Σχεδίαση Σύγχρονων Ακολουθιακών Κυκλωμάτων

Πίνακες Διέγερσης των FF

Όπως είδαμε κατά τη μελέτη των FF, οι χαρακτηριστικοί πίνακες δίνουν την τιμή της επόμενης κατάστασης κάθε FF ως συνάρτηση της παρούσας κατάστασης και για κάθε συνδυασμό τιμών των εισόδων των FF. Οι χαρακτηριστικοί πίνακες είναι χρήσιμοι για τον προσδιορισμό της λειτουργίας των FF και για την ανάλυση των ακολουθιακών κυκλωμάτων. Όμως κατά τη σχεδίαση των ακολουθιακών κυκλωμάτων συνήθως γνωρίζουμε τις επιθυμητές μεταβάσεις, δηλαδή την παρούσα κατάσταση και την επόμενη κατάσταση που επιθυμούμε να μεταβεί το σύστημά μας και πρέπει να προσδιορίσουμε τις καταστάσεις (τιμές) των εισόδων των FF που θα προκαλέσουν τις συγκεκριμένες επιθυμητές μεταβάσεις. Επομένως χρειαζόμαστε πίνακες που θα μας δίνουν τις απαιτούμενες τιμές των εισόδων των FF για όλες τις δυνατές αλλαγές κατάστασης (τιμές των εξόδων) των FF. Οι πίνακες αυτοί ονομάζονται Πίνακες Διέγερσης των FF. Οι πίνακες διέγερσης έχουν ως ανεξάρτητες μεταβλητές την παρούσα κατάσταση, Q , και επόμενη κατάσταση, Q^+, του FF και ως εξαρτημένες μεταβλητές τις εισόδους του FF. Με τον τρόπο αυτό φαίνεται ποιος συνδυασμός τιμών των εισόδων (ή ποια τιμή εισόδου) απαιτείται προκειμένου να πραγματοποιηθεί η επιθυμητή μετάβαση. Οι πίνακες διέγερσης προκύπτουν από την πληροφορία που περιέχεται στους αντίστοιχους χαρακτηριστικούς πίνακες. Η τιμή X στις εισόδους των FF παριστάνει συνθήκη αδιαφορίας, δηλαδή στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν έχει καμιά σημασία αν η συγκεκριμένη είσοδος έχει τιμή 0 ή 1. Έτσι, για παράδειγμα, για το JK FF ο πίνακας διέγερσης προκύπτει ως ακολούθως:

Όταν τόσο η παρούσα όσο και η επιθυμητή επόμενη κατάσταση είναι 0, η είσοδος J πρέπει να παραμείνει στο 0, ενώ η είσοδος K μπορεί να είναι είτε 0 είτε 1. Και αυτό επειδή, από τον χαρακτηριστικό πίνακα του JK FF, βλέπουμε ότι η επόμενη κατάσταση θα παραμείνει στο 0 (Q^+=Q=0) για J=K=0, αλλά και η συνθήκη J=0, K=1 οδηγεί την έξοδο στην κατάσταση Q^+=0 (Reset). Άρα ο απαιτούμενος συνδυασμός τιμών των εισόδων είναι J=0, K=X.

Όταν η παρούσα κατάσταση είναι 0 και η επιθυμητή επόμενη κατάσταση είναι 1, η είσοδος J πρέπει να γίνει 1, ενώ η είσοδος K μπορεί να είναι είτε 0 είτε 1. Και αυτό επειδή, από τον χαρακτηριστικό πίνακα του JK FF, βλέπουμε ότι για να γίνει η μετάβαση στην κατάσταση 1 (Set) απαιτείται ο συνδυασμός J=1, K=0, αλλά και η συνθήκη J=1, K=1 οδηγεί την έξοδο στην κατάσταση Q^+=Q'=1 (αντιστροφή προηγούμενης κατάστασης). Άρα ο απαιτούμενος συνδυασμός τιμών των εισόδων είναι J=1, K=X.

Όταν η παρούσα κατάσταση είναι 1 και η επιθυμητή επόμενη κατάσταση είναι 0, η είσοδος K πρέπει να γίνει 1, ενώ η είσοδος J μπορεί να είναι είτε 0 είτε 1. Και αυτό επειδή, από τον χαρακτηριστικό πίνακα του JK FF, βλέπουμε ότι για να γίνει η μετάβαση στην κατάσταση 0 (Reset) απαιτείται ο συνδυασμός J=0, K=1, αλλά και η συνθήκη J=1, K=1 οδηγεί την έξοδο στην κατάσταση Q^+=Q'=0 (αντιστροφή προηγούμενης κατάστασης). Άρα ο απαιτούμενος συνδυασμός τιμών των εισόδων είναι J=X, K=1.

