

Βασικές Αρχές Ψηφιακής Τεχνολογίας

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών

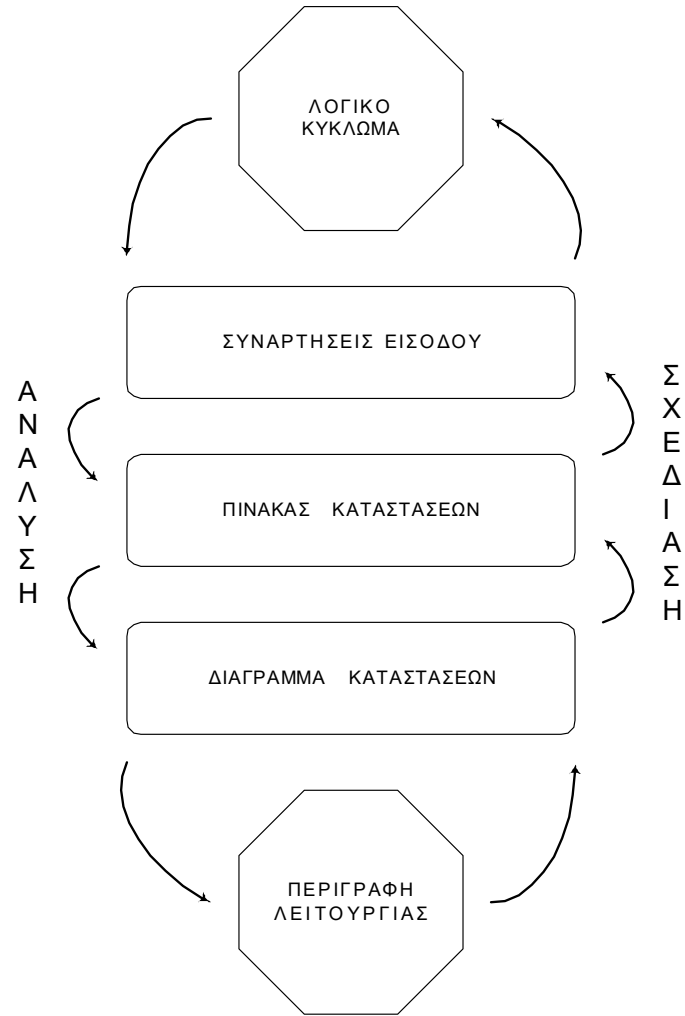
ΠΜΣ Πληροφορική και Εφαρμογές

Ι. Βογιατζής

2023-2024

Ανάλυση και Σχεδίαση Σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων

Ανάλυση και Σχεδίαση Σύγχρονων Ακολουθιακών Κυκλωμάτων



Ανάλυση Σύγχρονων Ακολουθιακών Κυκλωμάτων

Βήμα A1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων .

Βήμα A3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων.

Πίνακες λειτουργίας flip-flops

SR flip-flop

S	R	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	απροσδιόριστη

JK flip-flop

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	$\overline{Q_t}$

D flip-flop

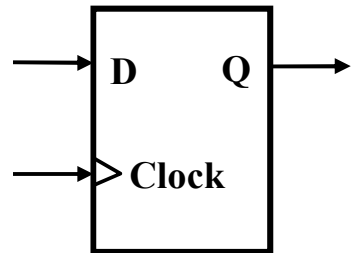
D	Q_{t+1}
0	0
1	1

T flip-flop

T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	$\overline{Q_t}$

D flip-flop

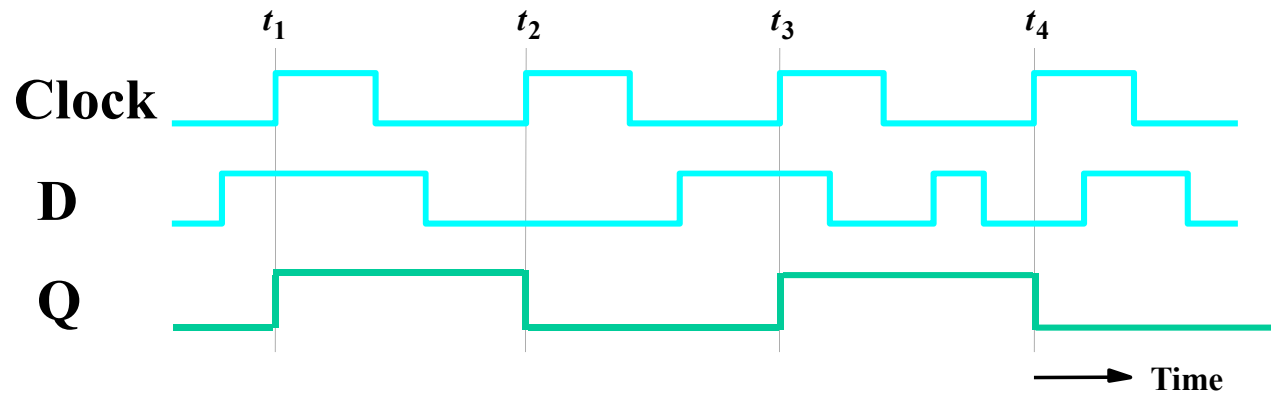
Graphical symbol



Truth table

Clk	D	Q(t+1)
↑	0	0
↑	1	1
0	-	Q(t)
1	-	Q(t)

Timing diagram

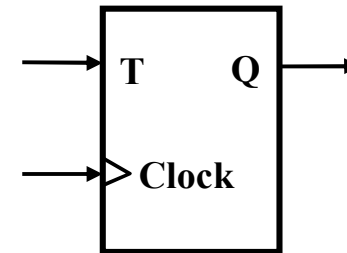


T flip-flop

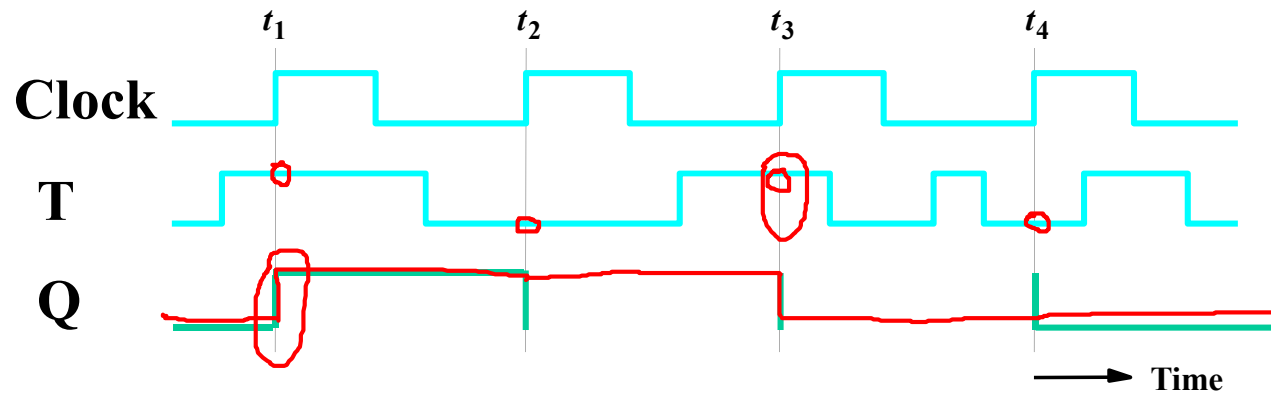
T flip-flop

T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	$\overline{Q_t}$

Graphical symbol

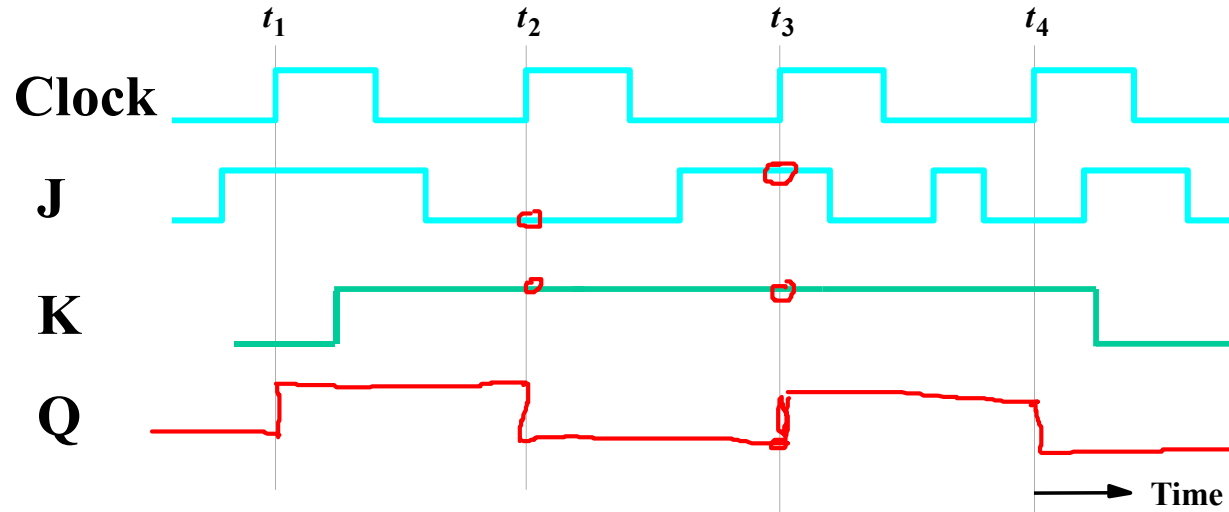


Timing diagram



JK flip-flop

Timing diagram



JK flip-flop

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_t

Πίνακες λειτουργίας flip-flops

SR flip-flop

S	R	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	απροσδιόριστη

JK flip-flop

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_t

D flip-flop

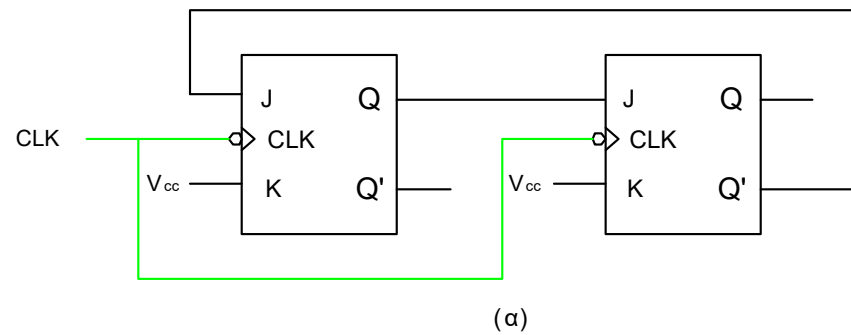
D	Q_{t+1}
0	0
1	1

T flip-flop

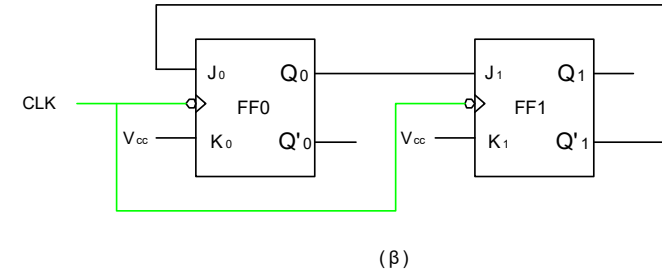
T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	Q'_t

Παράδειγμα 1

Σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα **χωρίς** εξωτερικές εισόδους και εξόδους



Παράδειγμα 1



Βήμα Α1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

$$\begin{aligned} J_0 &= Q'_1 & J_1 &= Q_0 \\ K_0 &= 1 & K_1 &= 1 \end{aligned}$$

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

JK flip-flop

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_t

ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
Q_1	Q_0
0	0
0	1
1	0
1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ			
J_1	K_1	J_0	K_0
0	1	1	1
1	1	1	1
0	1	0	1
1	1	0	1

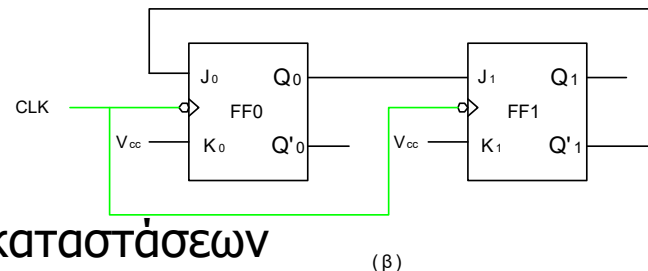
ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
Q_1	Q_0
0	1
1	0
0	0
0	0

Καταγράφονται ΟΛΟΙ οι δυνατοί συνδυασμοί (δυνατές καταστάσεις)

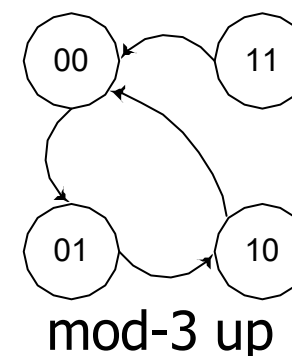
Προκύπτουν από τις συναρτήσεις εισόδου και τις τιμές της παρούσας κατάστασης

Προκύπτουν από τις τιμές των εισόδων J, K και τις τιμές της παρούσας κατάστασης Q καθενός FF

Παράδειγμα 1



Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων

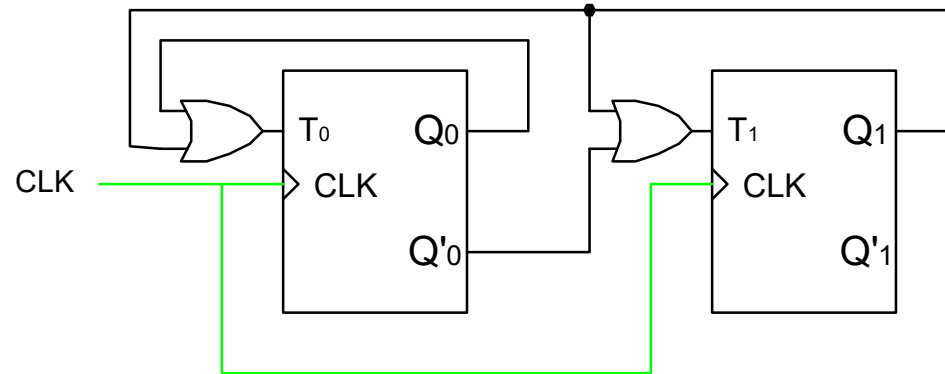


- Παρατηρήσεις
- Οι **ωρολογιακοί παλμοί δε φαίνονται στον πίνακα και στο διάγραμμα καταστάσεων.**
Εννοείται ότι από την παρούσα κατάσταση μεταβαίνουμε στην επόμενη κατάσταση με την έλευση της ενεργού ακμής πυροδότησης του ωρολογιακού παλμού CLK.
- Για την κατάστρωση του πίνακα βασιζόμαστε εκτός από την παρούσα κατάσταση και τις τιμές των εισόδων, και στον πίνακα λειτουργίας του FF. Με άλλα λόγια, οι **πίνακες λειτουργίας των FFs είναι απαραίτητοι** για την ανάλυση ενός ακολουθιακού κυκλώματος.

