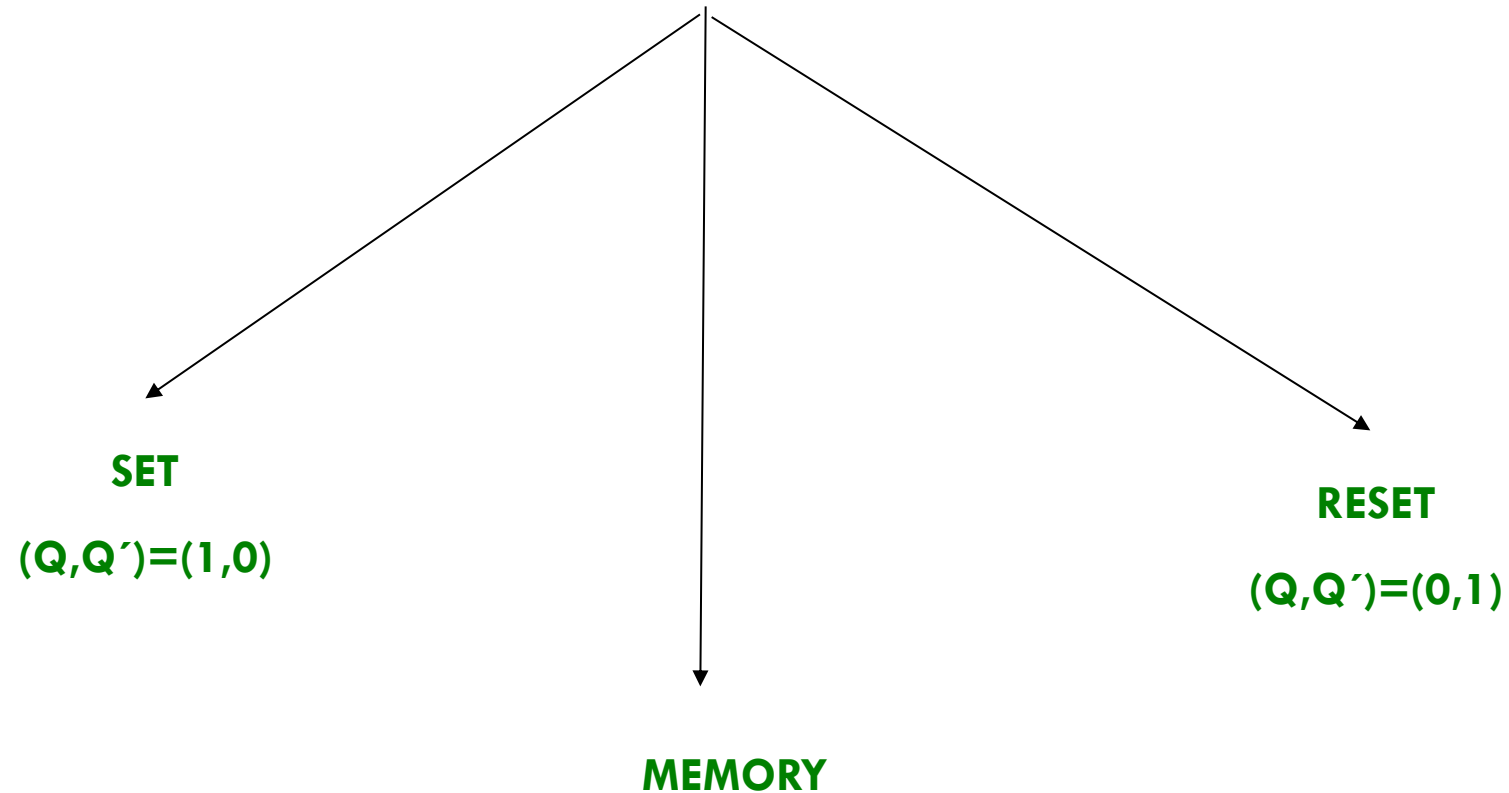
RESET: ΜΗΔΕΝΙΣΜΟΣ ή ΕΚΚΑΘΑΡΙΣΗ

Memory: Μνήμη

SR FLIP-FLOP

- Αποτελεί το βασικό FLIP-FLOP.
- Συνδυαστικό κύκλωμα με ανάδραση-ανατροφοδότηση (feedback).
ΑΣΥΓΧΡΟΝΟ ΚΥΚΛΩΜΑ
- Ορίζεται ως SR FLIP-FLOP ή ΜΑΝΤΑΛΩΤΗΣ SR (SR Latch)
- FLIP-FLOP: Δυαδικό κύτταρο μνήμης ή αποθήκευσης ενός bit.
- FLIP: Αλλαγή από 0- > 1
- FLOP: Αλλαγή από 1- > 0
- Η έξοδος Q ονομάζεται ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.
- Το FLIP-FLOP έχει ΔΥΟ καταστάσεις 0,1

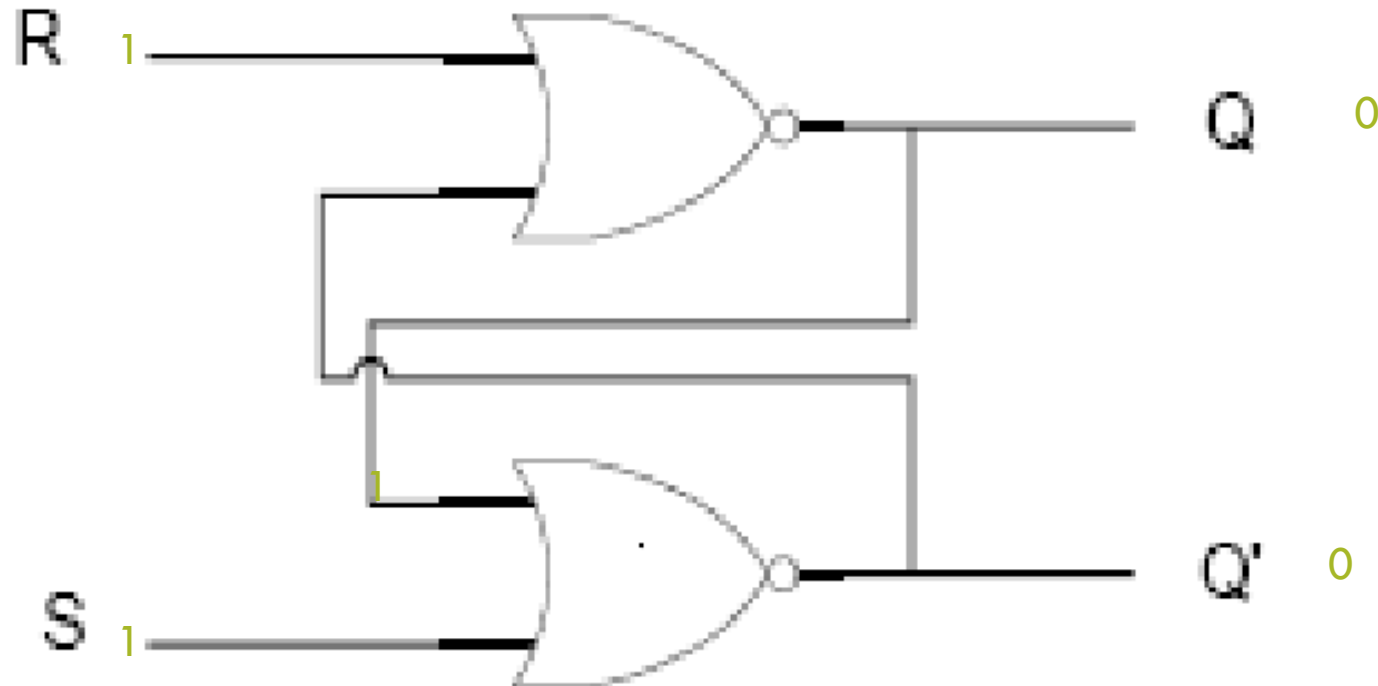
Χαρακτηριστικά ενός SR FLIP-FLOP



- Στο FLIP-FLOP οι έξοδοι είναι συμπληρωματικές.