Όταν τόσο η παρούσα όσο και η επιθυμητή επόμενη κατάσταση είναι 1, η είσοδος K πρέπει να παραμείνει στο 0, ενώ η είσοδος J μπορεί να είναι είτε 0 είτε 1. Και αυτό επειδή, από τον χαρακτηριστικό πίνακα του JK FF, βλέπουμε ότι η επόμενη κατάσταση θα παραμείνει στο 1

(Q^+=Q=1) για J=K=0, αλλά και η συνθήκη J=1, K=0 οδηγεί την έξοδο στην κατάσταση Q^+=1 (Set). Άρα ο απαιτούμενος συνδυασμός τιμών των εισόδων είναι J=X, K=0.

Με αυτή τη διαδικασία προσδιορίζονται οι πίνακες διέγερσης όλων των τύπων FF. Συγκεντρωτικά οι χαρακτηριστικοί πίνακες και οι πίνακες διέγερσης των FF φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Χαρακτηριστικοί Πίνακες των FF

S	R	Q^+
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	απροσδιόριστη

RS FF

D	Q^+
0	0
1	1

D FF

J	K	Q^+
0	0	Q
0	1	0
1	0	1
1	1	Q’

JK FF

T	Q^+
0	Q
1	Q’

T FF

Πίνακες Διέγερσης των FF

Q	Q^+	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

RS FF

Q	Q^+	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

D FF

Q	Q^+	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

JK FF

Q	Q^+	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

T FF

Σχεδίαση σύγχρονων απαριθμητών (μετρητών)

Όπως είδαμε, οι ασύγχρονοι απαριθμητές (μετρητές) κατασκευάζονται από FF, τα οποία έχουν χρονισμό με ακμοπυροδότηση, όμως το κάθε FF έχει διαφορετικό χρονισμό. Πιο συγκεκριμένα, το κάθε FF δέχεται ως σήμα στην είσοδο του ρολογιού του την έξοδο Q από το προηγούμενό του FF, εκτός από το πρώτο FF που δέχεται σήμα από εξωτερικό ρολόι (Clk). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εισάγονται χρονικές καθυστερήσεις στη διάδοση των παλμών από το ένα FF στο επόμενο, δημιουργώντας προβλήματα κατά τη λειτουργία τους σε υψηλές συχνότητες. Επιπλέον, ο τύπος ακμοπυροδότησης των FF καθορίζει τη φορά απαρίθμησης, αφού με αλλαγή από αρνητική σε θετική ακμοπυροδότηση ένας ασύγχρονος μετρητής αύξουσας μέτρησης, μετατρέπεται σε μετρητή φθίνουσας μέτρησης.

Οι σύγχρονοι απαριθμητές (μετρητές) κατασκευάζονται από FF, τα οποία έχουν κοινό χρονισμό με ακμοπυροδότηση, δηλαδή όλα τα FF δέχονται ταυτόχρονα το ίδιο σήμα από το εξωτερικό ρολόι. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην έχουμε χρονικές καθυστερήσεις διάδοσης των παλμών πυροδότησης από το ένα FF στο επόμενο, όπως συμβαίνει στους ασύγχρονους μετρητές. Επιπλέον, η συμπεριφορά ενός σύγχρονου μετρητή δεν αλλάζει αν αλλάξουμε τον τύπο ακμοπυροδότησης.

Για τη σχεδίαση ενός σύγχρονου απαριθμητή, αλλά γενικότερα για τη σχεδίαση των σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων, ακολουθούμε μια τυποποιημένη διαδικασία που περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

1. Από τη λεκτική περιγραφή και τις προδιαγραφές της επιθυμητής λειτουργίας του κυκλώματος παράγουμε το Διάγραμμα Καταστάσεων. Στο διάγραμμα καταστάσεων, οι καταστάσεις (τιμές των εξόδων) των FF παριστάνονται με κύκλους (ή ελλείψεις) και οι πυροδοτούμενες από το κοινό εξωτερικό ρολόι μεταβάσεις από μια κατάσταση σε μια άλλη παριστάνονται με βέλη που συνδέουν τους κύκλους (ή τις ελλείψεις) αυτών των καταστάσεων. Μέσα στους κύκλους τοποθετούνται οι καταστάσεις (ή οι τιμές των εξόδων των FF) και πάνω στα βέλη μετάβασης οι τιμές των μεταβλητών που καθορίζουν τη συγκεκριμένη μετάβαση (εάν υπάρχουν).

2. Επιλέγουμε τον τύπο FF που θα χρησιμοποιηθεί.

