



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Ψηφιακή Λογική Σχεδίαση

Επιμέλεια:

Νίκος Φακωτάκης, Καθηγητής

Ανδρέας Εμερετλής, Υποψήφιος Διδάκτορας

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη Δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό αναπτύχθηκε στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών του Πανεπιστημίου Πατρών.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



Στοιχεία μνήμης ενός ψηφίου

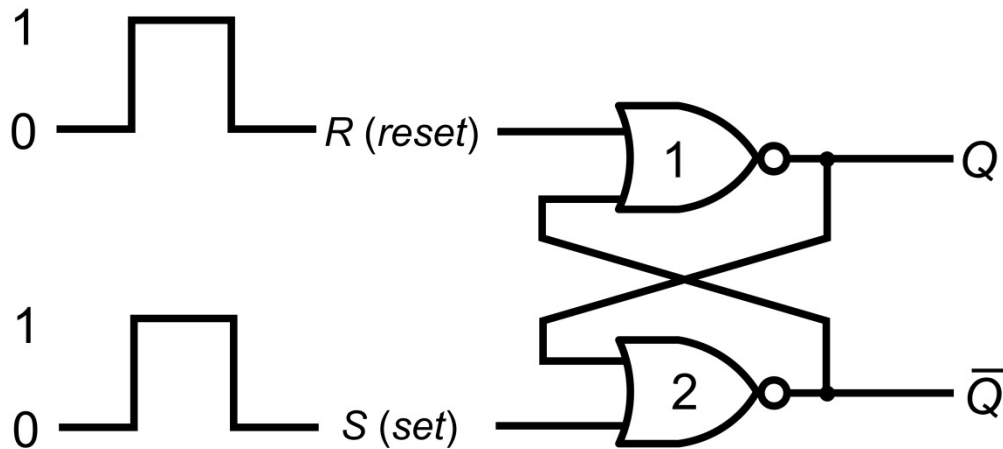
- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- T flip-flop
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

- Ένα ψηφιακό λογικό κύκλωμα περιλαμβάνει συνήθως συνδυαστικά στοιχεία (π.χ. πύλες NAND/NOR) και στοιχεία μνήμης.
- Στοιχεία μνήμης μπορεί να είναι του ενός ψηφίου, όπως είναι το flip-flop, ή ακολουθία από flip-flops όπως εμφανίζονται σε ένα καταχωρητή ολίσθησης.
- Το βασικό χαρακτηριστικό σε κάθε flip-flop είναι ότι έχει δυο σταθερές καταστάσεις που παρουσιάζονται με το λογικό '0' ή '1' αντίστοιχα.

- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- T flip-flop
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

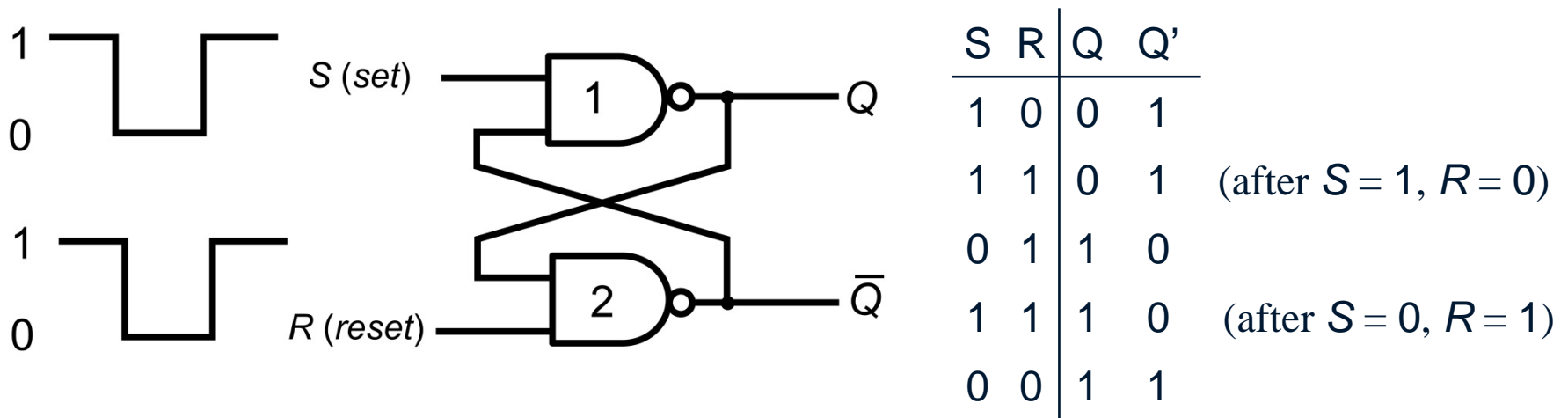
- Εισαγωγή στοιχείων μνήμης
- Νέα παράμετρος: ο χρόνος
- Οι λογικές λειτουργίες εκτελούνται ακολουθιακά (εκτελούνται ανά χρονικές στιγμές)
- Clock signal
- Συγχρονα κυκλώματα (οδηγούμενα από ρολόι)
- Ασύγχρονα κυκλώματα (οδηγούμενα από γεγονότα)

➤ Υλοποίηση με 2 πύλες NOR



S	R	Q	Q'	
1	0	1	0	
0	0	1	0	(after $S = 1, R = 0$)
0	1	0	1	
0	0	0	1	(after $S = 0, R = 1$)
1	1	0	0	

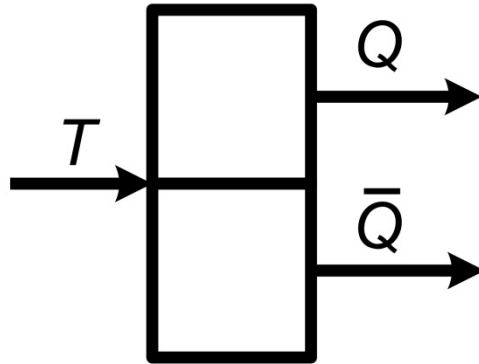
➤ Υλοποίηση με 2 πύλες NAND



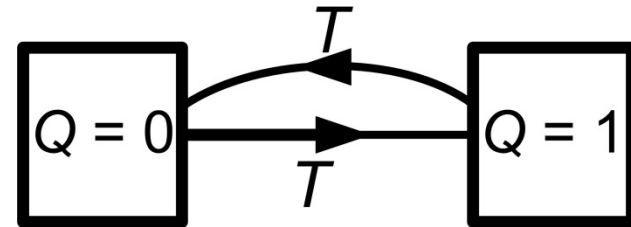
- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- **T flip-flop**
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

T Flip-flop

➤ Δομικό διάγραμμα



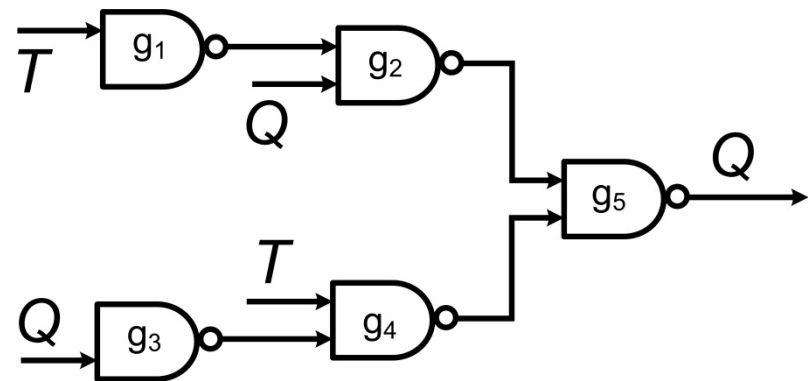
➤ Διάγραμμα εξωτερικών καταστάσεων



➤ Πίνακας καταστάσεων

Present state		Next state
T^t	Q^t	$Q^{t+\delta t}$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