SR FLIP-FLOP

- Περίπτωση όπου $S=R=1$



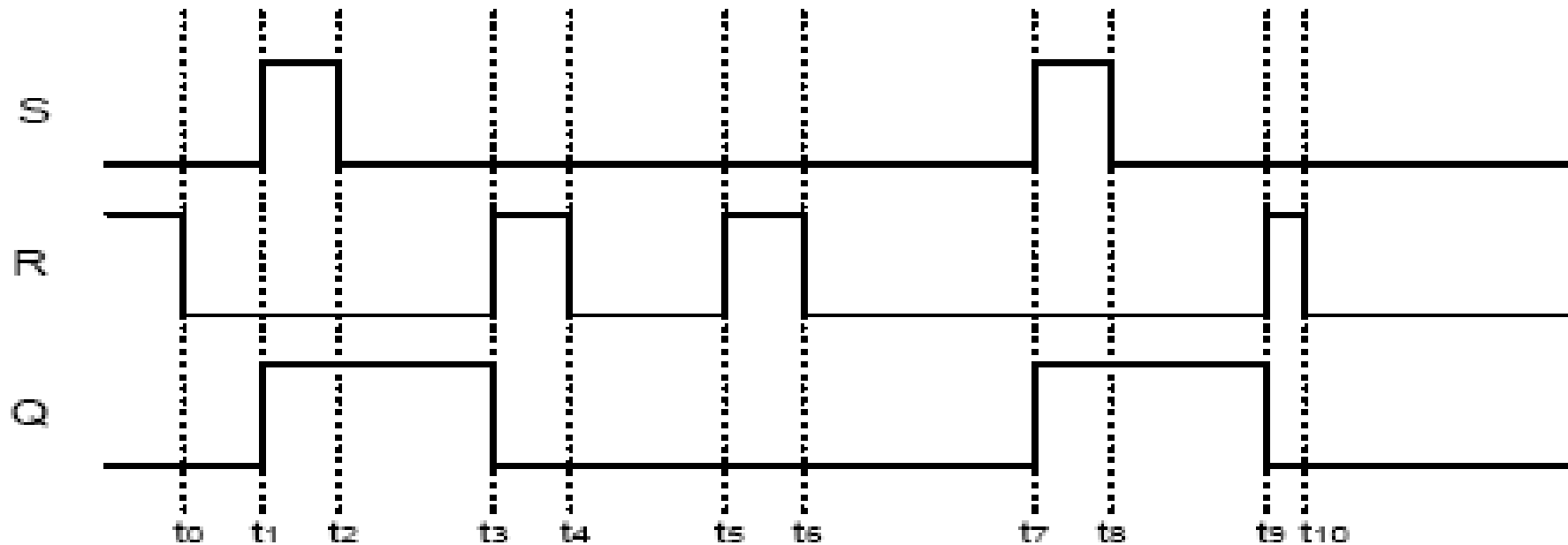
$Q = Q'$ διότι $S/R=1$ έξοδος της πύλης NOR 0

A	B	F
1	X	0
0	0	1
0	1	0

SR FLIP-FLOP

- Στο προηγούμενο παράδειγμα υπάρχει αντίφαση με την συμπληρωματικότητα που παρουσιάζουν.
- Επαναφέρουμε τις εισόδους στο λογικό 0
- Εάν η είσοδος S γίνει 0, αφού ήδη έχει γίνει 0 η είσοδος R, τότε η έξοδος θα γίνει 1 ($Q=1$). Στιγμιαία $S=1, R=0$
- Αν όμως η είσοδος R καθυστερήσει περισσότερο από την S να μεταβεί στο λογικό 0 (οπότε στιγμιαία θα έχουμε $S=0$ και $R=1$), τότε η έξοδος Q θα παραμείνει στο λογικό 0 ($Q=0$).
- Είναι φανερό ότι η περίπτωση $S=R=1$ πρέπει να αποφεύγεται γιατί δεν μπορεί να προσδιοριστεί η τιμή της εξόδου-κατάστασης.
- Για να λειτουργεί ο μανταλωτής SR κανονικά πρέπει $SR=0$

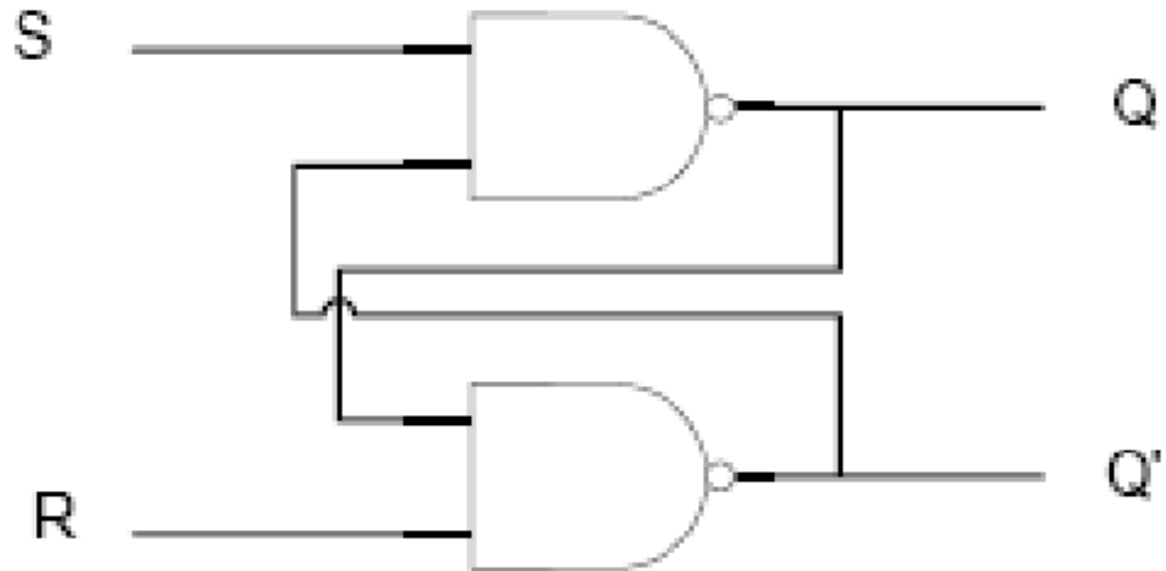
SR FLIP-FLOP



- Προϋπόθεση: οι εισοδοι αλλάζουν ταυτόχρονα.
- Θεωρούμε ότι η καθυστέρηση διάδοσης είναι μηδενική.

