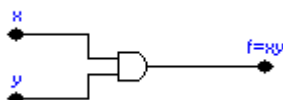


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΦΛΙΠ – ΦΛΟΠ

#### 9.1 Εισαγωγή

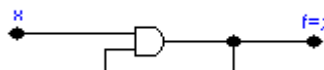
Μέχρι τώρα εξετάσαμε μια κατηγορία ψηφιακών κυκλωμάτων, τα συνδυαστικά κυκλώματα. Βασικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι η έξοδός τους κάθε χρονική στιγμή είναι μια λογική συνάρτηση της εισόδου τους και μόνο αυτής. Ας θεωρήσουμε το απλούστατο λογικό κύκλωμα μιας πύλης AND όπως φαίνεται στο σχήμα 9.1.



Σχήμα 9.1 Πύλη AND

Πράγματι, για δεδομένες τιμές της εισόδου θα πάρουμε πολύ σύντομα (σε χρόνο που αντιστοιχεί στο χρόνο καθυστέρησης της πύλης) στην έξοδο την τιμή της συνάρτησης  $f$  για τη συγκεκριμένη είσοδο.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι μετατρέπουμε το προηγούμενο κύκλωμα του σχήματος 9.1 στο εξής νέο του σχήματος 9.2.



Σχήμα 9.2

Αυτό που κάναμε στο προηγούμενο κύκλωμα ήταν ότι προσθέσαμε ένα δρόμο ανάδρασης στη συνιστώσα  $y$  της εισόδου. Δηλαδή, ένα δρόμο που συνεπάγεται ότι η τιμή της εξόδου  $f$  δρα αναδρομικά για τον υπολογισμό της νέας τιμής της. Έτσι αν υποθέσουμε ότι μια χρονική στιγμή  $t$  η έξοδος του κυκλώματος έχει τιμή  $f(t)$ , την επόμενη στιγμή  $t+1$  (όπου η μοναδιαία χρονική καθυστέρηση αντιστοιχεί στο χρόνο καθυστέρησης του κυκλώματος) η συνάρτηση θα είναι αυτή της σχέσης 9.1.

$$f(t+1) = xf(t) \quad (9.1)$$

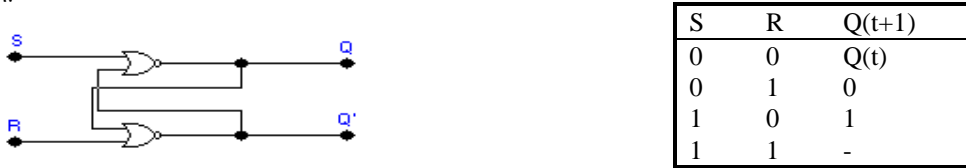
Με άλλα λόγια με το παραπάνω κύκλωμα πετύχαμε το ότι η έξοδος δεν είναι συνάρτηση μόνο της εισόδου αλλά και της εξόδου της προηγούμενης χρονικής στιγμής. Δηλαδή, πετύχαμε μια εξάρτηση από το χρόνο της εξόδου του κυκλώματος. Είναι φανερό ότι το κύκλωμα μπορούσε να είναι τέτοιο, ώστε να κρατάει την ίδια έξοδο για απεριόριστο χρονικό διάστημα (όσο το τροφοδοτούμε με ισχύ), μέχρι κάποιο σήμα εισόδου να το κάνει να αλλάξει κατάσταση.

Στη συνέχεια του κεφαλαίου θα περιγράψουμε μια κατηγορία τέτοιων "κυττάρων αποθήκευσης δυαδικής πληροφορίας", που λέγονται φλιπ - φλοπ (Flip-Flop) και τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα σε όλα τα ψηφιακά συστήματα με μνήμη.