➤ Υλοποίηση με πύλες **NAND**

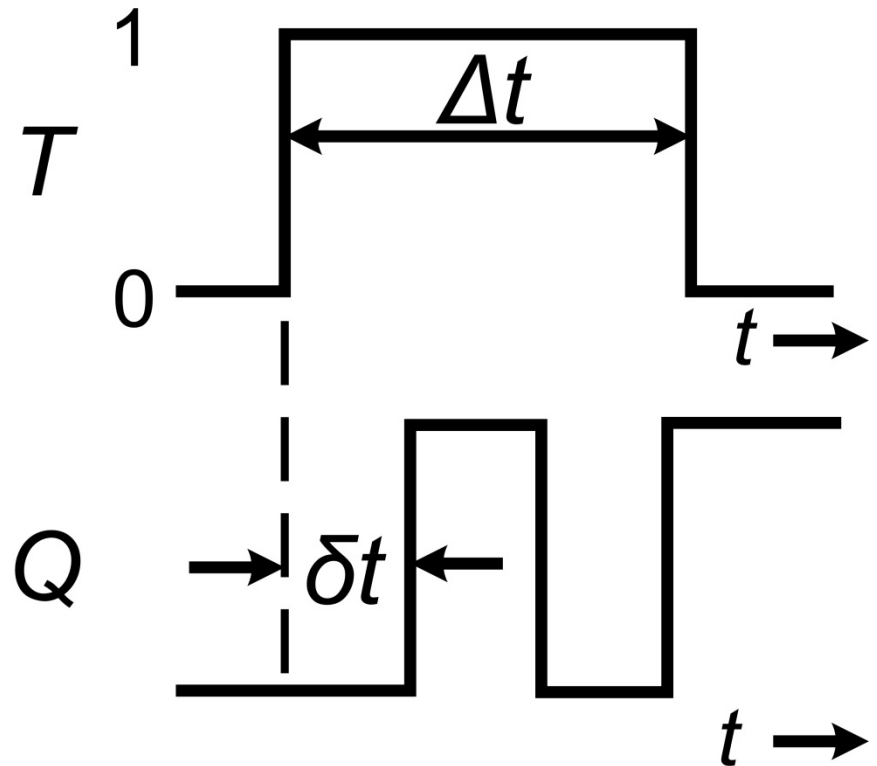


T Flip-flop

➤ Εξίσωση

$$Q^{t+dt} = (\bar{T}Q + T\bar{Q})^t = (T \oplus Q)^t$$

➤ Χρονικό διάγραμμα

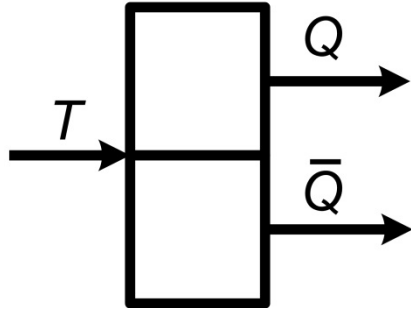


- Οι εξισώσεις περιέχουν όρους που αναφέρονται σε διαφορετικές χρονικές στιγμές
- Υπάρχει γραμμή ανατροφοδότησης
- Αν την χρονική στιγμή t είναι $Q=0, T=1$ τότε την στιγμή $t+1$ θα είναι $Q=00+11=1$. Όσο το T παραμένει στο 1 το Q θα ταλαντεύεται μεταξύ 0 και 1 \Rightarrow πρόβλημα!
- Συνθήκη κυνηγητού (race condition)

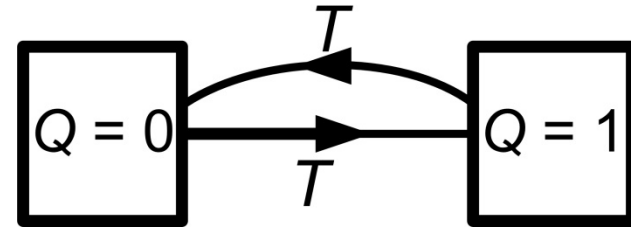
- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- T flip-flop
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

SR Flip-flop

➤ Δομικό διάγραμμα



➤ Διάγραμμα εξωτερικών καταστάσεων



➤ Πίνακας καταστάσεων

Present state			Next state
S^t	R^t	Q^t	$Q^{t+\delta t}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	Forbidden combinations
1	1	1	

Turn-off

Turn-on

➤ Χάρτης Karnaugh

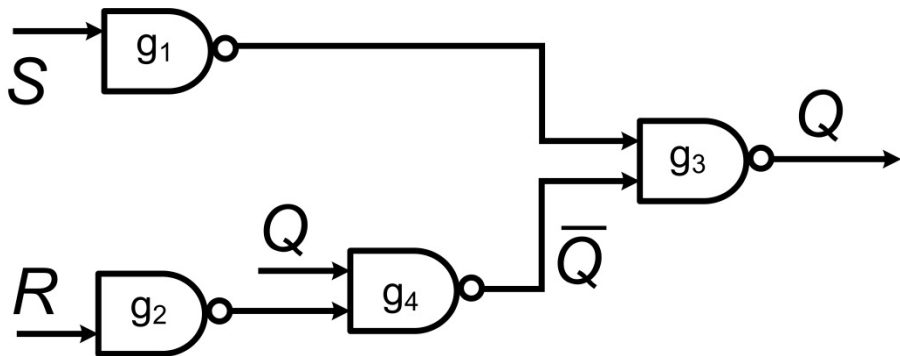
		RQ			
		00	01	11	10
S	0	0	1	0	0
	1	1	1	d	d

➤ Εξίσωση

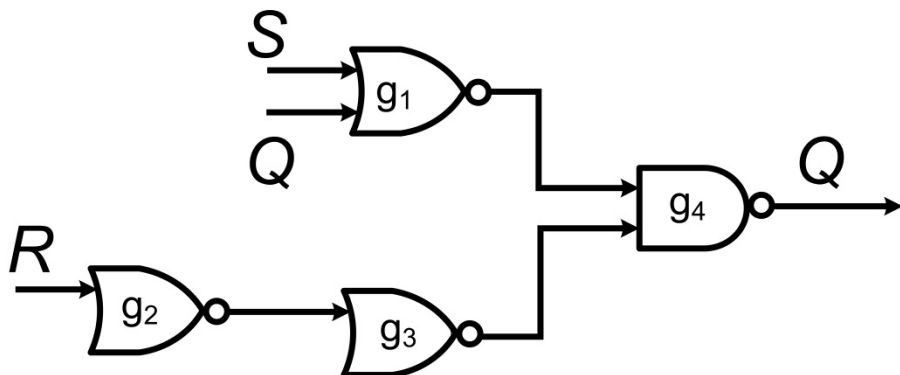
$$Q^{t+\delta t} = (S + \bar{R}Q)^t$$

SR Flip-flop

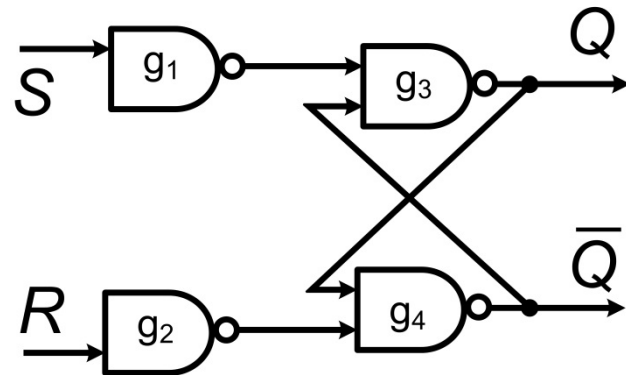
- Υλοποίηση της ακολουθιακής εξίσωσης με πύλες **NAND**