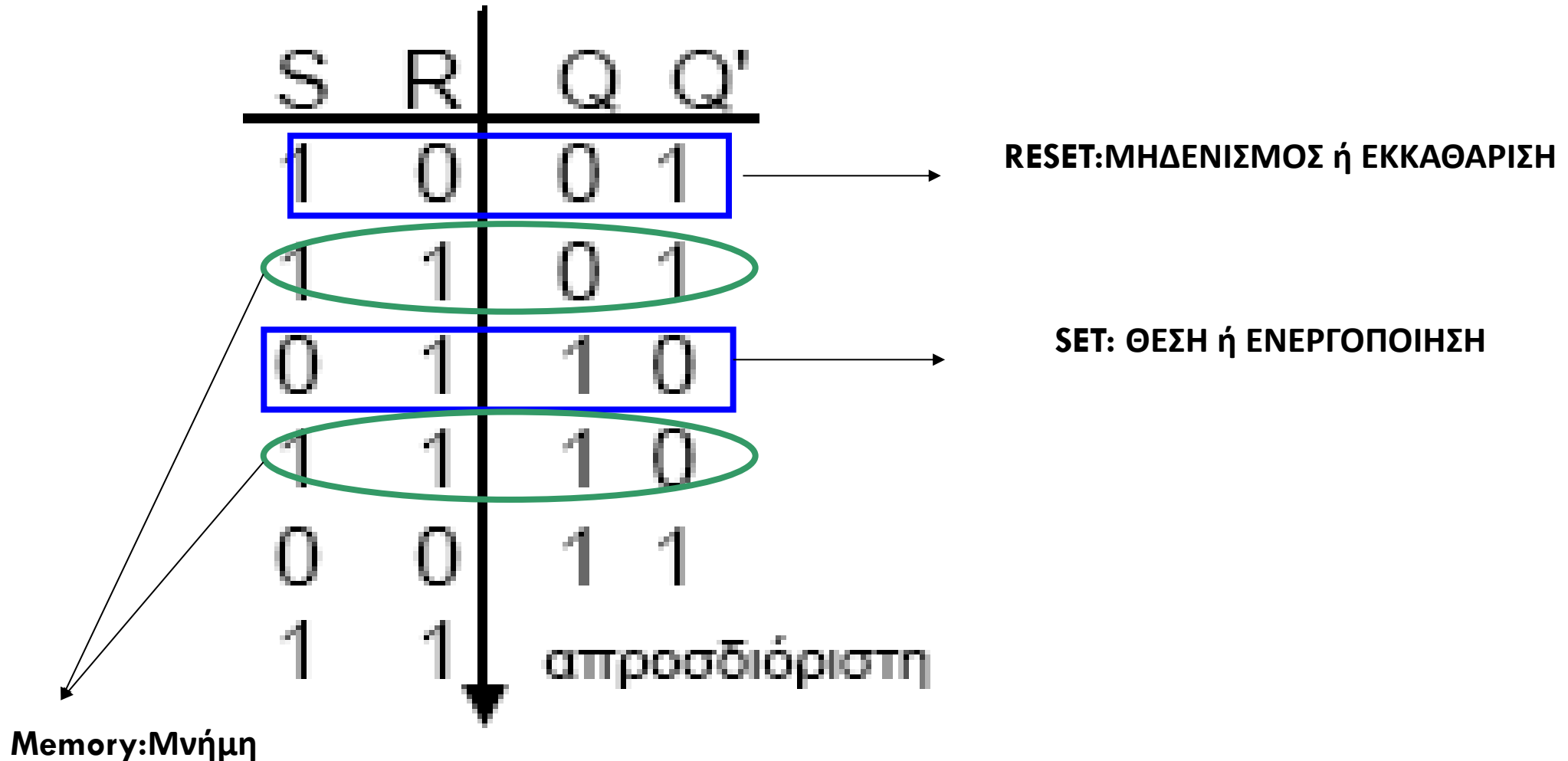
Μανταλωτής με Πύλες NAND

A	B	F
0	X	1
1	0	1
1	1	0



Πίνακας αληθείας πύλης NAND

Μανταλωτής με Πύλες NAND



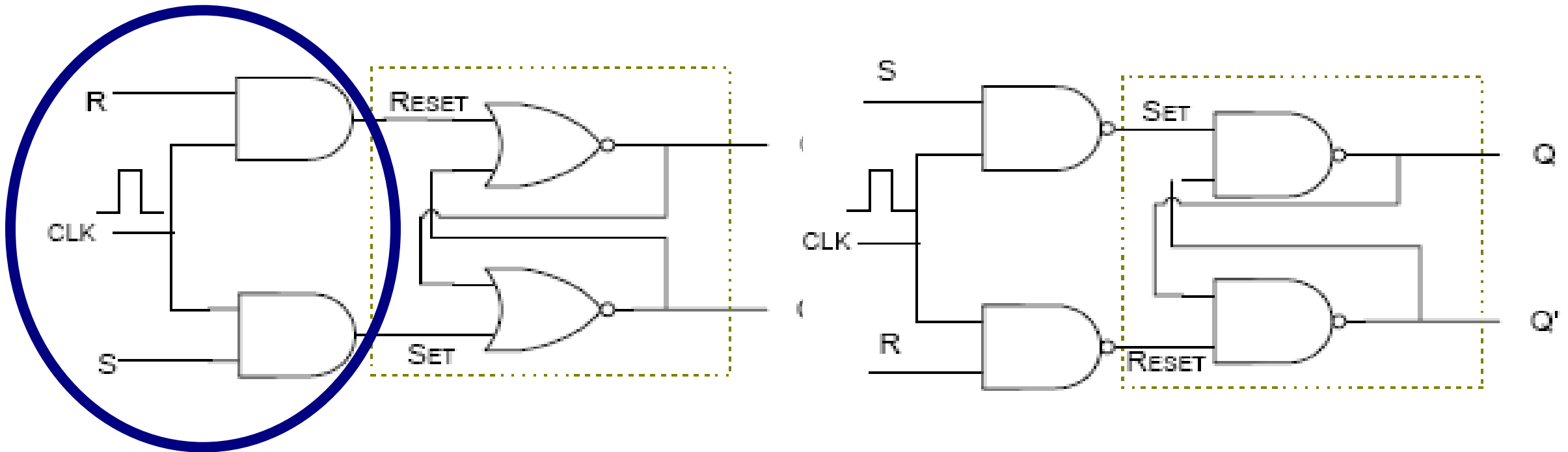
Μανταλωτής με Πύλες NAND

- Παρατηρούμε ότι μπορούμε και πάλι να αποθηκεύσουμε ένα δυαδικό ψηφίο πληροφορίας με κατάλληλο συνδυασμό των λογικών τιμών των εισόδων.
- Εδώ ο συνδυασμός $S=R=0$ είναι αυτός που πρέπει να αποφεύγεται.

Χρονιζόμενα FF Τύπου SR

- Τα FF τύπου SR που μελετήθηκαν είναι εξαιρετικά ευαίσθητα στους οποιουσδήποτε ανεπιθύμητους παλμούς μικρού εύρους (αιχμές, glitches), που θα παρουσιασθούν στις εισόδους τους.
- Αυτοί οι παλμοί θα μπορούσαν να προκύψουν λόγω της διαφορετικής καθυστέρησης που υφίσταται ένας παλμός μέσα από ένα συνδυαστικό κύκλωμα.
- Για να αποφύγουμε τέτοια προβλήματα, συγχρονίζουμε τις εισόδους του FF, προσθέτοντας ένα επιπλέον επίπεδο πυλών AND ή NAND.

Χρονιζόμενα FF Τύπου SR



Χρονιζόμενα FF Τύπου SR

- Όταν ο παλμός του ρολογιού (clock, CLK) είναι στο λογικό 1 (CLK=1), επιτρέπεται οι τιμές των S και R να "περάσουν" στις εισόδους SET και RESET και να επηρεάσουν τη λειτουργία του FF.
- Όταν CLK=0, τότε οι είσοδοι S και R δεν μπορούν να επηρεάσουν το FF και το κύκλωμα παραμένει στην προηγούμενη κατάστασή του.
- Οι επιπλέον πύλες AND ή NAND παίζουν το ρόλο της 'πύλης', η οποία ελέγχεται από την είσοδο του ρολογιού CLK. Γι' αυτό και η είσοδος CLK αναφέρεται πολλές φορές και ως πύλη ενεργοποίησης (gate enable).

Πίνακας Λειτουργίας ή Χαρακτηριστικός Πίνακας (Function Table) του FF.

Q_t	S	R	Q_{t+1}
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	απροσδιόριστη
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	απροσδιόριστη

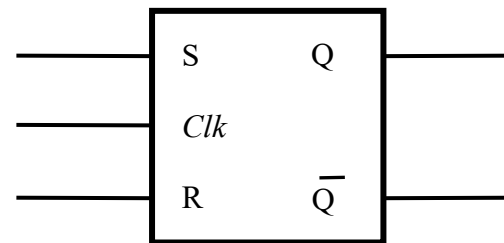
S	R	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	απροσδιόριστη

Πίνακας Λειτουργίας ή Χαρακτηριστικός Πίνακας (Function Table) του FF.

- Παρατηρούμε ότι στο αριστερό μέρος του πίνακα έχει συμπεριληφθεί και η κατάσταση του FF, πριν εφαρμοσθεί ο ωρολογιακός παλμός. Αυτή συμβολίζεται ως Q_t .
- Δηλαδή, αν γνωρίζουμε την κατάσταση του FF, πριν εφαρμοσθεί ο ωρολογιακός παλμός, καθώς και τις τιμές των εισόδων S , R , μπορούμε να βρούμε σε ποια κατάσταση θα βρεθεί αυτό (Q_{t+1}) μετά την εφαρμογή του παλμού.

		SR			
		00	01	11	10
Q	0			X	1
	1	1		X	1

Ο πίνακας παραπάνω δείχνει την κατάσταση του FF για διαφορετικές εισόδους S και R. Η κατάσταση του FF πριν τον παλμό είναι Q_t . Η κατάσταση του FF μετά τον παλμό είναι Q_{t+1} . Οι τιμές X σημαίνουν ότι η κατάσταση του FF είναι άγνωστη.

