

ΑΣΚΗΣΗ 9

Τα Flip-Flop

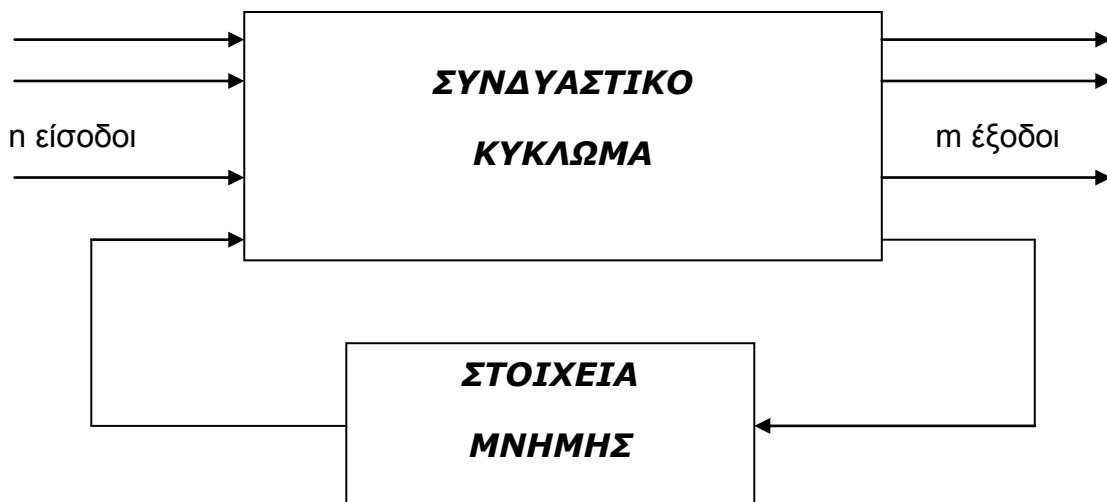
9.1. ΣΚΟΠΟΣ

Η κατανόηση της λειτουργίας των στοιχείων μνήμης των ψηφιακών κυκλωμάτων. Τα δομικά στοιχεία μνήμης είναι οι μανδαλωτές (latches) και τα Flip-Flop.

9.2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

9.2.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

Τα ψηφιακά κυκλώματα με μνήμη ονομάζονται ακολουθιακά. Αποτελούνται από συνδυαστικά κυκλώματα και στοιχεία μνήμης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1. Δομικό Διάγραμμα Ακολουθιακού Κυκλώματος

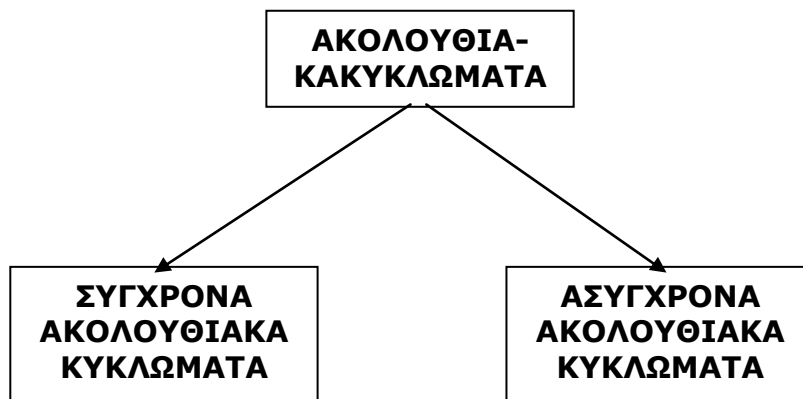
Τα στοιχεία μνήμης μπορούν να αποθηκεύσουν δυαδικές πληροφορίες που αποτελούν την παρούσα κατάσταση του στοιχείου μνήμης (state) κάθε χρονική στιγμή.

Οι έξοδοι και η επόμενη κατάσταση των στοιχείων μνήμης ενός Ακολουθιακού Κυκλώματος είναι συναρτήσεις των εισόδων και της παρούσας κατάστασης των στοιχείων μνήμης του Ακολουθιακού Κυκλώματος. Κάποιες από τις εξόδους του συνδυαστικού κυκλώματος που περιέχεται σε ένα ακολουθιακό κύκλωμα συνδέονται με τα στοιχεία μνήμης, οι έξοδοι των οποίων τροφοδοτούν κάποιες εισόδους του συνδυαστικού κυκλώματος (βρόγχος ανάδρασης - feedback).

Τα ακολουθιακά κυκλώματα ανήκουν σε μία από τις δύο ακόλουθες βασικές κατηγορίες:

- ⇒ σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα (synchronous sequential circuits)
- ⇒ ασύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα (asynchronous sequential circuits),

όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2. Κατηγορίες ακολουθιακών κυκλωμάτων

Σε ένα **ασύγχρονο** ακολουθιακό κύκλωμα τα στοιχεία μνήμης είναι λογικές πύλες που προκαλούν καθυστέρηση διάδοσης στα σήματα που διαδίδονται μέσα απ' αυτές και ονομάζονται **μανδαλωτές (latches)**.

Σε ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα τα στοιχεία μνήμης είναι τα **flip-flops**. Το flip-flop χρησιμοποιείται ως κύτταρο μνήμης γιατί είναι ένα κύκλωμα που μπορεί να διατηρηθεί σε μία κατάσταση έως ότου κάποιο κατάλληλο σήμα εισόδου το κάνει να αλλάξει κατάσταση (αποθήκευση πληροφορίας ενός bit).