- Υλοποίηση της ακολουθιακής εξίσωσης με πύλες **NOR**



- Συμβατική παρουσίαση

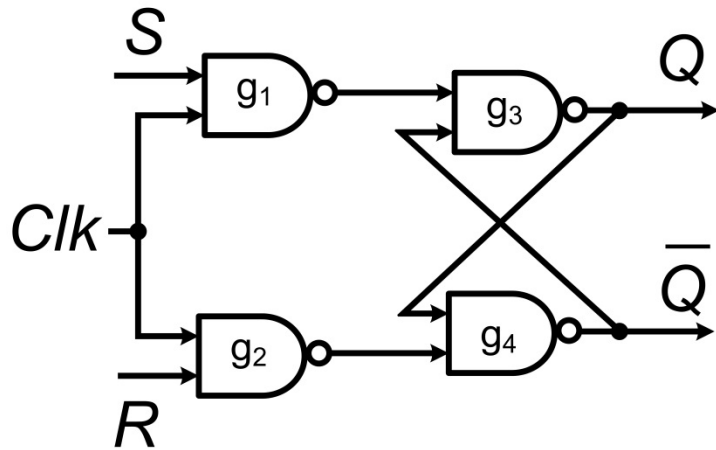


- Χαρακτηριστικός πίνακας

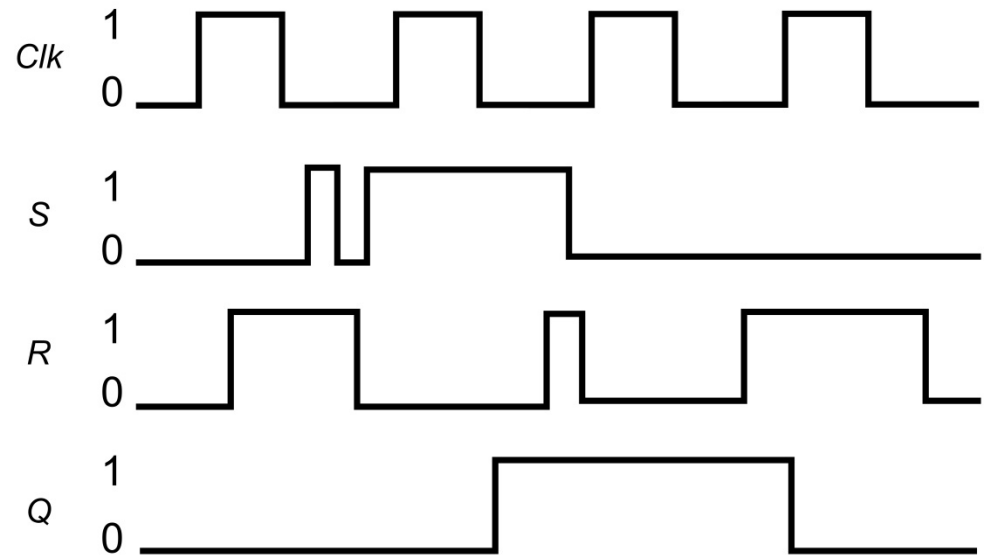
Q^t	Q^{t+dt}	S	R
0	0	0	\emptyset
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	\emptyset	0

