8. ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΝΗΜΗΣ

8.1 Εισαγωγή

Στα συνδυαστικά κυκλώματα, που μελετήσαμε έως τώρα, δεν υπήρχε κάποια διαδικασία ανάδρασης (Feed Back) -δηλαδή οδήγηση της εξόδου των στοιχείων στην είσοδό τους- επομένως η έξοδος ήταν εξαρτώμενη μόνο από τις τιμές της εισόδου. Στη συνέχεια θα μελετήσουμε κυκλώματα με ανάδραση. Τα κυκλώματα αυτά έχουν μνήμη, κάτι που είναι απαραίτητο στην αποθήκευση των πληροφοριών στα ψηφιακά συστήματα.

Τα βασικά στοιχεία μνήμης τα οποία χρησιμοποιούνται είναι τα λεγόμενα Flip-Flop, εν συντομία στο εξής FF. Το χαρακτηριστικό τους είναι ότι "θυμούνται" την προηγούμενη κατάσταση, όπου βρισκόταν, για να "αποφασίσουν" ποια θα είναι η επόμενη κατάστασή τους με κατάλληλη είσοδο.

Τα FF μπορούμε να πούμε ότι παρέχουν μνήμη ενώ με τα συνδυαστικά κυκλώματα μπορούμε να επεξεργαστούμε πληροφορίες. Στα FF υπάρχει ανάδραση από την έξοδο στην είσοδο και η έξοδος εξαρτάται **τόσο** από τις τιμές της εισόδου **όσο** και από την προηγούμενη τιμή της εξόδου. Δηλαδή "θυμάται" το κύκλωμα την προηγούμενη τιμή της εξόδου του, έχει επομένως "μνήμη".

Τα ακολουθιακά κυκλώματα (Α.Κ) αποτελούνται, βασικά, από στοιχεία μνήμης σε συνδυασμό με στοιχεία συνδυαστικής λογικής και χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

α) Σύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα (ΣΑΚ) στα οποία η εφαρμογή των εισόδων η εκτέλεση των λειτουργιών και η παροχή εξόδου γίνονται σε καθορισμένο χρόνο με την χρήση ρολογιού (Clock=Ck ή CP=Clock Pulse) δηλαδή μιας γεννήτριας τετραγωνικών παλμών.

β) Ασύγχρονα Ακολουθιακά Κυκλώματα (ΑΑΚ) στα οποία οι διάφορες λειτουργίες δεν γίνονται σε καθορισμένο χρόνο με την εφαρμογή των εισόδων. Δηλαδή δεν έχουν ρολόι (Clock) σε όλες τις βαθμίδες παρά μόνο σε μια. Κάθε βαθμίδα επηρεάζει την επόμενη ανάλογα με την είσοδό της. Η ταχύτητα εκτέλεσης εξαρτάται από το κύκλωμα και μόνο.

Το FF είναι ένα διακατάστατο (δυο καταστάσεων) ηλεκτρονικό κύκλωμα (σχεδιάζεται και με διακριτά στοιχεία) που είναι γνωστότερο ως "δισταθής πολυδονητής"-Bistable Multivibrator- και μπορεί να πάρει **δύο μόνο** καταστάσεις μηδέν ή ένα (**0 ή 1**).

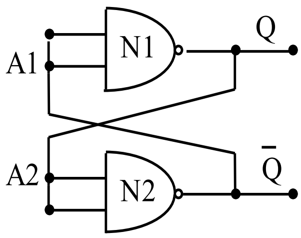
Οι δυο έξοδοι του FF είναι συμπληρωματικές σημειώνονται δε σαν $Q \& \overline{Q}$.

Όταν αναφερόμαστε στο FF εννοούμε πάντα την κανονική έξοδο Q.

Τα πιο γνωστά FF είναι τα τύπου T, D, SR, JK, JK-MS, και χρησιμοποιούνται στους απαριθμητές (Counters), καταχωρητές (Registers) και γενικά όπου απαιτείται κύκλωμα μνήμης. Ας δούμε την λειτουργία του βασικού κυκλώματος ενός FF.

8.2 Κύκλωμα μνήμης Set-Reset (SR-FF)

Το βασικό στοιχείο αποθήκευσης ενός ψηφίου (1 bit) αποτελείται από δύο πύλες NAND συνδεδεμένες όπως στο σχήμα, όπου η διασύνδεση της εξόδου της μιας πύλης με την είσοδο της άλλης πύλης, αποτελεί την ανάδραση και το τμήμα αυτό λέγεται Latch.



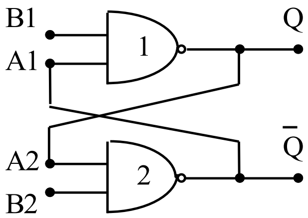
Βασικό τμήμα FF -Latch

Η ιδιότητα του Latch είναι στο ότι βρίσκεται σε μια από τις δύο σταθερές καταστάσεις (Q="1" κατάσταση ένα-‘1’ ή Q="0" κατάσταση μηδέν-‘0’) από όπου και το όνομα δισταθές ή δυαδικό κύκλωμα. Ας το επαληθεύσουμε.

Έστω 1) Q="0" και A2="0" $\Rightarrow$ $\overline{Q}$="1" και A1="1" $\Rightarrow$ Q="0" (δηλαδή όπως αρχικά)

2) Q="1" και A2="1" $\Rightarrow$ $\overline{Q}$="0" και A1="0" $\Rightarrow$ Q="1" (δηλαδή όπως αρχικά)

Αν τώρα θέλουμε να αποθηκεύσουμε μα κατάσταση π.χ Q="1" ή να θυμόμαστε την κατάσταση Q="0". Για να γράψουμε μια πληροφορία χρειαζόμαστε δύο ακόμα εισόδους τις B1 και B2, όπως στο σχήμα.



Βασικό τμήμα FF -Latch

Για να επαληθεύσουμε την διαδικασία της εγγραφής ακολουθούμε παρόμοια διαδικασία, όπως προηγουμένως, για του 4 δυνατούς συνδυασμούς των εισόδων B1,B2. Ας δούμε την διαδικασία.

α) Έστω B1=1&B2=0 τότε 1) αν Q=0 & A2=0$\Rightarrow\overline{Q}$=& A1=1$\Rightarrow$Q=0 (όπως αρχικά)

2) αν Q=1 & A2=1$\Rightarrow\overline{Q}$=1 & A1=1$\Rightarrow$Q=0 (μηδενισμός)

β) Έστω B1=0&B2=1 τότε 1) αν Q=0 και A2=0$\Rightarrow\overline{Q}$=1 & A1=1$\Rightarrow$Q=1 (τοποθέτηση)

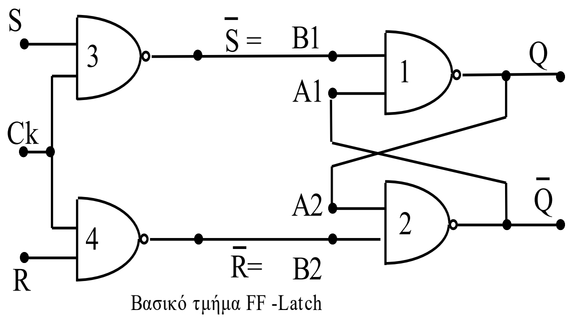
2) αν Q=1 και A2=1$\Rightarrow\overline{Q}$=0& A1=0$\Rightarrow$Q=1 (όπως αρχικά)

γ) Έστω B1=1&B2=1 τότε 1) αν Q=0 και A2=0$\Rightarrow\overline{Q}$=1 &A1=1$\Rightarrow$Q=0 (όπως αρχικά)

2) αν Q=1 και A2=1$\Rightarrow\overline{Q}$=0& A1=0 $\Rightarrow$Q=1 (όπως αρχικά)

δ) Ο συνδυασμός B1=0και B2=0 δεν επιτρέπεται αφού και οι δύο έξοδοι θα είναι ένα-"1" κάτι το οποίο δεν είναι σωστό σύμφωνα με τον ορισμό του FF.

Το κύκλωμά μας απαιτεί ακόμη δυο πύλες NAND, οι έξοδοι των οποίων θα συνδέονται στις εισόδους B1,B2 του Latch μέρους, οι οποίες θα συνδέουν το όλο κύκλωμα με το περιβάλλον (τα εξωτερικά σήματα) και τους παλμούς συγχρονισμού, δηλαδή το ρολόι (Ck) ώστε η όλη διαδικασία να γίνεται σε καθορισμένο χρονικό διάστημα.



Βασικό τμήμα FF -Latch

Το όλο κύκλωμα αποτελεί το πρώτο βασικό κύκλωμα (τον πυρήνα) δύο καταστάσεων και είναι γνωστό σαν Set-Reset Flip Flop ή πιο απλά SR-FF.

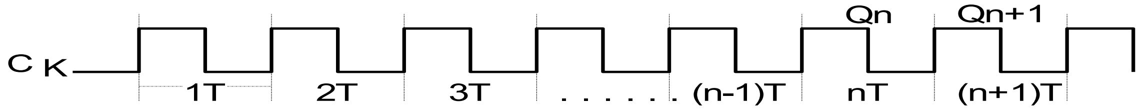
Η ονομασία προέρχεται από την εργασία που εκτελεί κάθε είσοδος όταν ενεργοποιείται, δηλαδή για Set=S=‘1’ η έξοδος Q=“1” ενώ για Reset=R=‘1’ η έξοδος Q=“0”.