T flip-flop

T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	Q'_t

Παράδειγμα 2



Βήμα A1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

$$T_0 = Q_0 + Q_1 \quad T_1 = Q'_0 + Q_1$$

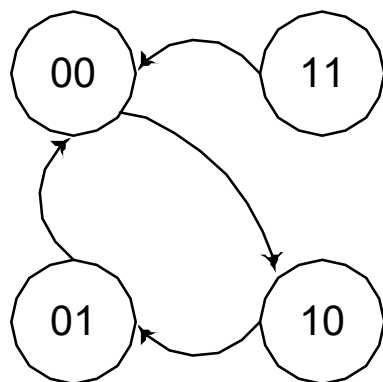
T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	Q'_t

Παράδειγμα 2

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		ΕΙΣΟΔΟΙ		ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
Q_1	Q_0	T_1	T_0	Q_1	Q_0
0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	0
1	0	1	1	0	1
1	1	1	1	0	0

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



mod-3 down

Παράδειγμα 3

$$J_0 = K_0 = (Q_1 Q_2)' \quad J_1 = Q_0 \quad J_2 = Q_0 Q_1$$

$$K_1 = Q_0 + Q_1 Q_2 \quad K_2 = Q_0 Q_1 + Q_2 Q_1 = (Q_0 + Q_2) Q_1$$

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

Π. Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J ₂ K ₂	J ₁ K ₁	J ₀ K ₀
00	00	11
00	11	11
00	00	11
11	11	11
00	00	11
00	11	11
01	01	00
11	11	00

Ε. Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
0	0	0
0	0	1

Παράδειγμα 3

$$J_0 = K_0 = (Q_1 Q_2)' \quad J_1 = Q_0 \quad J_2 = Q_0 Q_1$$

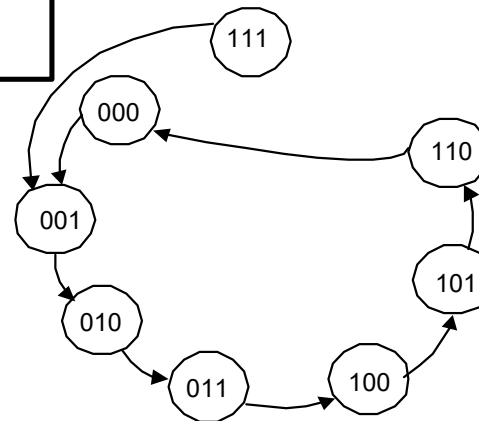
$$K_1 = Q_0 + Q_1 Q_2 \quad K_2 = Q_0 Q_1 + Q_2 Q_1 = (Q_0 + Q_2) Q_1$$

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

Π. Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J ₂ K ₂	J ₁ K ₁	J ₀ K ₀
00	00	11
00	11	11
00	00	11
11	11	11
00	00	11
00	11	11
01	01	00
11	11	00

Ε. Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
0	0	0
0	0	1

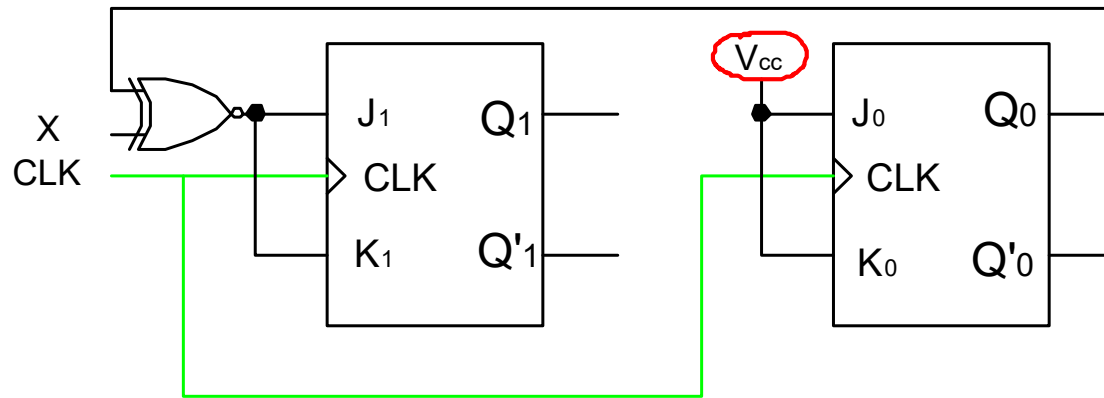


mod-7

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων

Παράδειγμα 4

Σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα με εξωτερικές εισόδους



Βήμα A1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

JK flip-flop

J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_t

$J_1 = K_1 = X \odot Q_0$ $J_0 = K_0 = 1$

Παράδειγμα 4

Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

ΕΙΣΟΔΟΣ & ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
X	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ			
J ₁ K ₁		J ₀ K ₀	
1	1	1	1
0	0	1	1
1	1	1	1
0	0	1	1
0	0	1	1
1	1	1	1
0	0	1	1
1	1	1	1

ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
Q ₁	Q ₀
1	1
0	0
0	1
1	0
0	1
1	0
1	1
0	0

Παράδειγμα 4

0 3 2 1 0 3
 $x = 0$

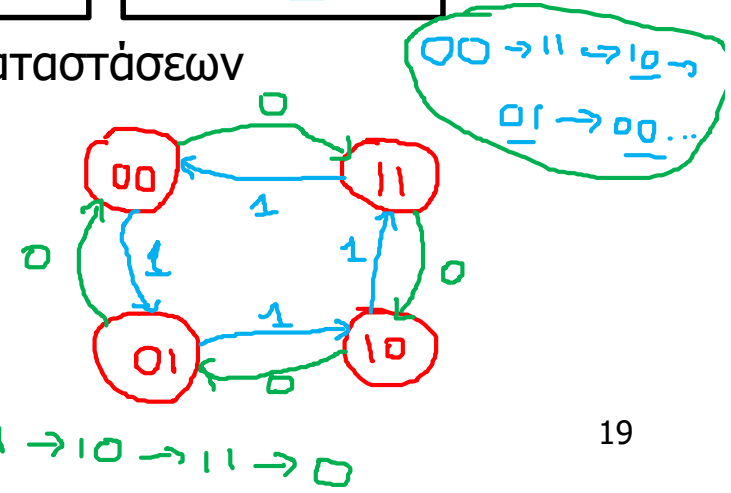
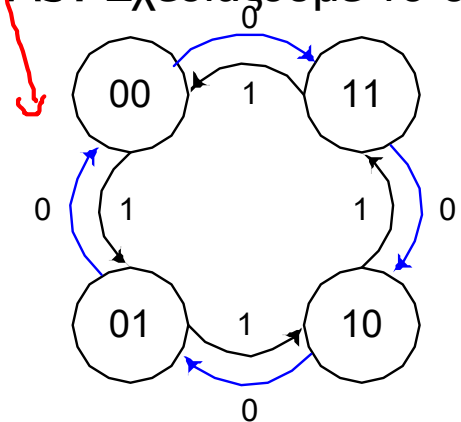
Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

ΕΙΣΟΔΟΣ & ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
X	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J ₁ K ₁	J ₀ K ₀	
1	1	1 1
0	0	1 1
1	1	1 1
0	0	1 1
0	0	1 1
1	1	1 1
0	0	1 1
1	1	1 1

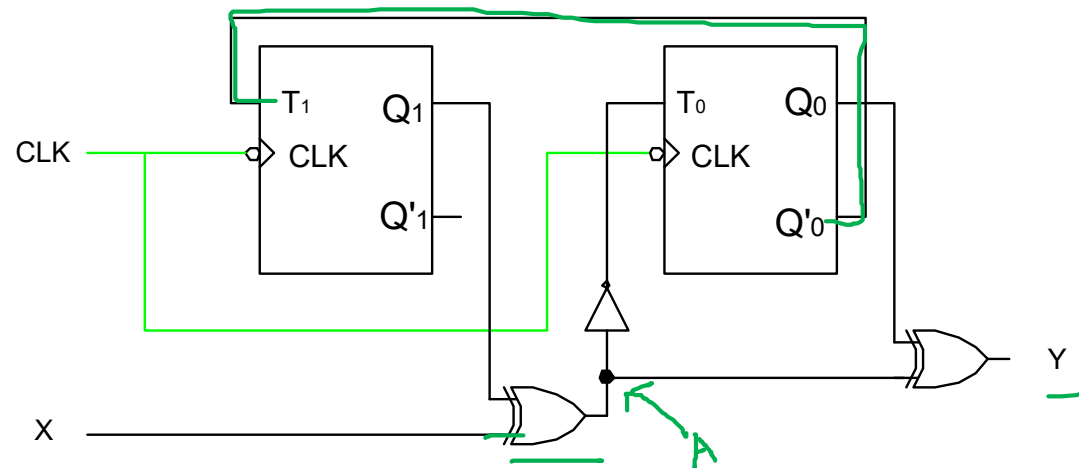
ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
Q ₁	Q ₀
1	1
0	0
0	1
1	0
0	1
1	0
1	1
0	0

Βήμα A3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



Παράδειγμα 5

Σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα με εξωτερικές εισόδους και εξόδους



Βήμα A1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

$$T_1 = \overline{Q_0} \quad T_0 = X \odot Q_1$$

$$Y = X \oplus Q_1 \oplus Q_0$$

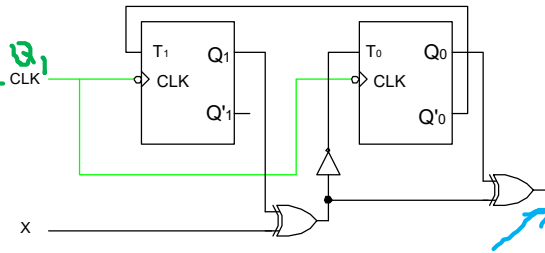
$$Y = Q_0 \oplus A = Q_0 \oplus Q_1 \oplus X$$

Παράδειγμα 5

T flip-flop

T	Q_{t+1}
0	Q_t
1	Q'_t

x	Q_1	$x \oplus Q_1$	$x \oplus Q_0$
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0



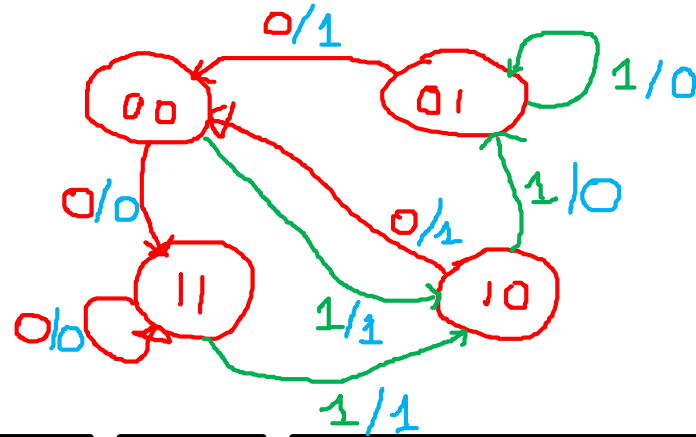
ΕΙΣΟΔΟΣ & ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

X	Q_1	Q_0	$x \oplus Q_1$
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	0

ΣΤΟΙΜΕΝΑ

T_1	T_0	Y	Q_1^{t+1}	Q_0^{t+1}
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	0	0
1	1	0	1	1
1	1	1	0	0

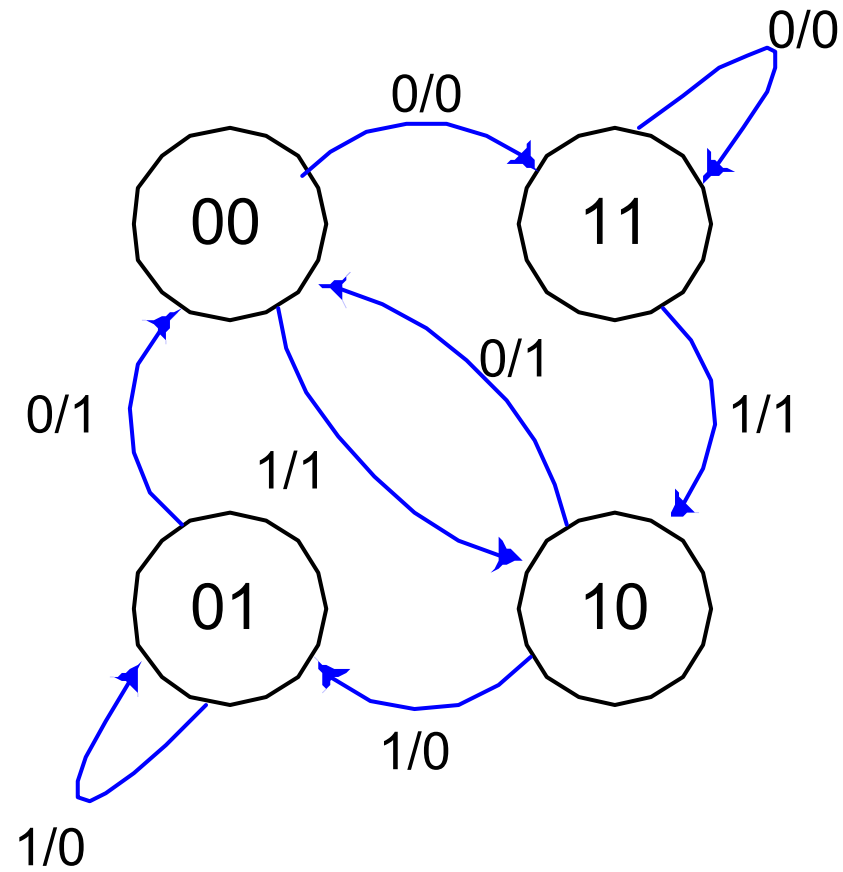
Παράδειγμα 5



ΕΙΣΟΔΟΣ & ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			ΕΙΣΟΔΟΙ		ΕΞΟΔΟΣ	ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	
X	Q ₁	Q ₀	T ₁	T ₀	Y	Q ₁	Q ₀
0	0	0	1	1	0	1	1
0	0	1	0	1	1	0	0
0	1	0	1	0	1	0	0
0	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0	1
1	1	0	1	1	0	0	1
1	1	1	0	1	1	1	0