#### 9.2 Βασικό φλιπ – φλοπ.

Το βασικό λογικό κύκλωμα ενός φλιπ - φλοπ αποτελείται από δύο πύλες NOR (ή ισοδύναμα NAND) που η έξοδος καθεμιάς είναι μια είσοδος της άλλης. Οι εξωτερικές εισοδοί των πυλών είναι η είσοδος θέσεως  $S$  (set) και η είσοδος επαναφοράς  $R$  (reset). Οι έξοδοι των δύο πυλών είναι συμπληρωματικές και συμβολίζονται συνήθως με  $Q$  και  $Q'$ . Η έξοδος  $Q$  ονομάζεται και κατάσταση του φλιπ - φλοπ. Το φλιπ - φλοπ αυτό χαρακτηρίζεται ως βασικό, γιατί αποτελεί τη βάση όλων των υπολοίπων φλιπ - φλοπ που θα αναλυθούν στις επόμενες παραγράφους.

Το λογικό κύκλωμα του βασικού φλιπ - φλοπ με πύλες NOR και ο πίνακας αληθείας του φαίνονται στο σχήμα 9.3.



Σχήμα 9.3

Όταν η είσοδος του φλιπ - φλοπ είναι  $S = 1$  και  $R = 1$ , η τιμή  $Q(t+1)$  είναι ακαθόριστη, γιατί έχουμε ταύτιση των συνιστωσών εξόδου  $Q$  και  $Q'$ , οπότε η συγκεκριμένη είσοδος δεν επιτρέπεται. Παρατηρούμε ότι το βασικό φλιπ - φλοπ λειτουργεί σαν κύτταρο μνήμης, όταν  $R = 0$  και  $S = 0$ . Πράγματι, στην περίπτωση αυτή έχουμε:

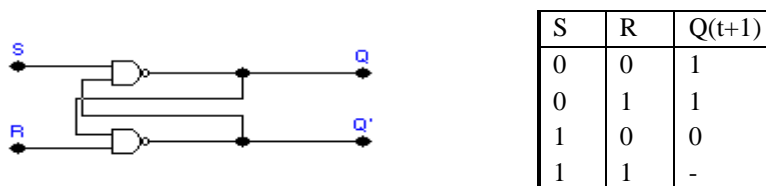
$$Q(t+1) = \text{NOR}(R, Q'(t)) = \text{NOR}(0, Q'(t)) = \text{NOR}(Q'(t)) = Q(t)$$

Και

$$Q'(t+1) = \text{NOR}(S, Q(t)) = \text{NOR}(0, Q(t)) = \text{NOR}(Q(t)) = Q'(t)$$

Με όμοιο τρόπο μπορεί να δείχτεί ότι, όταν η είσοδος είναι  $R = 1$  και  $S = 0$ , έχουμε επαναφορά της κατάστασης του φλιπ - φλοπ στη στάθμη 0, ενώ, όταν είναι  $R = 0$  και  $S = 1$ , έχουμε θέση αυτής στη στάθμη 1.

Το λογικό κύκλωμα του βασικού φλιπ - φλοπ με πύλες NAND και ο πίνακας αληθείας του φαίνονται στο σχήμα 9.4.

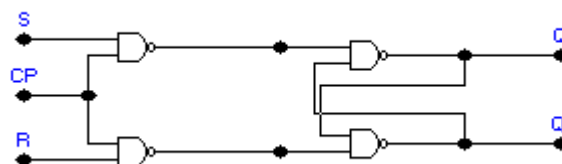


Σχήμα 9.4

### 9.3 RS φλιπ – φλοπ

Συνήθως επιθυμούμε η διέγερση του φλιπ - φλοπ να μη γίνεται οποιαδήποτε στιγμή εφαρμόζεται ένας παλμός στον ακροδέκτη  $R$  ή στον ακροδέκτη  $S$  της εισόδου, αλλά σε μια ορισμένη χρονική στιγμή που καθορίζεται από έναν ωρολογιακό παλμό CP (clock pulse).