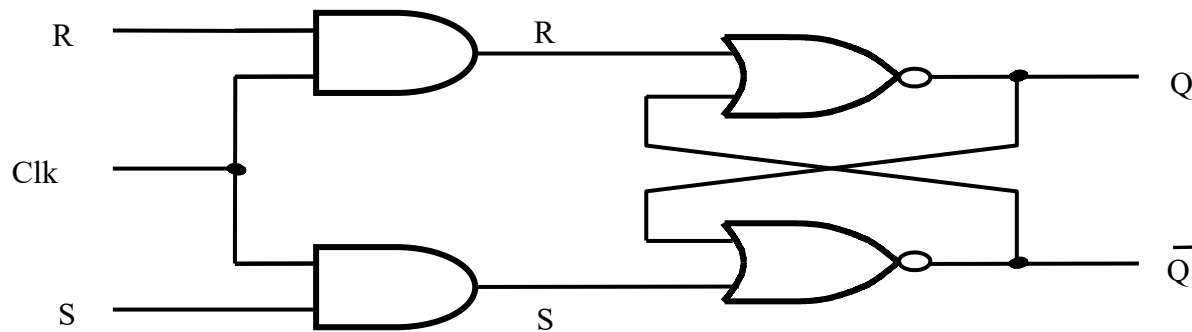
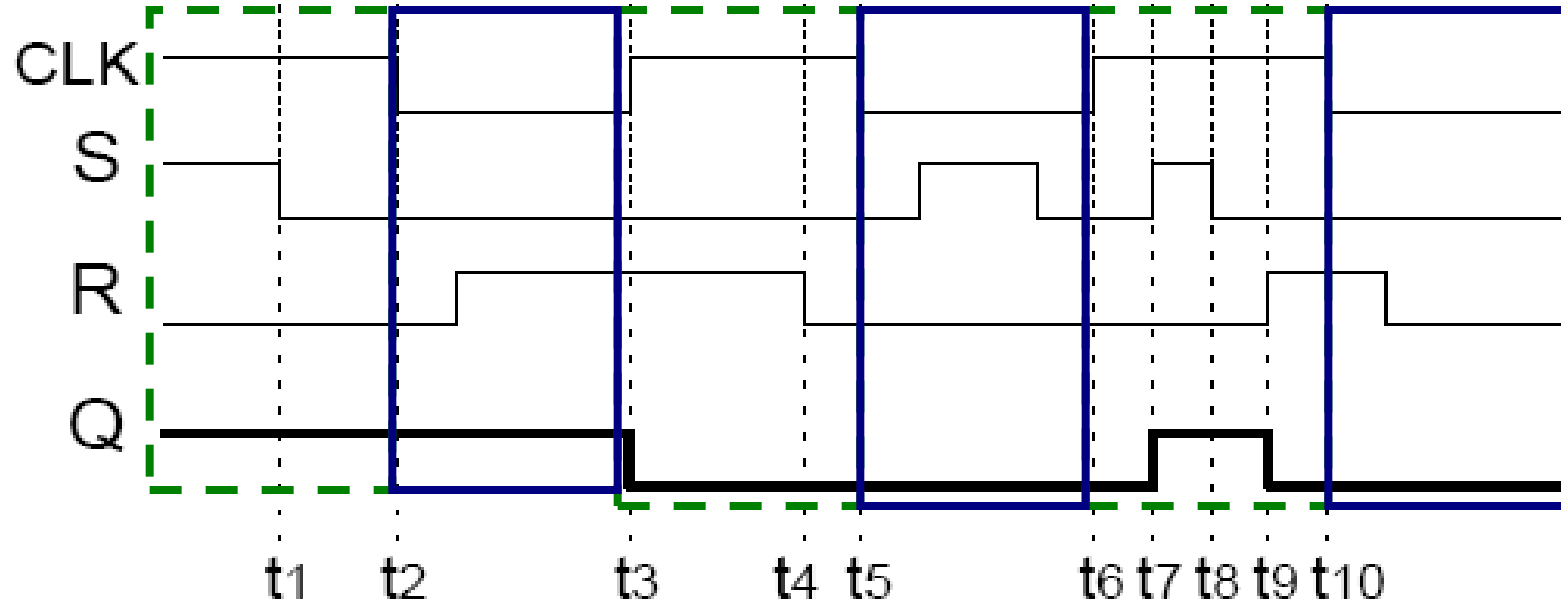


ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΗ ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ FF

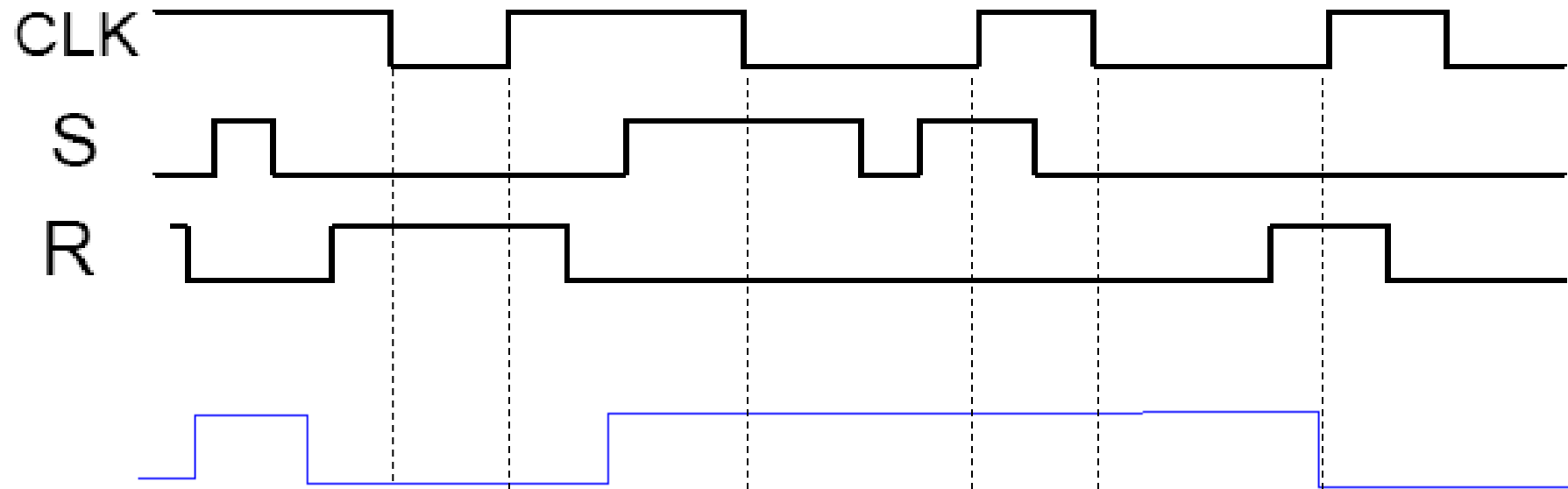
$$Q_{t+1} = S + R' Q_t$$

ΜΕ SR=0 !