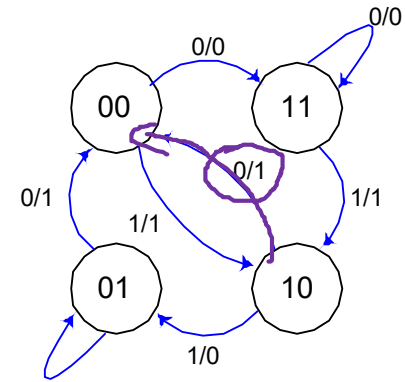
Παράδειγμα 5

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων

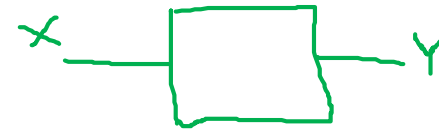


Παράδειγμα 5

Το 11 και 00 ότι του βάλω βγάζει
 Στα 10 και 01 βγάζει το ανάποδο από ότι του βάζω



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Q ₁ Q ₀	00	11	11	10	00	10	01	01	00	11	11	10	00	10
X	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	1	1
Y	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	



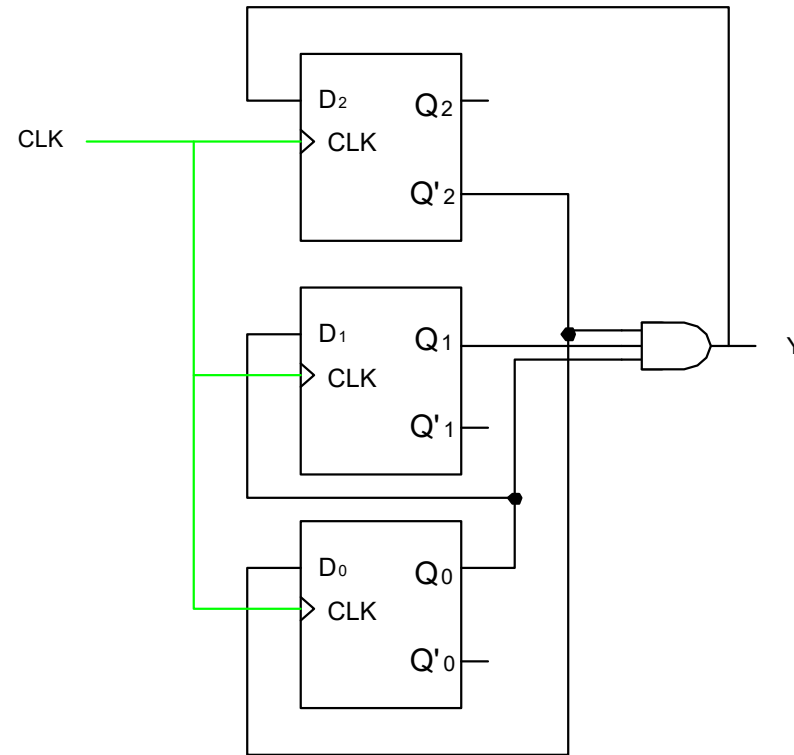
Βήμα A4:

Τι κάνει;

Τι έξοδο βγάζει για είσοδο 0010111000101 αν ξεκινήσουμε από τη 00;

Ποιες ακολουθίες «αναγνωρίζει»; 01 και 10

Παράδειγμα 6



Βήμα A1: Γράφουμε τις λογικές συναρτήσεις των εισόδων των FFs.

$$D_0 = Q_2'$$

$$D_1 = Q_0$$

$$D_2 = Q_0 Q_1 Q_2'$$

$$Y = Q_0 Q_1 Q_2'$$

Παράδειγμα 6

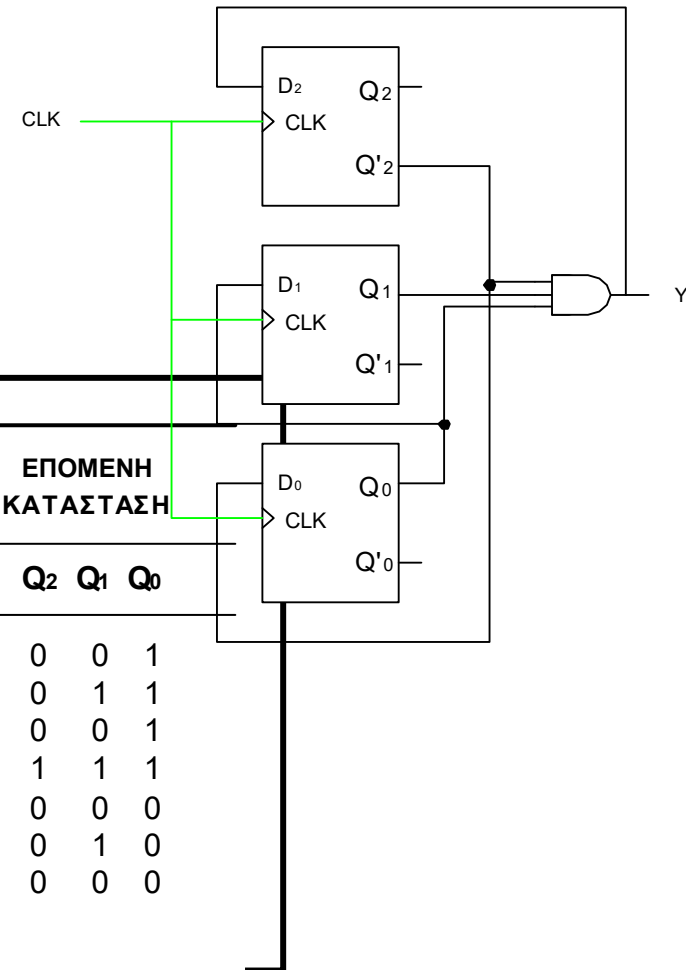
Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ		
D ₂	D ₁	D ₀
0	0	1
0	1	1
0	0	1
1	1	1
0	0	0
0	1	0
0	0	0
0	0	0
0	1	0

ΕΞΟΔΟΣ
Y
0
0
0
1
0
0
0
0
0

ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	1
0	1	1
0	0	1
1	1	1
0	0	0
0	1	0
0	0	0
0	0	0

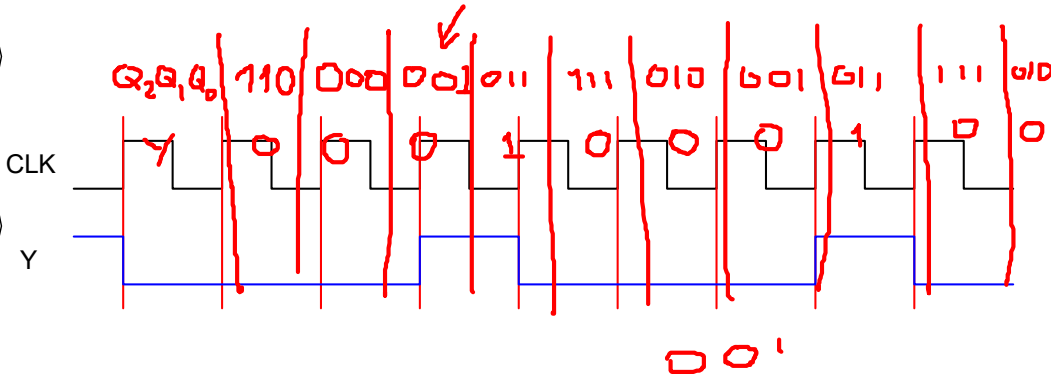
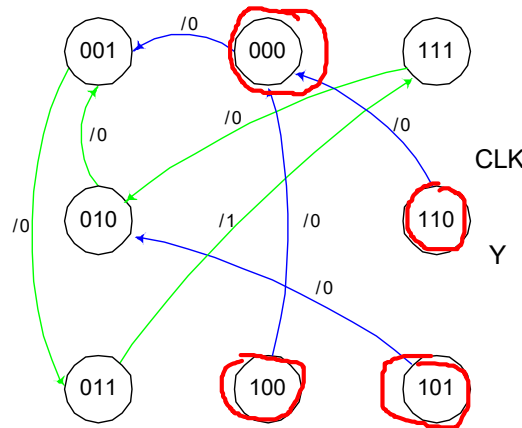


Παράδειγμα 6

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			ΕΙΣΟΔΟΙ			ΕΞΟΔΟΣ	ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀	Y	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	1	0

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων

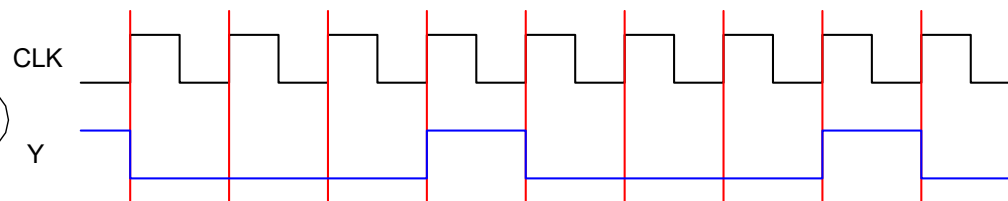
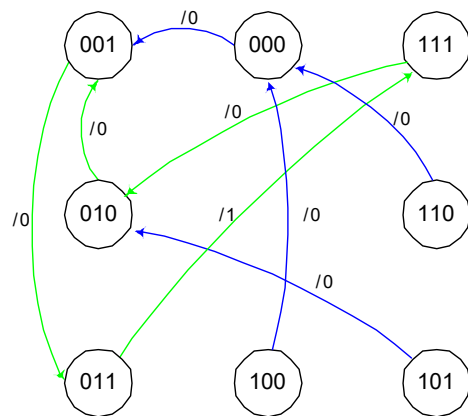


Παράδειγμα 6

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

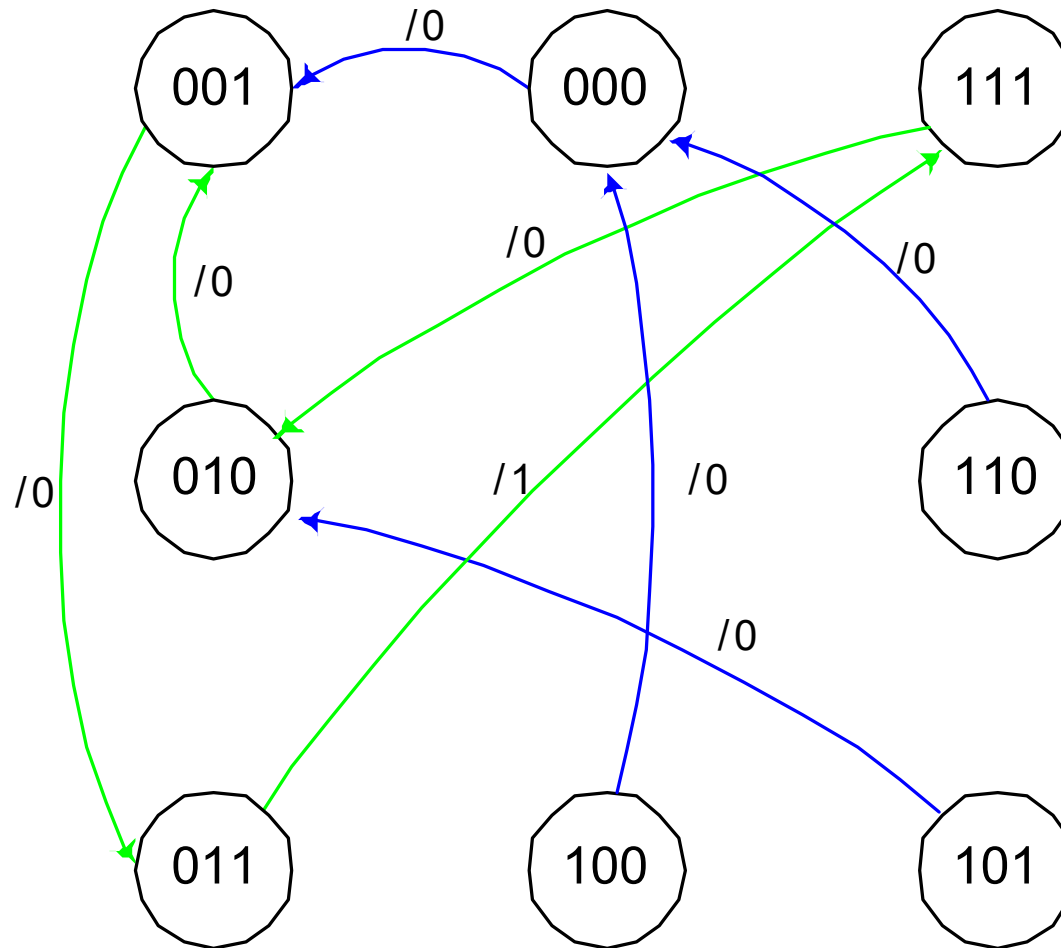
ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ			ΕΙΣΟΔΟΙ			ΕΞΟΔΟΣ	ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	D ₂	D ₁	D ₀	Y	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	1	1	0	0	1	1
0	1	0	0	0	1	0	0	0	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	1	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	0	1	0