Για να πετύχουμε κάτι τέτοιο, μεταβάλλουμε το κύκλωμα του βασικού φλιπ - φλοπ και παίρνουμε έτσι το συγχρονιζόμενο φλιπ - φλοπ που έχει έναν επιπλέον ακροδέκτη εισόδου για τον ωρολογιακό παλμό. Σ' αυτό το φλιπ - φλοπ, που λέγεται και D.C. συζευγμένο (D.C. coupled), συνδέονται δύο πύλες NAND (ή NOR) στους ακροδέκτες της εισόδου έτσι, ώστε ο παλμός του ρολογιού να είναι αυτός που επιτρέπει με μια λογική πράξη τους εξωτερικούς ακροδέκτες εισόδου να περνούν τις τιμές τους στο εσωτερικό του φλιπ - φλοπ. Ένα λογικό κύκλωμα με πύλες NAND ενός τέτοιου RS φαίνεται στο σχήμα 9.5.



Σχήμα 9.5

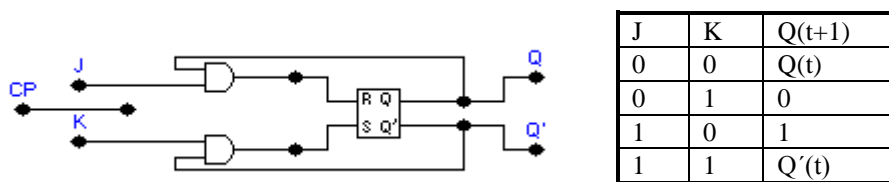
Με την παραπάνω τροποποίηση του βασικού φλιπ - φλοπ επιτυγχάνουμε η διέγερση του φλιπ - φλοπ να γίνεται μόνο κατά τη διάρκεια του παλμού CP και όχι οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

Γενικά τα συγχρονιζόμενα φλιπ - φλοπ χρησιμοποιούνται όπου ο συγχρονισμός του κυκλώματος παίζει πρωταρχικό ρόλο στη λειτουργία του, όπως για παράδειγμα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

Ξεκινώντας από το RS φλιπ - φλοπ μπορούμε να εξετάσουμε τρία άλλα είδη φλιπ - φλοπ που λειτουργούν παρόμοια με τα RS:

#### 9.4 Άλλα είδη φλιπ - φλοπ

α) JK φλιπ - φλοπ : Πρόκειται ουσιαστικά για μια εξελιγμένη μορφή του RS φλιπ - φλοπ, αφού η μόνη του διαφορά από το τελευταίο είναι ότι δέχεται επιπλέον και την είσοδο  $R = 1, S = 1$  (που ήταν απαγορευμένη στο RS ,εξαιτίας της απροσδιοριστίας που συνεπαγόταν για την έξοδο Q), η οποία οδηγεί το φλιπ - φλοπ σε κατάσταση συμπληρωματική της προηγούμενης.Μπορούμε να φανταστούμε το JK φλιπ - φλοπ σαν ένα κύκλωμα με ένα συνδυαστικό μέρος και ένα RS φλιπ - φλοπ. Το λογικό κύκλωμα και ο πίνακας αληθείας ενός JK φλιπ - φλοπ είναι ως εξής:



Σχήμα 9.6

Παρατηρούμε ότι η είσοδος του RS φλιπ - φλοπ συναρτηθεί της εισόδου του JK φλιπ - φλοπ δίνεται από τις εξισώσεις:

$$S = JQ'$$

$$R = KQ$$

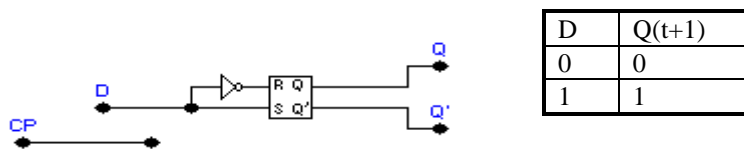
Δεδομένου ότι ποτέ δεν είναι  $Q = Q'$ , ποτέ δεν είναι δυνατό να συμβεί ταυτόχρονη ταύτιση των S και R με τη λογική τιμή 1, πράγμα που εξασφαλίζει την ομαλή λειτουργία του εσωτερικού RS φλιπ - φλοπ και συνεπώς και την ομαλή λειτουργία του JK φλιπ - φλοπ.