3. Με βάση το διάγραμμα καταστάσεων συμπληρώνεται ο πίνακας (μετάβασης) καταστάσεων. Στον πίνακα αυτό καταγράφονται όλες οι μεταβάσεις από τη μια κατάσταση στην άλλη (παρούσα κατάσταση – επόμενη κατάσταση) και προσδιορίζονται οι τιμές των εισόδων των FF που απαιτούνται για να πραγματοποιηθούν οι αντίστοιχες μεταβάσεις. Για τον προσδιορισμό των απαιτούμενων τιμών των εισόδων των FF χρησιμοποιείται ο Πίνακας Διέγερσης του αντίστοιχου τύπου FF που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του κυκλώματος.

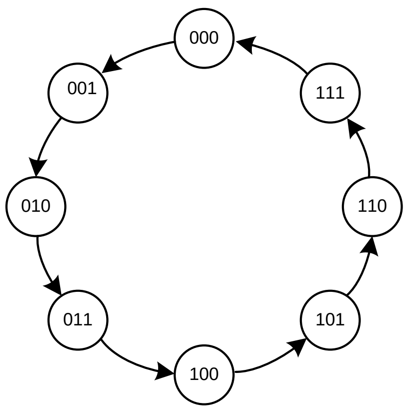
4. Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF.

5. Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

<u>Παράδειγμα 1:</u> Να σχεδιαστεί σύγχρονος κυκλικός δυαδικός μετρητής 3 bit αύξουσας μέτρησης με T FF θετικής ακμοπυροδότησης.

Αφού θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα μετρητή 3 bit θα χρειαστούμε 3 FF άρα θα έχουμε τρεις καταστάσεις των FF, έστω $Q_2Q_1Q_0$, όπου Q_2 είναι το μέγιστο σημαντικό ψηφίο (MSB) και το Q_0 είναι το ελάχιστο σημαντικό ψηφίο (LSB).

Το διάγραμμα καταστάσεων είναι το ακόλουθο:



Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του T FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

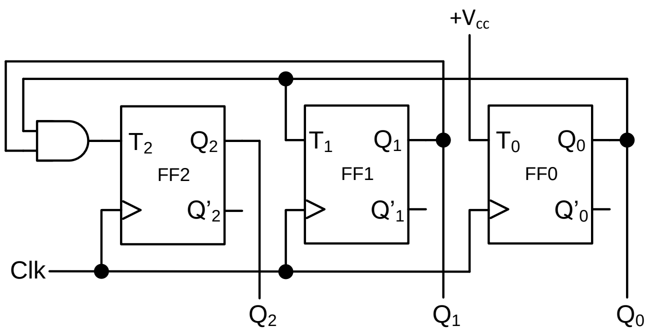
Παρούσα κατάσταση			*Επόμενη κατάσταση*			*Είσοδοι FF*		
Q_2	Q_1	Q_0	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0	T_2	T_1	T_0
0	0	0	0	0	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	0	1	1	0	0	1
0	1	1	1	0	0	1	1	1
1	0	0	1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	1	0	0	1	1
1	1	0	1	1	1	0	0	1
1	1	1	0	0	0	1	1	1

Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι $\boldsymbol{T_0 = 1}$ *και* $\boldsymbol{T_1 = Q_0}$*. Η απλοποιημένη συνάρτηση για την είσοδο* T_2 *προσδιορίζεται με τη χρήση πίνακα Karnaugh:*

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	0	0	1	0

$\boldsymbol{T2 = Q_1Q_0}$

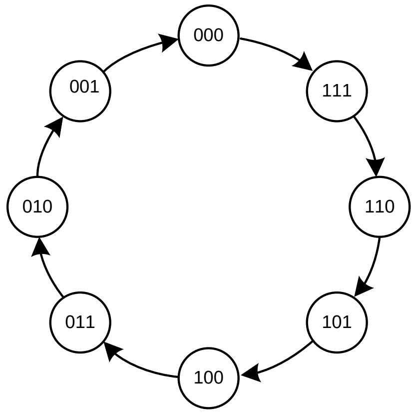
Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο:



<u>Παράδειγμα 2:</u> ***Να σχεδιαστεί σύγχρονος κυκλικός δυαδικός μετρητής 3 bit φθίνουσας μέτρησης με JK FF αρνητικής ακμοπυροδότησης.***

Αφού θέλουμε να σχεδιάσουμε ένα μετρητή 3 bit θα χρειαστούμε 3 FF άρα θα έχουμε τρεις καταστάσεις των FF, έστω $Q_2Q_1Q_0$*, όπου* Q_2 *είναι το μέγιστο σημαντικό ψηφίο (MSB) και το* Q_0 *είναι το ελάχιστο σημαντικό ψηφίο (LSB).*

Το διάγραμμα καταστάσεων είναι το ακόλουθο:



Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του JK FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