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων

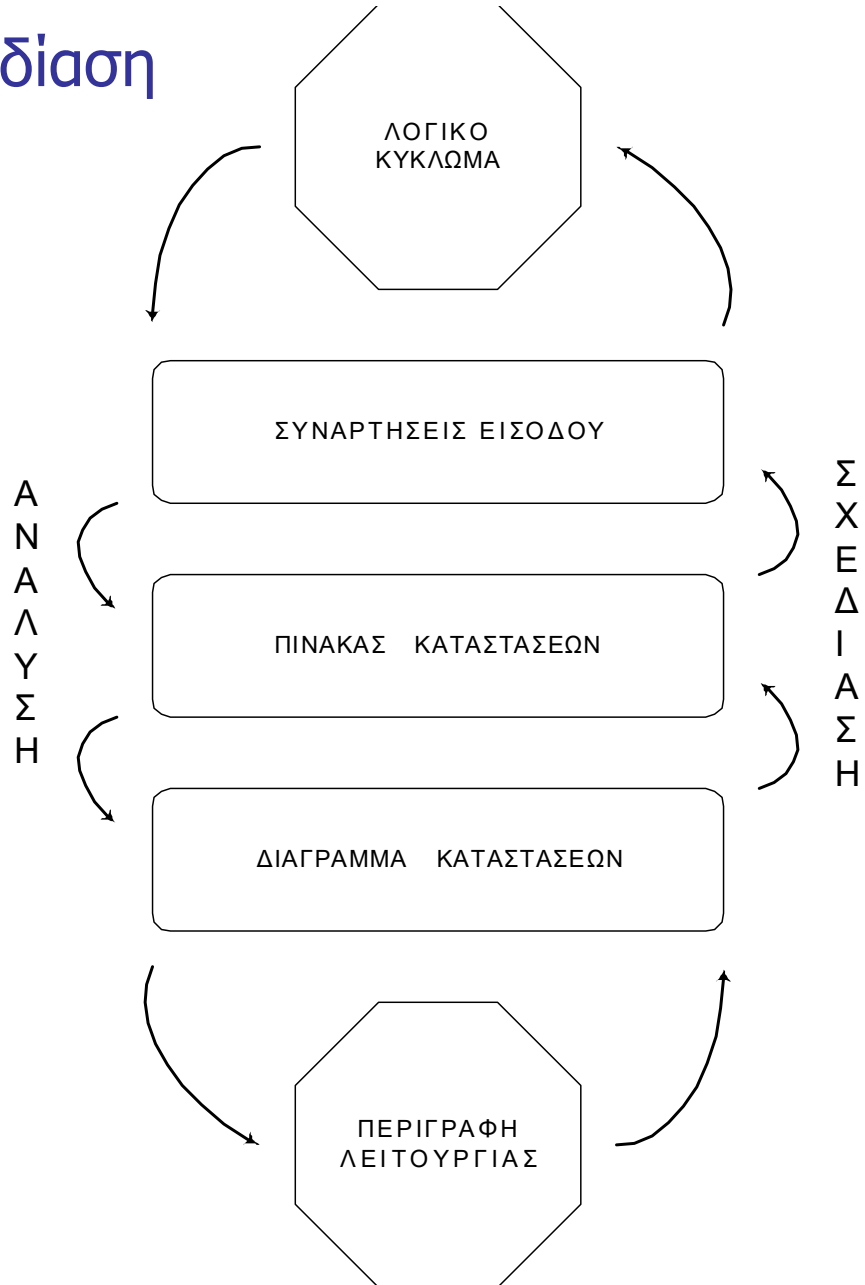


Παράδειγμα 6

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



Ανάλυση και Σχεδίαση Σύγχρονων Ακολουθιακών Κυκλωμάτων



Σχεδίαση Σύγχρονων Ακολουθιακών Κυκλωμάτων

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Πίνακες Διέγερσης Flip-flops

Πίνακας Διέγερσης:

Πίνακας που δίνει τις απαιτούμενες εισόδους του flip-flop για ορισμένη αλλαγή της κατάστασης.

Προκύπτει από τον αντίστοιχο πίνακα λειτουργίας του flip-flop.

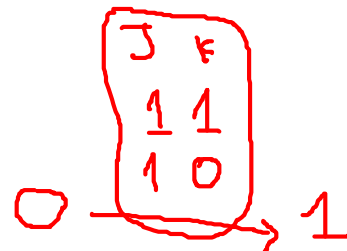
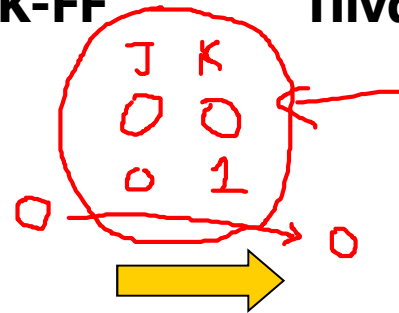
Πίνακας λειτουργίας JK-FF

JK flip-flop		
J	K	Q_{t+1}
0	0	Q_t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q'_t



Πίνακας διέγερσης JK-FF

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0



Πίνακες Διέγερσης Flip-flops

SR-FF

Q_t	Q_{t+1}	S	R
0	0	0	X
0	1	1	0
1	0	0	1
1	1	X	0

JK-FF

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

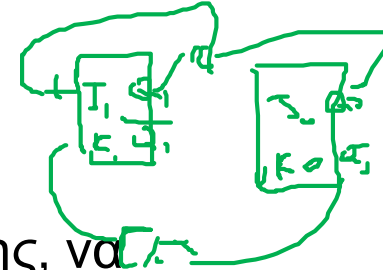
D-FF

Q_t	Q_{t+1}	D
0	0	0
0	1	1
1	0	0
1	1	1

T-FF

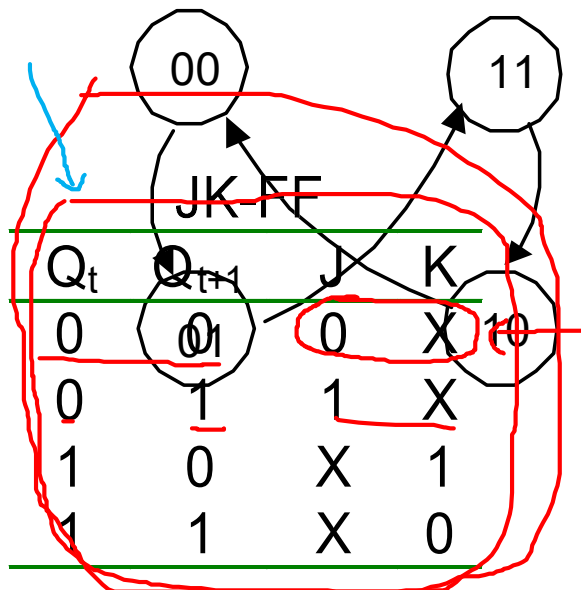
Q_t	Q_{t+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Παράδειγμα 7



Με FFs τύπου JK αρνητικής ακμής πυροδότησης, να σχεδιασθεί ΣΑΚ το οποίο να "περνά" διαδοχικά από τις καταστάσεις 0, 1, 3, 2 (δηλαδή να απαριθμεί σύμφωνα με τον κώδικα Gray).

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.



F. K.		E. K.		ΕΙΣΟΔΟΙ	
Q_t	Q_{t+1}	Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	0	0	X
0	1	1	0	1	X
1	0	0	1	X	1
1	1	1	1	X	0

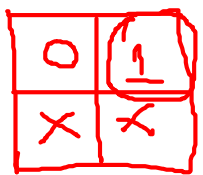
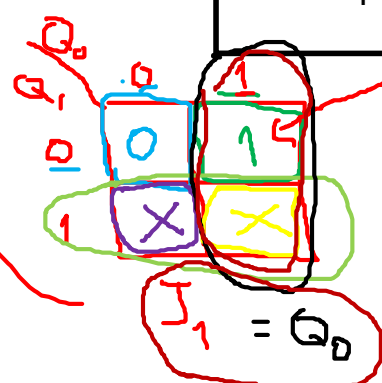
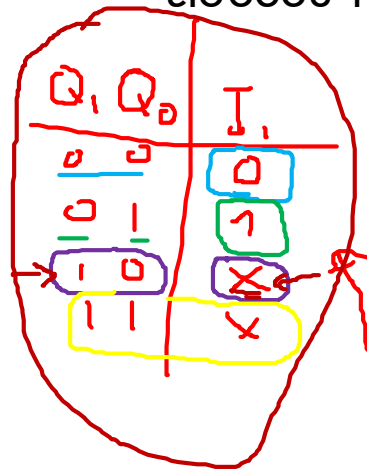
Παράδειγμα

Βήμα Σ2: Προσδιορισμός εισόδου των FFs.

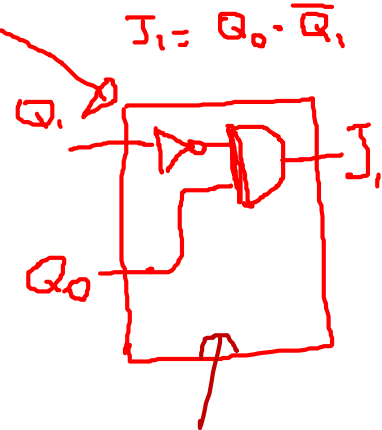
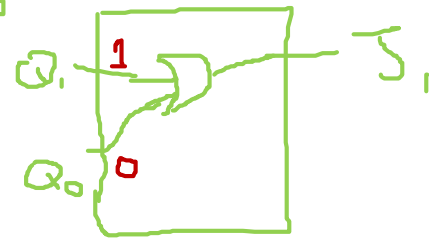
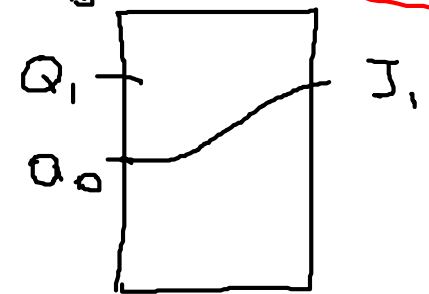
Π. Κ.	
Q_1	Q_0
0	0
0	1
1	0
1	1

Ε.Κ.	
Q_1	Q_0
0	1
1	1
0	0
1	0

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J_1	K_1	J_0
0	X	1
1	X	X
X	1	0
X	0	X



$J_1 = Q_1 + Q_0$



Παράδειγμα

Βήμα Σ2: Προσδιορισμός εισόδου των FFs.

↓

Q_1	0	1
0	X	X
1	1	0

$K_1 = \bar{Q}_0$

Π. Κ.	
Q_1	Q_0
0	0
0	1
1	0
1	1

Ε.Κ.	
Q_1	Q_0
0	1
1	1
0	0
1	0

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J_1	K_1	J_0
0	X	1
1	X	X
X	1	0
X	0	X

$Q_1 = 0 \quad Q_0 = 0$

$\bar{Q}_1 = 1 \quad \bar{Q}_0 = 1 \rightarrow \bar{Q}_1, \bar{Q}_0 = 1$

$Q_1 = \bar{Q}_0$

Q_1	Q_0	$\bar{Q}_1 + \bar{Q}_0$
0	1	1
1	0	1

$\bar{Q}_1, \bar{Q}_0 + Q_1 \cdot \bar{Q}_0 = (\bar{Q}_1 + Q_1) \cdot \bar{Q}_0 = 1 \cdot \bar{Q}_0$

$K_1 = \bar{Q}_0$

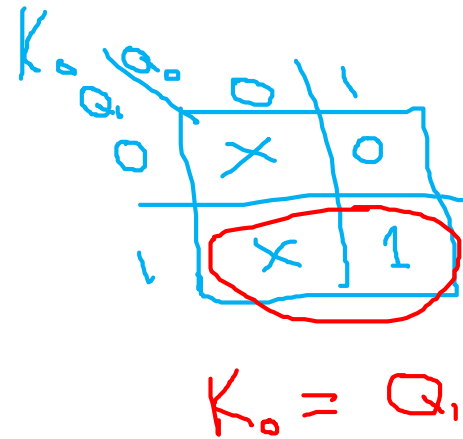
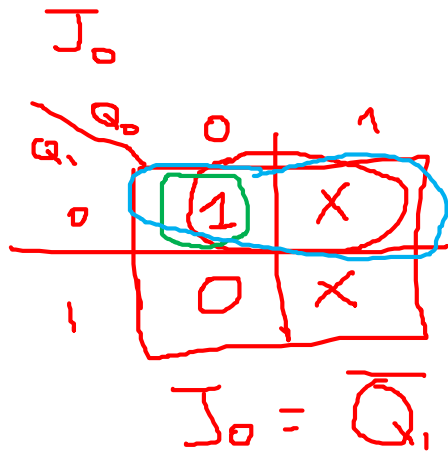
Παράδειγμα

Βήμα Σ2: Προσδιορισμός εισόδου των FFs.