Σε ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα μία γεννήτρια κύριου ρολογιού (master clock generator) τροφοδοτεί το κύκλωμα με παλμούς ρολογιού που διανέμονται παντού στο κύκλωμα ώστε να επιτευχθεί ο συγχρονισμός (synchronization). Τα σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα όπου οι παλμοί ρολογιού εφαρμόζονται στα στοιχεία μνήμης (flip-flop) ονομάζονται σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα με ρολόι (clocked sequential circuits).

Ο λόγος που υπάρχουν διάφοροι τύποι flip-flop είναι ότι οι δυαδικές πληροφορίες μπορούν να τοποθετηθούν στο flip-flop με διάφορους τρόπους. Τα είδη των flip-flop θα μελετηθούν παρακάτω.

9.2.2. ΜΑΝΔΑΛΩΤΕΣ

Ο μανδαλωτής (latch) έχει δύο εισόδους:

- S (Set - θέση)
- R (Reset - επαναφορά)

και δύο εξόδους:

- Q έξοδος
- \bar{Q} συμπλήρωμα της εξόδου

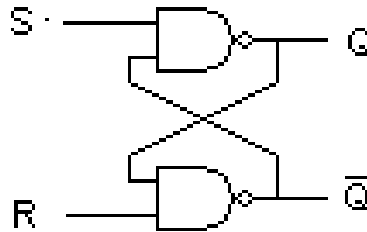
Το βασικό κύκλωμα ενός μανδαλωτή μπορεί να υλοποιηθεί με δύο πύλες NAND ή με δύο πύλες NOR.

Η έξοδος κάθε πύλης συνδέεται χιαστί με την είσοδο της άλλης πύλης δημιουργώντας ένα βρόγχο ανάδρασης (feedback), με αποτέλεσμα το latch να κατατάσσεται στα ασύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα.

Αυτός ο τύπος flip-flop ονομάζεται S-R flip-flop άμεσης σύζευξης (direct-coupled S-R flip-flop) ή **μανδαλωτής S-R (S-R latch)**.

➤ **ΜΑΝΔΑΛΩΤΗΣ ΜΕ ΠΥΛΕΣ NAND**

Το κύκλωμα του μανδαλωτή (latch) μπορεί να υλοποιηθεί με δύο πύλες NAND, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3. Μανδαλωτής (latch) με πύλες NAND

Ο Μανδαλωτής με πύλες NAND είναι ένα Ασύγχρονο Ακολουθιακό Κύκλωμα που έχει: δύο (2) πύλες NAND, δύο (2) εισόδους S (Set) και R (Reset), δύο (2) εξόδους Q και \bar{Q} .

Η κατάσταση του flip-flop είναι η τιμή της εξόδου Q. Οι (χρήσιμες) καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το flip-flop είναι: α) η κατάσταση θέσης (set) όπου $Q=1$ και $\bar{Q}=0$ και β) η κατάσταση επαναφοράς (reset) ή μηδενισμού (clear) όπου $Q=0$ και $\bar{Q}=1$.

Η λειτουργία του μανδαλωτή με πύλες **NAND** περιγράφεται παρακάτω:

1) **S=1 και R=1**

Κατάσταση ηρεμίας του μανδαλωτή. Αυτή είναι η σταθερή κατάσταση του μανδαλωτή γιατί η έξοδος παραμένει αμετάβλητη (οι έξοδοι *διατηρούν* τις τιμές που είχαν πριν τεθεί στις εισόδους $S=1$ και $R=1$).

2) **S=0 και R=1**

Ενεργοποίηση του μανδαλωτή. Η έξοδος είναι $Q=1$ (θέση) και παραμένει $Q=1$.

3) **S=1 και R=0**

Μηδενισμός του μανδαλωτή. Η έξοδος είναι $Q=0$ (μηδενισμός) και παραμένει $Q=0$.

4) **S=0 και R=0**

Μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση του μανδαλωτή. Οι έξοδοι είναι $Q=1$ και $\bar{Q}=1$. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η κατάσταση αυτή.

Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση θέσης ($S=0$ και $R=1$ με $Q=1$) και εφαρμοστεί $S=1$, τότε το flip-flop παραμένει σε κατάσταση θέσης ($Q=1$).

Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση μηδενισμού ($S=1$ και $R=0$ με $Q=0$) και εφαρμοστεί $R=1$, τότε το flip-flop παραμένει σε κατάσταση μηδενισμού ($Q=0$).

Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις οι έξοδοι παραμένουν αμετάβλητες που σημαίνει ότι ο μανδαλωτής έχει μνήμη.

Αν πρέπει να αλλάξει η κατάσταση του μανδαλωτή, τότε:

- Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση θέσης ($S=0$ και $R=1$ με $Q=1$), τότε πρώτα $S=1$, οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση ηρεμίας και μετά $R=0$, οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση μηδενισμού ($Q=0$).

- Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση μηδενισμού ($S=1$ και $R=0$ με $Q=0$), τότε πρώτα $R=1$ οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση ηρεμίας και μετά $S=0$, οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση θέσης ($Q=1$).