Οι τρεις πρώτες γραμμές του πίνακα αληθείας του JK φλιπ - φλοπ είναι ίδιες με τις αντίστοιχες του JK φλιπ - φλοπ. Για να αποδείξουμε την ορθότητα της τέταρτης γραμμής του πίνακα αληθείας του JK φλιπ - φλοπ,χρησιμοποιούμε τις παραπάνω εξισώσεις με είσοδο  $J = K = 1$  :

$$S = Q'$$

$$R = Q$$

Έίναι τώρα φανερό ότι αν  $Q(t) = 0$ , θα είναι  $S = 1$  και  $R = 0$ , οπότε  $Q(t+1) = 1 = Q'(t)$ . Ανάλογα ,αν  $Q(t) = 1$ , θα είναι  $S = 0$  και  $R = 1$ , οπότε  $Q(t+1) = 0 = Q'(t)$ .



Σχήμα 9.7

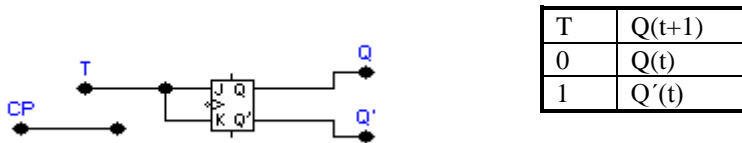
β) D φλιπ - φλοπ : Το D φλιπ - φλοπ παίρνει το όνομά του από τη δυνατότητά του να κρατά δεδομένα. Έχει έναν ακροδέκτη εισόδου D και έναν για το CP και η λειτουργία του είναι η μεταφορά της τιμής της εισόδου στην έξοδο. Παρατηρώντας τον πίνακα αληθείας του RS φλιπ - φλοπ, βλέπουμε ότι η δεύτερη και η τρίτη γραμμή εξυπηρετούν τη λειτουργία του D φλιπ - φλοπ, με την έννοια ότι η συνιστώσα S της εισόδου μεταφέρεται στην έξοδο Q.Επομένως το D φλιπ - φλοπ μπορεί να υλοποιηθεί με ένα RS φλιπ - φλοπ με το ακροδέκτη R της εισόδου του συνδεδεμένο με τον S μέσω ενός

αντιστροφέα έτσι, ώστε το νέο φλιπ - φλοπ να λειτουργεί στη δεύτερη και την τρίτη γραμμή του πίνακα αληθείας του RS φλιπ – φλοπ, όπως φαίνεται στο σχήμα 9.7.

Είναι φανερό ότι θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε JK φλιπ - φλοπ αντί για RS.

Το D φλιπ - φλοπ είναι μια διάταξη καθυστέρησης, δηλαδή καθυστερεί τη μεταφορά ενός bit πληροφορίας κατά έναν ωρολογιακό παλμό.

γ) T φλιπ - φλοπ : Η ονομασία του T φλιπ - φλοπ προέρχεται από τη δυνατότητα του συγκεκριμένου φλιπ - φλοπ να “αναστρέφει” (toggle) την κατάσταση. Και το T φλιπ - φλοπ έχει έναν ακροδέκτη εισόδου T και έναν για το CP και αντιστρέφει την κατάστασή του, όταν η είσοδος του γίνει  $T = 1$ , ενώ διατηρεί την προηγούμενη κατάστασή του, όταν η είσοδος γίνει  $T = 0$ . Είναι εύκολο να διαπιστώσει κανείς ότι κάτι τέτοιο γίνεται με ένα JK φλιπ - φλοπ που έχει βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες της εισόδου του, όπως στο σχήμα 9.8.