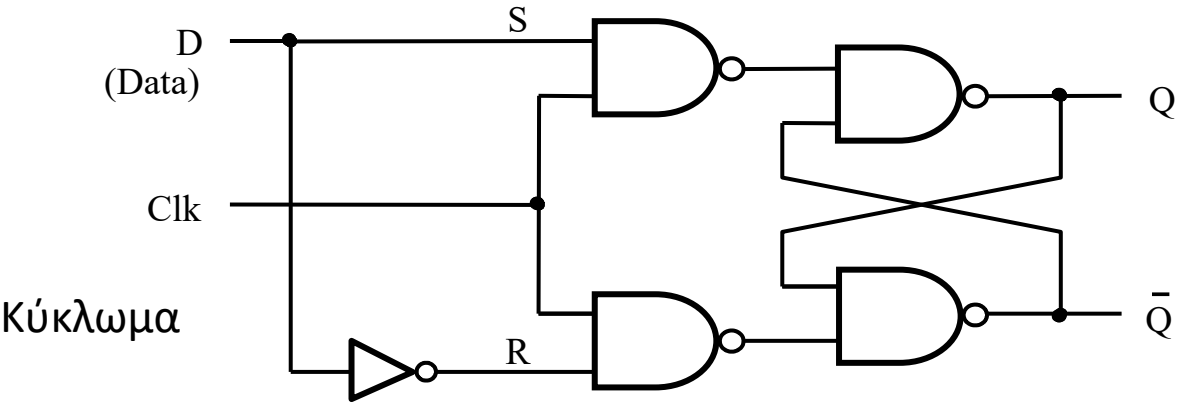
Χρονιζόμενα FF Τύπου SR



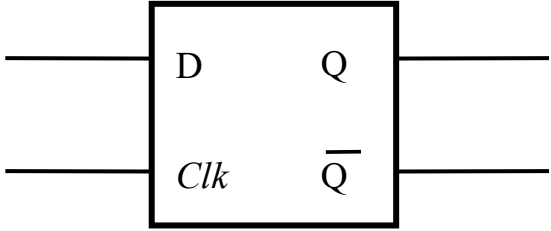
Άσκηση



Μανταλωτής D



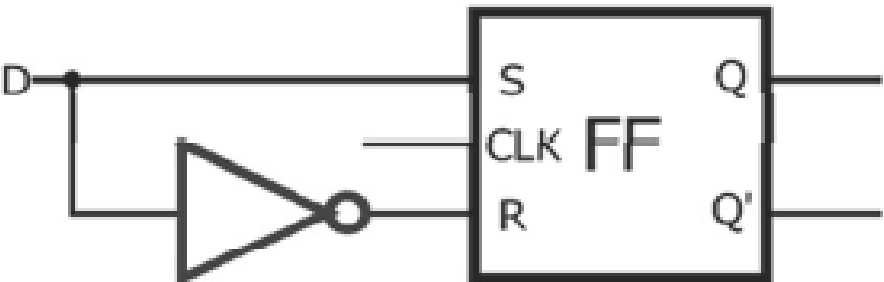
Clk	D	$Q(t + 1)$
0	x	$Q(t)$
1	0	0
1	1	1



Γραφικό σύμβολο

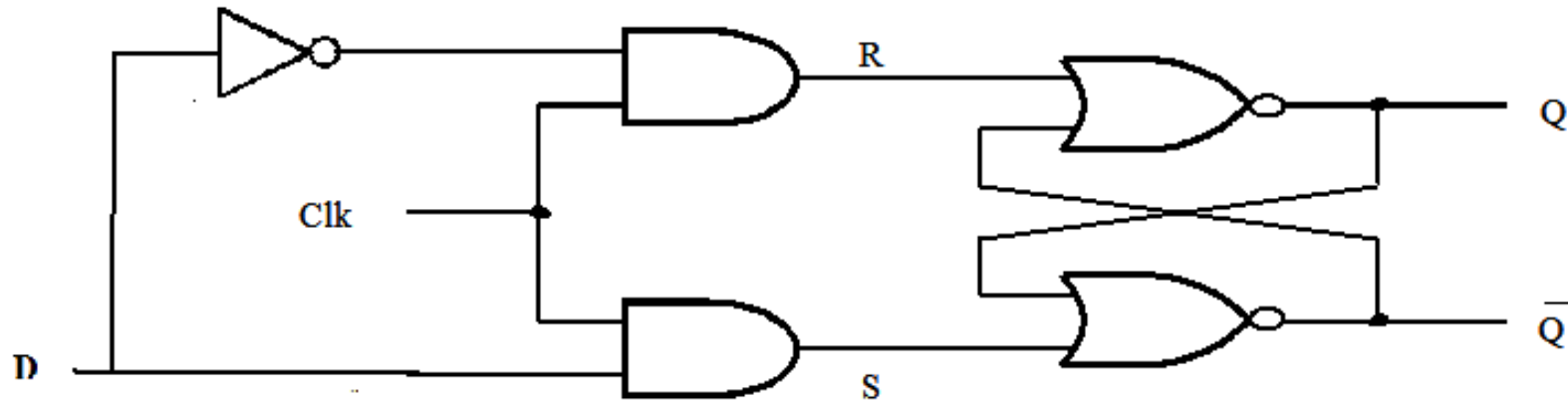
DATA FF

► Ονομάζεται και μανταλωτής D (latch)

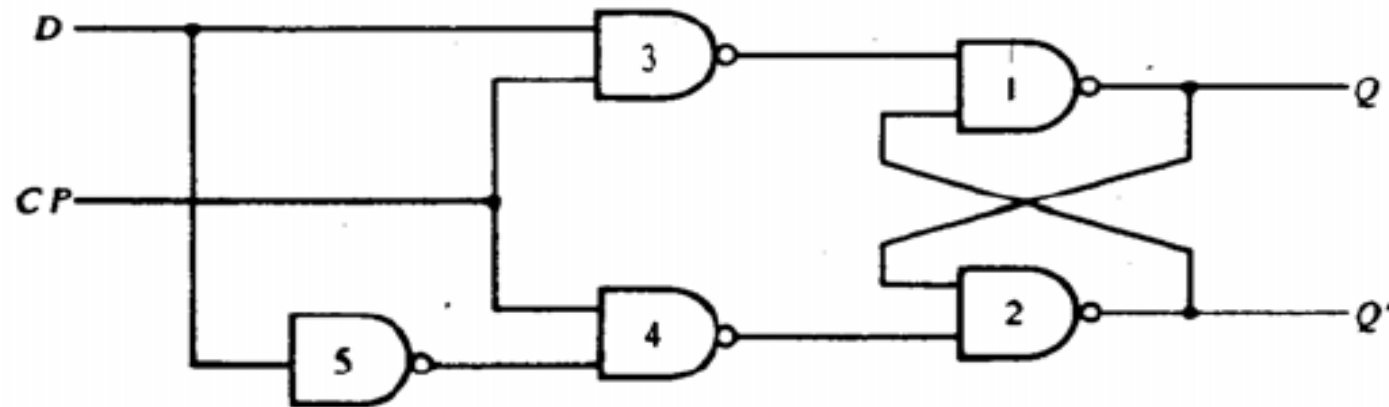


DATA FF με RS

Μανταλωτής D

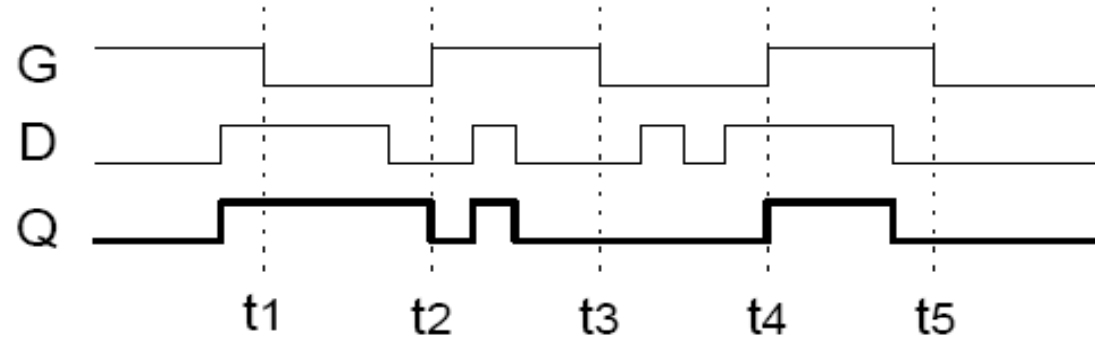


DATA FF με πύλες NOR



DATA FF με πύλες NAND

Μανταλωτής D

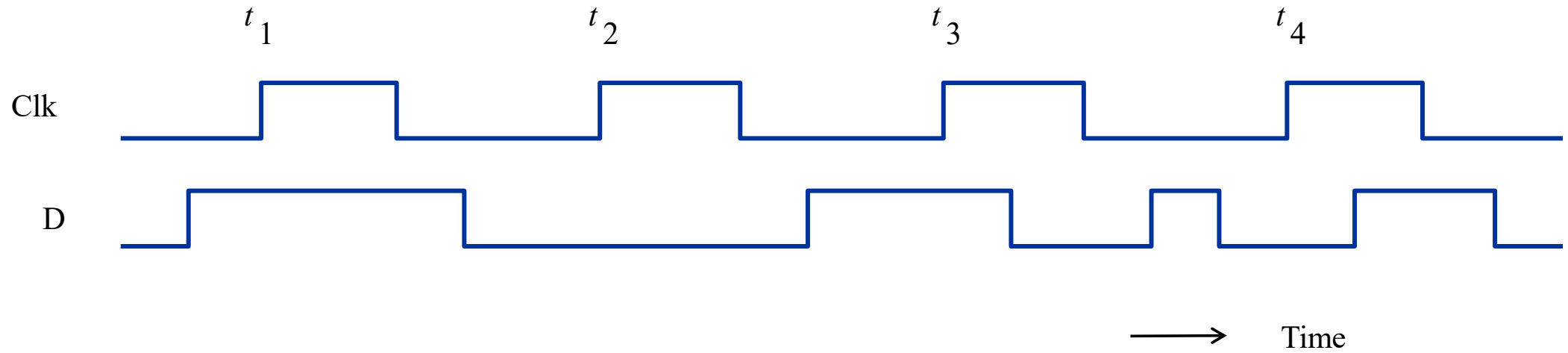


↑
Η έξοδος Q κρατά την τιμή που είχε η είσοδος D πριν "πέσει" ο ωρολογιακός παλμός

↑
Η έξοδος Q παρακολουθεί την είσοδο D, μέχρι να "πέσει" ο ωρολογιακός παλμός, οπότε και "μανταλώνει" στην τελευταία τιμή

↑
Κατά τη διάρκεια που ο ωρολογιακός παλμός είναι στο λογικό 1, η έξοδος Q παρακολουθεί την είσοδο D