Το flip-flop μπορεί να βρεθεί σε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση (όπου $Q=1$ και $\bar{Q}=1$) εάν από $S=1$ και $R=1$ γίνει ταυτόχρονα $S=0$ και $R=0$. Θα πρέπει να αποφεύγεται να βρεθεί το flip-flop σε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση.

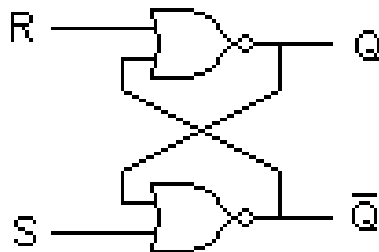
Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται ο Πίνακας Αληθείας του μανδαλωτή με πύλες NAND όπου συνοψίζεται η λειτουργία του.

Πίνακας 1. Πίνακας Αληθείας Μανδαλωτή με πύλες NAND

S	R	Q	\bar{Q}	Λειτουργία του Μανδαλωτή	
0	0	1	1	Μη χρησιμοποιούμενη	Μη χρησιμοποιούμενη
0	1	1	0	$Q=1$	Θέση
1	0	0	1	$Q=0$	Μηδενισμός
1	1	1	0	Μετά από $S=0$ και $R=1$	Αμετάβλητη
1	1	0	1	Μετά από $S=1$ και $R=0$	Αμετάβλητη

➤ ΜΑΝΔΑΛΩΤΗΣ ΜΕ ΠΥΛΕΣ NOR

Το κύκλωμα του μανδαλωτή (latch) μπορεί να υλοποιηθεί με δύο πύλες NOR όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.



Σχήμα 4. Μανδαλωτής (latch) με πύλες NOR

Ο Μανδαλωτής με πύλες NOR είναι ένα Ασύγχρονο Ακολουθιακό Κύκλωμα που έχει: δύο (2) πύλες NOR, δύο (2) εισόδους S (Set) και R (Reset), δύο (2) εξόδους Q και \bar{Q} .

Η κατάσταση του flip-flop είναι η τιμή της εξόδου Q. Οι (χρήσιμες) καταστάσεις στις οποίες μπορεί να βρεθεί το flip-flop είναι: α) η κατάσταση θέσης (set) όπου $Q=1$ και $\bar{Q}=0$ και β) η κατάσταση επαναφοράς (reset) ή μηδενισμού (clear) όπου $Q=0$ και $\bar{Q}=1$.

Η λειτουργία του μανδαλωτή με πύλες NOR περιγράφεται παρακάτω:

1) **S=0 και R=0**

Κατάσταση ηρεμίας του μανδαλωτή. Αυτή είναι η σταθερή κατάσταση του μανδαλωτή γιατί η έξοδος παραμένει αμετάβλητη (οι έξοδοι διατηρούν τις τιμές που είχαν πριν τεθεί στις εισόδους S=0 και R=0).

2) **S=0 και R=1**

Μηδενισμός του μανδαλωτή. Η έξοδος είναι Q=0 (μηδενισμός) και παραμένει Q=0.

3) **S=1 και R=0**

Ενεργοποίηση του μανδαλωτή. Η έξοδος είναι Q=1 (θέση) και παραμένει Q=1.

4) **S=1 και R=1**

Μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση του μανδαλωτή. Οι έξοδοι είναι Q=0 και $\bar{Q}=0$. Δεν πρέπει να χρησιμοποιείται η κατάσταση αυτή.

Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση θέσης (S=1 και R=0 με Q=1) και εφαρμοστεί S=0, τότε το flip-flop παραμένει σε κατάσταση θέσης (Q=1).

Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση μηδενισμού (S=0 και R=1 με Q=0) και εφαρμοστεί R=0, τότε το flip-flop παραμένει σε κατάσταση μηδενισμού (Q=0).

Στις δύο παραπάνω περιπτώσεις οι έξοδοι παραμένουν αμετάβλητες που σημαίνει ότι ο μανδαλωτής έχει μνήμη.

Αν πρέπει να αλλάξει η κατάσταση του μανδαλωτή, τότε:

- Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση θέσης (S=1 και R=0 με Q=1), τότε πρώτα S=0 οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση ηρεμίας και μετά R=1, οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση μηδενισμού (Q=0).

- Αν το flip-flop είναι σε κατάσταση μηδενισμού (S=0 και R=1 με Q=0), τότε πρώτα R=0 οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση ηρεμίας και μετά S=1, οπότε το flip-flop πάει σε κατάσταση θέσης (Q=1).

Το flip-flop μπορεί να βρεθεί σε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση (όπου Q=0 και $\bar{Q}=0$) εάν από S=0 και R=0 γίνει ταυτόχρονα S=1 και R=1. Θα πρέπει να αποφεύγεται να βρεθεί το flip-flop σε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση.

Στον Πίνακα 2 παρουσιάζεται ο Πίνακας Αληθείας του μανδαλωτή με πύλες NOR όπου συνοψίζεται η λειτουργία του.