Π. Κ.	
Q ₁	Q ₀
0	0
0	1
1	0
1	1

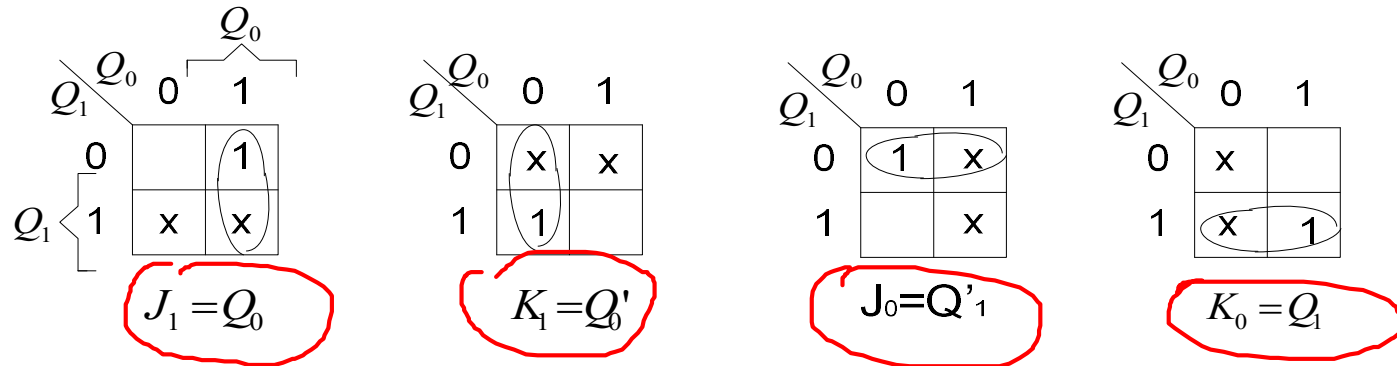
Ε.Κ.	
Q ₁	Q ₀
0	1
1	1
0	0
1	0

ΕΙΣΟΔΟΙ		
J ₁	K ₁	J ₀ K ₀
0X		1X
1X		X0
X1		0X
X0		X1

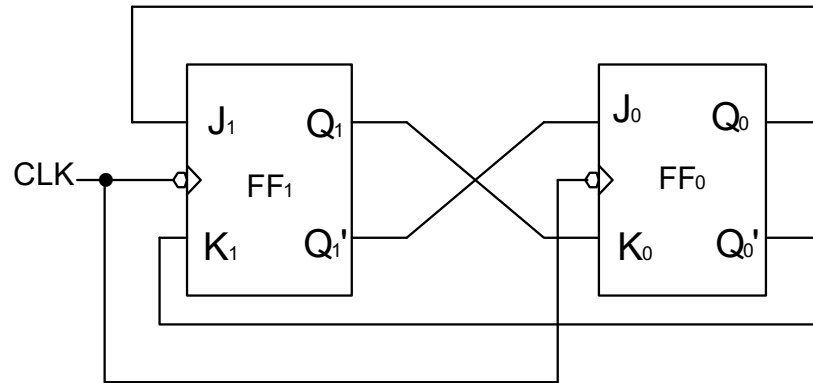


Παράδειγμα 7

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



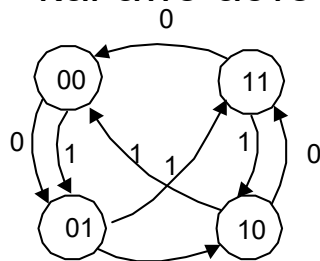
Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Παράδειγμα 8

Με την χρήση FFs τύπου JK θετικής ακμής πυροδότησης να σχεδιαστεί ΣΑΚ το οποίο να "περνά" από τις καταστάσεις 0, 1, 2, 3 (κανονική απαρίθμηση) ή 0, 1, 3, 2 (απαρίθμηση σύμφωνα με τον κώδικα Gray) ανάλογα με το αν η είσοδος X είναι 0 ή 1 αντίστοιχα.

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.



JK-FF

Q_t	Q_{t+1}	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

ΕΙΣΟΔΟΙ + Π.Κ.		
X	Q_1	Q_0
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

Ε. Κ.	
Q_1	Q_0
0	1
1	0
1	1
0	0
0	1
1	1
0	0
1	0

ΕΙΣΟΔΟΙ	
$J_1 K_1$	$J_0 K_0$
0X	1X
1X	X1
X0	1X
X1	X1
0X	1X
1X	X0
X1	0X
X0	X1

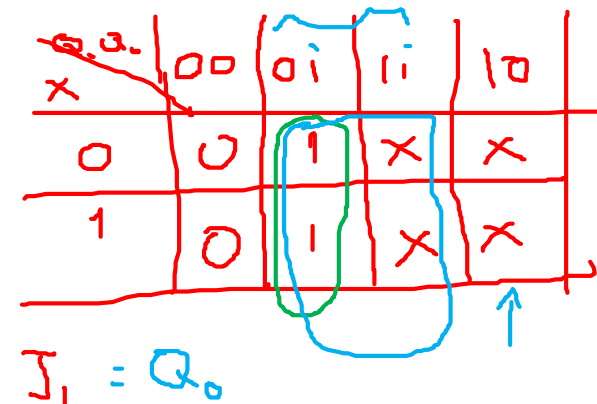
Παράδειγμα 8

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.

ΕΙΣΟΔΟΙ + Π.Κ.		
X	Q ₁	Q ₀
0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

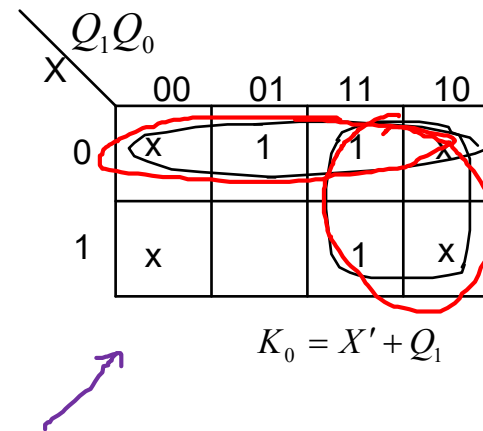
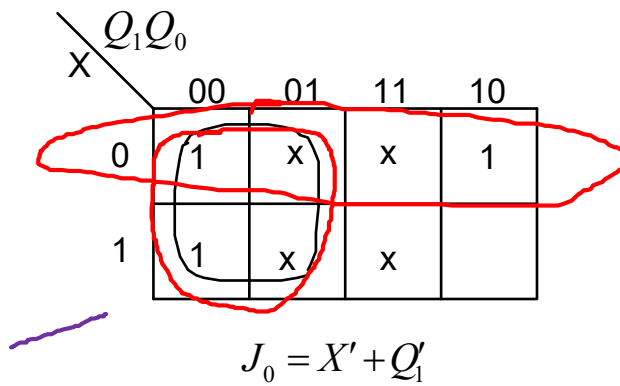
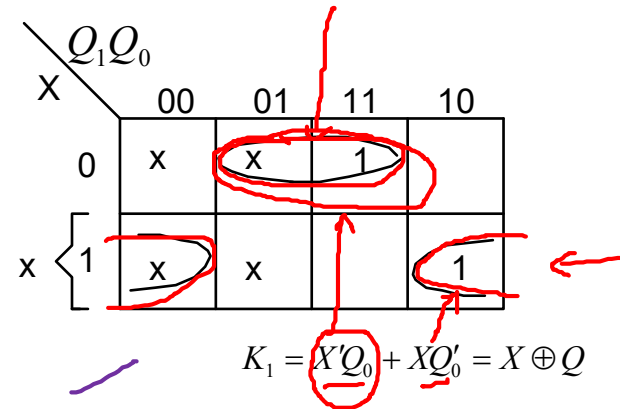
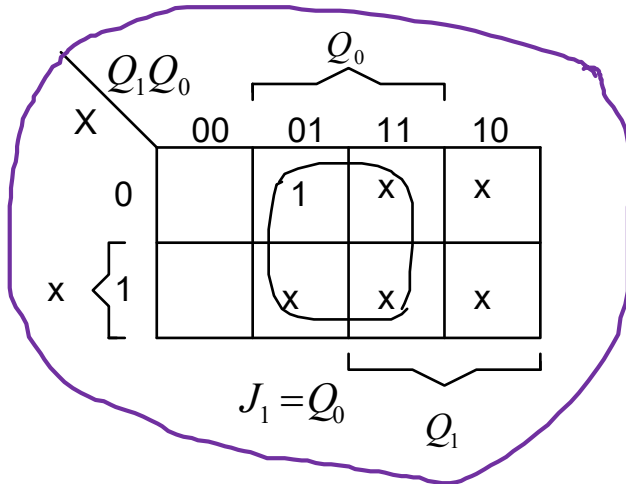
Ε. Κ.	
Q ₁	Q ₀
0	1
1	0
1	1
0	0
0	1
1	1
0	0
1	0

ΕΙΣΟΔΟΙ	
J ₁ K ₁	J ₀ K ₀
0X	1X
1X	X1
X0	1X
X1	X1
0X	1X
1X	X0
X1	0X
X0	X1



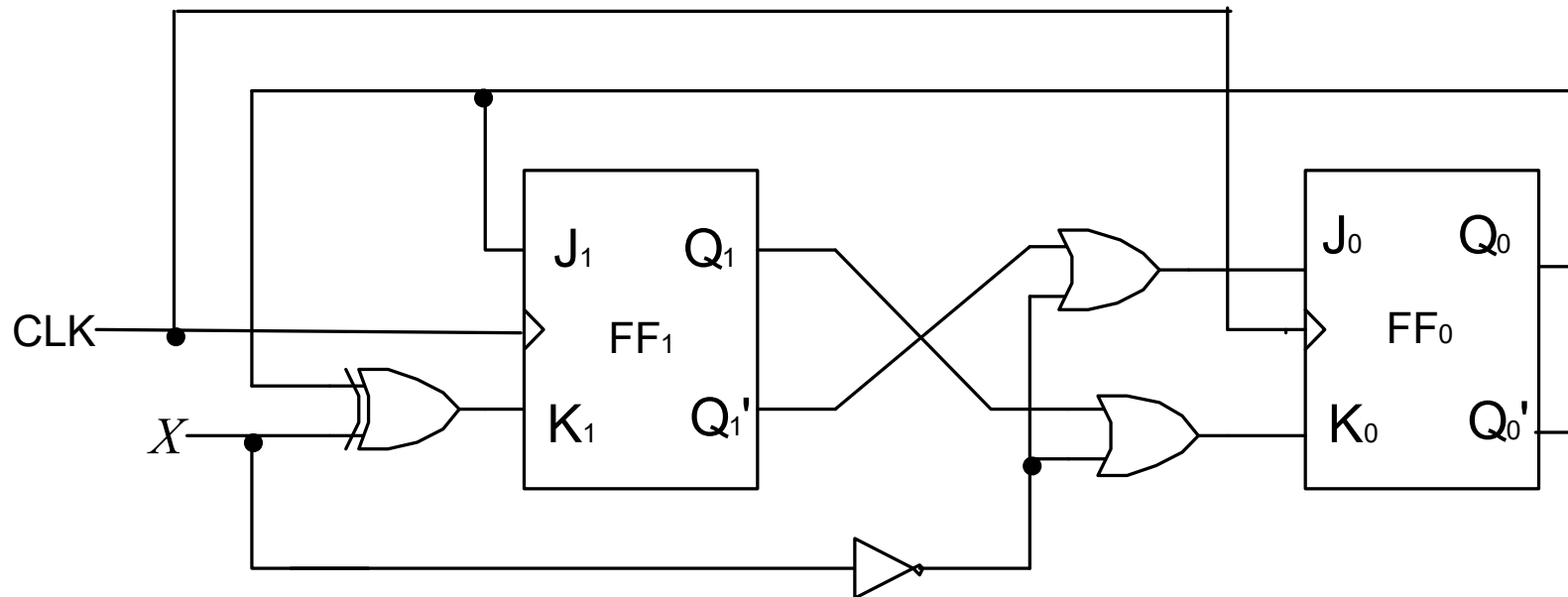
Παράδειγμα 8

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



Παράδειγμα 8

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Παράδειγμα 9

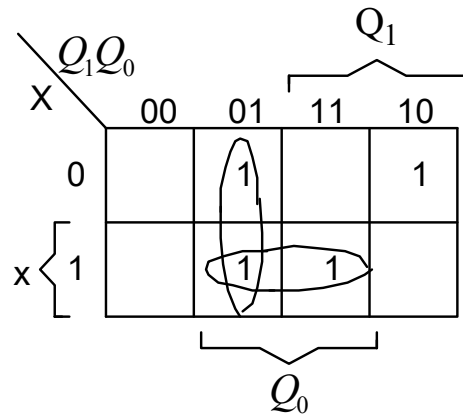
Με την χρήση FFs τύπου D θετικής ακμής πυροδότησης να σχεδιαστεί ΣΑΚ το οποίο να "περνά" από τις καταστάσεις 0, 1, 2, 3 (κανονική απαρίθμηση) ή 0, 1, 3, 2 (απαρίθμηση σύμφωνα με τον κώδικα Gray) ανάλογα με το αν η είσοδος X είναι 0 ή 1 αντίστοιχα.

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.

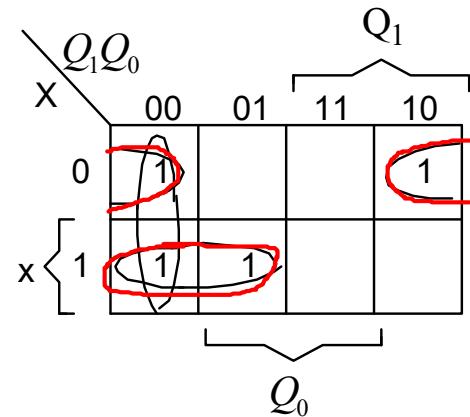


Παράδειγμα 9

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



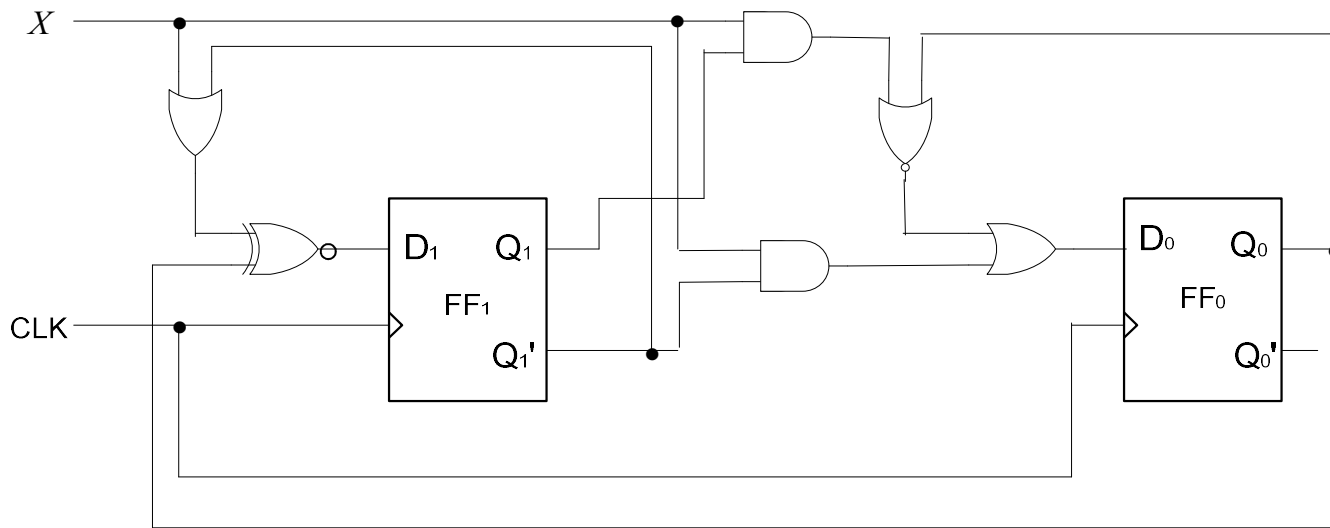
$$\begin{aligned}
 D_1 &= Q_0 Q_1' + Q_0 X + Q_0' Q_1 X' = \\
 &= Q_0 (Q_1' + X) + Q_0' (Q_1' + X)' = \\
 &= Q_0 \text{XNOR} (Q_1' + X)
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 D_0 &= Q_0' Q_1' + Q_0' X' + Q_1' X = \\
 &= Q_0' (Q_1' + X') + Q_1' X = \\
 &= Q_0' (Q_1 X)' + Q_1' X = \\
 &= (Q_0 + Q_1 X)' + Q_1' X
 \end{aligned}$$