Άσκηση

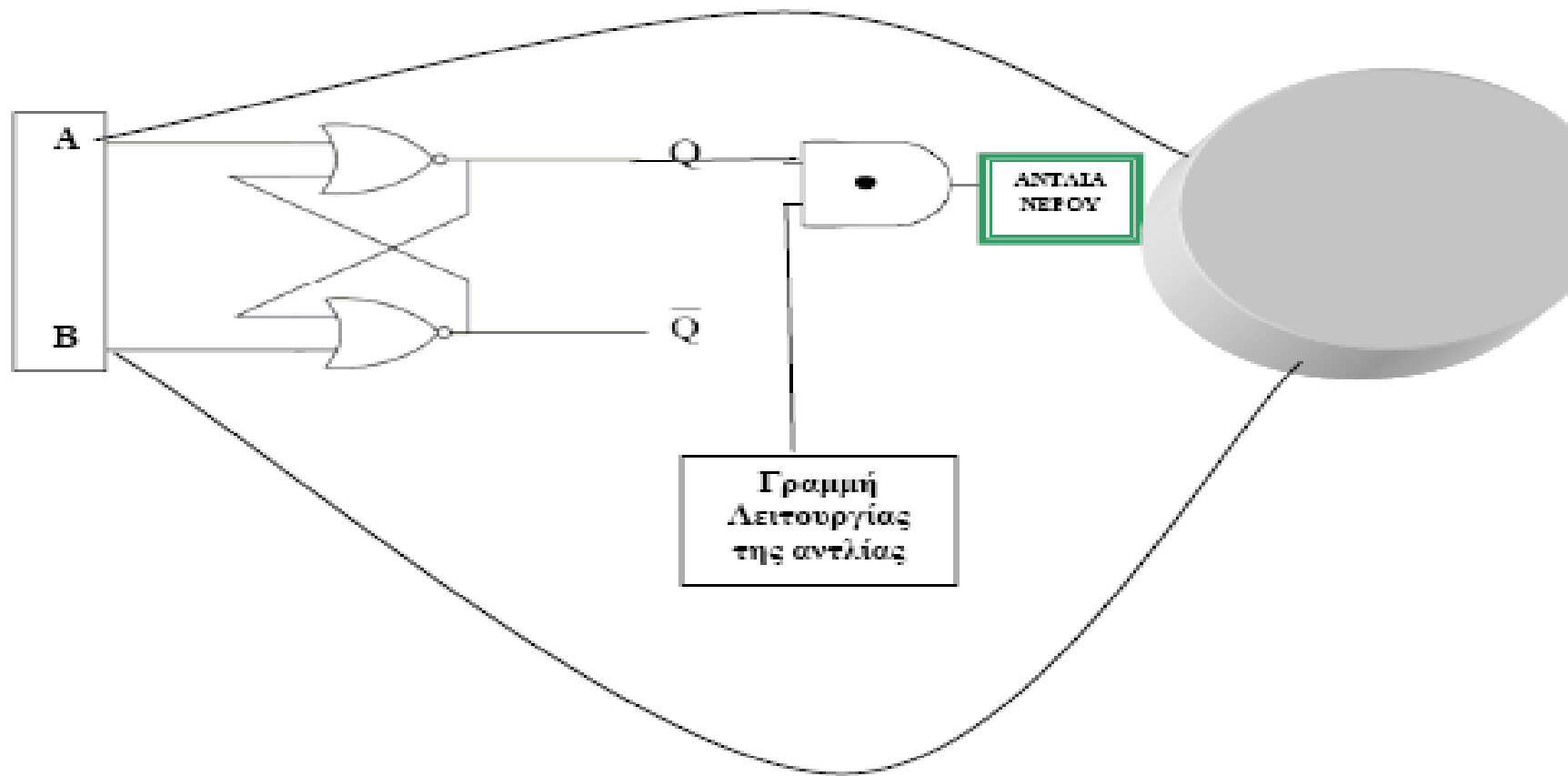


Διάγραμμα χρονισμού

Άσκηση

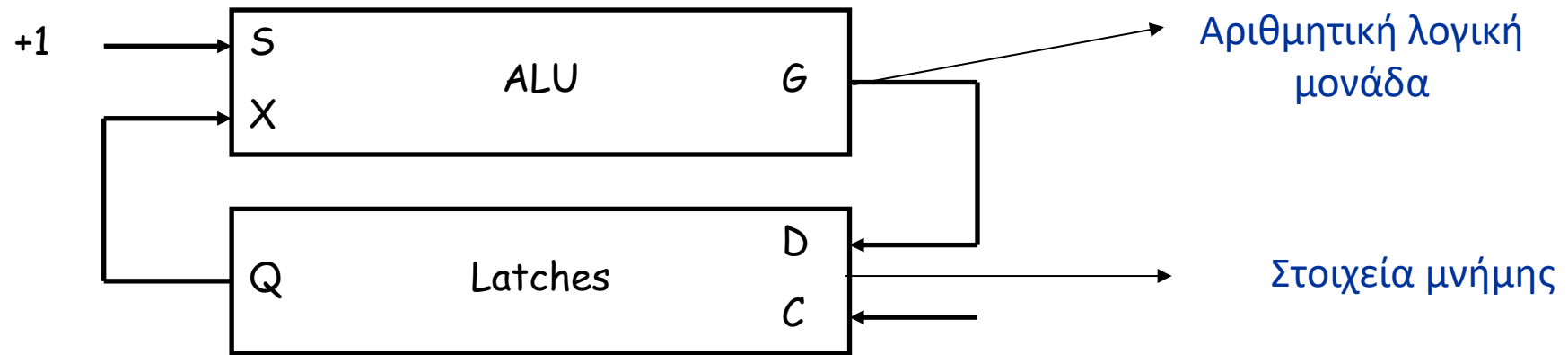
- Μία αντλία χρησιμοποιείται για το αυτόματο γέμισμα μίας δεξαμενής υγρού σε μία βιομηχανία. Δύο αισθητήρες (sensors) S_A και S_B ελέγχουν τη στάθμη του υγρού μέσα στη δεξαμενή: ο αισθητήρας S_A δίνει "1" όταν η στάθμη υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη και ο αισθητήρας S_B δίνει "1" όταν η στάθμη πέσει κάτω από την ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη. Να σχεδιάσετε ένα ψηφιακό κύκλωμα ελέγχου της λειτουργίας της αντλίας χρησιμοποιώντας έναν μανταλωτή. Το κύκλωμα έχει δύο εισόδους A και B που συνδέονται με δύο διακόπτες οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με τους δύο αισθητήρες και μία έξοδο Y που δίνει "1" για την εκκίνηση της αντλίας όταν η στάθμη του υγρού πέσει κάτω από την ελάχιστη επιτρεπόμενη στάθμη και "0" για το σταμάτημα της αντλίας όταν η στάθμη του υγρού υπερβεί τη μέγιστη επιτρεπόμενη στάθμη. Σας συμφέρει να χρησιμοποιήσετε μανταλωτή με πύλες NAND ή μανταλωτή με πύλες NOR;

Άσκηση



- Κανονική λειτουργία $A=B=0$, όταν $A=1, B=0, Y=0$, όταν $A=B=0$, ή $A=0, B=1, Y=1$
- Μανταλωτής με πύλες NOR (διότι A δεν μπορεί να είναι ταυτόχρονα «1» με το B, δηλαδή ενεργοποιημένοι και οι δύο αισθητήρες)

Χρήση των Data FF (latches)



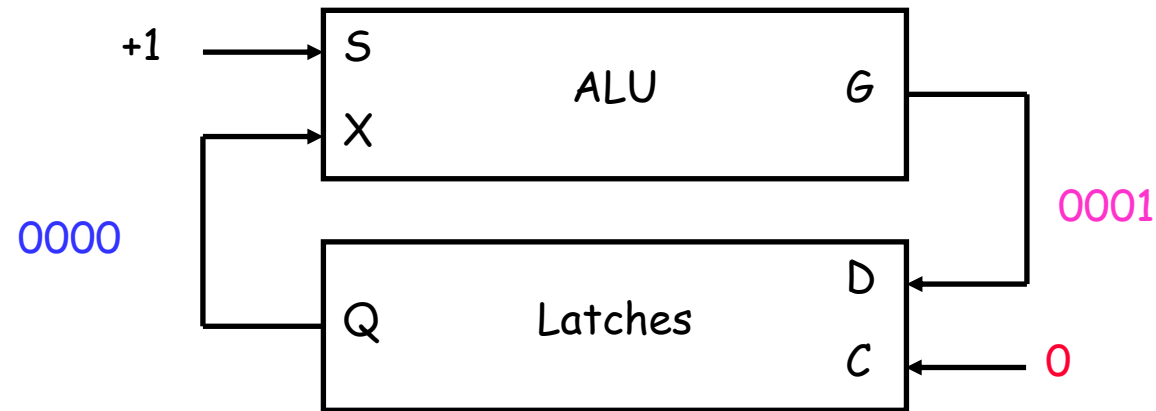
- Τα στοιχεία της μνήμης περιέχουν κάποια τιμή που πρέπει να αυξηθεί κατά 1
- Η ALU πρέπει να διαβάσει την τιμή και να εκτελέσει την πράξη $G=X+1$.
- Η νέα τιμή πρέπει να αποθηκευτεί.
- Πρέπει να σταματήσουμε τη διαδικασία.