Οι πύλες N1,N2 αποτελούν το Latch τμήμα και οι πύλες N3,N4 το τμήμα ελέγχου και προγραμματισμού του FF, με την προσθήκη του παλμού έχουμε ένα συγχρονισμένο με ρολόι SR-FF.

Όταν ο παλμός είναι μηδέν Ck="0" τότε οι έξοδοι των N3,N4 είναι ένα -"1", ανεξάρτητα από τις τιμές των S,R, επομένως δεν αλλάζει η κατάσταση του FF στο χρόνο ενός παλμού (1-bit time).

Όταν ο παλμός είναι ένα Ck="1" τότε λειτουργούν οι σύγχρονοι είσοδοι S,R και ανάλογα με την τιμή τους και την τιμή της εξόδου Q, πριν τον παλμό, έχουμε την νέα έξοδο.

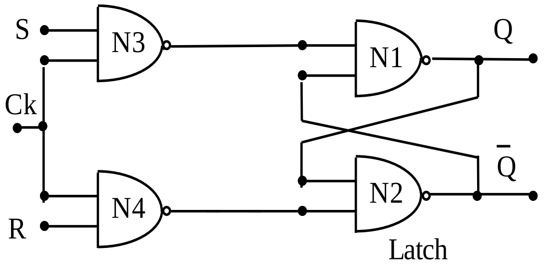
Στη συνέχεια συχνά όταν αναφερόμαστε στο FF θα λέμε για την παρούσα κατάσταση και για την επόμενη κατάσταση και θα εννοούμε την κατάσταση σε ένα παλμό του Ck και την κατάσταση στον επόμενο παλμό. Θεωρούμε λοιπόν μια παλμοσειρά και **η** ο **n**-οστός παλμός. Ο επόμενος παλμός θα είναι ο **n+1** (η παλμοσειρά φαίνεται στο σχήμα).



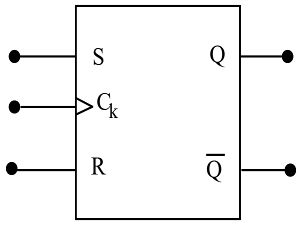
Οι καταστάσεις του FF στις δυο περιπτώσεις θα αναφέρονται σαν Qn και Qn+1. Η διάρκεια **t** όπου το Ck=1, είναι μικρότερη του χρόνου της περιόδου του παλμού T.

Στον **n**-οστό παλμό έχουμε S=R="0" τότε N3=N4="1" και το FF δεν αλλάζει κατάσταση στον επόμενο παλμό του Ck. Συμβολίζουμε την κατάσταση αυτή σαν Sn, Rn, Qn και την επόμενη κατάσταση σαν Qn+1.

Ας δούμε αναλυτικά την λειτουργία του SR-FF(συνοψίζοντας τα προηγούμενα για το βασικό τμήμα του FF).Το κύκλωμα του FF και το Block σύμβολό του φαίνονται στο σχήμα.



Latch



Block διάγραμμα SR-FF

Το SR-FF έχει δυο σύγχρονες εισόδους S,R και τις δυο εξόδους Q & $\overline{Q}$. Η επόμενη κατάσταση της εξόδου Qn+1 εξαρτάται από τις τιμές των δυο εισόδων και από την προηγούμενη τιμή της εξόδου Qn Αυτό προκύπτει και από τον πίνακα καταστάσεων (State Table).

Πίνακας καταστάσεων (αναλυτικός)

α/α	**S**	**R**	**Qn**	**Q**n+1	
0	0	0	0	0	Qn
1	0	0	1	1	Qn
2	0	1	0	0	0
3	0	1	1	0	0
4	1	0	0	1	1
5	1	0	1	1	1
6	1	1	0	?	?
7	1	1	1	?	?

1. R=S =“0” ⇒ Qn+1=Qn

2. S≠R ⇒ Qn+1=S

3. S=R=“1” ⇒ Qn+1=?

Από τον πίνακα διακρίνουμε τρεις περιπτώσεις.

1η. Όταν S=R=0 τότε η έξοδος του FF είναι ότι και η προηγούμενη κατάσταση.

2η. Όταν S≠R τότε η έξοδος του FF είναι ότι και η είσοδος S (0 ή 1).

3η. Όταν S=R=1 τότε η έξοδος του FF είναι απροσδιόριστη (δεν γνωρίζουμε αν είναι 0 ή 1, επιπλέον ο συνδυασμός αυτός είναι μη επιτρεπτός).

Ο Πίνακας καταστάσεων, που προκύπτει τελικά από τον αρχικό πίνακα, σε πιο απλή μορφή φαίνεται δίπλα. Η χαρακτηριστική εξίσωση του SR-FF, η οποία βγαίνει από τον πίνακα καταστάσεων (Π.Κ) σε συνδυασμό με την συνθήκη την οποία πρέπει να πληρούν οι είσοδοι, 1η & 2η περίπτωση, ενώ δεν πρέπει να ισχύει η 3η

S	R	Q_{n+1}
0	0	Q_n
0	1	0
1	0	1
1	1	**Μη Επιτρεπτή**

Πίνακας Καταστάσεων

περίπτωση, είναι:

$$Q_{n+1} = \overline{S}.\overline{R}Q_n + S\overline{R}.\overline{Q}_n + S\overline{R}Q_n + SRQ_n + SR\overline{Q}_n$$

ή $$Q_{n+1} = \overline{S}.\overline{R}Q_n + S\overline{R} + SR = \overline{S}.\overline{R}Q_n + S = S + \overline{R}Q_n$$

Παρόμοια η συνάρτηση της Qn+1 βγαίνει και από τον Χάρτη Καρνώ.

Qn \ SR	00	01	11	10
0	(0)	(2)	(6) d	(4) 1
1	(1) 1	(3)	(7) d	(5) 1

Από τον Π.Κ προκύπτει ο πίνακας διέγερσης (Excitation Table) του FF.

Ο Π.Δ καθορίζει ποιες πρέπει να έχουν οι είσοδοι S,R ώστε το FF να μεταβεί από την κατάσταση Qn στην Qn+1.

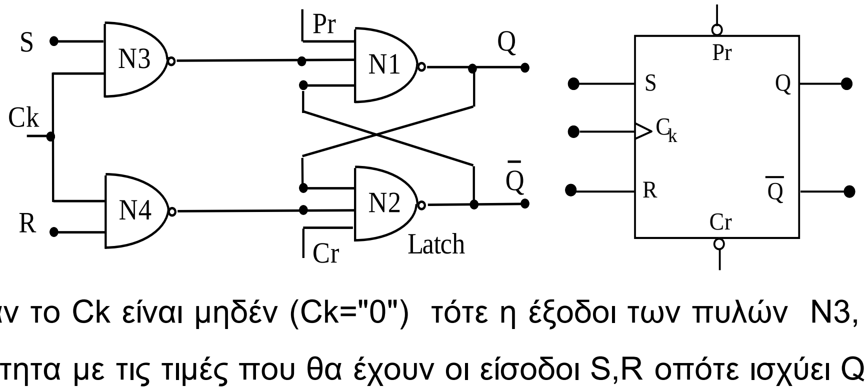
Παρατηρούμε ότι ο πίνακας έχει δυο εισόδους Qn, Qn+1 και δυο εξόδους S, R. Εμφανίζονται επίσης και αδιάφοροι όροι που σημειώνονται με **d** ή με **X**.

Q_n	Q_{n+1}	S	R
0	0	0	d
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	d	0

Σαν παράδειγμα για να πάμε από την κατάσταση Qn=0 την κατάσταση Qn+1=1 πρέπει οι είσοδοι να είναι S=1 & R=0 ή R=1, δηλαδή στην ουσία μας ενδιαφέρει μόνο η τιμή της εισόδου S και δεν μας ενδιαφέρει η τιμή του R (επειδή αλλάζει τιμή ενώ ή έξοδός μας μένει σταθερή), η οποία στην περίπτωση αυτή αποτελεί **μη** ενδιαφέρουσα συνθήκη (Don't Care Contition), που σημειώνεται στον Χ.Κ με **d**.

Εκτός από τις σύγχρονες εισόδους S,R οι οποίες λειτουργούν όταν το Ck είναι ένα, έχουμε και δύο άλλες εισόδους τις ασύγχρονες ή κατ' ευθεία (Direct) εισόδους, με τις οποίες μπορούμε να ρυθμίσουμε την κατάσταση του FF, ανεξάρτητα από τους παλμούς του Ck.

Το πλήρες κύκλωμα και το νέο Block διάγραμμα του FF είναι :



Όταν το Ck είναι μηδέν (Ck="0") τότε η έξοδοι των πυλών N3, N4 θα είναι ένα, ανεξάρτητα με τις τιμές που θα έχουν οι είσοδοι S,R οπότε ισχύει Qn+1=Qn. Δηλαδή όταν Ck="0" η μεταβολή των εισόδων S,R δεν επηρεάζει την έξοδο του FF.

Αν θέλουμε να τοποθετήσουμε το FF στην κατάσταση Q="1", τότε αρκεί να κάνουμε την ασύγχρονη είσοδο μηδέν Preset=Pr="0". Η πύλη N1 θα έχει έξοδο ένα, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων εισόδων της, άρα και η κανονική έξοδος του FF θα είναι Q="1", επομένως το FF έχει (όπως λέμε) τοποθετηθεί .