Παράδειγμα 9

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

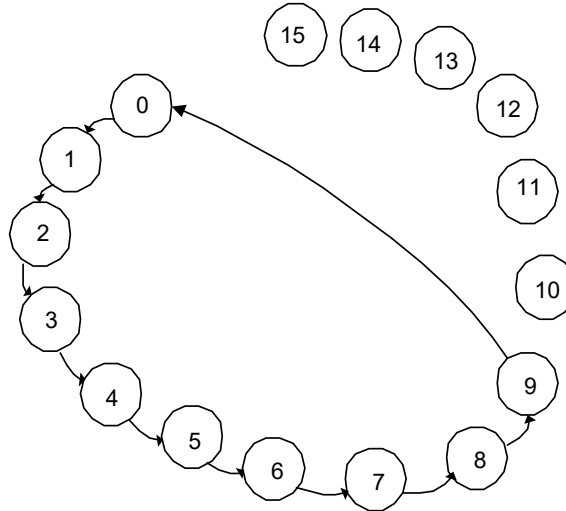


Παράδειγμα 10

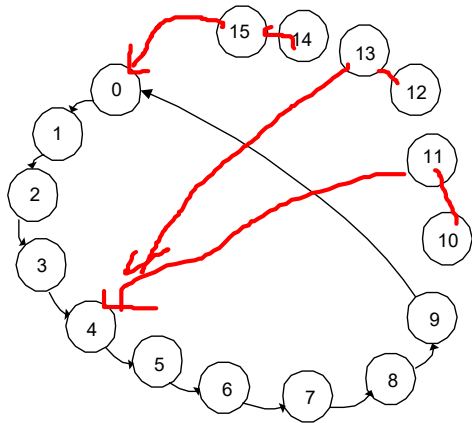
Σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα με **αδιάφορες καταστάσεις**

Με FF τύπου JK αρνητικής ακμής πυροδότησης να σχεδιάσετε ΣΑΚ το οποίο να διατρέχει τις τιμές 0 μέχρι και 9.

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.



Παράδειγμα 10



JJKK=FF

Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	J_3	J_2	J_1	J_0	K_3	K_2	K_1	K_0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0
0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	0	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	0	1	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	1	1	1	X	X	X	X	X	X	X	X

Π. Κ.

Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

Ε. Κ.

Q_3	Q_2	Q_1	Q_0
0	0	0	1
0	0	1	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	0	1
0	1	1	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	0	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	0	1
1	1	1	0
1	1	1	1

ΕΙΣΟΔΟΙ

$J_3 K_3$	$J_2 K_2$	$J_1 K_1$	$J_0 K_0$
0X	0X	0X	1X
0X	0X	1X	X1
0X	0X	X0	1X
0X	1X	X1	X1
0X	X0	0X	1X
0X	X0	1X	X1
0X	X0	X0	1X
1X	X1	X1	X1
X0	0X	0X	1X
X1	0X	0X	X1
XX	XX	XX	XX
XX	XX	XX	XX
XX	XX	XX	XX
XX	XX	XX	XX
XX	XX	XX	XX
XX	XX	XX	XX

Παράδειγμα 10

Π. Κ.				Ε. Κ.				ΕΙΣΟΔΟΙ			
Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	J ₃ K ₃	J ₂ K ₂	J ₁ K ₁	J ₀ K ₀
0	0	0	0	0	0	0	1	0X	0X	0X	1X
0	0	0	1	0	0	1	0	0X	0X	1X	X1
0	0	1	0	0	0	1	1	0X	0X	X0	1X
0	0	1	1	0	1	0	0	0X	1X	X1	X1
0	1	0	0	0	1	0	1	0X	X0	0X	1X
0	1	0	1	0	1	1	0	0X	X0	1X	X1
0	1	1	0	0	1	1	1	0X	X0	X0	1X
0	1	1	1	1	0	0	0	1X	X1	X1	X1
1	0	0	0	1	0	0	1	X0	0X	0X	1X
1	0	0	1	0	0	0	0	X1	0X	0X	X1
1	0	1	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	0	1	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	0	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	0	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	1	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	1	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX

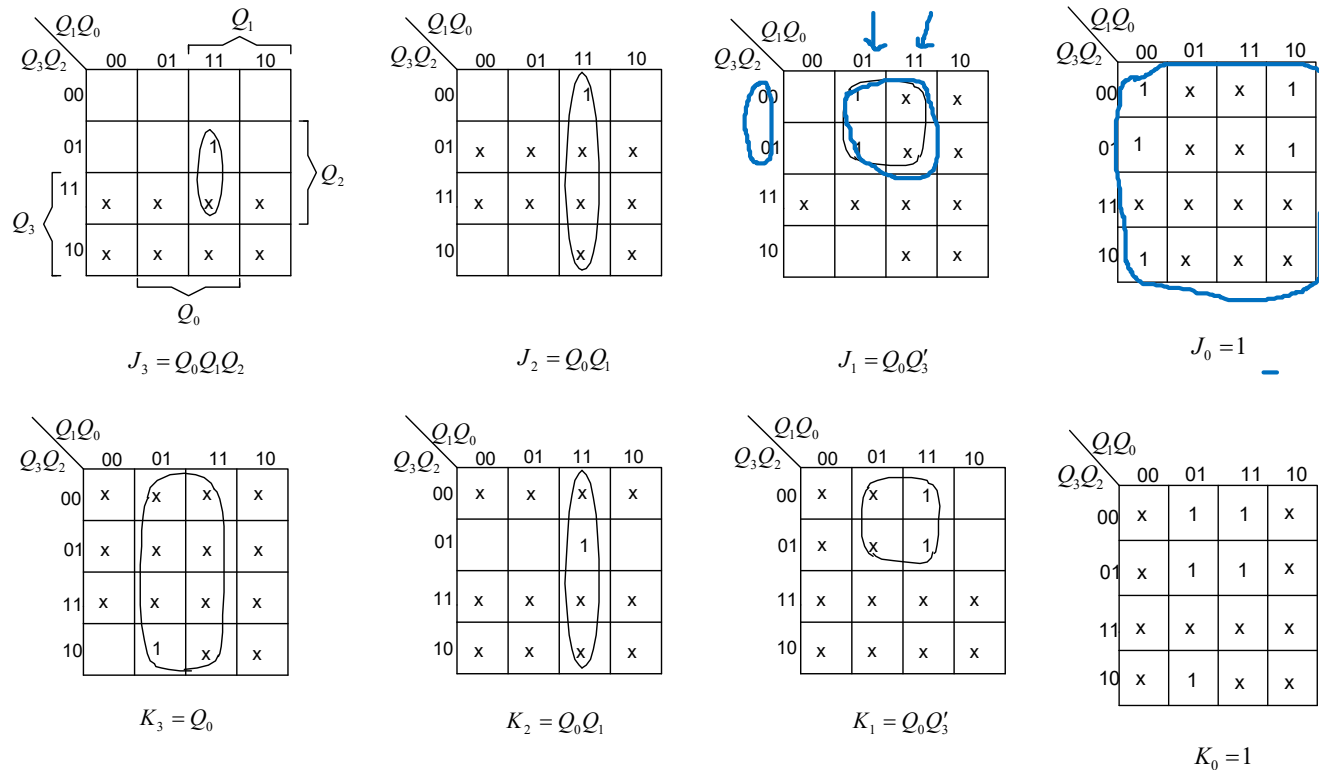
$$J_3^1 = Q_2 Q_1 Q_0$$

$$J_3^2 = \overline{Q_3} Q_2 Q_1 Q_0$$

ΑΝ $Q_3=0$ ΚΑΙ $Q_2=1$ ΚΑΙ $Q_1=1$ ΚΑΙ $Q_0=1 \Rightarrow J_3=1$
 $\overline{Q_3}=1$

Παράδειγμα 10

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00			1	
01			1	
11	x	x	x	x
10	x	x	x	x

$$J_3 = Q_0 Q_1 Q_2$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00			1	
01	x	x	x	x
11	x	x	x	x
10			x	x

$$J_2 = Q_0 Q_1$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	1	x	x	x
01	1	x	x	x
11	x	x	x	x
10			x	x

$$J_1 = Q_0 Q_3'$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	1	x	x	1
01	1	x	x	1
11	x	x	x	x
10	1	x	x	x

$$J_0 = 1$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01	x	x	x	x
11	x	x	x	x
10			1	x

$$K_3 = Q_0$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	x	x	x	x
01			1	
11	x	x	x	x
10	x	x	x	x

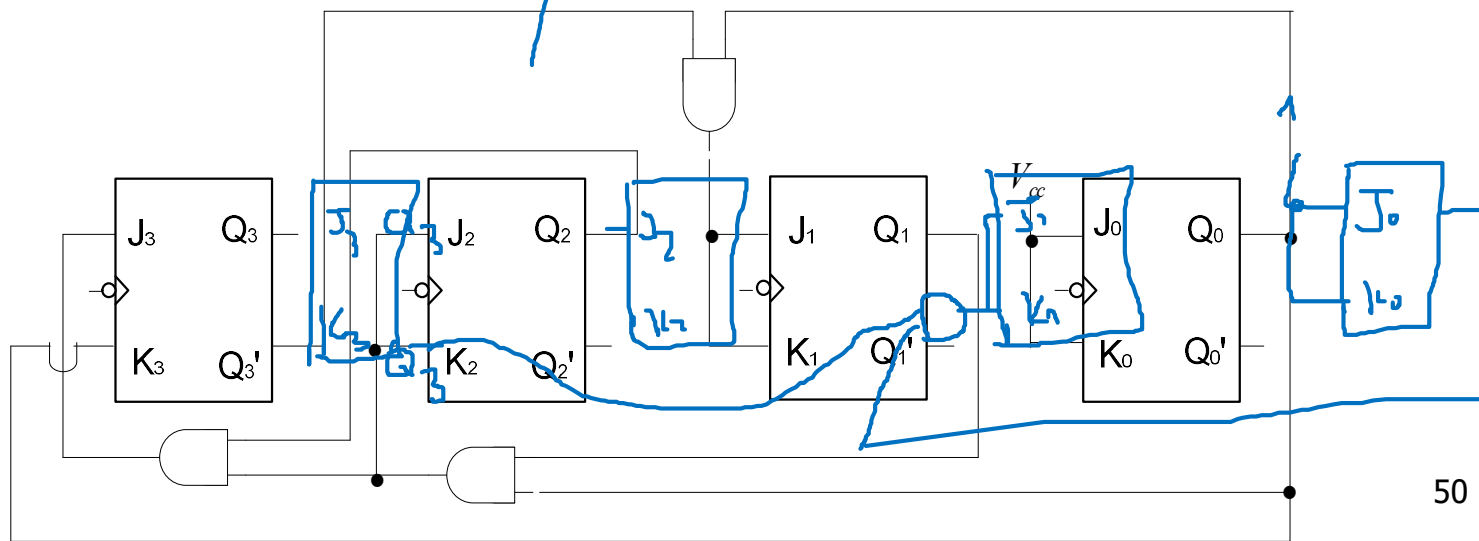
$$K_2 = Q_0 Q_1$$

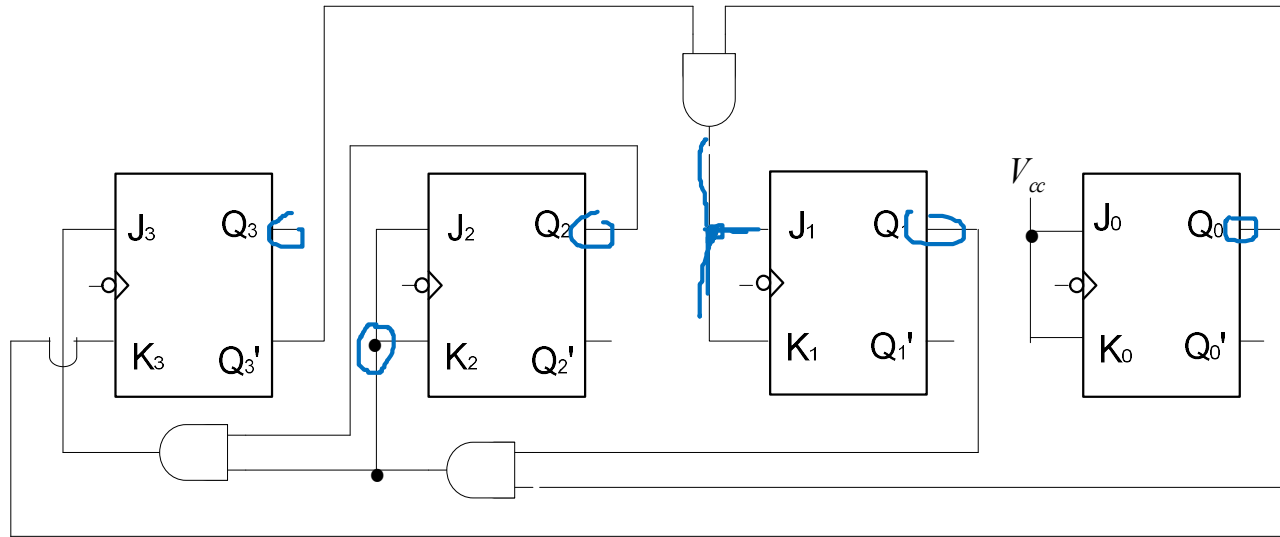
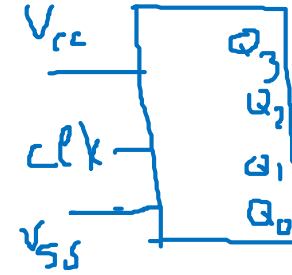
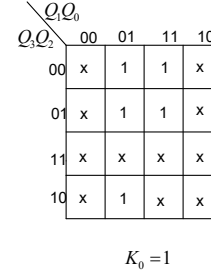
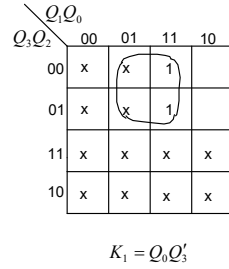
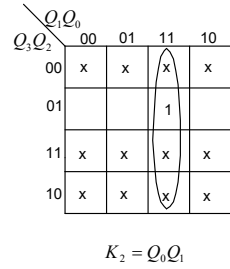
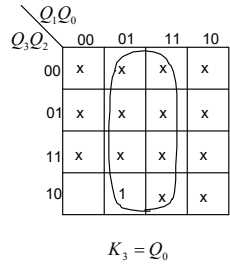
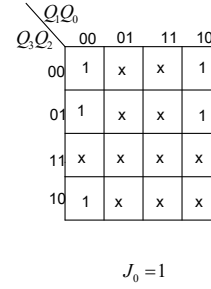
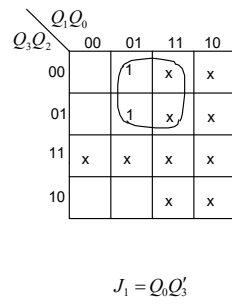
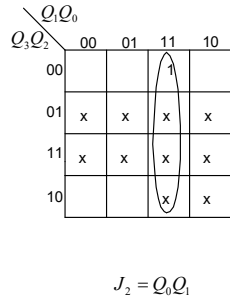
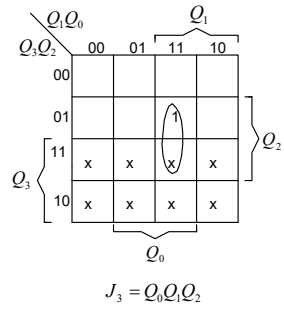
	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	x	x	1	
01	x	x	1	
11	x	x	x	x
10	x	x	x	x