Χρήση των Data FF (latches)



- Πότε πρέπει να διακόψουμε τη διαδικασία ?
- Όταν η πράξη εκτελεστεί από την ALU.
- Δύσκολο να γνωρίζουμε το χρονικό διάστημα εκτέλεσης της πράξης.

Χρήση των Data FF (latches)



- 4 Latches (1 bit/latch)
- Αρχικά διαβάζεται η κατάσταση (Q) 0000 με σκοπό να αυξηθεί κατά 1.
- Τα στοιχεία μνήμης απενεργοποιημένα.
- Η ALU αυξάνει το περιεχόμενο της Q κατά 1.
- Νέα τιμή δεν μπορεί να αποθηκευτεί. Δεν μπορούμε να γράψουμε στα στοιχεία μνήμης διότι $C_p=0$

Χρήση των Data FF (latches)

! Όταν $C_p=1$



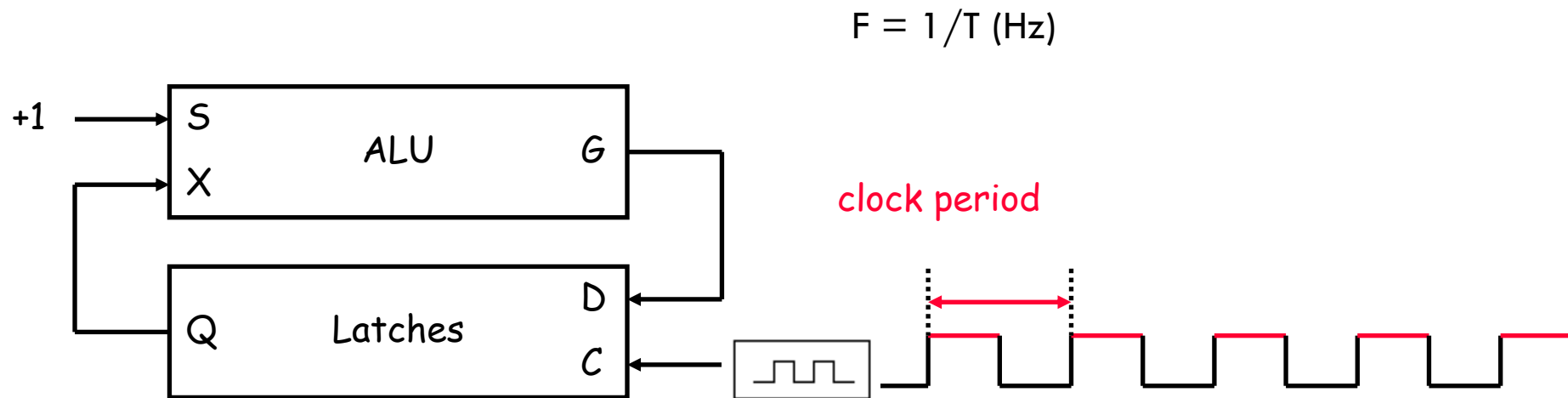
! Τα στοιχεία μνήμης πρέπει να απενεργοποιηθούν ΠΡΙΝ η ALU διαβάσει τη νέα τιμή



Χρήση των Data FF (latches)

- Για να χρησιμοποιήσουμε σωστά τα στοιχεία μνήμης πρέπει:
 - Να είναι απενεργοποιημένα μέχρι την ολοκλήρωση της πράξης.
 - Ενεργοποίηση για το χρονικό διάστημα που χρειάζεται για να διαβαστεί το νέο περιεχόμενο.
- Τα ακόλουθα ζητήματα πρέπει να αντιμετωπισθούν:
 1. Πώς θα γνωρίζουμε τη χρονική στιγμή κατά την οποία οι νέες τιμές πρέπει να διαβαστούν ?
 2. Πώς θα μπορούμε να ενεργοποιούμε και να απενεργοποιούμε τη διάταξη μνήμης ?

Ζήτημα 1

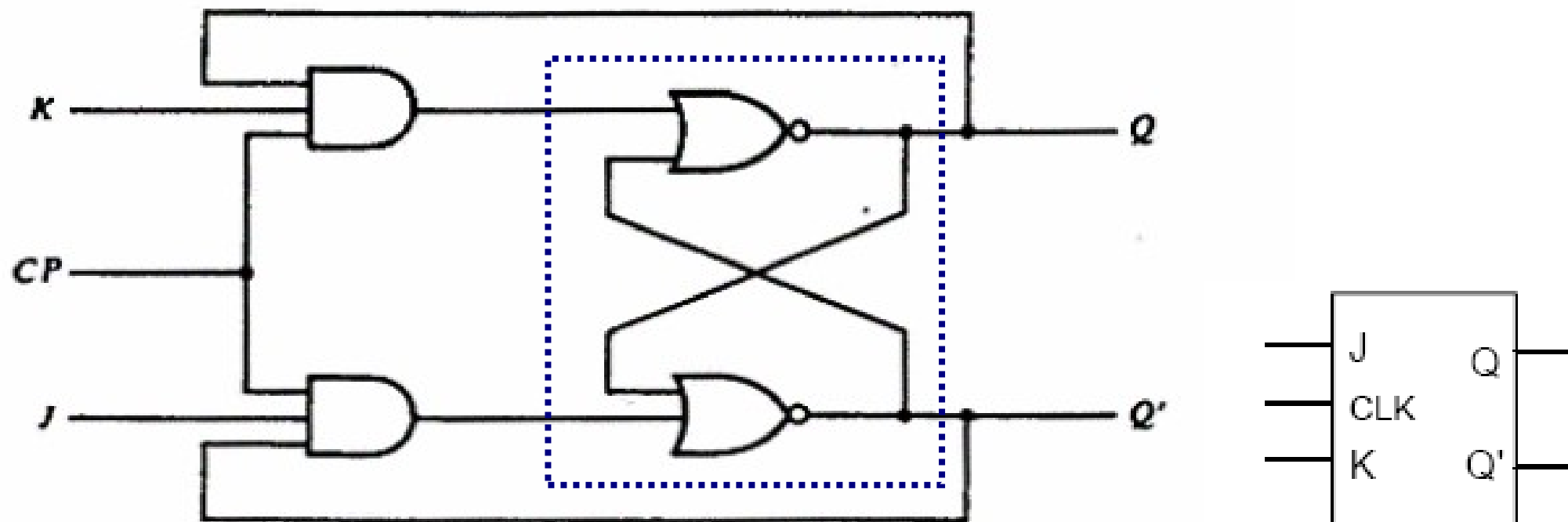


- Χρησιμοποιώντας ένα ρολόι για να συγχρονίσουμε την ALU με τα Latches.