SR Flip-flop με ρολόι

➤ Υλοποίηση

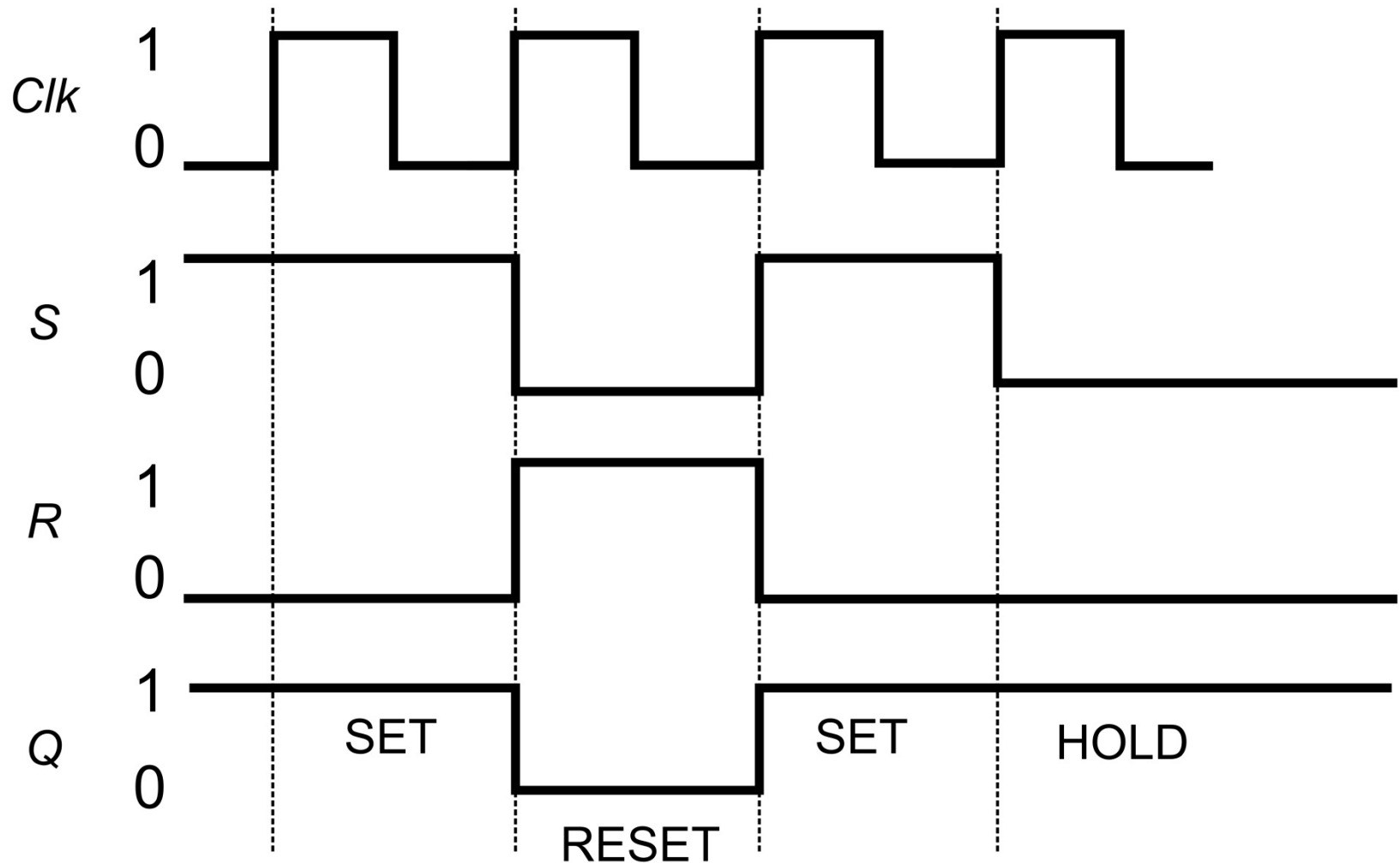


➤ Χρονικό διάγραμμα



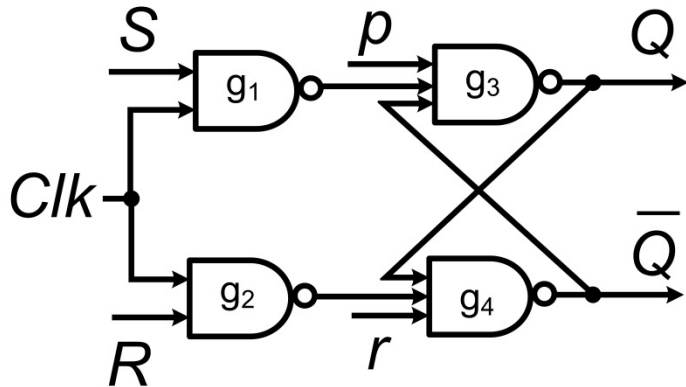
SR Flip-flop

➤ Χρονικό διάγραμμα λειτουργίας



SR Flip-flop με ρολόι

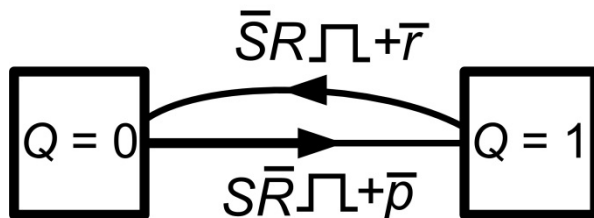
➤ Σήματα ελέγχου **clear** και **preset**



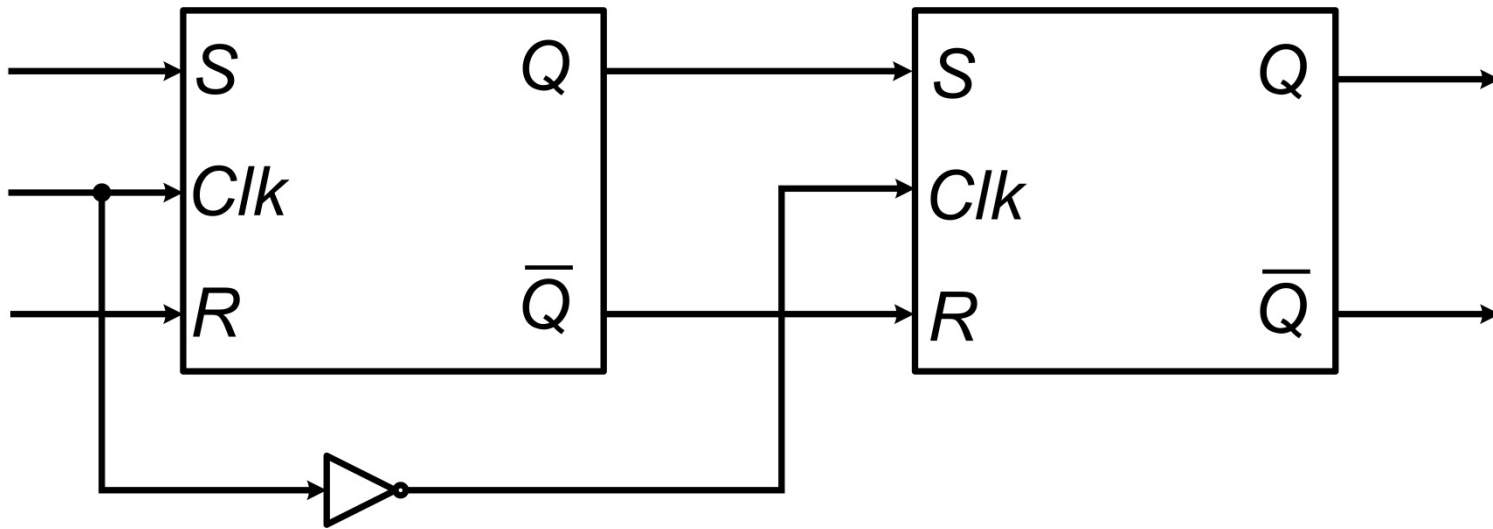
➤ Πίνακας συμπεριφοράς των σημάτων ελέγχου

	r	p	Q
Enable	1	1	*
Clear	0	1	0
Preset	1	0	1

➤ Διάγραμμα εξωτερικών καταστάσεων



➤ MASTER/SLAVE

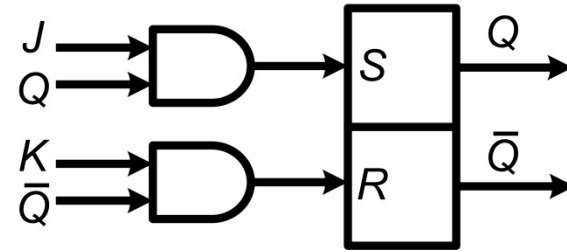
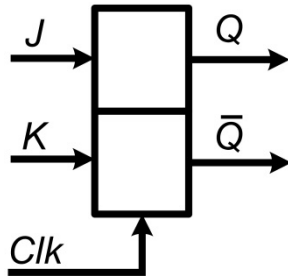


- Τα σήματα S και R δεν μπορούν να είναι ταυτόχρονα 1
- Όταν το ρολόι είναι στο μηδέν ($Clk=0$), η τιμή του SR-ff παραμένει αμετάβλητη έως ότου $Clk=1$

- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- T flip-flop
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

JK Flip-flop

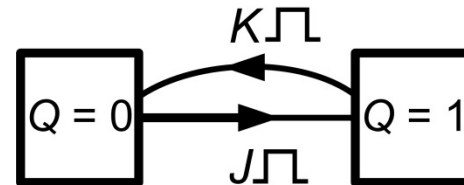
- Το JK flip-flop μπορεί να δημιουργηθεί από ένα SR flip-flop με προσθήκη δύο πυλών AND



- Πίνακας καταστάσεων

J^t	K^t	Q^t	$Q^{t+\delta t}$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