$$K_1 = Q_0 Q_3'$$

	$Q_1 Q_0$		Q_1	
$Q_3 Q_2$	00	01	11	10
00	x	1	1	x
01	x	1	1	x
11	x	x	x	x
10	x	1	x	x

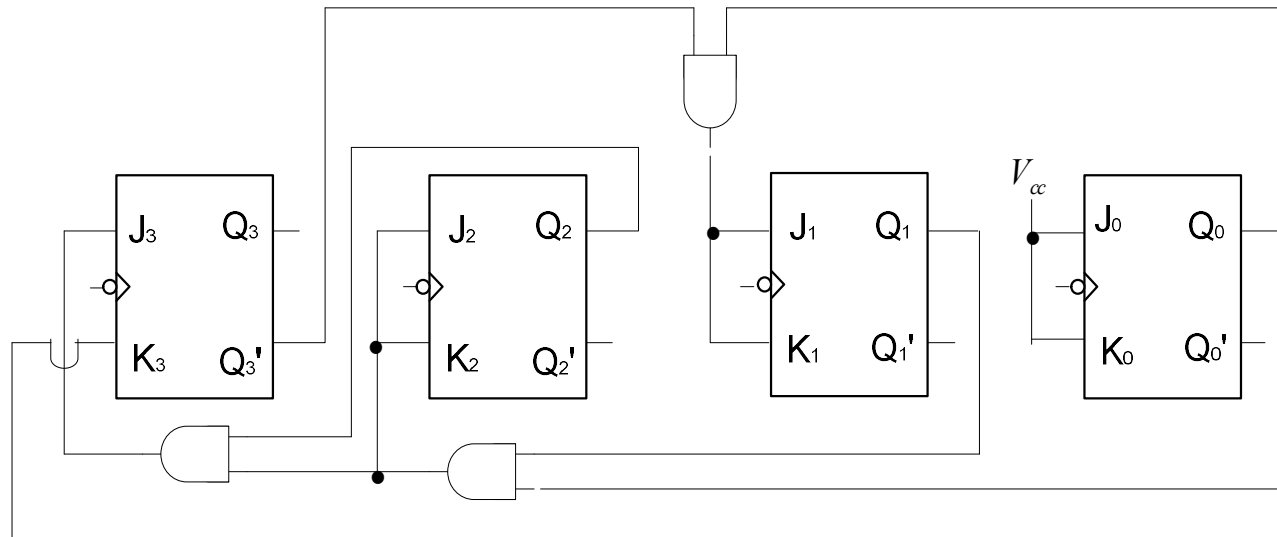
$$K_0 = 1$$





Παράδειγμα 10

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Βήμα Α1: Γράφουμε τις συναρτήσεις εισόδου των FFs.

$$J_3 = Q_2 Q_1 Q_0 \quad J_2 = K_2 = Q_1 Q_0 \quad J_1 = K_1 = Q_3 Q_0 \quad J_0 = K_0 = 1 \quad K_3 = Q_0$$

Π. Κ.				Ε. Κ.				ΕΙΣΟΔΟΙ			
Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	J ₃ K ₃	J ₂ K ₂	J ₁ K ₁	J ₀ K ₀
0	0	0	0	0	0	0	1	0X	0X	0X	1X
0	0	0	1	0	0	1	0	0X	0X	1X	X1
0	0	1	0	0	0	1	1	0X	0X	X0	1X
0	0	1	1	0	1	0	0	0X	1X	X1	X1
0	1	0	0	0	1	0	1	0X	X0	0X	1X
0	1	0	1	0	1	1	0	0X	X0	1X	X1
0	1	1	0	0	1	1	1	0X	X0	X0	1X
0	1	1	1	1	0	0	0	1X	X1	X1	X1
1	0	0	0	1	0	0	1	X0	0X	0X	1X
1	0	0	1	0	0	0	0	X1	0X	0X	X1
1	0	1	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	0	1	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	0	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	0	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	1	0	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX
1	1	1	1	X	X	X	X	XX	XX	XX	XX

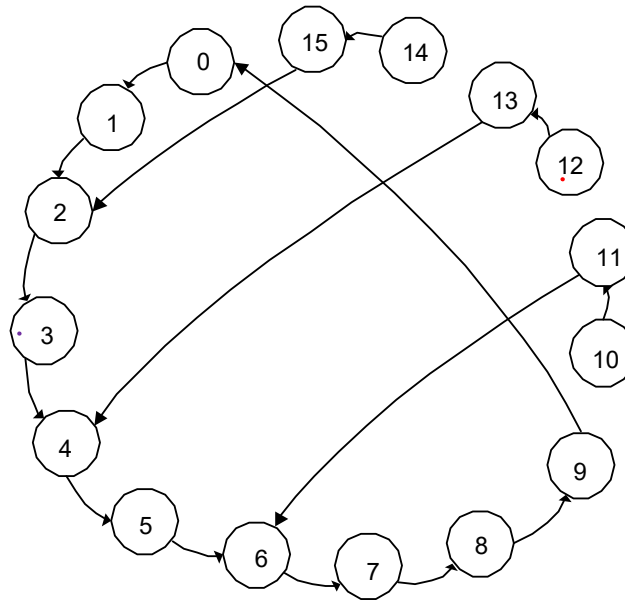
Π. Κ.				ΕΙΣΟΔΟΙ				Ε. Κ.			
Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀	J ₃ K ₃	J ₂ K ₂	J ₁ K ₁	J ₀ K ₀	Q ₃	Q ₂	Q ₁	Q ₀
.
1	0	1	0	00	00	00	11	1	0	1	1
1	0	1	1	01	11	00	11	0	1	1	0
1	1	0	0	00	00	00	11	1	1	0	1
1	1	0	1	01	00	00	11	0	1	0	0
1	1	1	0	00	00	00	11	1	1	1	1
1	1	1	1	11	11	00	11	0	0	1	0

JK flip-flop

J	K	Q _{t+1}
0	0	Q _t
0	1	0
1	0	1
1	1	Q' _t

Παράδειγμα 10

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων.



αυτόματη εκκίνηση (self-starting) / αυτόματη διόρθωση (self-correcting)

T-FF		
Q_t	Q_{t+1}	T
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

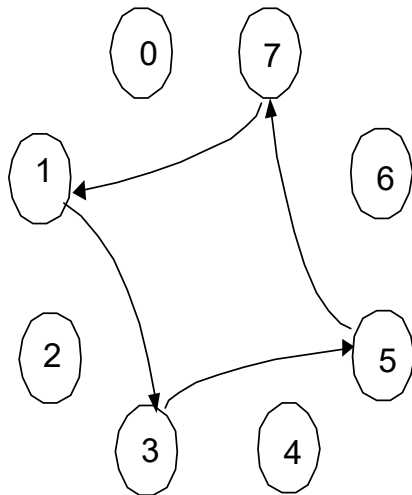
Παράδειγμα 11 T

Σχεδιάστε ΣΑΚ το οποίο να διατρέχει διαδοχικά τους αριθμούς 1, 3, 5, 7.

Προσοχή!

Θα χρησιμοποιήσουμε 3 FFs και όχι 2, όπως αρχικά μπορεί κάποιος να σκεφτεί βλέποντας τις 4 καταστάσεις

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.

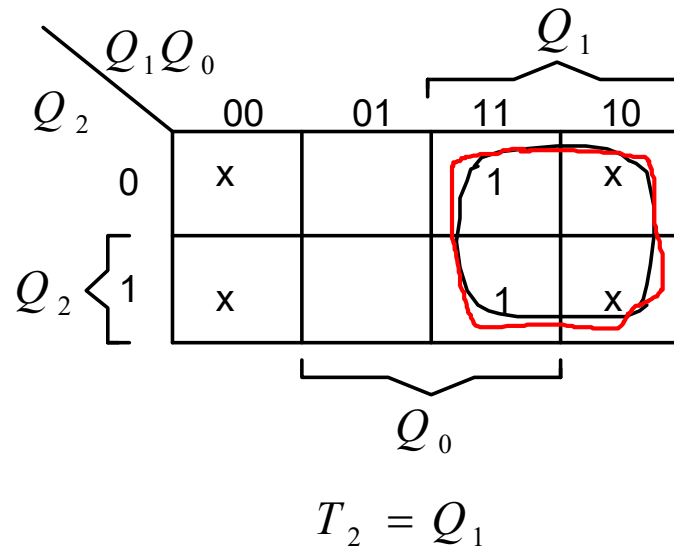


Π.Κ.				Ε.Κ.				ΕΙΣΟΔΟΙ			
Q_2	Q_1	Q_0	T	Q_2	Q_1	Q_0	T	T_2	T_1	T_0	T
0	0	0	1	X	0	X	X	X	X	X	0
0	0	1	0	0	1	X	X	X	1	X	X
0	1	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
1	0	1	0	1	X	X	X	0	1	0	0
1	1	0	1	X	1	X	1	X	X	X	0
1	1	1	0	0	X	0	X	1	X	0	X

Παράδειγμα 11

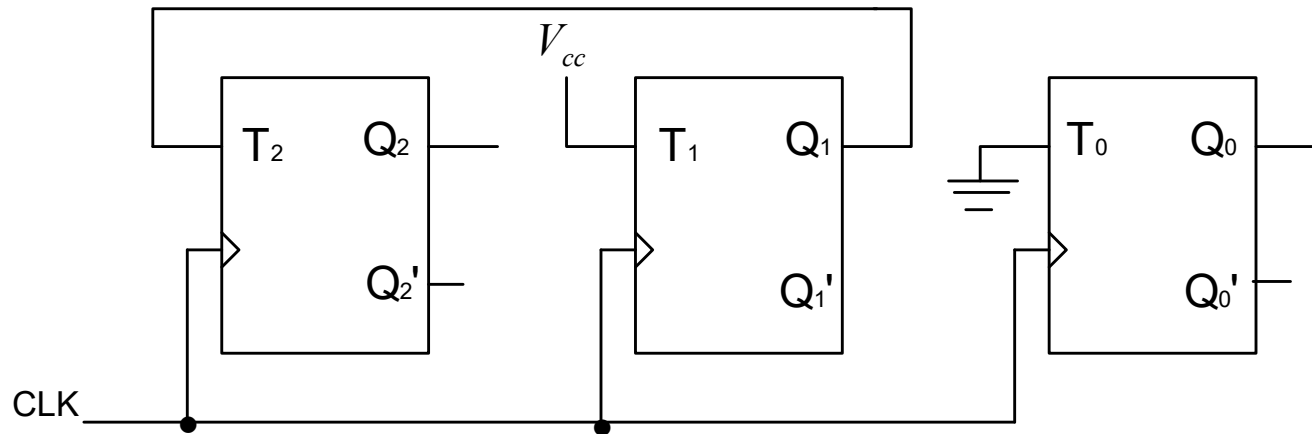
Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.

Από το τμήμα των εισόδων του πίνακα καταστάσεων και με αξιοποίηση των συνθηκών αδιαφορίας, εξάγεται άμεσα ότι $T_0=0, T_1=1$



Παράδειγμα 11

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Παράδειγμα 11

Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Βήμα Α1: Γράφουμε τις συναρτήσεις εισόδου των FFs.

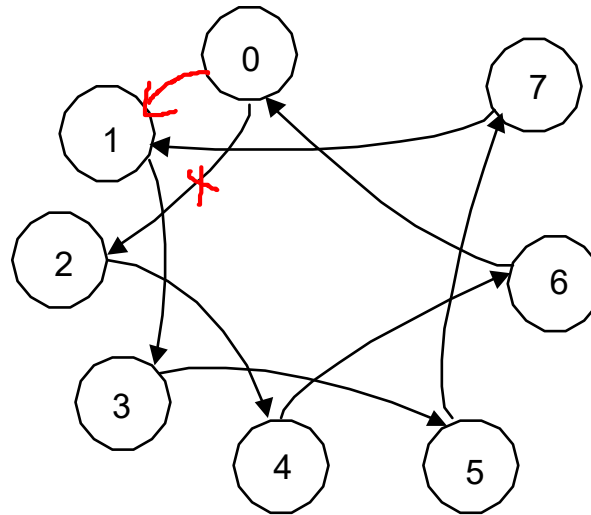
$$T_2=Q_1 \quad T_1=1 \quad T_0=0$$

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.