Ζήτημα 1

- Η περίοδος του ρολογιού πρέπει να είναι κατάλληλα ρυθμισμένη για την ορθή λειτουργία της διάταξης ALU-Latches.
- Δεν πρέπει να είναι μικρή, διότι η ALU δε θα προλαβαίνει να διαβάσει όλο το περιεχόμενο το στοιχείων μνήμης
- Δεν πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη, διότι η ALU εκτελεί την πράξη και το νέο αποτέλεσμα –περιεχόμενο θα αποθηκεύεται
- Όσο πιο γρήγορα εκτελείται η πράξη, τόσο μικρότερη η περίοδος του παλμού

To JK Flip-Flop

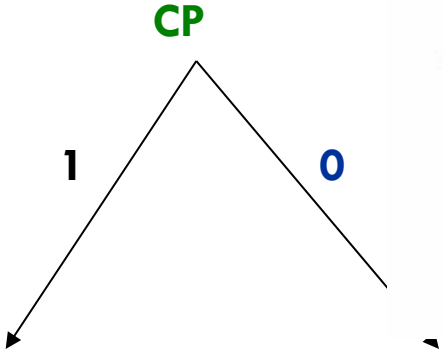


! Η απροσδιόριστη κατάσταση του RS εδώ προσδιορίζεται και αξιοποιείται

To JK Flip-Flop

$$S = CP J (Q_t)'$$

$$R = CP K (Q_t)$$



$$S = J (Q_t)'$$

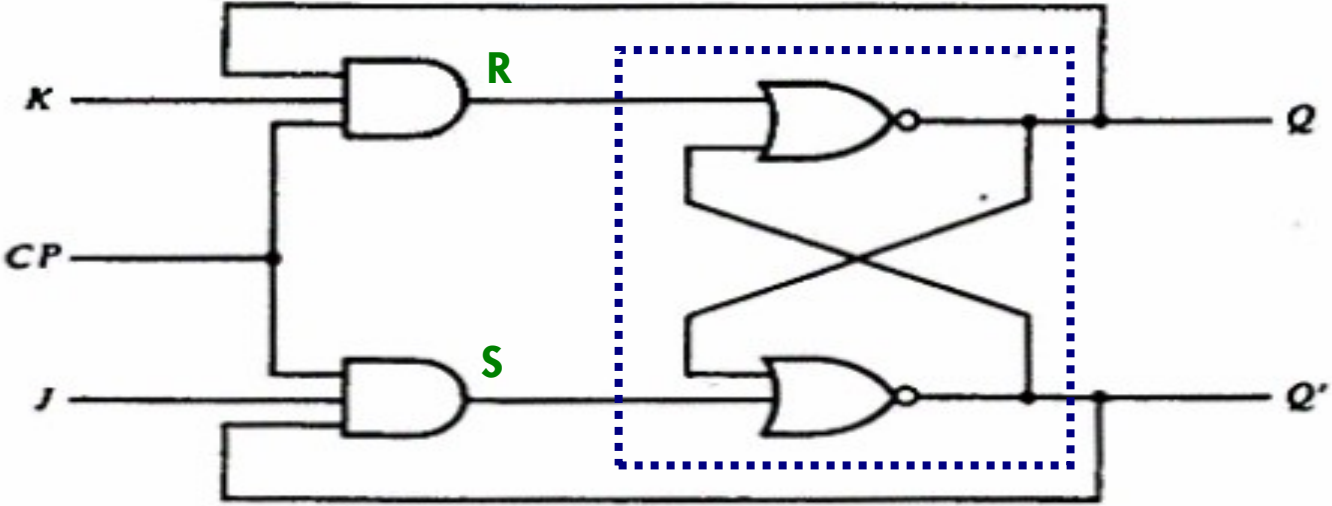
$$R = K (Q_t)$$

$$S \neq R$$

$$S = 0$$

$$R = 0$$

$$S=R=0, Q(t+1) = Q(t)$$

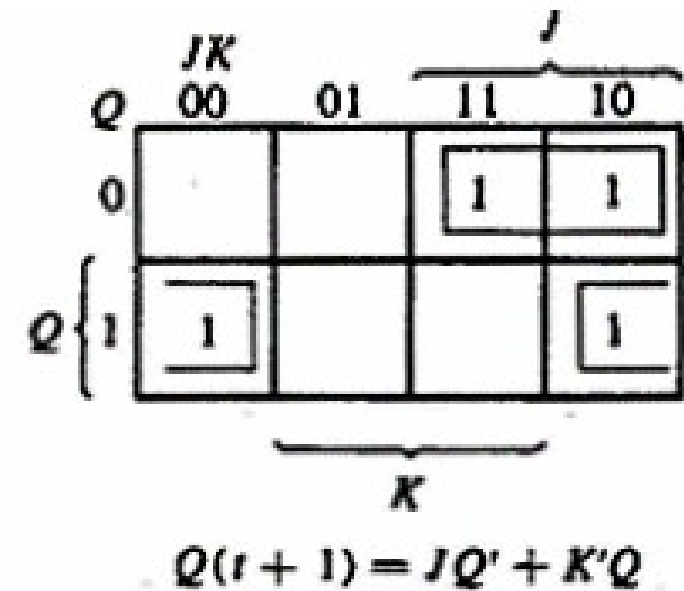


To JK Flip-Flop

Χαρακτηριστικός πίνακας

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

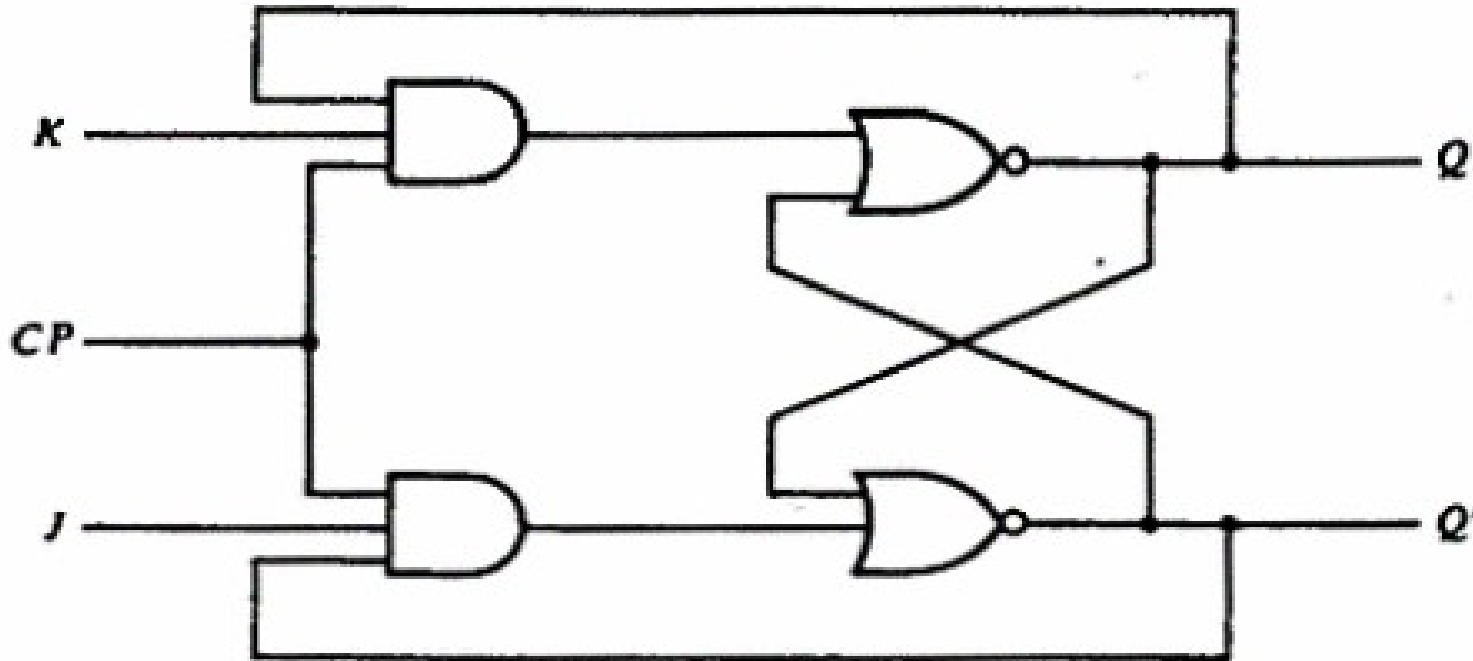
Χαρακτηριστική εξίσωση



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

Μειονέκτημα του JK Flip-Flop

Αν $CP=1$ για αρκετό χρόνο και $J=K=1$ τότε οι έξοδοι θα αντιστρέφονται συνεχώς.



Το JK Flip-Flop

- Λόγω της ανατροφοδότησης που υπάρχει, θα συνεχίσει να αλλάζει καταστάσεις για όσο χρονικό διάστημα ο παλμός του ρολογιού θα βρίσκεται στο 1.
- Πόσο συχνά αλλάζει καταστάσεις;
 - Όση είναι η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος μέσα από το FF (εδώ είναι ίση με την καθυστέρηση τριών πυλών).
 - Για την βασική σειρά TTL που εισάγει 30 ns καθυστέρηση ανά πύλη, έχουμε καθυστέρηση 30 ns.
- Μια πρώτη αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού θα ήταν οι παλμοί του ρολογιού να έχουν εύρος στο λογικό 1 μικρότερο από την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος μέσα από το FF, δηλαδή μικρότερο των 30ns.
($F_{CP} \sim 33.3\text{MHz}$)
 - Είναι δεσμευτική αντιμετώπιση και δεν χρησιμοποιείται.

Άσκηση

Να μετατρέψετε ένα JK FF σε D FF