Σχήμα 9.8

Το T φλιπ - φλοπ, όπως βλέπουμε, λειτουργεί σαν διακόπτης δύο θέσεων.

### 9.5 Πυροδότηση και ακμοπυροδότηση φλιπ – φλοπ

Πυροδότηση φλιπ - φλοπ : Η κατάσταση των φλιπ - φλοπ αλλάζει με στιγμιαία αλλαγή ενός σήματος εισόδου (παλμός). Αυτή η στιγμιαία αλλαγή λέγεται “πυροδότηση” (“triggering”). Οι παλμοί του ρολογιού μπορεί να είναι θετικοί ή αρνητικοί. Μια πηγή θετικών παλμών ρολογιού μένει στο 0 κατά το διάστημα μεταξύ παλμών και πηγαίνει στο 1 κατά τη διάρκεια του παλμού.

Τα φλιπ - φλοπ με ρολόι που είδαμε πυροδοτούνται με την θετική ακμή του παλμού και η μεταβολή της κατάστασής τους αρχίζει, μόλις ο παλμός φτάσει στο λογικό επίπεδο 1. Η νέα κατάσταση του φλιπ - φλοπ μπορεί να εμφανιστεί στις εισόδους, ενώ ο παλμός του ρολογιού είναι ακόμη 1. Εάν οι εισοδοί του φλιπ - φλοπ αλλάζουν, ενώ το ρολόι είναι ακόμη 1, το φλιπ - φλοπ θα αρχίσει να αντιδρά σε αυτές τις νέες τιμές και μια νέα κατάσταση μπορεί να προκύψει. Εάν όμως μπορούμε να κάνουμε το φλιπ - φλοπ να αντιδρά μόνο στην θετική ή στην αρνητική ακμή του παλμού αντί καθ’ όλη την διάρκειά του, θα μπορούσαμε να αποφύγουμε το πρόβλημα των πολλαπλών αλλαγών κατάστασης.

Ένας τρόπος να κάνουμε το φλιπ - φλοπ να αντιδρά μόνο στις ακμές των παλμών είναι να βάλουμε ένα κύκλωμα RC στην είσοδο του ρολογιού, το οποίο θα δημιουργεί ένα σπινθήρα, όταν αλλάζει το σήμα εισόδου έτσι, ώστε με την θετική ακμή του παλμού να δίνει θετικό σπινθήρα, ενώ με την αρνητική αρνητικό σπινθήρα.

Ακμοπυροδότηση φλιπ - φλοπ : Ένας άλλος τρόπος που συγχρονίζει τις αλλαγές κατάστασης με την ακμή του ωρολογιακού παλμού είναι το ακμοπυροδότητο φλιπ - φλοπ (edge-triggered F/F). Σε αυτόν τον τύπο φλιπ - φλοπ οι μεταβολές των εξόδων συμβαίνουν σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο του ωρολογιακού παλμού. Όταν ο παλμός ξεπεράσει αυτό το επίπεδο κατωφλίου, οι εισοδοί απομονώνονται και το φλιπ - φλοπ δεν αντιδρά πια σε άλλες αλλαγές των εισόδων, παρά μόνο αφού το ρολόι ξαναγυρίσει στο 0 και έρθει ένας νέος παλμός. Μερικά ακμοπυροδότητα φλιπ - φλοπ αλλάζουν κατάσταση στην θετική ακμή του ωρολογιακού παλμού, ενώ άλλα στην αρνητική.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζεται ένας ακόμη τρόπος επίλυσης του προβλήματος που εξετάστηκε στην παρούσα παράγραφο.