Turn-off
Turn-on
Turn-on
Turn-off



➤ Εξισώσεις

$$S = J\bar{K}\bar{Q} + JK\bar{Q} = J\bar{Q}$$

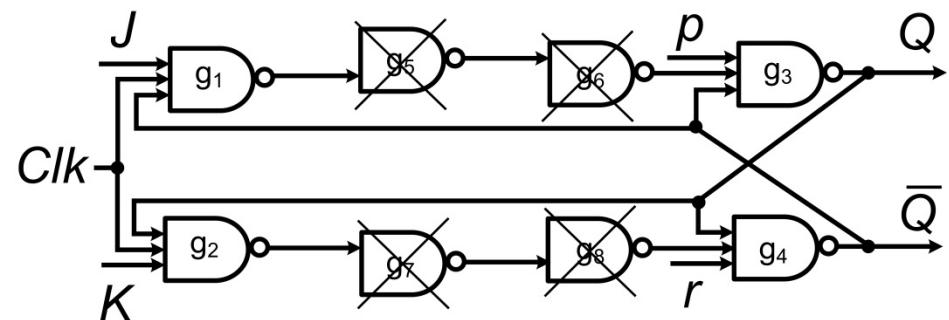
$$R = \bar{J}KQ + JKQ = KQ$$

$$Q(t+1) = [J\bar{Q} + \bar{K}Q](t)$$

➤ Χαρακτηριστικός πίνακας

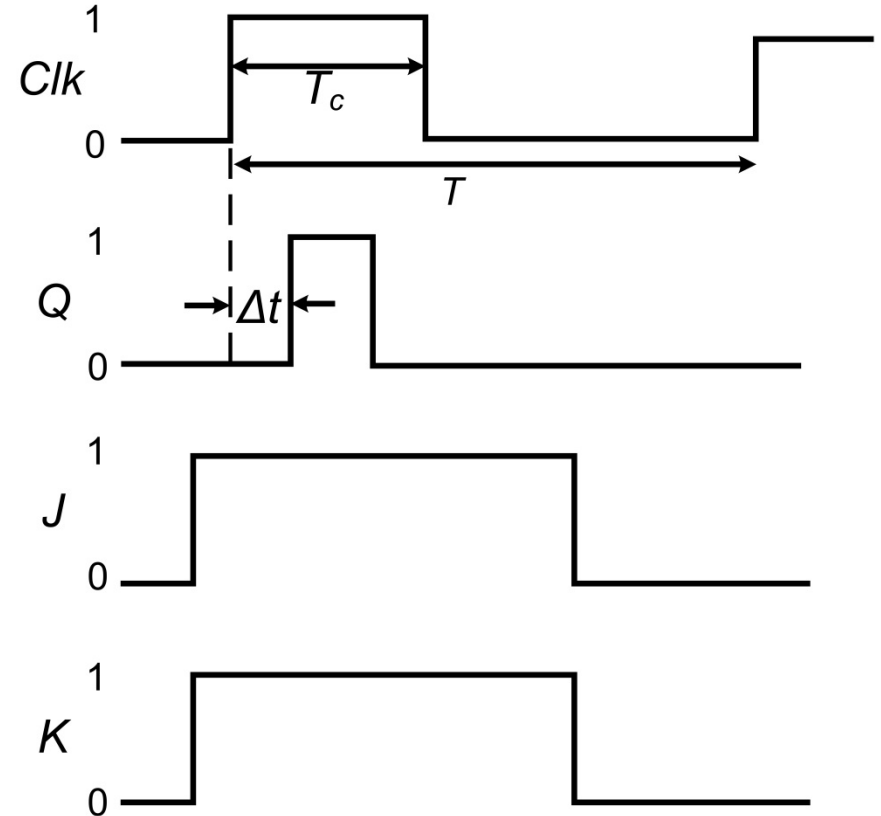
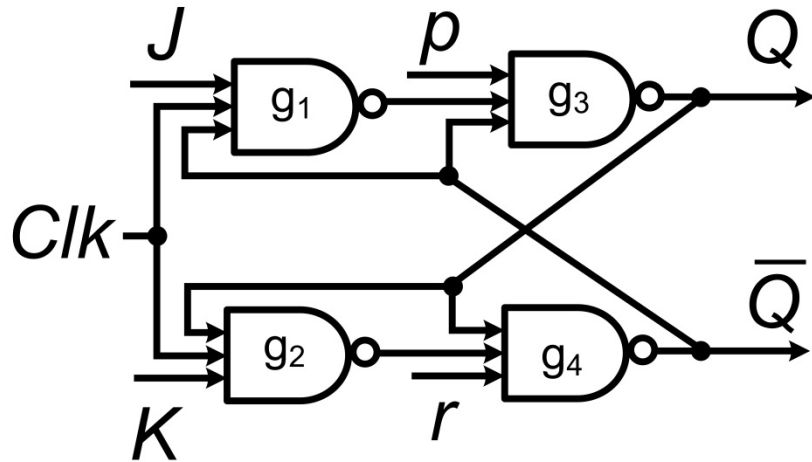
Q^t	$Q^{t+\delta t}$	J	K
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	0