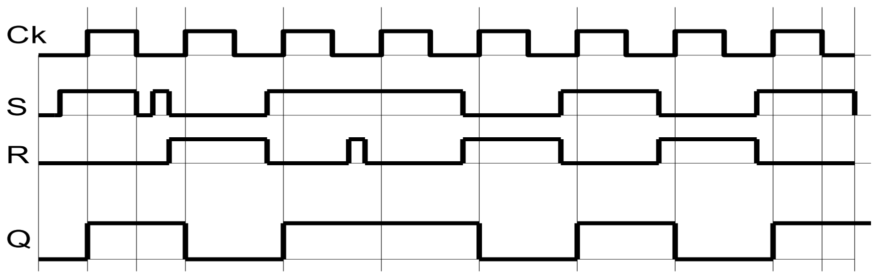
Αν θέλουμε τώρα να μηδενίσουμε το FF, κατάσταση μηδέν Q="0", τότε αρκεί να κάνουμε την ασύγχρονη είσοδο μηδέν Clear=Cr=“0”.
Η πύλη Ν2 θα έχει έξοδο ένα, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων εισόδων της, άρα και η συμπληρωματική έξοδος του FF θα είναι ένα-"1", επομένως η κανονική έξοδος θα είναι μηδέν Q="0", και το FF έχει καθαρισθεί.

Η ενεργοποίηση των ασύγχρονων εισόδων γίνεται είτε σε δυναμικό μηδέν είτε σε δυναμικό ένα και αναφέρεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Συνήθως στα TTL-FF ενεργοποιούνται σε δυναμικό μηδέν ενώ στα CMOS-FF σε δυναμικό ένα-‘1’.

Η λειτουργία των ασύγχρονων εισόδων γίνεται όταν το Ck είναι μηδέν και στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι ασύγχρονοι είσοδοι και η έξοδος του FF.

Ασύγχρονες Είσοδοι Pr	Cr	Έξοδος Q
0	**0**	Μη Προσδιορίσιμη
0	**1**	Set: το FF προτοποθετείται στην κατάσταση "1"
1	**0**	Reset: το FF καθαρίζεται (ή τοποθετείται στο "0")
1	**1**	Λειτουργούν οι σύγχρονοι είσοδοι S & R και η έξοδος καθορίζεται από τον πίνακα καταστάσεων του FF

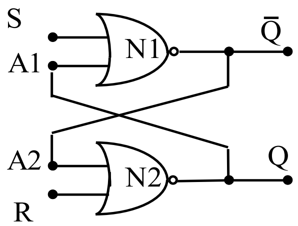
Το FF που λειτουργεί με παλμό Ck λέγεται συγχρονιζόμενο με ρολόι FF ή Clocked SR-FF και όσο το Ck είναι ένα η έξοδος παρακολουθεί όλες τις μεταβολές των εισόδων S,R, ενώ όταν το Ck είναι μηδέν ή έξοδος "**κλειδώνεται**" και δεν παρακολουθεί τις μεταβολές των εισόδων, δηλαδή "**θυμάται**" ένα γεγονός στη διάρκεια της ζωής της και παύει να το θυμάται όταν διακόψουμε την τροφοδοσία.
Το παλμικό διάγραμμα (ή διάγραμμα χρονισμού) ενός απλού SR-FF φαίνεται στο σχήμα.



Επειδή **δεν** είναι επιθυμητό να αλλάζει η έξοδος όσο ο παλμός του Ck είναι ένα, τα FF κατασκευάζονται ώστε να διεγείρονται **μόνο** με το μέτωπο του παλμού, είτε με την ανερχόμενη πλευρά (από “0” σε “1) είτε με την κατερχόμενη πλευρά (από “1” σε “0”) του παλμού του Ck.

Ένα τέτοιο FF λέγεται **ακμοπυροδότητο** ή διέγερσης **μετώπου** (Edge Triggered) και πιο συγκεκριμένα με διέγερση θετικού μετώπου (Positive Edge Triggered = PETr) για την άνοδο του παλμού, ή με διέγερση αρνητικού μετώπου (Negative Edge Triggered = NETr) για την κάθοδο του παλμού.

Το Latch τμήμα ενός SR-FF μπορεί να πραγματοποιηθεί και με πύλες NOR, όπως φαίνεται στο σχήμα. Για να επαληθεύσουμε την λειτουργία ακολουθούμε παρόμοια διαδικασία, όπως στο κύκλωμα με πύλες NAND .



Βασικό τμήμα FF -Latch

Ας δούμε την διαδικασία.

α) Έστω S=0 & R=0 τότε 1) αν Q=0 και A1=0$\Rightarrow \overline{Q}=1$ & A2=1$\Rightarrow$Q=0 (όπως αρχικά)

2) αν Q=1 και A1=1$\Rightarrow \overline{Q}$=0 & A2=0$\Rightarrow$Q=1 (όπως αρχικά))

β) Έστω S=0 & R=1 τότε 1) αν Q=0 και A1=0$\Rightarrow \overline{Q}$=1 & A2=1$\Rightarrow$Q=0 (όπως αρχικά)

2) αν Q=1 και A1=1$\Rightarrow \overline{Q}$=0 & A2=0 $\Rightarrow$Q=0 (μηδενισμός)

γ) Έστω S=1 & R=0 τότε 1) αν Q=0 και A1=0$\Rightarrow \overline{Q}$=0 & A2=0$\Rightarrow$Q=1 (τοποθέτηση)

2) αν Q=1 και A1=1$\Rightarrow \overline{Q}$=0 & A2=0 $\Rightarrow$Q=1 (όπως αρχικά)

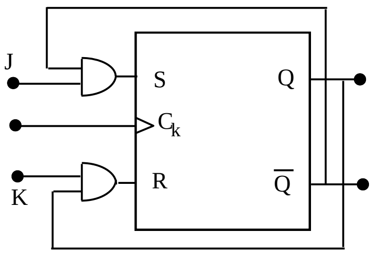
δ) Ο συνδυασμός S=1 και R=1 δεν επιτρέπεται αφού και οι δυο έξοδοι θα είναι μηδεν-‘0’ κάτι το οποίο δεν είναι σωστό σύμφωνα με την παραδοχή μας.

Αν προσθέσουμε τις πύλες των εισόδων S,R με την βοήθεια του Ck τότε θα έχουμε ένα συγχρονιζόμενο SR-FF με πύλες NOR. Με παρόμοια διαδικασία, όπως και στο SR-FF με πύλες NAND, προκύπτουν οι πίνακες καταστάσεων και διέγερσης.

8.3 Κύκλωμα μνήμης JK-Flip Flop

Το JK-FF δεν είναι ένα νέο FF αλλά προκύπτει από το βασικό SR-FF, έτσι ώστε να αρθεί η απροσδιοριστία στην περίπτωση όπου S=R=1.

Αν στο κύκλωμα ενός SR-FF προσθέσουμε δυο πύλες AND στις εισόδους S,R, όπως φαίνεται στο σχήμα, τότε οι συναρτήσεις των εισόδων S,R του FF θα είναι :



$$S=J.\overline{Q} \ \ \& \ \ R=K.Q$$

Σχηματίζουμε τον πίνακα καταστάσεων που προκύπτει από τους 4 δυνατούς συνδυασμούς των νέων εισόδων J, K και των δυο καταστάσεων της εξόδου Q, και με την βοήθεια των παραπάνω σχέσεων συμπληρώνουμε τις στήλες των S,R.

Με την βοήθεια του πίνακα καταστάσεων του SR-FF παίρνουμε την επόμενη κατάσταση Q_{n+1}, για το νέο FF, από όπου προκύπτει και ο (Π.Κ) πίνακας καταστάσεων του JK-FF.

Πίνακας καταστάσεων του JK-FF.

α/α	**J**	**K**	**Qn**	$\overline{Q}n$	**S**	**R**	**Q_{n+1}**		
0	0	0	0	1	0	0	0	Qn	
1	0	0	1	0	0	0	1	Qn	**1. J=K =“0” ⇒ Qn+1=Qn**
2	0	1	0	1	1	0	0	0	
3	0	1	1	0	0	0	0	0	**2. J≠K ⇒ Qn+1=J**
4	1	0	0	1	0	0	1	1	
5	1	0	1	0	0	1	1	1	**3. J=K=“1”⇒ Qn+1= $\overline{Q}n$**
6	1	1	0	1	1	0	1	$\overline{Q}n$	
7	1	1	1	0	0	1	0	$\overline{Q}n$	

Από τον πίνακα παρατηρούμε ότι:

1η. Όταν J=K=0 τότε η έξοδος του FF είναι ότι και η προηγούμενη κατάσταση.

2η. Όταν J≠K τότε η έξοδος του FF είναι ότι και η είσοδος J (0 ή 1).

3η. Όταν J=K=1 τότε η έξοδος του FF είναι η συμπληρωματική έξοδος $\overline{Q}$.

Ο Πίνακας καταστάσεων, που προκύπτει τελικά από τον προηγούμενο πίνακα, στην απλή του μορφή φαίνεται δίπλα.

J	K	Q_{n+1}
0	0	Q_n (unchanged)
0	1	0 (set)
1	0	1 (reset)
1	1	$\overline{Q}$ (toggles)

Πίνακας Καταστάσεων-State Table

Παρατηρούμε ότι είναι όμοιος με αυτόν του SR-FF, με κατάλληλη αντιστοίχηση των S, R με τα J, K. Επιπλέον δεν υπάρχει η απροσδιοριστία του SR-FF στην τελευταία γραμμή, όπου όταν J=K=1 έχουμε $Qn+1=\overline{Q}n$.

Η χαρακτηριστική εξίσωση του JK-FF, η οποία βγαίνει από τον πίνακα καταστάσεων (Π.Κ) και είναι: $Q_{n+1}= \overline{J}.\overline{K}Qn+J\overline{K}.\overline{Q}n+J\overline{K}Qn+JK\overline{Q}n=J\overline{Q}n+\overline{K}Qn$

Παρόμοια η συνάρτηση της Qn+1 βγαίνει και από τον Χάρτη Καρνώ.