Παρούσα κατάσταση			***Επόμενη κατάσταση***			***Είσοδοι FF***					
Q_2	Q_1	Q_0	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	1	1	1	1	X	1	X	1	X
0	0	1	0	0	0	0	X	0	X	X	1
0	1	0	0	0	1	0	X	X	1	1	X
0	1	1	0	1	0	0	X	X	0	X	1
1	0	0	0	1	1	X	1	1	X	1	X
1	0	1	1	0	0	X	0	0	X	X	1
1	1	0	1	0	1	X	0	X	1	1	X
1	1	1	1	1	0	X	0	X	0	X	1

Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι $\boldsymbol{J_0 = 1}$ *και* $\boldsymbol{K_0 = 1}$*. Οι απλοποιημένες συναρτήσεις για τις εισόδους των άλλων FF προσδιορίζονται με τη χρήση πινάκων Karnaugh:*

$Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	1	0	X	X
1	1	0	X	X

$\boldsymbol{J_1 = Q'_0}$

$Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	X	X	0	1
1	X	X	0	1

$\boldsymbol{K_1 = Q'_0}$

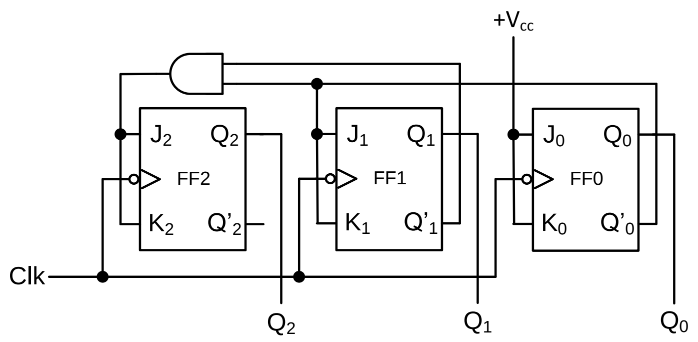
$Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	1	0	0	0
1	X	X	X	X

$\boldsymbol{J_1 = Q'_1Q'_0}$

$Q_2 \backslash Q_1Q_0$	00	01	11	10
0	X	X	X	X
1	1	0	0	0

$\boldsymbol{K_1 = Q'_1Q'_0}$

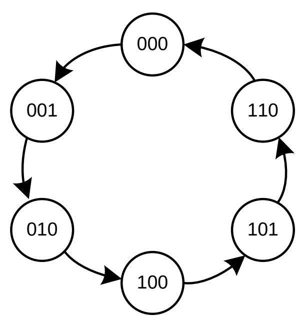
Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο:



Οι σύγχρονοι απαριθμητές παρουσιάζουν μεγάλη ευελιξία σχεδίασης όσον αφορά στην παραγωγή οποιασδήποτε επιθυμητής ακολουθίας καταστάσεων και ακολουθούμε την ίδια ακριβώς διαδικασία για τη σχεδίαση σύγχρονων κυκλικών απαριθμητών οποιασδήποτε μη δυαδικής ακολουθίας, όπως για παράδειγμα όταν παραλείπονται καταστάσεις (μη απαριθμούμενες καταστάσεις) ή κυκλικών απαριθμητών MOD(N). Ωστόσο, στις περιπτώσεις αυτές και για λόγους πληρότητας της σχεδίασης, θα πρέπει να εξετάζουμε τη συμπεριφορά του συστήματος αν αυτό βρεθεί, για οποιοδήποτε λόγο, σε κάποια ή κάποιες μη χρησιμοποιούμενες (μη απαριθμούμενες) καταστάσεις. Ένα σύστημα ονομάζεται μη αυτοδιορθούμενο εάν από οποιαδήποτε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση δεν επανέρχεται στην επιθυμητή ακολουθία απαρίθμησης. Για τον έλεγχο αυτοδιόρθωσης χρησιμοποιούμε τους χαρακτηριστικούς πίνακες των FF, όπως θα δούμε στα επόμενα παραδείγματα.

***<u>Παράδειγμα 3:</u>* Να σχεδιαστεί σύγχρονος κυκλικός δυαδικός απαριθμητής αύξουσας μέτρησης με JK FF αρνητικής ακμοπυροδότησης που απαριθμεί την ακολουθία 0 – 1 – 2 – 4 – 5 – 6 – 0 και να εξεταστεί αν το σύστημα είναι αυτοδιορθούμενο.**

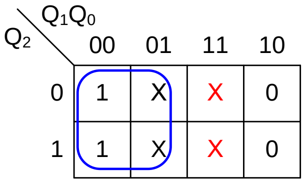
Το διάγραμμα καταστάσεων του ζητούμενου απαριθμητή είναι το ακόλουθο:



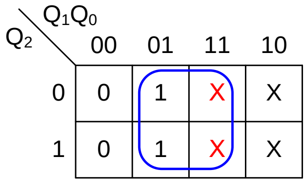
Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του JK FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

Παρούσα Κατάσταση			Επόμενη Κατάσταση			Είσοδοι Flip-Flop					
Q_2	Q_1	Q_0	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	1	0	0	1	X	X	1	0	X
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	1	1	0	X	0	1	X	X	1
1	1	0	0	0	0	X	1	X	1	0	X

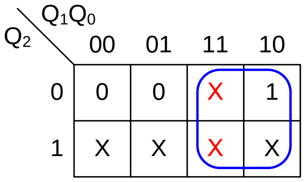
*Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι **$K_0 = 1$** και **$K_1 = 1$**. Οι απλοποιημένες συναρτήσεις για τις άλλες εισόδους των FF προσδιορίζονται με τη χρήση πινάκων Karnaugh:*



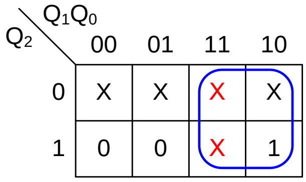
$J_0 = Q'_1$



$J_1 = Q_0$

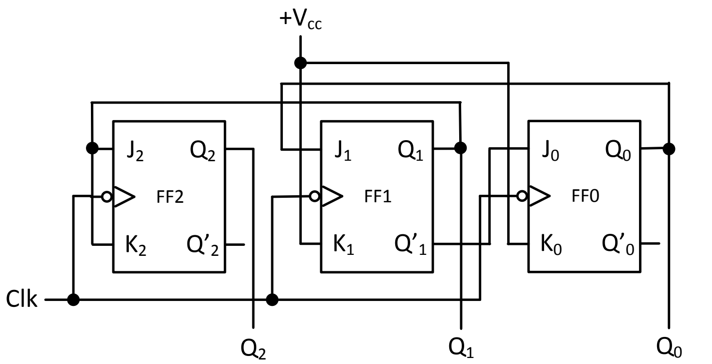


$J_2 = Q_1$



$K_2 = Q_1$

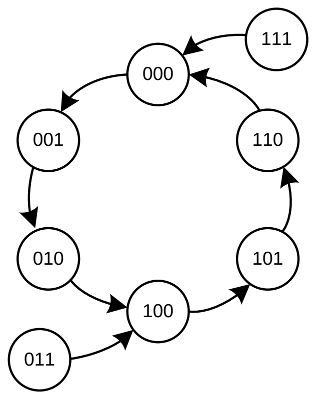
Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο:



Ας εξετάσουμε τώρα τη συμπεριφορά του κυκλώματος αν βρεθεί στις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις 011 και 111:

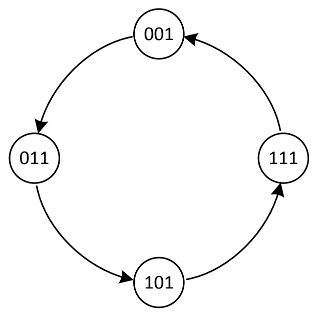
Παρούσα κατάσταση			Είσοδοι FF						Επόμενη κατάσταση		
Q_2	Q_1	Q_0	$J_2 = Q_1$	$K_2 = Q_1$	$J_1 = Q_0$	$K_1 = 1$	$J_0 = Q'_1$	$K_0 = 1$	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0
0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0

Με βάση την παραπάνω μελέτη, προκύπτει ότι ο απαριθμητής είναι αυτοδιορθούμενος αφού αν βρεθεί στην μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση 011 μετά από ένα ωρολογιακό παλμό θα μεταβεί στην επιθυμητή κατάσταση 100 και αν βρεθεί στην μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση 111 μετά από ένα ωρολογιακό παλμό θα μεταβεί στην επιθυμητή κατάσταση 000 και, ακολούθως, θα συνεχίσει να απαριθμεί την επιθυμητή ακολουθία αριθμών. Η πλήρης λειτουργία του κυκλώματος περιγράφεται από το παρακάτω διάγραμμα καταστάσεων:



<u>Παράδειγμα 4:</u> Να σχεδιαστεί σύγχρονος κυκλικός δυαδικός απαριθμητής 3 bit αύξουσας μέτρησης με JK FF αρνητικής ακμοπυροδότησης που απαριθμεί μόνο τους περιττούς (μονούς) αριθμούς και να εξεταστεί αν το σύστημα είναι αυτοδιορθούμενο.