Πίνακας 2. Πίνακας Αληθείας Μανδαλωτή με πύλες NOR

S	R	Q	\bar{Q}	Λειτουργία του Μανδαλωτή	
0	0	0	1	Μετά από S=0 και R=1	Αμετάβλητη
0	0	1	0	Μετά από S=1 και R=0	Αμετάβλητη
0	1	0	1	Q=0	Μηδενισμός
1	0	1	0	Q=1	Θέση
1	1	0	0	Μη χρησιμοποιούμενη	Μη χρησιμοποιούμενη

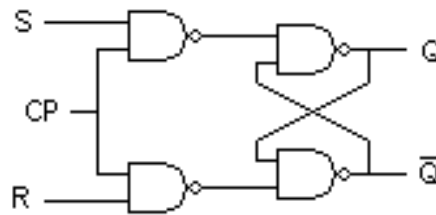
9.2.3. Τα FLIP-FLOPS

Το flip-flop είναι ένα σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα, οι έξοδοι του οποίου ανταποκρίνονται στις εισόδους όταν εφαρμόζονται παλμοί ρολογιού (Clock Pulses) σε μία είσοδο του flip-flop που ονομάζεται είσοδος ρολογιού (CP). Οι πλέον συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι flip-flop είναι οι ακόλουθοι:

- S-R flip-flop, J-K flip-flop, D flip-flop, T flip-flop.

➤ **S-R FLIP-FLOP**

Το S-R flip-flop μπορεί να υλοποιηθεί με τέσσερις πύλες NAND, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. S-R flip-flop

Η λειτουργία του S-R flip-flop περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Όταν $S=0$ και $R=0$, τότε η επόμενη κατάσταση (έξοδος Q) είναι ίδια με την προηγούμενη κατάσταση.
- 2) Όταν $S=0$ και $R=1$, τότε η επόμενη κατάσταση είναι $Q=0$.
- 3) Όταν $S=1$ και $R=0$, τότε η επόμενη κατάσταση είναι $Q=1$.
- 4) Όταν $S=1$ και $R=1$, τότε η επόμενη κατάσταση είναι απροσδιόριστη. Αυτή είναι μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση.

Ο Χαρακτηριστικός Πίνακας του S-R flip-flop δείχνει την επόμενη κατάσταση $Q(n+1)$ όταν είναι γνωστή η παρούσα κατάσταση $Q(n)$ και οι εισόδους. Ο χαρακτηριστικός πίνακας του S-R flip-flop παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.

Πίνακας 3. Χαρακτηριστικός Πίνακας S-R flip-flop

S	R	$Q(n)$	$Q(n+1)$
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	X
1	1	1	X

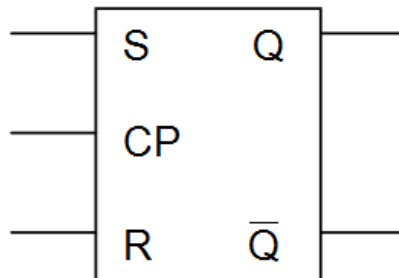
ή

S	R	$Q(n+1)$
0	0	$Q(n)$
0	1	0
1	0	1
1	1	X

Ο Πίνακας Διέγερσης του S-R flip-flop δείχνει τον τρόπο μετάβασης από την παρούσα κατάσταση στην επόμενη κατάσταση και εξάγεται από το χαρακτηριστικό πίνακα του

flip-flop. Ο πίνακας διέγερσης του S-R flip-flop ζητείται στο πειραματικό μέρος της άσκησης.

Το γραφικό σύμβολο του S-R flip-flop φαίνεται στο Σχήμα 6.

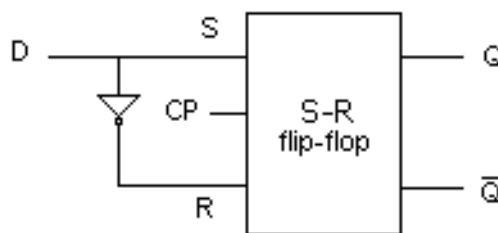


Σχήμα 6. Γραφικό σύμβολο του S-R flip-flop

➤ **D FLIP-FLOP**

Η εξάλειψη της ανεπιθύμητης συμπεριφοράς στην μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση του S-R flip-flop επιτυγχάνεται με το D flip-flop.

Το D flip-flop μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα S-R flip-flop και μία πύλη NOT όπως φαίνεται στο Σχήμα 7.



Σχήμα 7. D flip-flop

Η λειτουργία του D flip-flop περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Αν ο παλμός εισόδου είναι $CP=0$ τότε το flip-flop δεν μπορεί να αλλάξει κατάσταση ανεξάρτητα από την τιμή της εισόδου D (πράγματι, αν $CP=0$ τότε οι εισοδοί του μανδαλωτή με πύλες NAND είναι ένα).
- 2) Αν ο παλμός εισόδου είναι $CP=1$ τότε γίνεται δειγματοληψία της εισόδου. Συγκεκριμένα αν το $D=0$ τότε το $Q=0$ (μηδενισμός), ενώ αν το $D=1$ τότε το $Q=1$ (θέση).

Το όνομα του D flip-flop προέρχεται από την δυνατότητά του να αποθηκεύει δεδομένα (Data) και να καθυστερεί τη διάδοσή τους (Delay). Οι δυαδικές πληροφορίες της εισόδου δεδομένων D του flip-flop μεταφέρονται στην έξοδο Q του flip-flop όταν $CP=1$ (η έξοδος ακολουθεί τα δεδομένα εισόδου όσο $CP=1$). Όταν τεθεί $CP=0$ τότε τα δεδομένα της εισόδου D δεν μεταφέρονται στην έξοδο Q μέχρι να τεθεί $CP=1$.