Qn \ JK	00	01	11	10
0	$_{0}$	$_{2}$	$_{6}$ 1	$_{4}$ 1
1	$_{1}$ 1	$_{3}$	$_{7}$	$_{5}$ 1

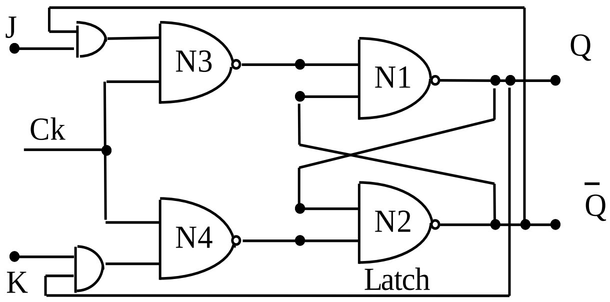
Q_n	Q_{n+1}	J	K
0	0	0	d
0	1	1	d
1	0	d	1
1	1	d	0

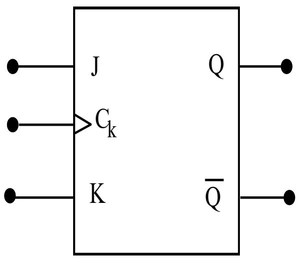
Πίνακας Διέγερσης-Excitation Table

Από τον Π.Κ προκύπτει ο πίνακας διέγερσης (Excitation Table) του FF, ο οποίος καθορίζει ποιες πρέπει να έχουν οι είσοδοι J,K ώστε το FF να μεταβεί από την κατάσταση Qn στην Qn+1.

Παρατηρούμε ότι ο πίνακας έχει δυο εισόδους Qn, Qn+1 και δυο εξόδους J,K. Εμφανίζονται επίσης και αδιάφοροι όροι που σημειώνονται με d (ή X). Σαν παράδειγμα για να πάμε από την κατάσταση Qn=**0** την κατάσταση Qn+1=**1** πρέπει οι είσοδοι να είναι J=1& K=0 ή K=1, δηλαδή στην ουσία μας ενδιαφέρει μόνο η τιμή της εισόδου J και δεν μας ενδιαφέρει η τιμή του K, η οποία στην περίπτωση αυτή αποτελεί μη ενδιαφέρουσα συνθήκη (Don't Care Contition) που σημειώνεται στον Χ.Κ με d.

Αν θέλουμε να πάμε από την κατάσταση **Qn="1"** στην κατάσταση Qn+1="0" πρέπει οι είσοδοι να είναι K=**1** & J=**0** ή J=**1**, δηλαδή στην ουσία μας ενδιαφέρει μόνο η τιμή της εισόδου K, ενώ για να πάμε από την κατάσταση Qn="**0**" στην κατάσταση Qn+1 ="**0**" πρέπει οι είσοδοι να είναι J=**0** & K=**0** ή K=**1** και για Qn="1" στην Qn+1="1" πρέπει να είναι K=0 & J=0 ή J=1. Το κύκλωμα ενός συγχρονιζόμενου JK-FF με πύλες





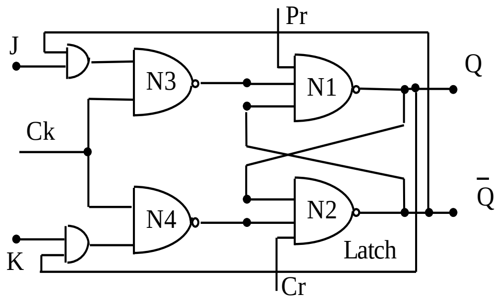
Block διάγραμμα JK-FF

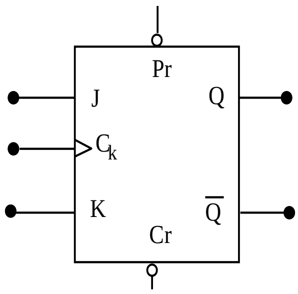
NAND φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.

Παρατηρούμε ότι είναι ίδιο με το αντίστοιχο του SR-FF, με μια επιπλέον ανάδραση από την έξοδο στην είσοδο, με διασταύρωση.

Εκτός από τις σύγχρονες εισόδους J, K οι οποίες λειτουργούν όταν το Ck είναι ένα, έχουμε και εδώ τις δύο ασύγχρονες εισόδους (asynchonus inputs) ή κατευθείαν εισόδους (Direct inputs), με τις οποίες μπορούμε να ρυθμίσουμε την κατάσταση του FF, ανεξάρτητα από τους παλμούς του Ck.

Το πλήρες κύκλωμα και το νέο Block διάγραμμα του FF φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί .





Όταν το Ck είναι μηδέν (Ck="0") τότε η έξοδοι των πυλών N3,N4 θα είναι ένα, ανεξάρτητα με τις τιμές που θα έχουν οι είσοδοι J,K, οπότε ισχύει **Qn+1=Qn**. Δηλαδή όταν το Ck="0" η μεταβολή των εισόδων J,K δεν επηρεάζει την έξοδο του FF.

Αν θέλουμε να τοποθετήσουμε το FF στην κατάσταση ένα-"1", τότε αρκεί να κάνουμε την ασύγχρονη είσοδο Preset=**Pr=0**. Η πύλη N1 θα έχει έξοδο ένα, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων εισόδων της, άρα και η κανονική έξοδος του FF θα είναι Q="1", επομένως το FF έχει (όπως λέμε) τοποθετηθεί .

Αν θέλουμε τώρα **να μηδενίσουμε** το FF, κατάσταση μηδέν-"0", τότε αρκεί να κάνουμε την ασύγχρονη είσοδο Clear=**Cr=0**. Η πύλη N2 θα έχει έξοδο ένα, ανεξάρτητα από τις τιμές των άλλων εισόδων της, άρα και η συμπληρωματική έξοδος του FF θα είναι-"1, επομένως η κανονική έξοδος θα είναι Q="0 ",και το FF έχει καθαρισθεί.

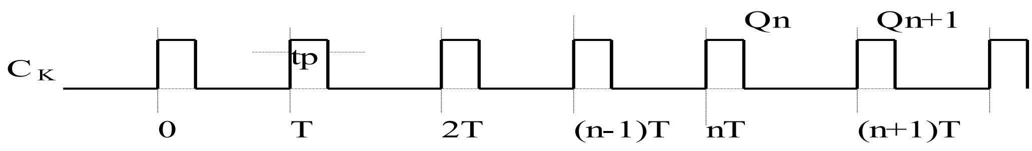
Η ενεργοποίηση των ασύγχρονων εισόδων γίνεται **είτε** σε δυναμικό **μηδέν** είτε σε δυναμικό **ένα** και αναφέρεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Συνήθως στα TTL-FF ενεργοποιούνται σε δυναμικό **μηδέν** ενώ στα CMOS-FF σε δυναμικό **ένα.**

Ck	Pr	Cr	Έξοδος Q		
1	1	1	Qn+1	Enable	* Από τον Π.Κ
0	1	0	0	Clear	Καθαρισμός
0	0	1	1	Preset:	Προτοποθέτηση

Η λειτουργία των ασυγχρόνων εισόδων γίνεται όταν το Ck είναι μηδέν και στον πίνακα που ακολουθεί φαίνονται οι ασύγχρονοι είσοδοι και η έξοδος του FF.

Λόγω της ανάδρασης, από την έξοδο στην είσοδο, αλλαγή της εξόδου στη διάρκεια όπου το Ck =“1”, θα επιδράσει στην είσοδο.

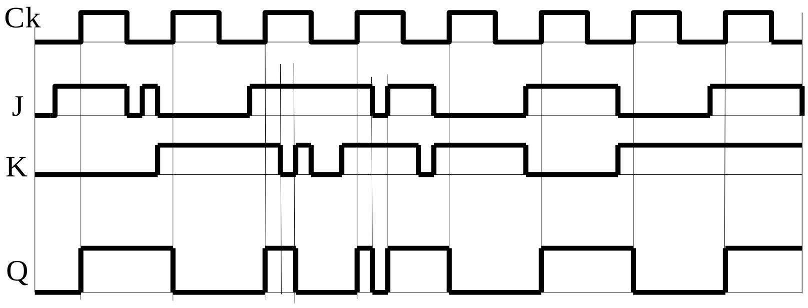
Π.χ Έστω J=K=1 και Q=“0” οπότε όταν το Ck=1 έχουμε Q=“1” (7η γραμμή του γενικού πίνακα) μετά από χρόνο Δt=tpg+tpg (Χρόνος καθυστέρησης της διάδοσης-Propagation Delay Time), στις δυο πύλες NAND .



Όμως επειδή εξακολουθεί J=K=1 και Q=“1” η έξοδος θα επιστρέψει στο μηδέν-“0”. Επομένως για χρόνο t_0 και όσο Ck=1 η έξοδος ταλαντώνεται (Toggle) μεταξύ “0” και “1”, κατάσταση που περιγράφεται σαν περιστροφή -(race around). Αυτό αποφεύγεται όταν η χρονική διάρκεια του παλμού **t**p είναι **πολύ** μικρότερη από τον χρόνο της περιόδου T(tp<<T). Όμως ο χρόνος Δt είναι πολύ μικρότερος του χρόνου tp (tp<<T) στα ολοκληρωμένα κυκλώματα, επομένως έχουμε απροσδιόριστη έξοδο.