➤ Υλοποίηση με πύλες NAND



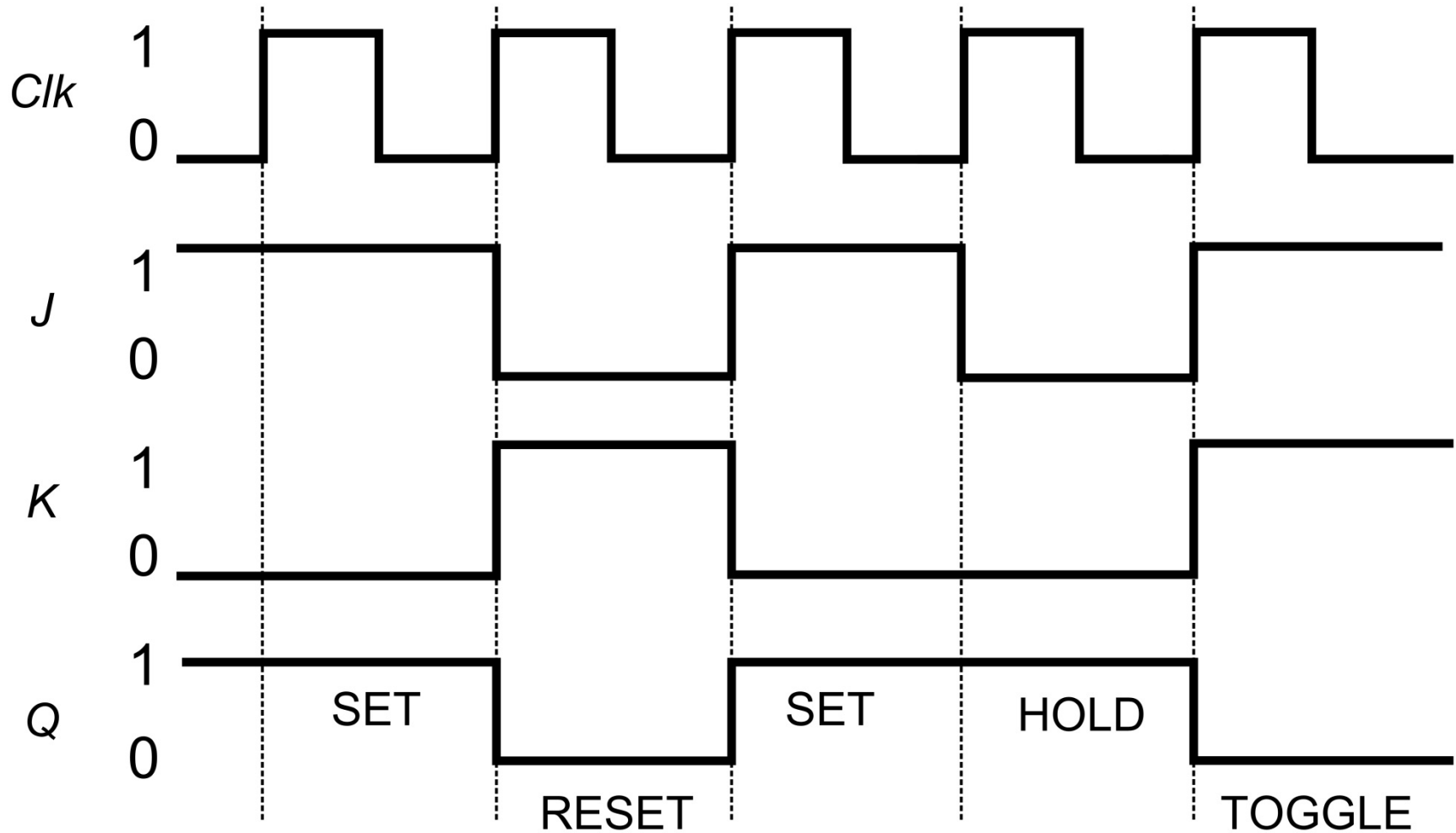
JK Flip-flop

➤ Συνθήκη κούρσας

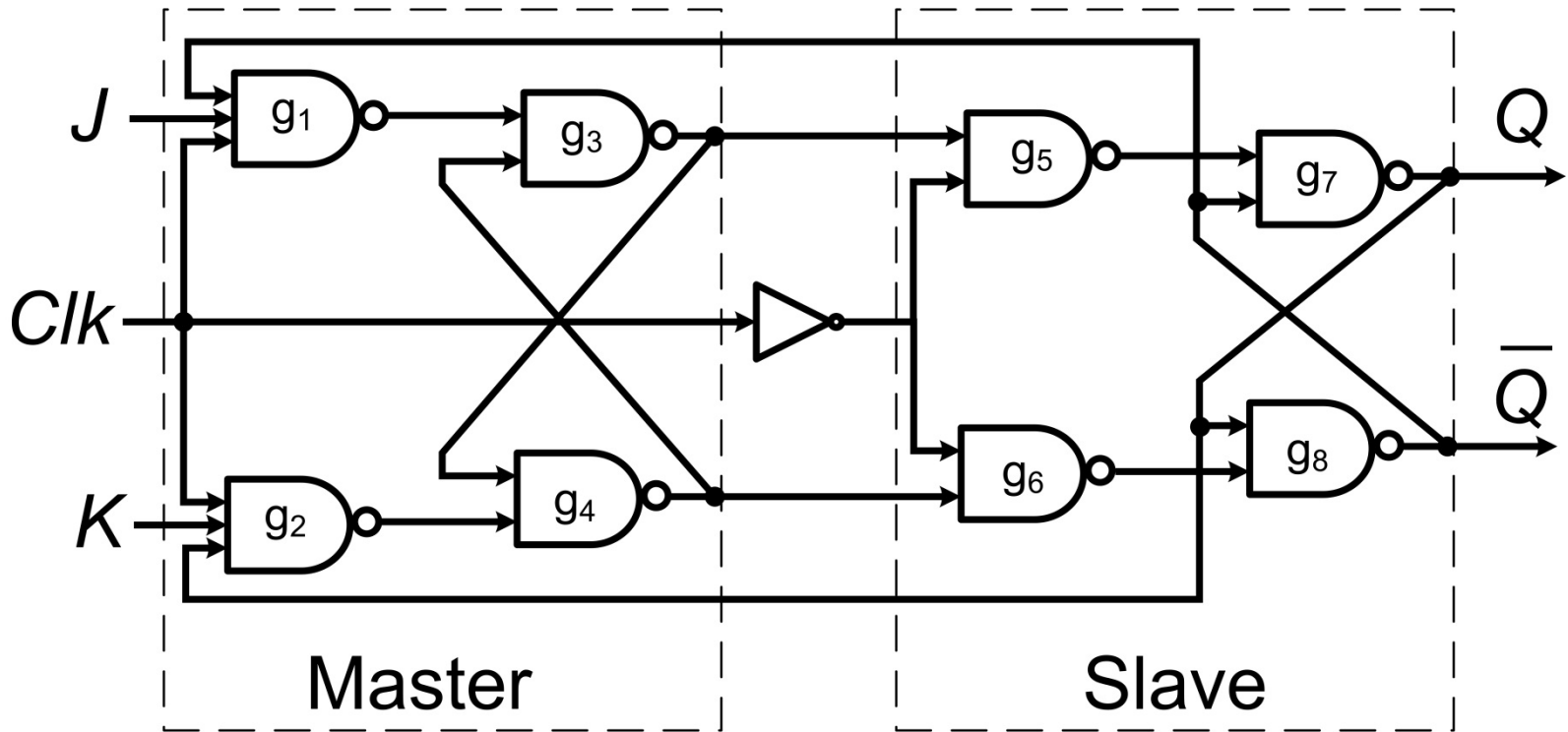


JK Flip-flop

➤ Χρονικό διάγραμμα λειτουργίας

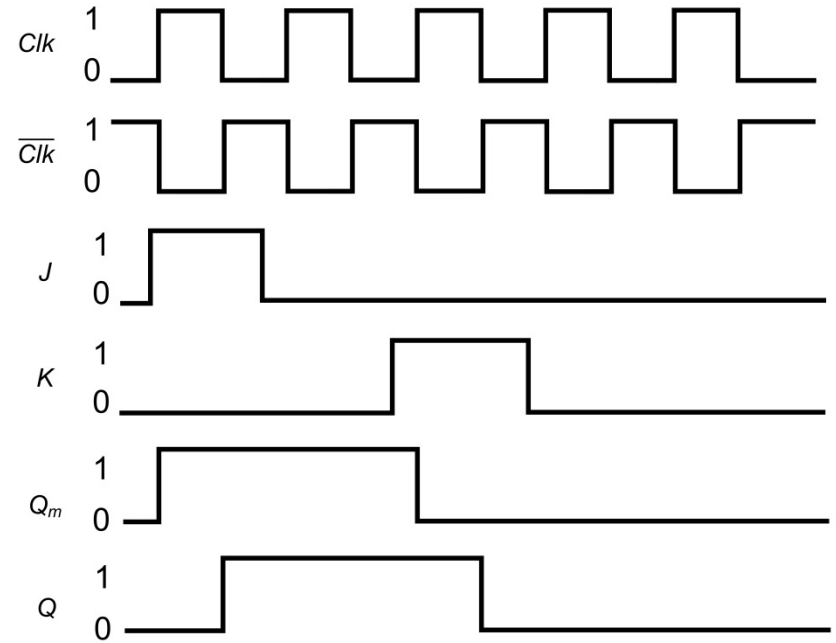
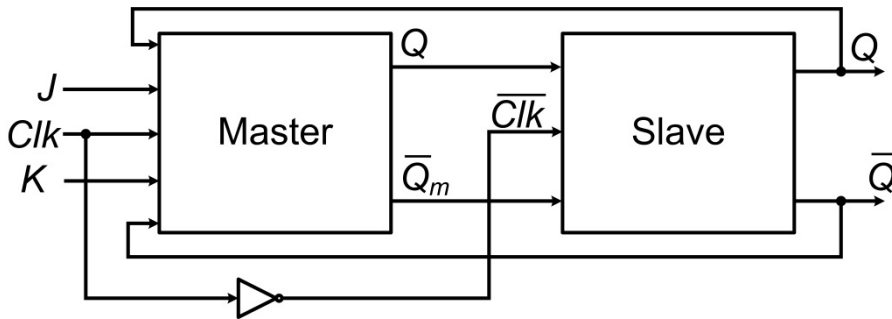