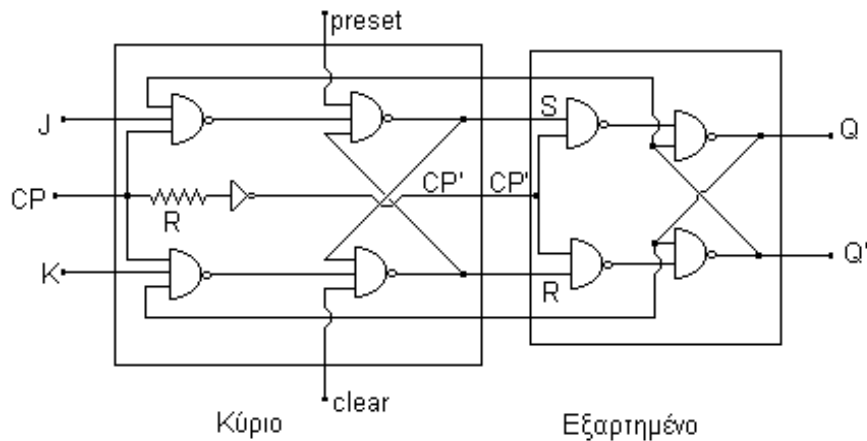
## 9.6 Κύριο – Εξαρτημένο φλιπ – φλοπ

Στα κυκλώματα των φλιπ - φλοπ που εξετάσαμε μέχρι τώρα είναι δυνατό να παρουσιαστεί το πιο κάτω πρόβλημα :

Υποθέτουμε ότι έχουμε ένα JK φλιπ - φλοπ, όπως το σχεδιάσαμε πιο πριν, στο οποίο εφαρμόζεται ένας ωρολογιακός παλμός. Αν ο ωρολογιακός παλμός έχει διάρκεια τέτοια, ώστε, πριν αυτός περατωθεί, να έχει πάρει τη νέα τιμή της η έξοδος του φλιπ - φλοπ, είναι δυνατό λόγω του δρόμου ανάδρασης να μεταβληθεί η είσοδος του φλιπ - φλοπ και να οδηγηθούμε σε απρόβλεπτες καταστάσεις. Σε πολλές μάλιστα περιπτώσεις, π.χ. σε ολοκληρωμένα κυκλώματα όπου ο χρόνος καθυστέρησης της διάδοσης από την είσοδο στην έξοδο του φλιπ - φλοπ είναι πολύ μικρός σε σύγκριση με τη διάρκεια του παλμού του ρολογιού, είναι δυνατό κατά τη διάρκεια του παλμού να έχουμε ταλαντώσεις της εξόδου μεταξύ των τιμών 0 και 1. Η κατάσταση αυτή λέγεται κατάσταση ανακυκλώσεως.

Μια λύση για το παραπάνω πρόβλημα είναι η χρήση του κύριου-εξαρτημένου (master-slave) φλιπ - φλοπ, το οποίο στην ουσία είναι μια διάταξη δύο διαδοχικά συνδεδεμένων φλιπ - φλοπ έτσι, ώστε το δεύτερο, που δίνει την έξοδο, να είναι απομονωμένο από την είσοδο μέσω του πρώτου και να μη μπορεί να αλλάξει κατάσταση παρά μόνο με το πέρας του ωρολογιακού παλμού. Επομένως έχουμε μια “εξάρτηση” του δεύτερου φλιπ - φλοπ από το πρώτο.

Για παράδειγμα ένα κύριο-εξαρτημένο JK φλιπ - φλοπ επιτυγχάνεται με το πιο κάτω λογικό κύκλωμα (Σχήμα 9.9):



Σχήμα 9.9

Ο τρόπος λειτουργίας του είναι ο εξής :