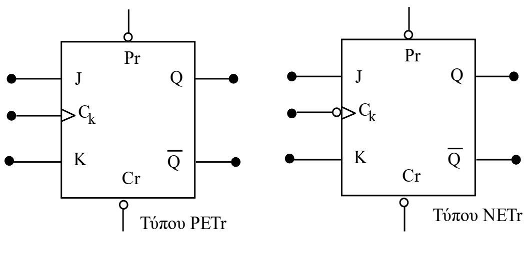
Το πρόβλημα της περιστροφής λύνεται με τον συνδυασμό δυο SR-FF (ή δυο JK) με ανάδραση από την έξοδο του δεύτερου (εξαρτημένο) στην είσοδο του πρώτου (κύριο) FF. Κατά τα γνωστά το FF που λειτουργεί με παλμό Ck λέγεται συγχρονιζόμενο με ρολόι FF ή Clocked JK-FF, και όσο το Ck=1 η έξοδος παρακολουθεί όλες τις μεταβολές των εισόδων J,K, ενώ όταν το Ck είναι μηδέν ή έξοδος "κλειδώνεται" και παραμένει στην προηγούμενη κατάσταση.

Το παλμικό διάγραμμα ενός απλού JK-FF φαίνεται στο σχήμα.

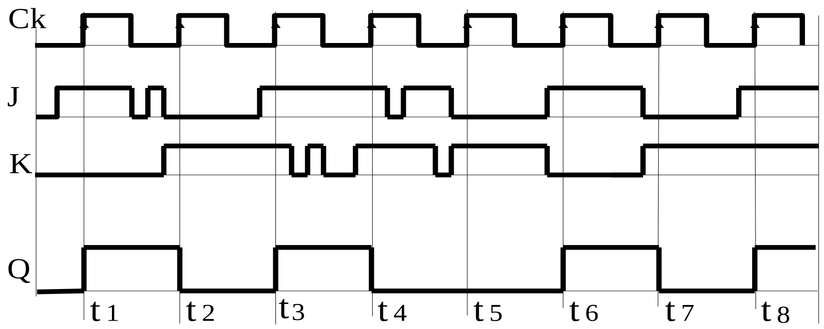


Επειδή **δεν** είναι επιθυμητό να αλλάζει η έξοδος όσο ο παλμός του Ck είναι ένα, τα FF κατασκευάζονται να διεγείρονται μόνο με το μέτωπο του παλμού, είτε με την ανερχόμενη πλευρά (από 0 σε 1) είτε με την κατερχόμενη πλευρά (από 1σε 0) του παλμού του Ck. Ένα τέτοιο FF λέγεται ακμοπυροδότητο ή διέγερσης μετώπου (Edge Triggered) και πιο συγκεκριμένα με διέγερση θετικού μετώπου (Positive Edge Trig gered - **PETr**), ή με διέγερση αρνητικού μετώπου (Negative Edge Triggered - **NETr**). Στα σχήματα που ακολουθούν φαίνονται οι δυο τύποι PETr και NETr.

Το τόξο στην είσοδο του Ck δηλώνει ότι είναι ακμοπυροδότητο (Edge Triggered) και ο κύκλος δηλώνει ότι διεγείρεται στο αρνητικό μέτωπο του παλμού. Χωρίς κύκλο διεγείρεται στο θετικό μέτωπο του παλμού.



Το διάγραμμα χρονισμού των δυο τύπων JK-FF φαίνεται στο σχήμα.



Ανάλυση της εξόδου Q ενός PETr JK-FF.

1) Τη χρονική στιγμή t_1 έχουμε J=1, K=0 οπότε Q=1 (αρχικά Q=0)

2) Τη χρονική στιγμή t_2 έχουμε J=0, K=1 οπότε Q=0

3) Τη χρονική στιγμή t_3 έχουμε J=1, K=1 οπότε Q=1 (Toggle)

4) Τη χρονική στιγμή t_4 έχουμε J=1, K=1 οπότε Q=0 (Toggle)

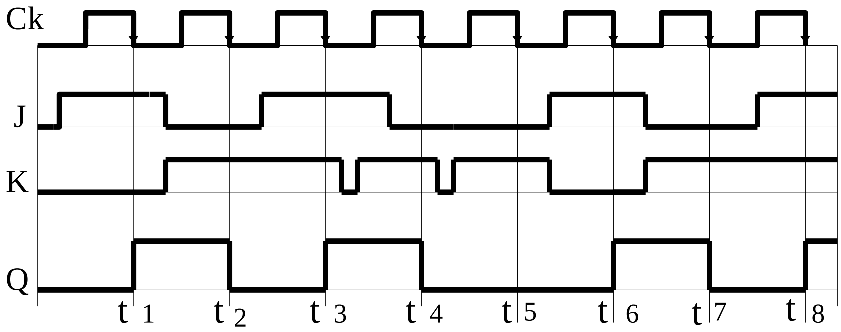
5) Τη χρονική στιγμή t_5 έχουμε J=0, K=1 οπότε Q=0 (παραμένει)

6) Τη χρονική στιγμή t_6 έχουμε J=1, K=0 οπότε Q=1

7) Τη χρονική στιγμή t_7 έχουμε J=0, K=1 οπότε Q=0

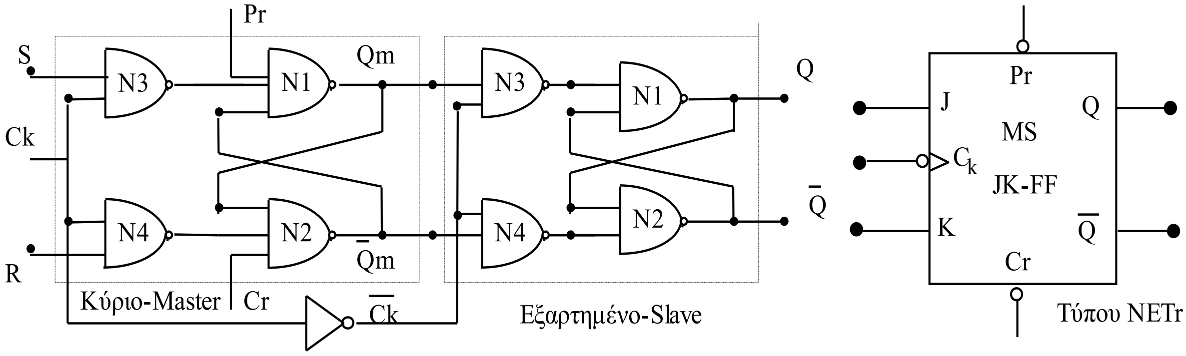
8) Τη χρονική στιγμή t_8 έχουμε J=0, K=1 οπότε Q=0

Παρόμοια έχουμε και για ένα JK-FF τύπου NETr αλλά για την κάθοδο του παλμού και ισχύει η ίδια ανάλυση.



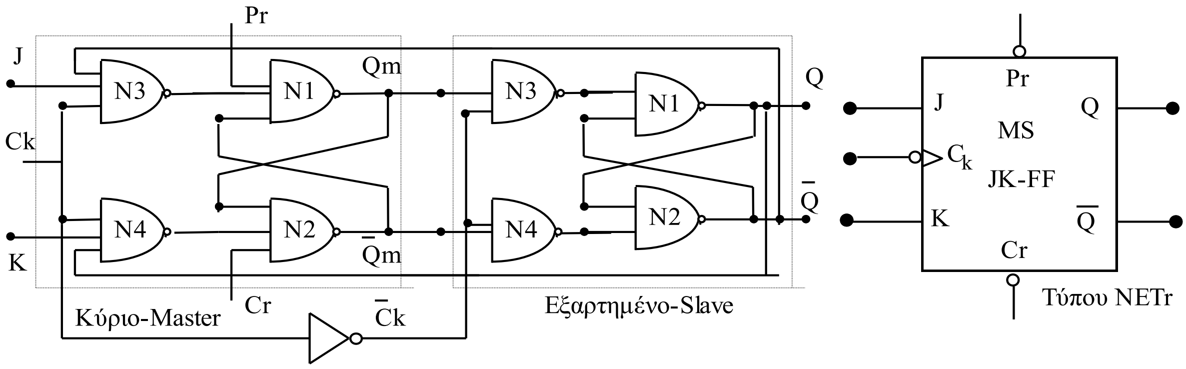
8.4 Κύριο-Εξαρτημένο (Master-Slave) Flip Flop

Το Master-Slave (MS) FF αποτελείται από δυο FF τύπου SR ή JK, συνδεδεμένα το ένα μετά το άλλο, όπως φαίνεται στο σχήμα.



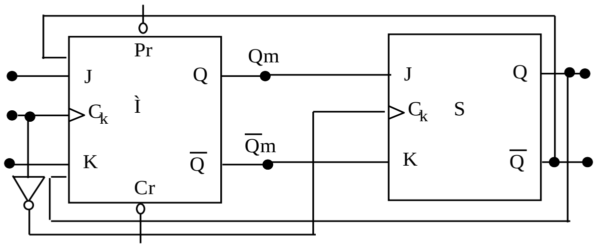
Ο πίνακας αληθείας ενός SR-MS-FF συμπίπτει με τον Π.Α του SR-FF.

Περισσότερο διαδεδομένο όμως είναι το JK-MS-FF με την ανάδραση από την έξοδο στην είσοδο, όπως στο σχήμα της επόμενης σελίδας.