➤ MASTER/SLAVE

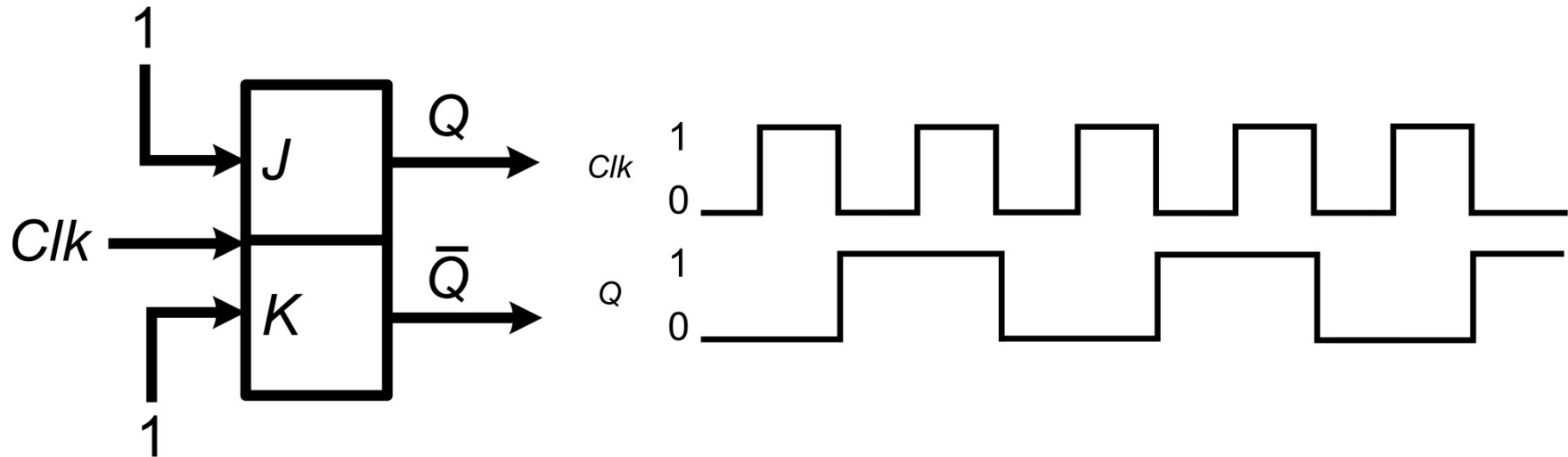


JK Flip-flop

Χρονικό διάγραμμα συνδεσμολογίας MASTER/SLAVE



- Μόνιμη σύνδεση των J και K στο λογικό '1'
- Τροφοδοσία από το σήμα ρολογιού (clock)



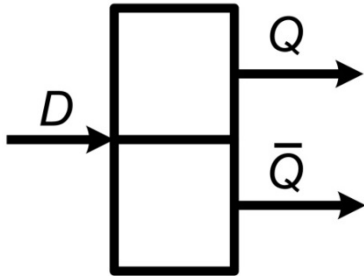
- Το JK-ff είναι το ίδιο ασταθές με όπως το T-ff επειδή η έξοδος Q ανατροφοδοτεί την είσοδο

- Το JK-ff γίνεται ασταθές όταν οι είσοδοι J και K τροφοδοτούνται ταυτόχρονα με το λογικό '1' και εμφανίζεται το ρολόι. Σε αυτή την περίπτωση το JK-ff συμπεριφέρεται σαν T-ff

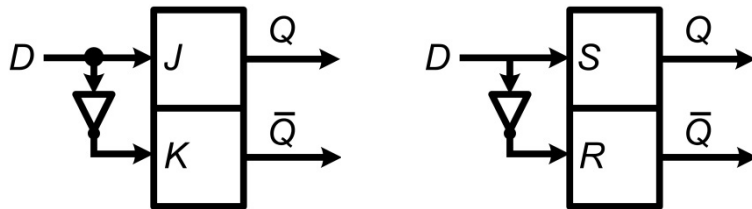
- Εισαγωγή
- Στοιχεία ακολουθιακής λογικής
- T flip-flop
- SR flip-flop
- JK flip-flop
- D flip-flop

D Flip-Flop

Δομικό διάγραμμα



Κατασκευή από JK-ff και SR-ff



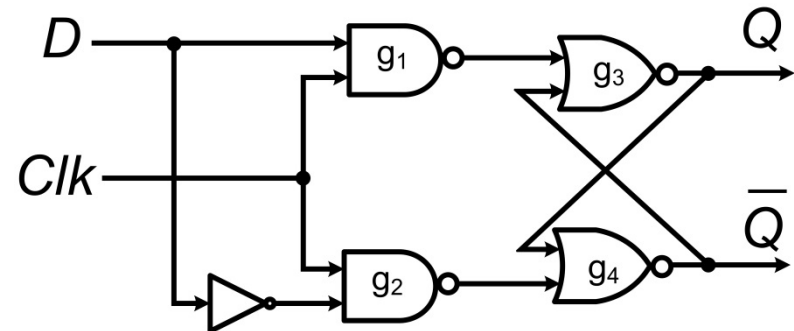
Εξίσωση

$$Q(t+1) = D(t)$$

Πίνακας καταστάσεων

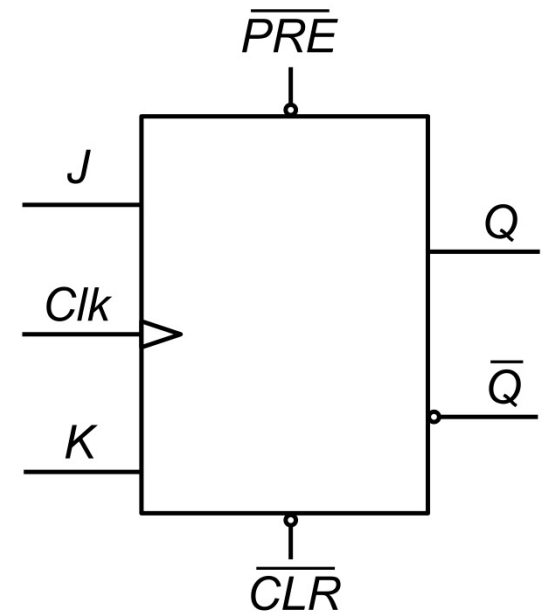
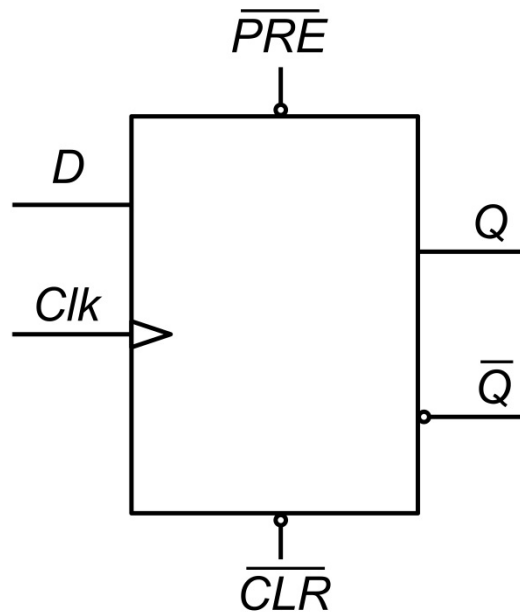
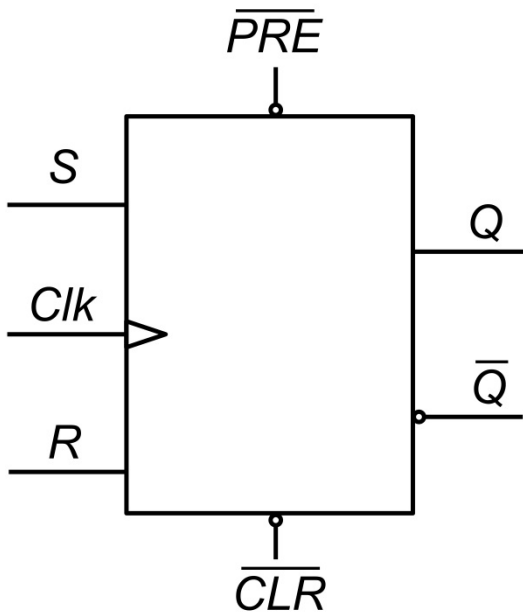
D^t	Q^t	$Q^{t+\delta}$
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Υλοποίηση με πύλες