Π.Κ.			ΕΙΣΟΔΟΙ			Ε.Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀	T ₂	T ₁	T ₀	Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0	0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0	1	1
0	1	0	1	1	0	1	0	0
0	1	1	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0
1	0	1	0	1	0	1	1	1
1	1	0	1	1	0	0	0	0
1	1	1	1	1	0	0	0	1

Παράδειγμα 11

Βήμα A3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων.



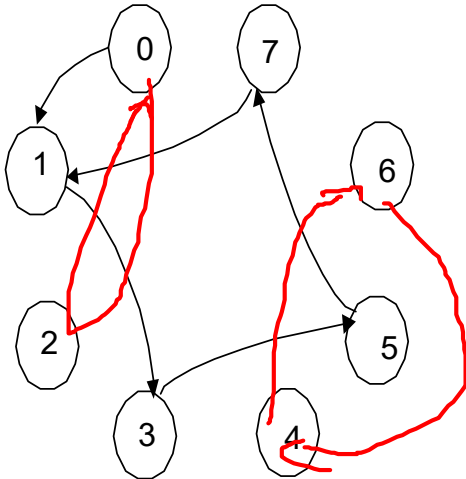
Πρόβλημα!

Αν βρεθεί σε μία από τις μη έγκυρες καταστάσεις 0 ή 2 ή 4 ή 6, τότε εγκλωβίζεται στον κύκλο 0, 2, 4, 6, 0, 2, 4, 6, 0, 2, ...

Παράδειγμα 11

Λύση: Αναγκάζουμε το κύκλωμα μετά την κατάσταση 0 να μεταβεί στην κατάσταση 1.
Με αυτό τον τρόπο "**σπάμε**" τον μη έγκυρο κύκλο 0, 2, 4, 6, 0, 2, ...
Ακολούθως, επαναλαμβάνουμε την διαδικασία της σχεδίασης από την αρχή.

Βήμα Σ1: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων του κυκλώματος και από αυτό καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.



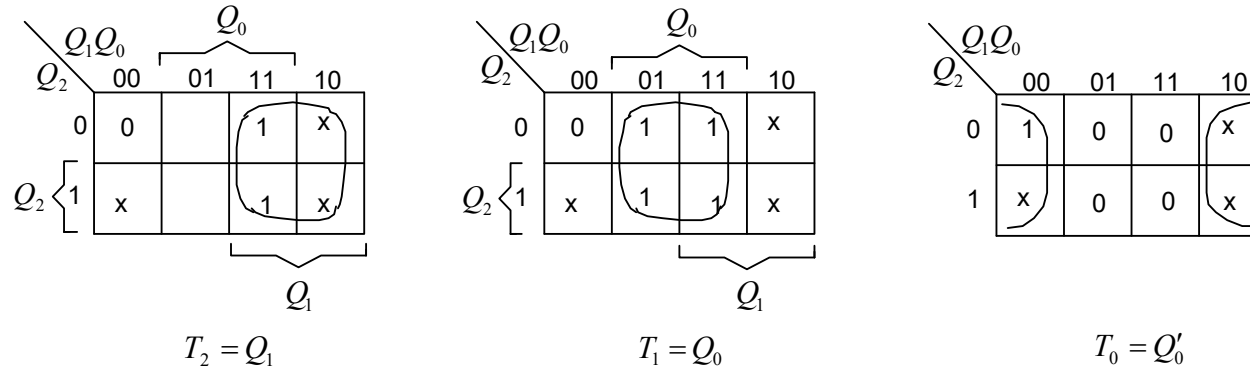
Π.Κ.		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	0
.	.	.
.	.	.
.	.	.

ΕΙΣΟΔΟΙ		
Q ₂	Q ₁	Q ₀
0	0	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.

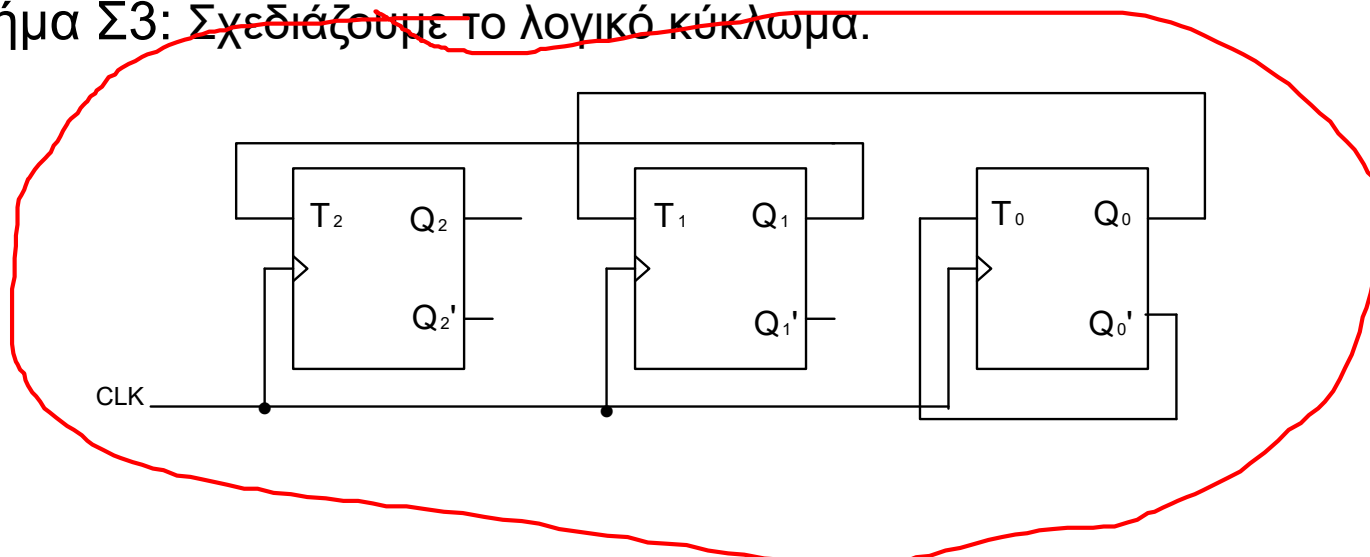
Ε.Κ.		
T ₂	T ₁	T ₀
0	0	1
.	.	.
.	.	.
.	.	.

Παράδειγμα 11

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.

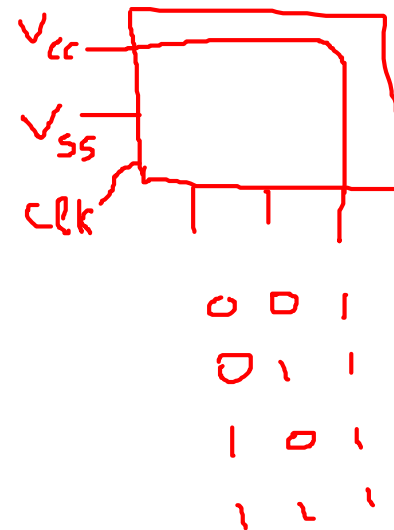


Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Παράδειγμα 12

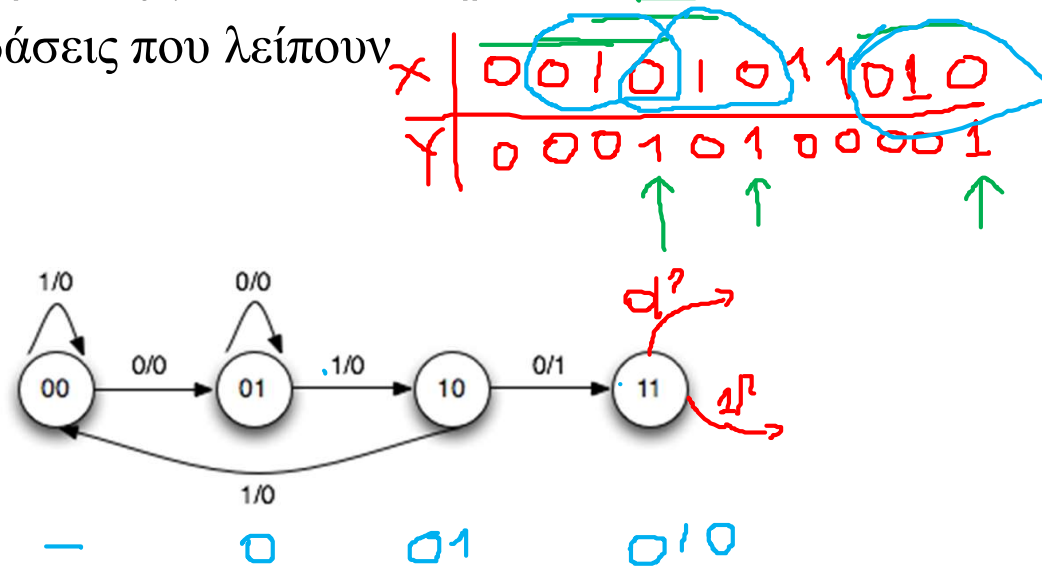
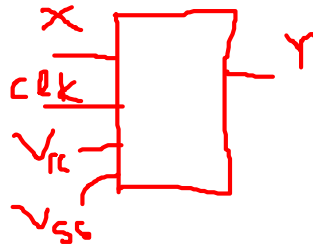
Σχεδιάστε ΣΑΚ το οποίο να διατρέχει διαδοχικά τους αριθμούς 1, 3, 5, 7.



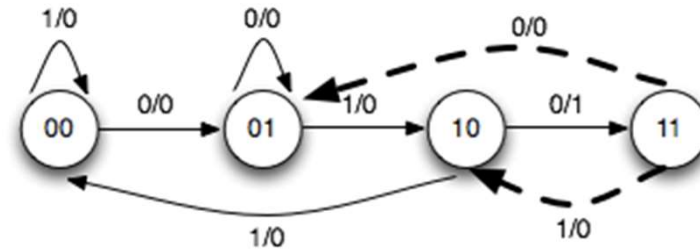
Παράδειγμα 12

Ένας φοιτητής σχεδίασε το παρακάτω διάγραμμα καταστάσεων για ένα ακολουθιακό κύκλωμα το οποίο αναγνωρίζει την ακολουθία δυαδικών ψηφίων '010' από μία σειριακή είσοδο X, και δίνει έξοδο Y='1' κάθε φορά που την αναγνωρίζει. Επιτρέπεται επικάλυψη των ακολουθιών. Έτσι για παράδειγμα, για την ακολουθία X='00101011010...' η έξοδος Y λαμβάνει τις τιμές Y='00010100001...'. Ωστόσο, από το διάγραμμα λείπουν κάποιες μεταβάσεις για να ολοκληρωθεί.

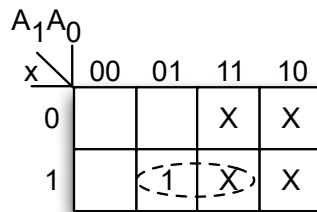
Προσθέστε τις μεταβάσεις που λείπουν



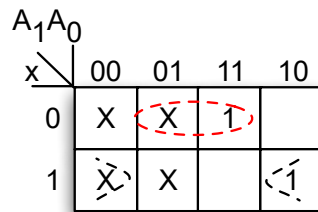
Παράδειγμα 12



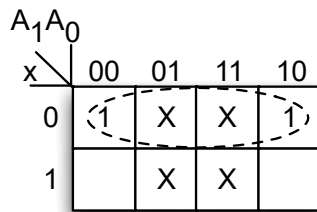
X A ₁ A ₀	A ₁ A ₀	J _{A₁} K _{A₁}	J _{A₀} K _{A₀}	Y
0 0 0	0 1	0 X	1 X	0
0 0 1	0 1	0 X	X 0	0
0 1 0	1 1	X 0	1 X	1
0 1 1	0 1	X 1	X 0	0
1 0 0	0 0	0 X	0 X	0
1 0 1	1 0	1 X	X 1	0
1 1 0	0 0	X 1	0 X	0
1 1 1	1 0	X 0	X 1	0



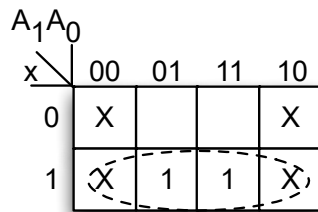
$$JA_1 = xA_0$$



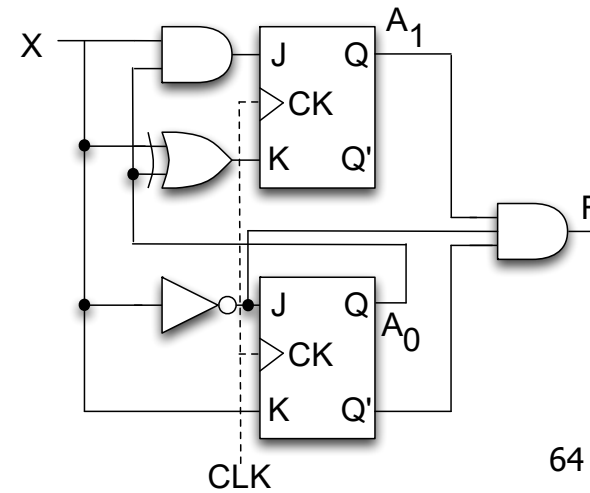
$$KA_1 = xA_0' + x'A_0 = x \text{ xor } A_0$$



$$JA_0 = x'$$



$$KA_0 = x$$



Σύνοψη

- Οι πίνακες λειτουργίας των FFs είναι απαραίτητοι για την ανάλυση των ΣΑΚ, ενώ οι πίνακες διέγερσης των FFs απαιτούνται για τη σχεδίαση αυτών.
- Ο πίνακας καταστάσεων ενός ΣΑΚ αποτελείται από 2^{n+m} γραμμές (δυνατές περιπτώσεις), όπου n το πλήθος των FFs του κυκλώματος και m ο αριθμός των εξωτερικών εισόδων αυτού.
- Ο τύπος πυροδότησης των FFs δεν παίζει ρόλο στην ανάλυση ή σχεδίαση ενός ΣΑΚ.

Ελπίζω να μην κουραστήκατε, μόνο !!!