Ο Χαρακτηριστικός Πίνακας του D flip-flop δείχνει την επόμενη κατάσταση $Q(n+1)$ όταν είναι γνωστή η παρούσα κατάσταση $Q(n)$ και η είσοδος. Ο χαρακτηριστικός πίνακας του D flip-flop παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικός Πίνακας D flip-flop

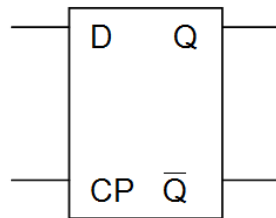
D	Q(n)	Q(n+1)
0	0	0
0	1	0
1	0	1
1	1	1

ή

D	Q(n+1)
0	0
1	1

Ο Πίνακας Διέγερσης του D flip-flop δείχνει τον τρόπο μετάβασης από την παρούσα κατάσταση στην επόμενη κατάσταση και εξάγεται από το χαρακτηριστικό πίνακα του flip-flop. Ο πίνακας διέγερσης του D flip-flop ζητείται στο πειραματικό μέρος της άσκησης.

Το γραφικό σύμβολο του D flip-flop φαίνεται στο Σχήμα 8.

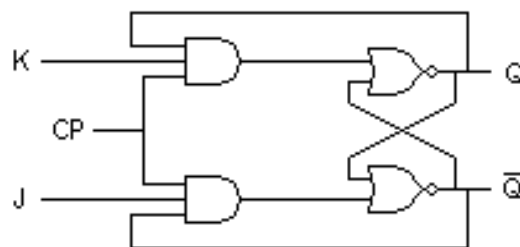


Σχήμα 8. Γραφικό σύμβολο του D flip-flop.

➤ J-K FLIP-FLOP

Η μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση του S-R flip-flop ($S=1$ και $R=1$) αποφεύγεται χρησιμοποιώντας το J-K flip-flop. Στο J-K flip-flop όταν οι είσοδοι J (set) και K (reset) τεθούν $J=1$ και $K=1$ τότε το flip-flop αλλάζει κατάσταση (δηλαδή αν η έξοδος ήταν $Q=0$ θα γίνει $Q=1$ και αντίστροφα).

Το J-K flip-flop μπορεί να υλοποιηθεί με δύο πύλες AND και δύο πύλες NOR όπως φαίνεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9. J-K flip-flop

Η λειτουργία του J-K flip-flop περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Όταν $J=0$ και $K=0$ τότε η επόμενη κατάσταση είναι ίδια με την προηγούμενη κατάσταση.
- 2) Όταν $J=0$ και $K=1$ τότε η επόμενη κατάσταση είναι $Q=0$.
- 3) Όταν $J=1$ και $K=0$ τότε η επόμενη κατάσταση είναι $Q=1$.
- 4) Όταν $J=1$ και $K=1$ τότε η κατάσταση του flip-flop αντιστρέφεται δηλαδή η επόμενη κατάσταση είναι η συμπληρωματική της προηγούμενης κατάστασης.

Όταν $J=1$ και $K=1$ και οι παλμοί του ρολογιού ($CP=1$) έχουν μεγάλη χρονική διάρκεια τότε η κατάσταση του flip-flop αφού αντιστραφεί μία φορά αντιστρέφεται συνεχώς σε όλη τη διάρκεια του παλμού του ρολογιού (δηλαδή μέχρι να γίνει $CP=0$).

Αυτός ο ανεπιθύμητος τρόπος λειτουργίας αποφεύγεται αν οι παλμοί του ρολογιού έχουν χρονική διάρκεια μικρότερη από τον χρόνο διάδοσης των σημάτων από τις εισόδους στις εξόδους του flip-flop.

Ο Χαρακτηριστικός Πίνακας του J-K flip-flop δείχνει την επόμενη κατάσταση $Q(n+1)$, όταν είναι γνωστή η παρούσα κατάσταση $Q(n)$ και οι εισοδοί. Ο χαρακτηριστικός πίνακας του J-K flip-flop παρουσιάζεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Χαρακτηριστικός Πίνακας J-K flip-flop

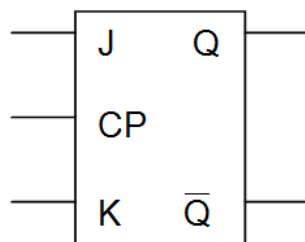
J	K	$Q(n)$	$Q(n+1)$
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	0

ή

J	K	$Q(n+1)$
0	0	$Q(n)$
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q(n)}$

Ο Πίνακας Διέγερσης του J-K flip-flop δείχνει τον τρόπο μετάβασης από την παρούσα κατάσταση στην επόμενη κατάσταση και εξάγεται από το χαρακτηριστικό πίνακα του flip-flop. Ο πίνακας διέγερσης του J-K flip-flop ζητείται στο πειραματικό μέρος της άσκησης.

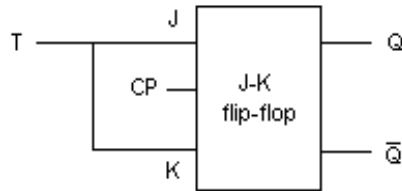
Το γραφικό σύμβολο του J-K flip-flop φαίνεται στο Σχήμα 10.