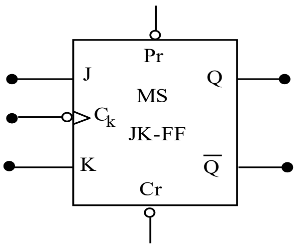


Αν Pr=1, Cr=1 και Ck=1 τότε ενεργοποιείται το Κύριο FF η λειτουργία του οποίου ακολουθεί τον πίνακα καταστάσεων του JK-FF. Λόγω του αντιστροφέα το ρολόι του Εξαρτημένου θα είμαι Ck=0, επομένως η έξοδός του Qn μένει αμετάβλητη, στην διάρκεια του παλμού. Με Ck=0 η έξοδος του Κύριου FF Qm μένει αμετάβλητη και ενεργοποιείται το Εξαρτημένο που ακολουθεί τον ΠΚ του SR-FF ($\mathrm{Qm} = \mathrm{S} \,\&\, \overline{\mathrm{Q}}\mathrm{m} = \mathrm{R}$)

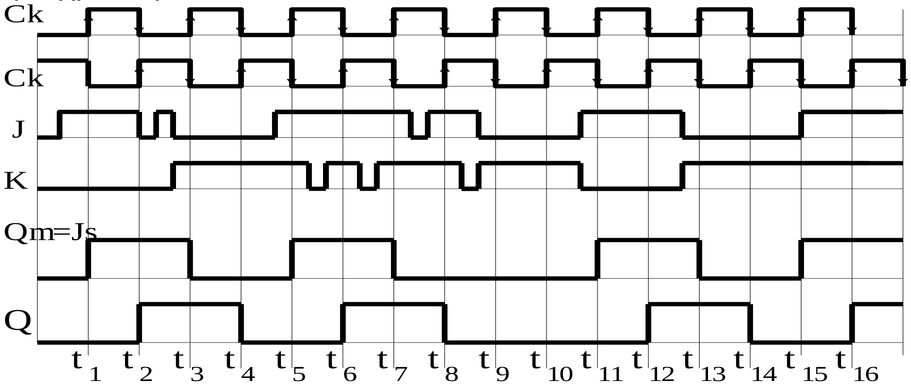
Άρα στο χρονικό διάστημα του παλμού **t**p, η είσοδος του Κύριου μεταφέρεται στην έξοδο Q του Εξαρτημένου. Δηλαδή το MS-FF διεγείρεται από όλο τον παλμό του Ck (Pulse Triggered), και τα δεδομένα εισέρχονται με την άνοδο του παλμού και εξέρχονται με την κάθοδό του. Με το MS-JK-FF έχουμε εξουδετερώσει την αστάθεια του JK-FF αλλά και του τύπου T-FF που προέρχεται από αυτό.
Το Block διάγραμμα & το διάγραμμα χρονισμού του MS-JK-FF φαίνονται παρακάτω.



ή



Διάγραμμα χρονισμού.



Τη χρονική στιγμή t_1 έχουμε Jm=1, Km=0 επομένως Qm=1 άρα και $\overline{Qm}=0$. Όμως το ρολόι του Slave είναι μηδέν και δεν έχουμε μεταβολή.

Τη χρονική στιγμή t_2 έχουμε Sm=1, Rm=0 επομένως Q=1 και τα δεδομένα μας περνούν στην έξοδο. Παρόμοια και για τις άλλες χρονικές στιγμές.

Η έξοδος Q είναι μετατοπισμένη ως προς την είσοδο κατά τον χρόνο ενός παλμού tp.

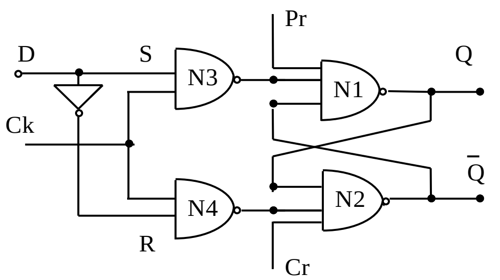
Το MS-JK-FF σαν τύπου T-FF ή σαν τύπου D-FF αποτελούν την βάση όλων των αριθμητικών διατάξεων και διατάξεων καταχωρητών.

Στο εμπόριο τα TTL 7472 είναι τύπου MS-JK-FF.

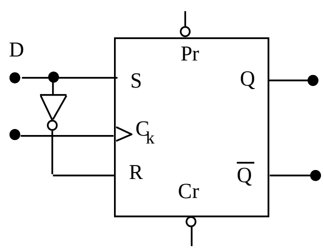
8.5 Data Flip Flop (D-FF)

Το D-FF δεν είναι ένα νέο FF αλλά προκύπτει από το βασικό SR-FF ή από το JK-FF, με κατάλληλη σύνδεση των εισόδων του.

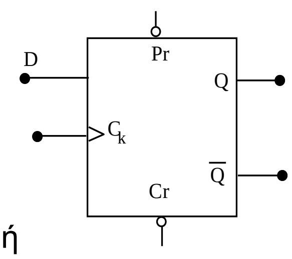
α) Αν στο κύκλωμα ενός SR-FF προσθέσουμε μια πύλη NOT, από την είσοδο S στην είσοδο R, όπως φαίνεται στο σχήμα , έχουμε μόνο μία είσοδο την D.



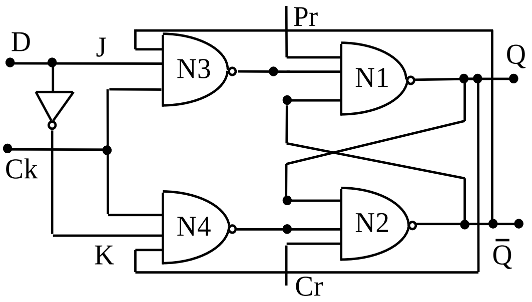
ή



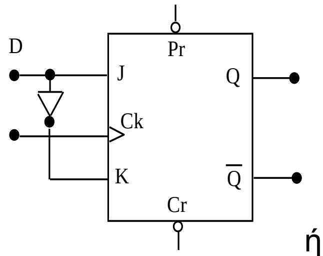
ή



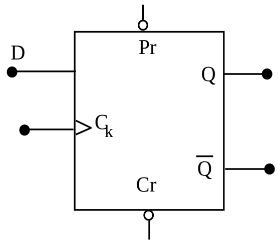
β) Παρόμοια αν στο κύκλωμα ενός JK-FF προσθέσουμε μια πύλη NOT, από την είσοδο J στην είσοδο K, όπως στο σχήμα, έχουμε μόνο μία είσοδο την D.



ή



ή



Η πληροφορία στην είσοδο D εμφανίζεται στην έξοδο με την εφαρμογή του παλμού.

Ο πίνακας καταστάσεων του D-FF προκύπτει από τις δυο μεσαίες γραμμές του ΠΚ του SR-FF, όπου S≠R (ή J≠K).:

D	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

Πίνακας Καταστάσεων

Η χαρακτηριστική εξίσωση του D-FF, η οποία βγαίνει από τον (Π.Κ) πίνακα καταστάσεων και είναι: $Q_{n+1} = D\overline{Q}n + DQn = D$.

Qn \ D	0	1
0	[0]	[2] 1
1	[1]	[3] 1

Παρόμοια η συνάρτηση της Qn+1 βγαίνει και από τον Χάρτη Καρνώ.

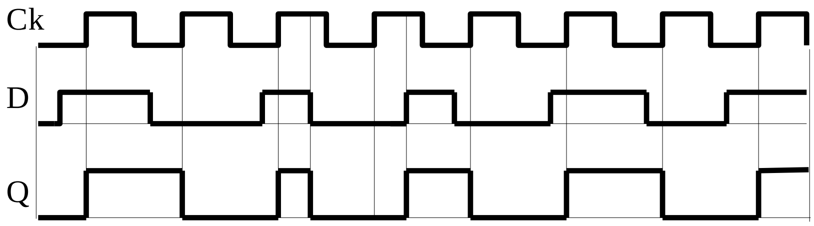
Από τον Π.Κ προκύπτει ο πίνακας διέγερσης (Excitation Table) του FF, ο οποίος καθορίζει ποια πρέπει να είναι η είσοδος D ώστε το FF να μεταβεί από την κατάσταση Qn στην Qn+1.

Q_n	Q_{n+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

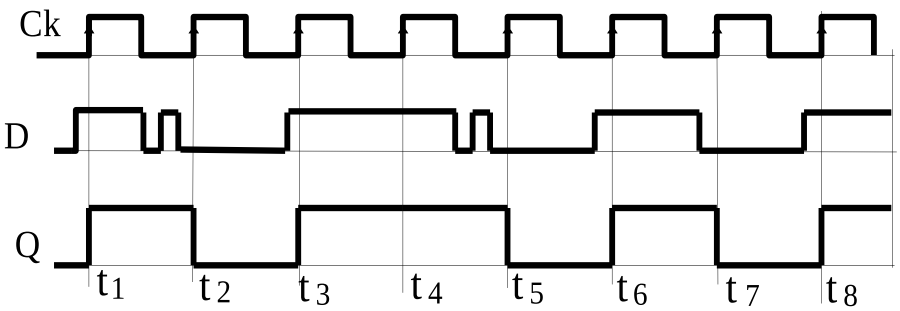
Πίνακας Διέγερσης

Παρατηρούμε ότι ο πίνακας έχει δυο εισόδους Q_n, Q_{n+1} και μια έξοδο D. Για να πάμε από την κατάσταση Q_n=0 την κατάσταση Q_{n+1}=1 πρέπει η είσοδος να είναι D=1.
Αν θέλουμε να πάμε από την κατάσταση Q_n=1 στην κατάσταση Q_{n+1}=0 πρέπει η είσοδος να είναι D=0, ενώ για να πάμε από την κατάσταση Qn=0 στην κατάσταση Q_{n+1}=0 πρέπει η είσοδος να είναι D=0 και για Q_n=1 στην Q_{n+1}=1 πρέπει η είσοδος να είναι D=1.