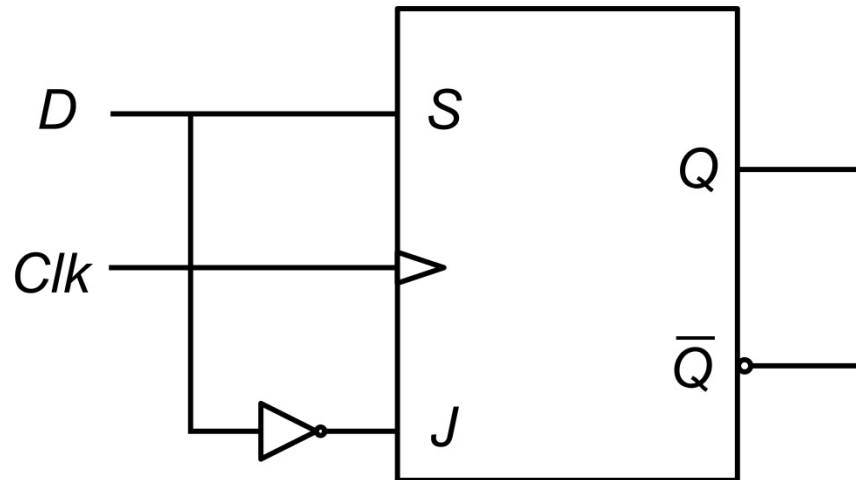
➤ Δύο είσοδοι ελέγχου

- Μηδενισμός (Clear)
- Προτοποθέτηση (Preset)



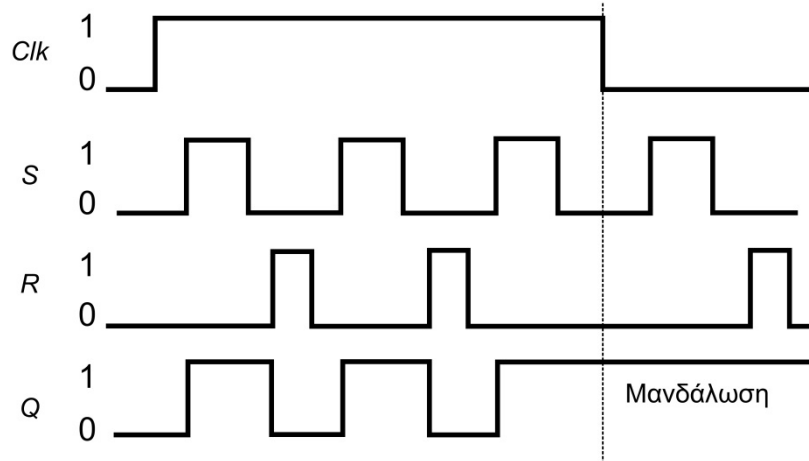
Λειτουργία Flip-Flop σαν Μανδαλωτής (Latch)

- Ένα SR-flip-flop ονομάζεται μανταλωτής διότι όσο το ρολόι είναι υψηλό η έξοδος παρακολουθεί τις εισόδους. Έτσι όταν το ρολόι είναι υψηλό η κατάσταση του flip-flop «μανταλώνεται» έως ότου επανέλθει σε υψηλή τιμή.
- Ο SR-latch μετατρέπεται σε D-latch με τον συνδυασμό των εισόδων S και R σε μια μοναδική είσοδο μέσω ενός αντιστροφέα

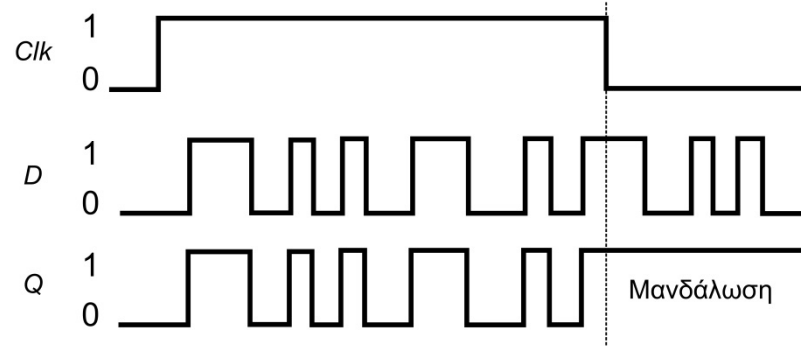


Μετατροπή SR-latch σε D-latch

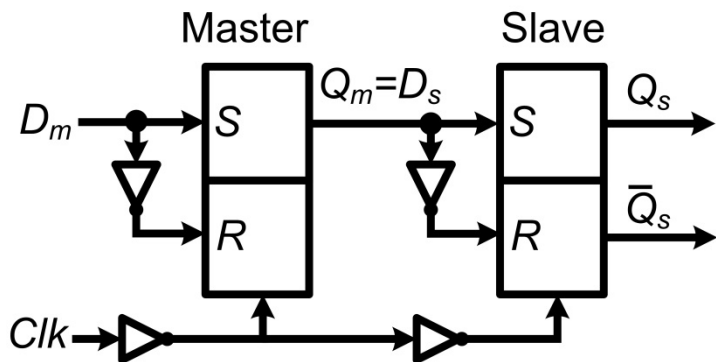
➤ Χρονικό διάγραμμα του SR-latch



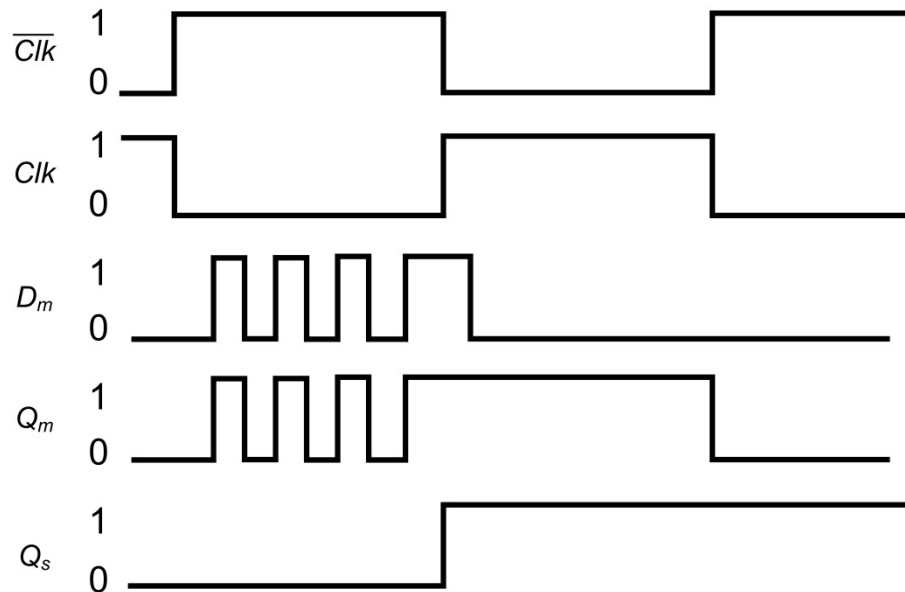
➤ Χρονικό διάγραμμα του D-latch



➤ Συνδεσμολογία



➤ Χρονικό διάγραμμα



- Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών,
Νίκος Φακωτάκης, Γεώργιος Θεοδωρίδης,
«Ψηφιακή Λογική Σχεδίαση».
Έκδοση: 1.0 Πάτρα 2015
- Διαθέσιμο στη διαδικτυακή διεύθυνση
<https://eclass.upatras.gr/courses/EE890/>

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου των διδασκόντων καθηγητών.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «**Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση**» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