Σχήμα 10. Γραφικό σύμβολο του J-K flip-flop

➤ **T FLIP-FLOP**

Το T flip-flop μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας ένα J-K flip-flop στο οποίο έχουμε συνδέσει τις εισόδους J και K μεταξύ τους όπως φαίνεται στο Σχήμα 11.



Σχήμα 11. T flip-flop

Η λειτουργία του T flip-flop περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Όταν $T=0$ τότε η επόμενη κατάσταση είναι ίδια με την προηγούμενη κατάσταση.
- 2) Όταν $T=1$ τότε η κατάσταση του flip-flop αντιστρέφεται δηλαδή η επόμενη κατάσταση είναι η συμπληρωματική της προηγούμενης κατάστασης.

Το όνομα του T flip-flop προέρχεται από τη δυνατότητά του να αντιστρέφει (Toggle) την κατάστασή του.

Ο Χαρακτηριστικός Πίνακας του T flip-flop δείχνει την επόμενη κατάσταση $Q(n+1)$ όταν είναι γνωστή η παρούσα κατάσταση $Q(n)$ και η είσοδος. Ο χαρακτηριστικός πίνακας του T flip-flop παρουσιάζεται στον Πίνακα 6.

Πίνακας 6. Χαρακτηριστικός Πίνακας T flip-flop

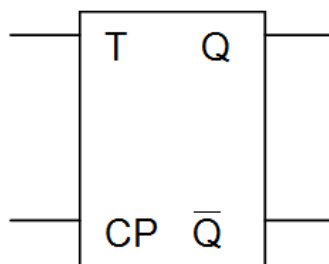
T	$Q(n)$	$Q(n+1)$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

ή

T	$Q(n+1)$
0	$Q(n)$
1	$\overline{Q(n)}$

Ο Πίνακας Διέγερσης του D flip-flop δείχνει τον τρόπο μετάβασης από την παρούσα κατάσταση στην επόμενη κατάσταση και εξάγεται από το χαρακτηριστικό πίνακα του flip-flop. Ο πίνακας διέγερσης του T flip-flop ζητείται στο πειραματικό μέρος της άσκησης.

Το γραφικό σύμβολο του T flip-flop φαίνεται στο Σχήμα 12.



Σχήμα 12. Γραφικό σύμβολο του T flip-flop.

➤ ΔΙΕΓΕΡΣΗ ΤΩΝ FLIP-FLOP

Η κατάσταση ενός μανδαλωτή ή ενός flip-flop μεταβάλλεται με την αλλαγή ενός σήματος εισόδου που ονομάζεται διέγερση ή πυροδότηση (trigerring).

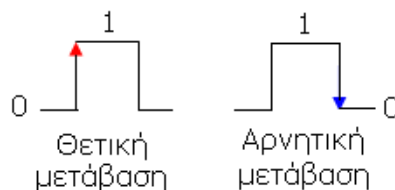
Οι μανδαλωτές διεγείρονται με την αλλαγή τιμής (λογικού επιπέδου) των σημάτων εισόδου τους. Για να διεγερθεί ο μανδαλωτής πρέπει να είναι σε κατάσταση ηρεμίας.

Τα flip-flop διεγείρονται με τους παλμούς του ρολογιού τους (Clock Pulses-CP). Οι παλμοί του ρολογιού μπορεί να είναι θετικοί ή αρνητικοί. Μία πηγή θετικών παλμών ρολογιού παραμένει στο μηδέν κατά το διάστημα μεταξύ παλμών και πάει στο ένα κατά τη διάρκεια του παλμού. Μία πηγή αρνητικών παλμών ρολογιού παραμένει στο ένα κατά το διάστημα μεταξύ παλμών και πάει στο μηδέν κατά τη διάρκεια του παλμού. Επομένως και στις δύο περιπτώσεις υπάρχουν δύο μεταβάσεις του σήματος για κάθε παλμό.

Η μετάβαση από το μηδέν στο ένα ονομάζεται θετική μετάβαση (Positive Going Transition - PGT) ή μετάβαση ανόδου ή θετική ακμή (positive edge) ή θετικό μέτωπο.

Η μετάβαση από το ένα στο μηδέν ονομάζεται αρνητική μετάβαση (Negative Going Transition - NGT) ή μετάβαση καθόδου ή αρνητική ακμή (negative edge) ή αρνητικό μέτωπο.

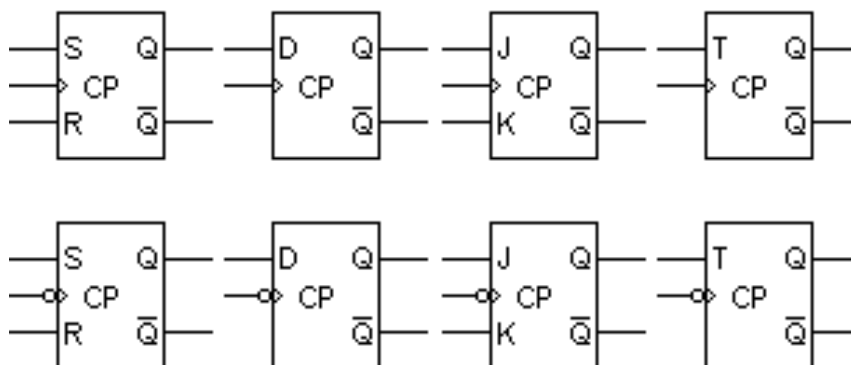
Οι δύο μεταβάσεις των παλμών του ρολογιού φαίνονται στο Σχήμα 13.