Με τις ασύγχρονες εισόδους (asynchonus inputs) μπορούμε να ρυθμίσουμε την κατάσταση του FF, ανεξάρτητα από τους παλμούς του Ck, όπως και στα άλλα FF. Το παλμικό διάγραμμα ενός απλού D-FF φαίνεται στο σχήμα.



Επειδή, και εδώ, δεν είναι επιθυμητό να αλλάζει η έξοδος όσο ο παλμός του Ck είναι ένα-"1", τα FF κατασκευάζονται κατά τρόπο ώστε να διεγείρονται μόνο με το μέτωπο του παλμού, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, δηλαδή να είναι ακμοπυροδότητα με διέγερση μετώπου (Edge Triggered), διέγερση θετικού μετώπου (Positive Edge Triggered -PETr) ή διέγερση αρνητικού μετώπου (Negative Edge Triggered-NETr). Το **τόξο** στην είσοδο του Ck δηλώνει ότι είναι ακμοπυροδότητο (Edge Triggered) και ο κύκλος δηλώνει ότι το FF διεγείρεται στο αρνητικό μέτωπο του παλμού. Το παλμικό διάγραμμα των δυο τύπων D-FF φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν.

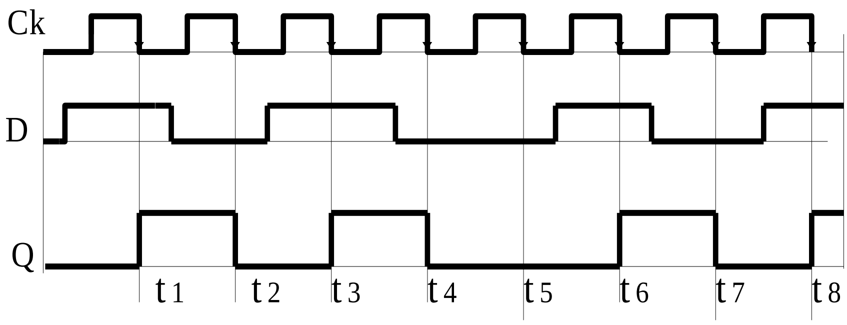


Ανάλυση της εξόδου Q ενός PETr D-FF.

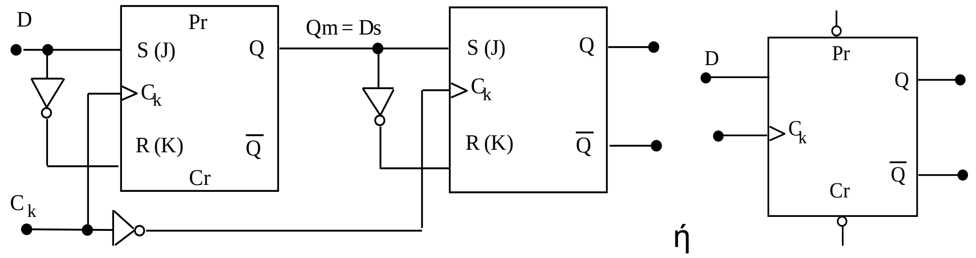
1) Την χρονική στιγμή t_1 έχουμε D=1 οπότε Q=1 (αρχικά Q=0)

2) Την χρονική στιγμή t_2 έχουμε D=0 οπότε Q=0 κ.ο.κ

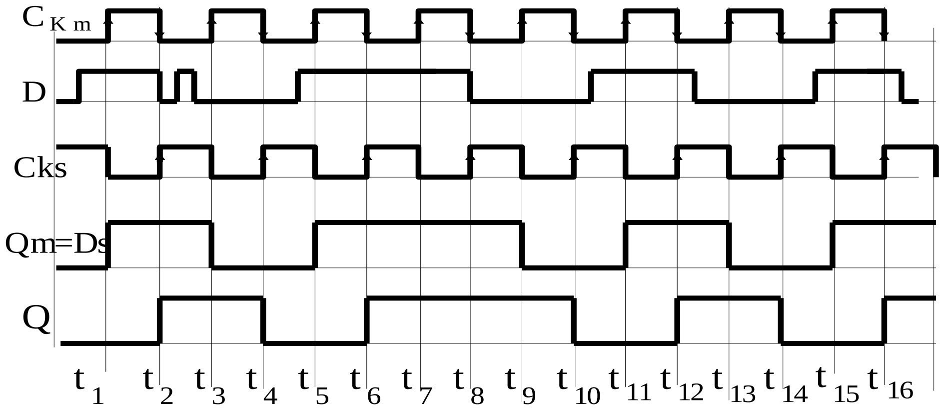
Παρόμοια έχουμε και για ένα D-FF τύπου NETr αλλά για την κάθοδο του παλμού και ισχύει η ίδια ανάλυση.



Το D-FF μπορεί να προκύψει και από δυο SR-FF (ή δυο JK-FF) συνδεδεμένα εν σειρά σαν ένα τύπου MS-SR-FF όπως φαίνεται στο σχήμα.

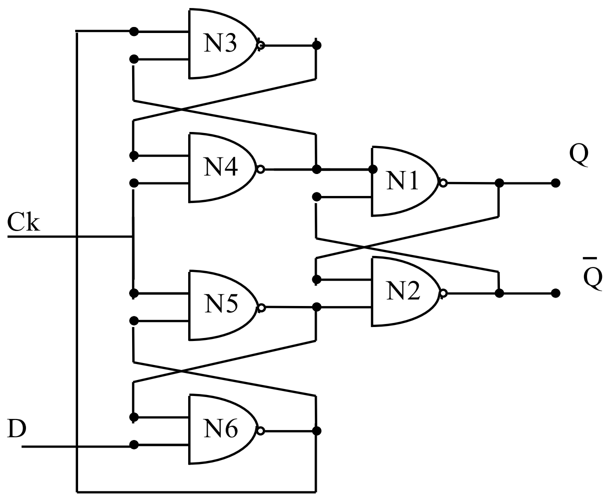


Το παλμικό διάγραμμα ενός τέτοιου FF φαίνεται στο σχήμα όπου Qm είναι η έξοδος του κύριου (Master) FF και Ds η είσοδος του εξαρτημένου (Slave) FF.



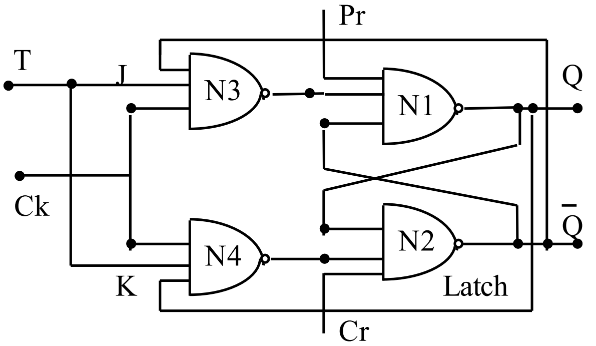
Τα δεδομένα από την είσοδο D εμφανίζονται στην έξοδο Q μετά από τον χρόνο tp ενός παλμού του Ck και για τον λόγο αυτό αναφέρεται και σαν τύπου Delay-FF (συσκευή καθυστέρησης ενός ψηφίου). Χρησιμοποιείται στους καταχωρητές σαν στοιχείο αποθήκευσης πληροφορίας ενός ψηφίου (1 Bit).

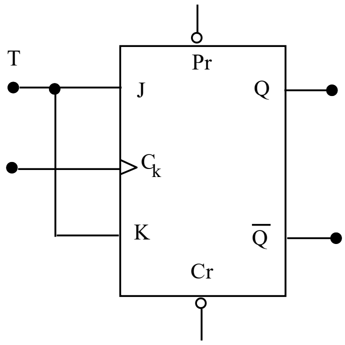
Στο εμπόριο το TTL7474 είναι ένα τύπου D-FF ακμοπυροδότητο (Positive Edge Triggered) θετικού μετώπου και το ισοδύναμό του κύκλωμα με πύλες NAND φαίνεται στο σχήμα.



8.6 Toggle Flip Flop (T-FF)

Το T-FF προκύπτει από το JK-FF, με κατάλληλη σύνδεση των εισόδων του. Αν στο κύκλωμα ενός JK-FF συνδέουμε την είσοδο J με την είσοδο K, όπως φαίνεται στο σχήμα, έχουμε μόνο μία είσοδο την T.





Η χαρακτηριστική εξίσωση του T-FF, η οποία βγαίνει από τον πίνακα καταστάσεων (Π.Κ) και είναι:

$$Q_{n+1} = \overline{T}Qn + T\overline{Qn}.$$

T	Q_n	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Πίνακας Καταστάσεων

(Η σχέση αυτή δεν αντιστοιχεί ακριβώς στην γνωστή πύλη XOR γιατί η έξοδος Qn παίρνει την νέα του τιμή μετά από χρονικό διάστημα **δ**t. Δηλαδή Qn+δt=$(T \oplus Qn)$.

Παρόμοια η συνάρτηση της Qn+1 βγαίνει και από τον Χάρτη Καρνώ για τους δυο άσσους στις θέσεις 1,2..

Qn \ T	0	1
0	[0]	[2] 1
1	[1] 1	[3]

Από τον Π.Κ προκύπτει ο πίνακας διέγερσης (Excitation Table) του FF, ο οποίος καθορίζει ποια πρέπει να είναι η είσοδος T ώστε το FF να μεταβεί από την κατάσταση Qn στην Qn+1.