Έστω ότι εφαρμόζεται είσοδος  $J = 1$ ,  $K = 0$  και ότι η παρούσα κατάσταση του φλιπ - φλοπ είναι  $Q = 0$ . Εφαρμόζουμε έναν ωρολογιακό παλμό στον ακροδέκτη CP. Μόλις γίνει  $CP = 1$ , θα γίνει  $CP' = 0$ , οπότε το εξαρτημένο φλιπ - φλοπ απομονώνεται από το κύριο. Παράλληλα το κύριο φλιπ - φλοπ διεγείρεται από την είσοδο και περνάει το αποτέλεσμά του στους ακροδέκτες εισόδου του εξαρτημένου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση έχουμε  $S = 1$  και  $R = 0$ . Με το πέρας του ωρολογιακού παλμού έχουμε  $CP = 0$ , άρα  $CP' = 1$ , οπότε περνάει το αποτέλεσμα του κυρίου στο εξαρτημένο φλιπ - φλοπ, το οποίο δίνει την τελική έξοδο. Εδώ έχουμε  $Q = 1$ .

Κάνουμε τις πιο κάτω παρατηρήσεις :

i) Οι δρόμοι ανάδρασης που επιστρέφουν το αποτέλεσμα στην είσοδο του φλιπ - φλοπ και οι οποίοι ορίζουν το JK φλιπ - φλοπ περνάνε με τον τρόπο αυτό από το εξαρτημένο στο κύριο φλιπ - φλοπ. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η κατάσταση ανακυκλώσεως, γιατί ποτέ δεν λειτουργούν ταυτόχρονα τα δύο μέρη του φλιπ - φλοπ κατά τη διάρκεια του ωρολογιακού παλμού, με αποτέλεσμα η νέα έξοδος του φλιπ - φλοπ να μη μπορεί να επηρεάσει την είσοδό του πριν το πέρας του παλμού.

ii) Με το τέλος της όλης διαδικασίας τα δύο μέρη του φλιπ - φλοπ έχουν ίδια έξοδο. Το εξαρτημένο φλιπ - φλοπ απλώς μεταφέρει τα αποτελέσματα του κυρίου στην έξοδο, μόλις αυτό απομονωθεί από την είσοδο.

iii) Η αντίσταση R που παρεμβάλλεται πριν τον αντιστροφέα του ωρολογιακού παλμού είναι αποφασιστικής σημασίας για τον εξής λόγο : όταν η είσοδος CP έχει τιμή 0, λόγω της R η είσοδος του αντιστροφέα είναι λίγο πιο πάνω από το 0. Όταν εφαρμοστεί ο παλμός, η απόκριση του αντιστροφέα θα είναι ταχύτερη από την απόκριση των πρώτων πυλών NAND και το εξαρτημένο φλιπ - φλοπ θα απομονωθεί πριν αρχίσει να λειτουργεί το κύριο. Με το τέλος του παλμού, αντίθετα , θα αποκριθούν πρώτα οι πύλες NAND, οπότε το κύριο φλιπ - φλοπ θα απομονωθεί από την είσοδο πριν αρχίσει να λειτουργεί το εξαρτημένο.

iv) Μπορούμε σε ένα συγχρονιζόμενο φλιπ - φλοπ να προσθέσουμε δύο ακροδέκτες στην είσοδό του που να μην ακολουθούν τον ωρολογιακό παλμό, αλλά να διεγείρουν το φλιπ - φλοπ ασύγχρονα, οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αυτοί χρησιμεύουν για την απόδοση αρχικής κατάστασης στο φλιπ - φλοπ και είναι ο ακροδέκτης πρόθεσης (preset) και ο ακροδέκτης εκκαθάρισης (clear). Έτσι στο συγκεκριμένο κύριο-εξαρτημένο φλιπ - φλοπ με πύλες NAND με  $\text{preset} = 0$  και  $\text{clear} = 1$  δίνουμε αρχική κατάσταση

$Q = 1$ , ενώ με  $\text{preset} = 1$  και  $\text{clear} = 0$  δίνουμε αρχική κατάσταση  $Q = 0$ . Για κανονική λειτουργία του φλιπ - φλοπ πρέπει να έχουμε  $\text{preset} = \text{clear} = 1$ .