Σχήμα 13. Μεταβάσεις των παλμών του ρολογιού

Οι εισοδοί του flip-flop προετοιμάζουν την αλλαγή της κατάστασής του, η οποία πραγματοποιείται με την θετική ή την αρνητική ακμή του παλμού του ρολογιού.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζονται τα γραφικά σύμβολα των flip-flop. Το τριγωνάκι στην είσοδο του ρολογιού δείχνει ότι τα flip-flop διεγείρονται με την θετική ακμή του παλμού του ρολογιού ενώ ο κύκλος πριν το τριγωνάκι δείχνει ότι τα flip-flop διεγείρονται με την αρνητική ακμή του παλμού του ρολογιού.



Σχήμα 14. Γραφικά σύμβολα των flip-flop

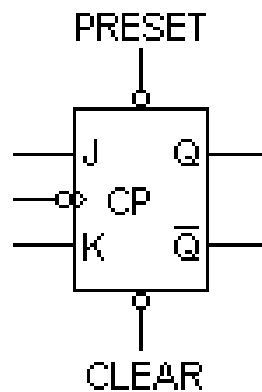
➤ **ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΙΣΟΔΟΙ**

Οι είσοδοι S, R, J, K, D και T των flip-flop που αναλύθηκαν προηγουμένως ονομάζονται σύγχρονες είσοδοι, γιατί η επίδρασή τους στις εξόδους των flip-flop συγχρονίζεται με την είσοδο CP του παλμού του ρολογιού.

Πολλά ολοκληρωμένα κυκλώματα flip-flop διαθέτουν δύο επιπλέον εισόδους που ονομάζονται ασύγχρονες είσοδοι γιατί η επίδρασή τους στις εξόδους των flip-flop δεν εξαρτάται από τους παλμούς του ρολογιού.

Οι ασύγχρονες είσοδοι καθορίζουν την κατάσταση του flip-flop ανεξάρτητα από τις τιμές των σύγχρονων εισόδων του και χρησιμοποιούνται συνήθως για να τεθούν τα flip-flop σε μία ορισμένη αρχική κατάσταση (θέση ή μηδενισμός) πριν αρχίσει η λειτουργία τους με το ρολόι. Οι ασύγχρονες είσοδοι είναι: α) η προτοποθέτηση (PRESET) που χρησιμοποιείται για να τίθεται το flip-flop σε κατάσταση θέσης ($Q=1$) και β) ο μηδενισμός (CLEAR) που χρησιμοποιείται για να τίθεται το flip-flop σε κατάσταση μηδενισμού ($Q=0$).

Για παράδειγμα, στο Σχήμα 15 φαίνεται το γραφικό σύμβολο του J-K flip-flop με ασύγχρονες εισόδους.



Σχήμα 15. Γραφικό σύμβολο του J-K flip-flop με ασύγχρονες εισόδους.

Η λειτουργία του J-K flip-flop με ασύγχρονες εισόδους περιγράφεται παρακάτω:

- 1) Όταν $\text{PRESET}=1$ και $\text{CLEAR}=1$ τότε οι ασύγχρονες εισόδους είναι απενεργοποιημένες (τα κυκλάκια στις ασύγχρονες εισόδους σημαίνουν ότι αυτές ενεργοποιούνται με λογική κατάσταση μηδέν) και οι έξοδοι του flip-flop ανταποκρίνονται στις σύγχρονες εισόδους J και K καθώς και στους παλμούς του ρολογιού CP δηλαδή πραγματοποιείται η λειτουργία χρονισμού.
 - 2) Όταν $\text{PRESET}=0$ και $\text{CLEAR}=1$ τότε το flip-flop τίθεται σε κατάσταση θέσης ($Q=1$).
 - 3) Όταν $\text{PRESET}=1$ και $\text{CLEAR}=0$ τότε το flip-flop τίθεται σε κατάσταση μηδενισμού ($Q=0$).
 - 4) Δεν πρέπει να είναι ταυτόχρονα $\text{PRESET}=0$ και $\text{CLEAR}=0$.
- Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται συνοπτικά η λειτουργία του J-K flip-flop με ασύγχρονες εισόδους.

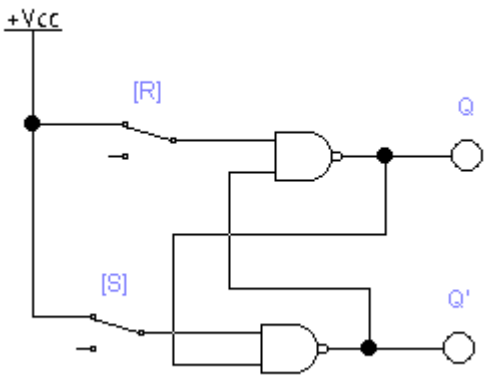
Πίνακας 7. Λειτουργία J-K flip-flop με ασύγχρονες εισόδους

PRESET	CLEAR	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ FLIP-FLOP
0	0	Μη χρησιμοποιούμενη
0	1	Θέση ($Q=1$)
1	0	Μηδενισμός ($Q=0$)
1	1	Λειτουργία χρονισμού

9.3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

9.3.1.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών S,R επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του μανδαλωτή S-R.