Παρατηρούμε ότι ο πίνακας έχει δυο εισόδους Qn, Qn+1 και μια έξοδο T.

Για να πάμε από την κατάσταση Qn=0 την κατάσταση Qn+1=1 πρέπει η είσοδος να είναι T=1.

Q_n	Q_{n+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Πίνακας Διέγερσης

Από την κατάσταση Qn=1 στην κατάσταση Qn+1 =0 πρέπει η είσοδος να είναι επίσης T=1, επειδή έχουμε J=K=1 (η τελευταία γραμμή του ΠΚ του JK-FF), το FF αντιστρέφει (Toggle) την έξοδό του.

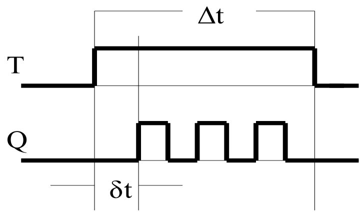
Αν τώρα θέλουμε να πάμε από την κατάσταση Qn=0 στην κατάσταση Qn+1 =0 πρέπει να είναι T=0 και από την κατάσταση Qn=1 στην κατάσταση Qn+1 =1 πρέπει να είναι επίσης T=0, οπότε επειδή έχουμε J=K=0 (η πρώτη γραμμή του ΠΚ του JK-FF), το FF παραμένει αμετάβλητο.

Με τις ασύγχρονες εισόδους (asynchonus inputs) μπορούμε να ρυθμίσουμε την κατάσταση του FF, ανεξάρτητα από τους παλμούς του Ck, όπως και στα άλλα FF.

Αν η είσοδος T παραμείνει σε δυναμικό ένα (T=1) για χρονικό διάστημα Δt πολύ μεγαλύτερου του δt (Δt >> δt) που απαιτεί το FF για να αλλάξει κατάσταση, τότε η έξοδος θα παίζει (toggles) συνεχώς μεταξύ 0 &1.

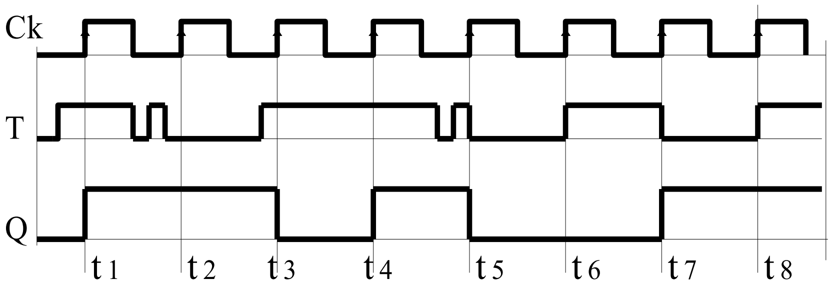
Η αστάθεια αυτή συνεχίζεται μέχρι να επαναφέρουμε το T στο 0.

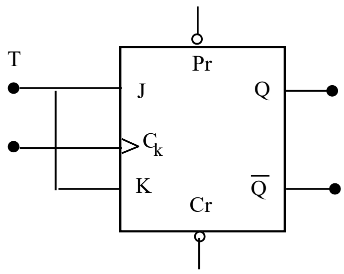
Επειδή δε συνήθως Δt≥δt το T-FF παρουσιάζει αστάθεια και το πρόβλημα λύνεται με την χρήση ενός MS-JK-FF που συνδέονται σαν T.



Με την χρήση ενός JK-FF, σαν T-FF, έχουμε αλλαγή κατάστασης σε κάθε παλμό του Ck, με την άνοδο ή την κάθοδό του.

Τα παλμικά διαγράμματα ή διαγράμματα χρονισμού των δυο τύπων T-FF φαίνονται στα σχήματα.





Ανάλυση της εξόδου Q ενός PETr T-FF.

1) Την χρονική στιγμή t_1 έχουμε T=1 οπότε Q=1 (Toggle) (αρχικά Q=0)

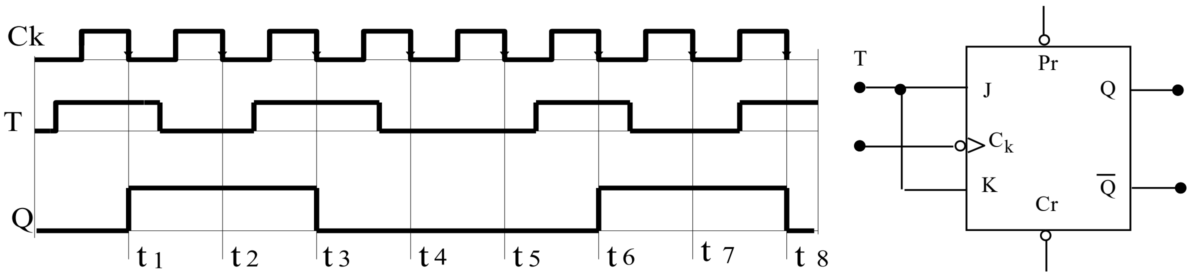
2) Την χρονική στιγμή t_2 έχουμε T=0 οπότε Q=1 (αμετάβλητο)

3) Την χρονική στιγμή t_3 έχουμε T=1 οπότε Q=0 (Toggle)

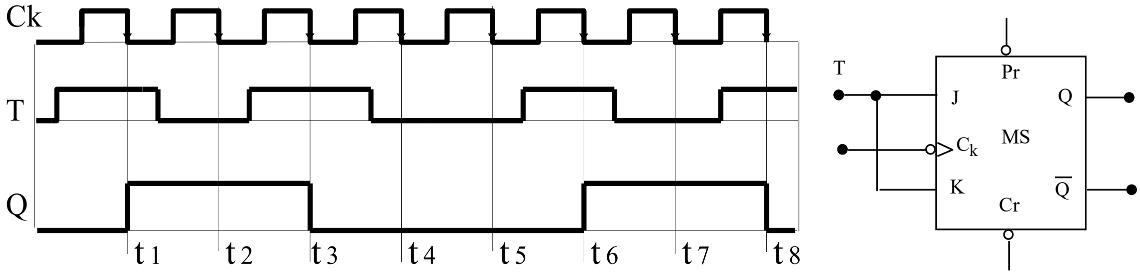
4) Την χρονική στιγμή t_4 έχουμε T=1 οπότε Q=1 (Toggle)

5) Την χρονική στιγμή t_5 έχουμε T=0 οπότε Q=1 (αμετάβλητο) κ.ο.κ

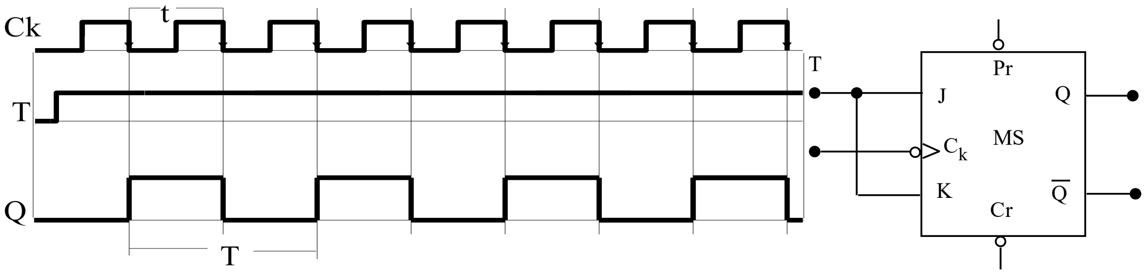
Παρόμοια έχουμε και για ένα T-FF τύπου NETr αλλά για την κάθοδο του παλμού και ισχύει η ίδια ανάλυση.



Με την χρήση ενός MS-JK-FF, σαν T-FF, έχουμε αλλαγή κατάστασης σε κάθε παλμό του Ck, με την άνοδο του παλμού εισέρχεται η είσοδος T και με την κάθοδό του εξέρχεται στην έξοδο Q.

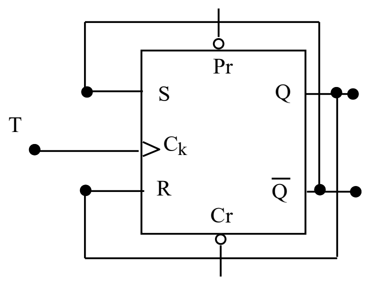


Αν σε ένα T-FF θέσουμε T=1 και στην είσοδο του Ck συνδέσουμε μια παλμοσειρά με συχνότητα f, η έξοδος Q του T-FF θα είναι επίσης μια παλμοσειρά με συχνότητα F=f/2, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Η ιδιότητα να αλλάζει η κατάσταση του T-FF σε κάθε παλμό, όταν T=1, είναι πολύ χρήσιμη σε κυκλώματα πράξεων.

Ένα T-FF μπορεί να προκύψει και από ένα SR-FF με κατάλληλη σύνδεση των εξόδων με τις εισόδους του FF όπως φαίνεται στο σχήμα.



Δηλαδή συνδέοντας τις εξόδους Q και $\overline{Q}$ του FF στις εισόδους R και S αντίστοιχα, φέρνουμε τις τιμές τους στις αντίστοιχες εισόδους και στον επόμενο παλμό οι έξοδοι θα αλλάξουν σύμφωνα με τον πίνακα καταστάσεων του SR-FF. Οι νέες τιμές θα εφαρμόζονται και πάλι στις εισόδους οπότε με τον νέο παλμό θα έχουμε και πάλι αλλαγή της κατάστασης των εξόδων. Επειδή συνεχώς θα έχουμε μηδέν ή ένα στην έξοδο θα έχουμε αντίστοιχα ένα ή μηδέν στην είσοδο κ.ο.κ.