Το διάγραμμα καταστάσεων του ζητούμενου απαριθμητή είναι το ακόλουθο:



Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του JK FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

Παρούσα Κατάσταση			***Επόμενη Κατάσταση***			***Είσοδοι Flip-Flop***					
Q_2	Q_1	Q_0	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	*0*	*1*	*0*	*1*	*1*	*0*	*X*	*1*	*X*	*X*	*0*
0	*1*	*1*	*1*	*0*	*1*	*1*	*X*	*X*	*1*	*X*	*0*
1	*0*	*1*	*1*	*1*	*1*	*X*	*0*	*1*	*X*	*X*	*0*
1	*1*	*1*	*0*	*0*	*1*	*X*	*1*	*X*	*1*	*X*	*0*

Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι $\boldsymbol{J_0 = X}$, $\boldsymbol{K_0 = 0}$, $\boldsymbol{J_1 = 1}$ *και* $\boldsymbol{K_1 = 1}$. *Οι απλοποιημένες συναρτήσεις για τις εισόδους* $\boldsymbol{J_2}$ *και* $\boldsymbol{K_2}$ *προσδιορίζονται με τη χρήση πινάκων Karnaugh:*

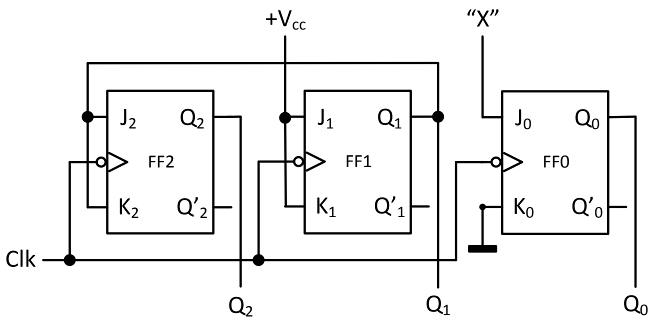
Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	0	1	X
1	X	X	X	X

$\boldsymbol{J_2 = Q_1}$

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	X	X	X
1	X	0	1	X

$\boldsymbol{K_2 = Q_1}$

Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο:



Ας εξετάσουμε τώρα τη συμπεριφορά του κυκλώματος αν βρεθεί στις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις 000, 010, 100 και 110. Επειδή $\boldsymbol{J_0 = X}$ *θα πρέπει να εξετάσουμε τις μεταβάσεις για* $\boldsymbol{X = 0}$ *και για* $\boldsymbol{X = 1}$, *δηλαδή για* $\boldsymbol{J_0 = 0}$ *και για* $\boldsymbol{J_0 = 1}$.

Για $\boldsymbol{J_0 = 0}$:

Παρούσα κατάσταση			***Είσοδοι FF***						***Επόμενη κατάσταση***		
Q_2	Q_1	Q_0	$J_2 = Q_1$	$K_2 = Q_1$	$J_1 = 1$	$K_1 = 1$	$J_0 = 0$	$K_0 = 0$	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0
0	1	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0
1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0

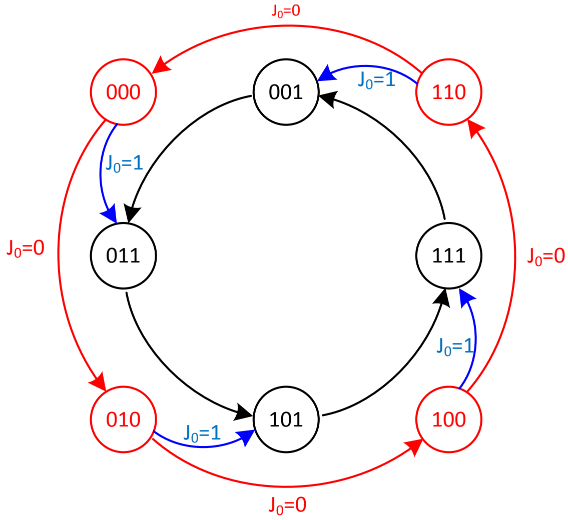
Επομένως, για $\boldsymbol{J_0 = 0}$ *το σύστημα είναι μη αυτοδιορθούμενο, αφού αν βρεθεί σε οποιαδήποτε από τις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις (άρτιοι αριθμοί) δεν επανέρχεται στην επιθυμητή ακολουθία απαρίθμησης και απαριθμεί πλέον τους άρτιους (ζυγούς) αριθμούς.*

Για $\boldsymbol{J_0 = 1}$:

Παρούσα κατάσταση			***Είσοδοι FF***						***Επόμενη κατάσταση***		
Q_2	Q_1	Q_0	$J_2 = Q_1$	$K_2 = Q_1$	$J_1 = 1$	$K_1 = 1$	$J_0 = 1$	$K_0 = 0$	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0
0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1