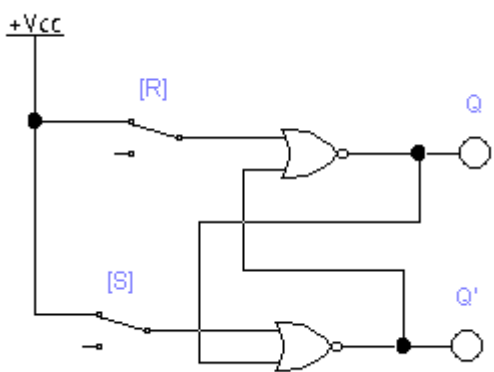


Μανδαλωτής S-R με πύλες NAND

S	R	Q	Q ⁺
0	0	0	$Q=Q'$
0	0	1	$Q=Q'$
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

9.3.2.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών S,R επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του μανδαλωτή S-R.

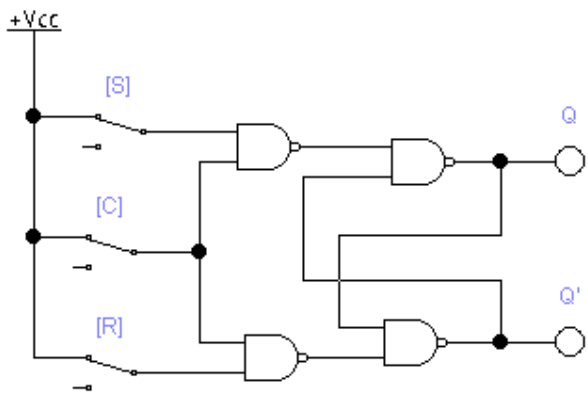


Μανδαλωτής S-R με πύλες NOR

S	R	Q	Q ⁺
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	$Q=Q'$
1	1	1	$Q=Q'$

9.3.3.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών S,R,C επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του Flip-Flop τύπου S-R.

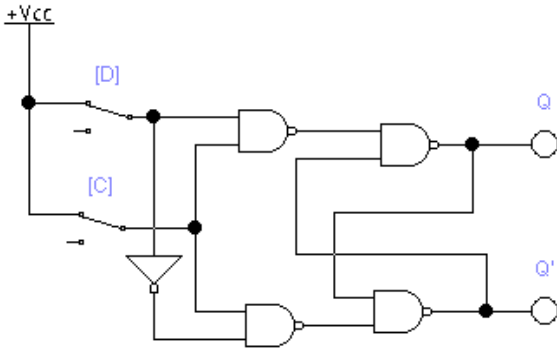


Flip-Flop τύπου S-R

C	S	R	Q	Q ⁺
0	X	X	0	0
0	X	X	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	1	0	Q=Q'
1	1	1	1	Q=Q'

9.3.4.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών D,C επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του Flip-Flop τύπου D.



Flip-Flop τύπου D

C	D	Q	Q ⁺
0	X	0	0
0	X	1	1
1	0	0	0
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

9.3.5.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του Flip-Flop τύπου J-K.

Flip-Flop τύπου J-K

S	R	C	J	K	Q	Q ⁺
0	1	X	X	X	X	1
1	0	X	X	X	X	0
0	0	X	X	X	X	Q=Q'
1	1	↓	0	0	0	0
1	1	↓	0	0	1	1
1	1	↓	0	1	0	0
1	1	↓	0	1	1	0
1	1	↓	1	0	0	1
1	1	↓	1	0	1	1
1	1	↓	1	1	0	1
1	1	↓	1	1	1	0

9.3.6.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του Flip-Flop τύπου T.

Flip-Flop τύπου T

S	R	C	T	Q	Q ⁺
0	1	X	X	X	1
1	0	X	X	X	0
0	0	X	X	X	Q=Q'
1	1	↓	0	0	0
1	1	↓	0	1	1
1	1	↓	1	0	1
1	1	↓	1	1	0

9.3.7.

Πραγματοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος και με τη βοήθεια των διακοπών επαληθεύστε τον παρακάτω χαρακτηριστικό πίνακα του Flip-Flop τύπου D.

Flip-Flop τύπου D

S	R	C	D	Q	Q ⁺
0	1	X	X	X	1
1	0	X	X	X	0
0	0	X	X	X	Q=Q'
1	1	↓	0	0	0
1	1	↓	0	1	0
1	1	↓	1	0	1
1	1	↓	1	1	1

9.4 ΓΡΑΠΤΗ ΑΣΚΗΣΗ

9.4.1.

Χρησιμοποιώντας τους χαρακτηριστικούς πίνακες να βρεθεί για κάθε Flip-Flop η χαρακτηριστική εξίσωση και ο πίνακας διέγερσης.

9.4.2.

Να δοθεί το απαιτούμενο κύκλωμα για τη μετατροπή ενός Flip-Flop τύπου D σε T, ενός T σε D, ενός D σε J-K και ενός T σε J-K.

9.4.3.

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι κυματομορφές εισόδων ενός J-K flip-flop που διεγείρεται με την αρνητική ακμή του παλμού του ρολογιού και διαθέτει επίσης δύο ασύγχρονες εισόδους (Preset και Clear). Να σχεδιαστεί η κυματομορφή εξόδου του J-K flip-flop έχοντας σαν δεδομένο ότι $Q=1$ τη χρονική στιγμή $t_0=0$.