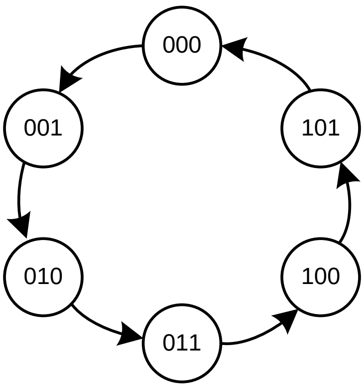
*Επομένως, για **J_0 = 1** το σύστημα είναι αυτοδιορθούμενο, αφού αν βρεθεί σε οποιαδήποτε από τις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις (άρτιοι αριθμοί) επανέρχεται στον επόμενο ωρολογιακό παλμό στην επιθυμητή ακολουθία απαρίθμησης, απαριθμεί δηλαδή τους περιττούς (μονούς) αριθμούς.*

Με βάση την παραπάνω μελέτη, η πλήρης λειτουργία του κυκλώματος περιγράφεται από το παρακάτω διάγραμμα καταστάσεων:



<u>Παράδειγμα 5:</u> Να σχεδιαστεί σύγχρονος κυκλικός δυαδικός μετρητής MOD(6) αύξουσας μέτρησης με JK FF θετικής ακμοπυροδότησης και να εξεταστεί τι θα συμβεί αν το σύστημα βρεθεί στις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις.

Το διάγραμμα καταστάσεων του ζητούμενου μετρητή είναι το ακόλουθο:



Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του JK FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

Παρούσα κατάσταση			*Επόμενη κατάσταση*			*Είσοδοι FF*					
Q_2	Q_1	Q_0	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0	J_2	K_2	J_1	K_1	J_0	K_0
0	0	0	0	0	1	0	X	0	X	1	X
0	0	1	0	1	0	0	X	1	X	X	1
0	1	0	0	1	1	0	X	X	0	1	X
0	1	1	1	0	0	1	X	X	1	X	1
1	0	0	1	0	1	X	0	0	X	1	X
1	0	1	0	0	0	X	1	0	X	X	1
1	1	0	-	-	-	X	X	X	X	X	X
1	1	1	-	-	-	X	X	X	X	X	X

*Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι **J_0 = 1** και **K_0 = 1**. Οι απλοποιημένες συναρτήσεις για τις εισόδους των άλλων FF προσδιορίζονται με τη χρήση πινάκων Karnaugh:*

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	X	X
1	0	0	X	X

$J_1 = Q'_2Q_0$

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	X	1	0
1	X	X	X	X

$K_1 = Q_0$

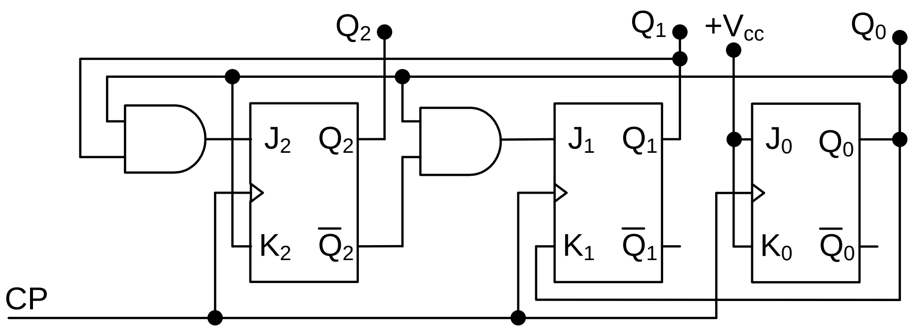
Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	0	1	0
1	X	X	X	X

$J_2 = Q_1Q_0$

Q_2 \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	X	X	X	X
1	0	1	X	X

$K_2 = Q_0$

Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο:

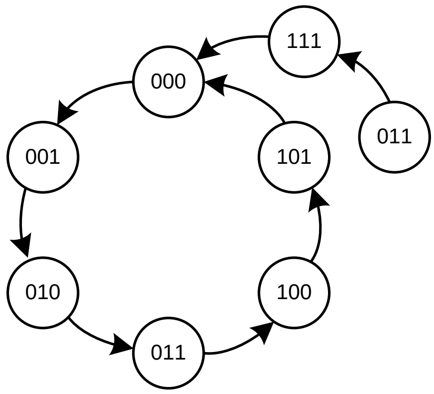


Εξετάζουμε τώρα τη συμπεριφορά του κυκλώματος αν βρεθεί στις μη χρησιμοποιούμενες καταστάσεις 110 και 111:

Παρούσα κατάσταση			*Είσοδοι FF*						*Επόμενη κατάσταση*		
Q_2	Q_1	Q_0	$J_2 = Q_1Q_0$	$K_2 = Q_0$	$J_1 = Q'_2Q_0$	$K_1 = Q_0$	$J_0 = 1$	$K_0 = 1$	Q^+_2	Q^+_1	Q^+_0
1	*1*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*1*	*1*	*1*	*1*	*1*
1	*1*	*1*	*1*	*1*	*0*	*1*	*1*	*1*	*0*	*0*	*0*

Όπως προκύπτει, το σύστημα από την κατάσταση 110 μετά από ένα ωρολογιακό παλμό μεταβαίνει στην κατάσταση 111, δηλαδή σε μη χρησιμοποιούμενη κατάσταση, και από την κατάσταση 111 μετά από ένα ωρολογιακό παλμό μεταβαίνει στην κατάσταση 000, που είναι χρησιμοποιούμενη κατάσταση. Άρα απαιτούνται δύο ωρολογιακοί παλμοί για να επιστρέψει στην επιθυμητή ακολουθία μέτρησης.

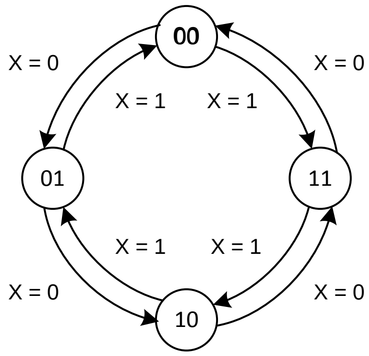
Με βάση την παραπάνω μελέτη, η πλήρης λειτουργία του κυκλώματος περιγράφεται από το παρακάτω διάγραμμα καταστάσεων:



Στο παράδειγμα 1 εξετάσαμε τη σχεδίαση ενός σύγχρονου κυκλικού δυαδικού μετρητή αύξουσας (προς τα πάνω) μέτρησης και στο παράδειγμα 2 εξετάσαμε τη σχεδίαση ενός σύγχρονου κυκλικού δυαδικού μετρητή φθίνουσας (προς τα κάτω) μέτρησης. Μπορούμε όμως να συνδυάσουμε και τις δύο λειτουργίες σε ένα σύστημα, δηλαδή να σχεδιάσουμε ένα σύγχρονο κυκλικό δυαδικό μετρητή αύξουσας-φθίνουσας μέτρησης και να μπορούμε να επιλέγουμε τη φορά απαρίθμησης. Για την επιλογή της φοράς απαρίθμησης απαιτείται μία εξωτερική είσοδος, X, οπότε όταν, για παράδειγμα, X = 0 θα έχουμε αύξουσα (προς τα πάνω) απαρίθμηση, ενώ όταν X = 1 θα έχουμε φθίνουσα (προς τα κάτω) απαρίθμηση.

<u>Παράδειγμα 6:</u> ***Να σχεδιαστεί με T FF θετικής ακμοπυροδότησης σύγχρονος κυκλικός δυαδικός μετρητής 2 bit αύξουσας – φθίνουσας μέτρησης.***

Το κύκλωμα θα διαθέτει 2 T FF και μια εξωτερική είσοδο X, για να είναι δυνατή η επιλογή φοράς απαρίθμησης. Έστω ότι για X = 0 θα έχουμε αύξουσα (προς τα πάνω) απαρίθμηση και για X = 1 θα έχουμε φθίνουσα (προς τα κάτω) απαρίθμηση. Το διάγραμμα καταστάσεων του ζητούμενου μετρητή είναι το ακόλουθο:



Με βάση το διάγραμμα χρονισμού και τον πίνακα διέγερσης του T FF, συμπληρώνουμε τον πίνακα μετάβασης καταστάσεων (ή, απλά, πίνακα καταστάσεων):

Παρούσα κατάσταση		***Επόμενη κατάσταση***				***Είσοδοι FF***			
		X = 0		***X = 1***		***X = 0***		***X = 1***	
Q_1	Q_0	Q^+_1	Q^+_0	Q^+_1	Q^+_0	T_1	T_0	T_1	T_0
0	0	0	1	1	1	0	1	1	1
0	1	1	0	0	0	1	1	0	1
1	0	1	1	0	1	0	1	1	1
1	1	0	0	1	0	1	1	0	1

Από τον πίνακα καταστάσεων προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις των εισόδων των FF. Να σημειωθεί ότι από τον πίνακα καταστάσεων είναι προφανές ότι $T_0 = 1$. *Η απλοποιημένη συνάρτηση για την είσοδο* T_1 *προσδιορίζεται με τη χρήση πίνακα Karnaugh:*

X \ Q_1Q_0	00	01	11	10
0	0	1	1	0
1	1	0	0	1

$$T_1 = X'Q_0 + XQ'_0 = X \oplus Q_0$$

Το ζητούμενο λογικό κύκλωμα είναι το ακόλουθο: