

Βασικές Αρχές Ψηφιακής Τεχνολογίας

Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών

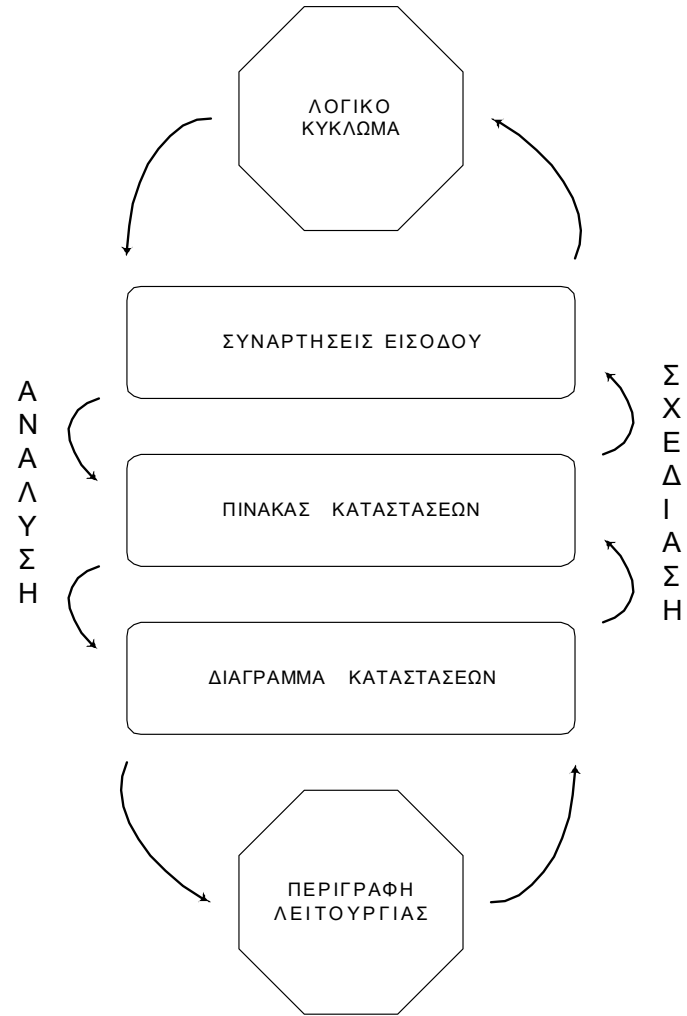
ΠΜΣ Πληροφορική και Εφαρμογές

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 | Q'_t |

D flip-flop

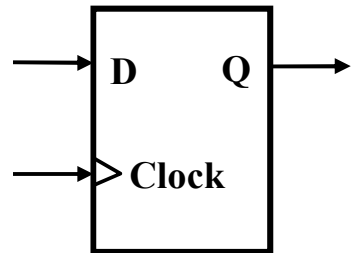
| D | Q_{t+1} |
|---|-----------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

T flip-flop

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

D flip-flop

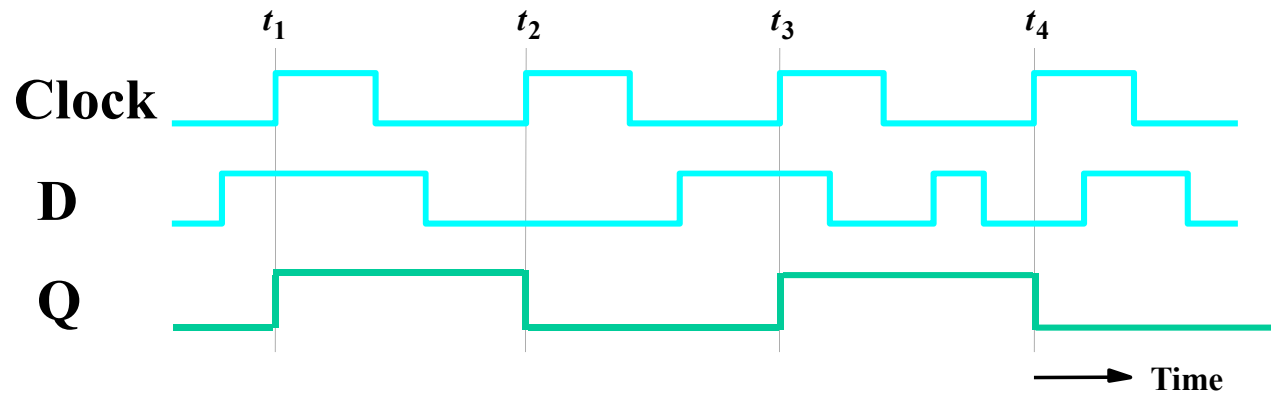
Graphical symbol



Truth table

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

Timing diagram

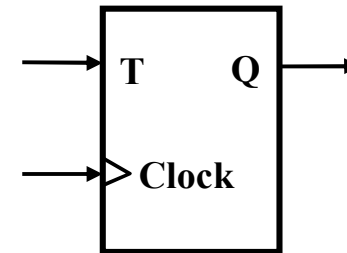


T flip-flop

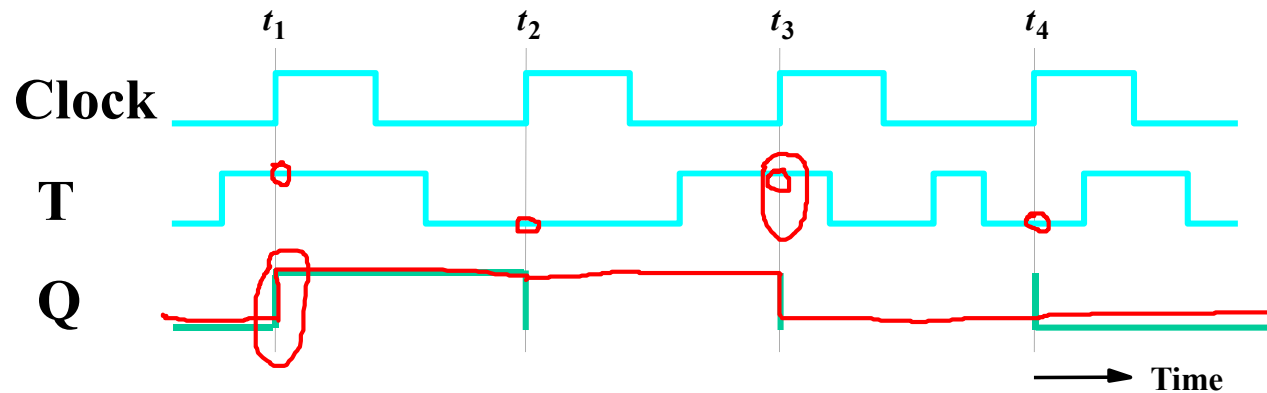
T flip-flop

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

Graphical symbol

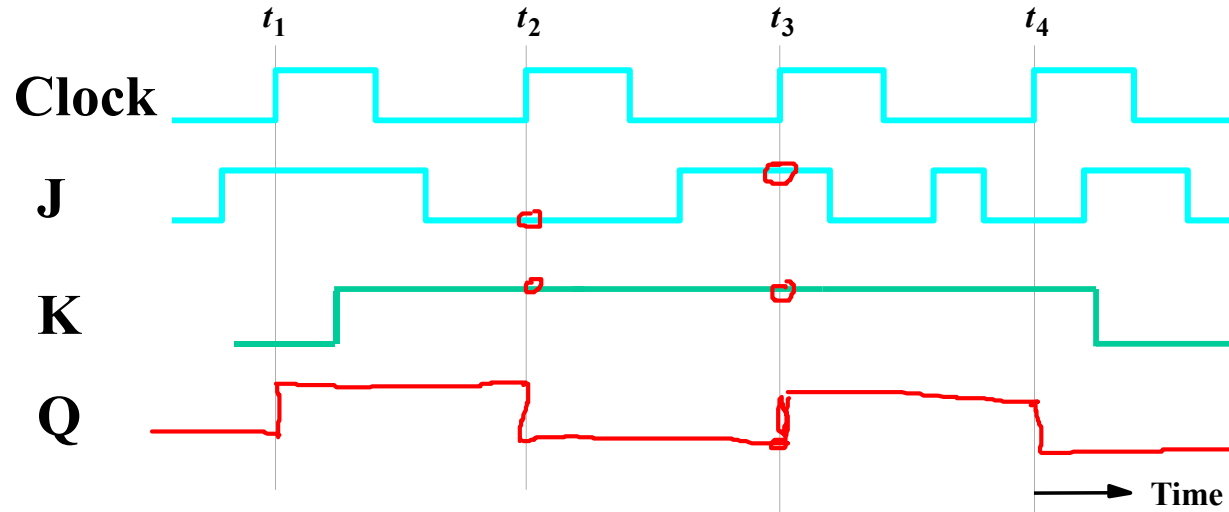


Timing diagram



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

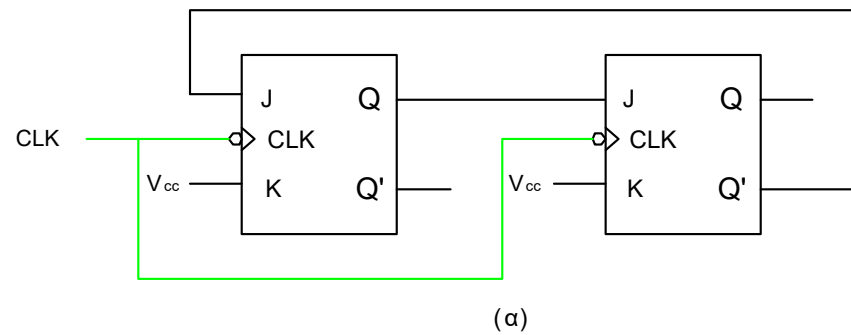
| D | Q_{t+1} |
|---|-----------|
| 0 | 0 |
| 1 | 1 |

T flip-flop

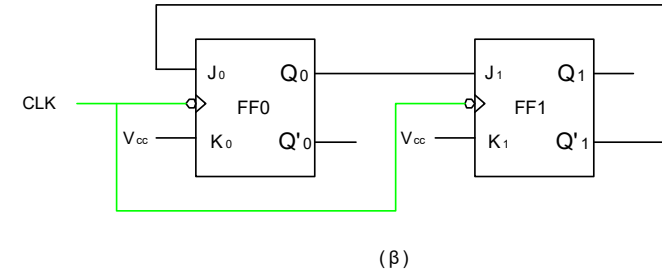
| T | Q_{t+1} |
|---|-----------|
| 0 | Q_t |
| 1 | Q'_t |

Παράδειγμα 1

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



Παράδειγμα 1



Βήμα A1: 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 A2: 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 |

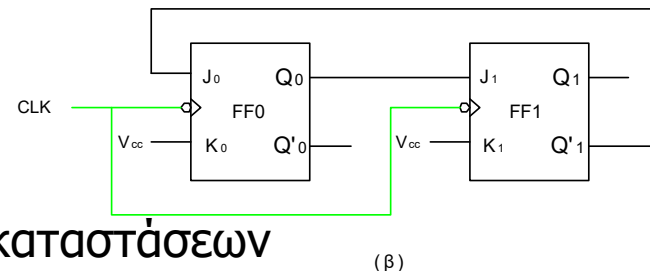
| ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | |
|-------------------|-------|
| Q_1 | Q_0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 0 | 0 |
| 0 | 0 |

Καταγράφονται ΟΛΟΙ οι δυνατοί συνδυασμοί (δυνατές καταστάσεις)

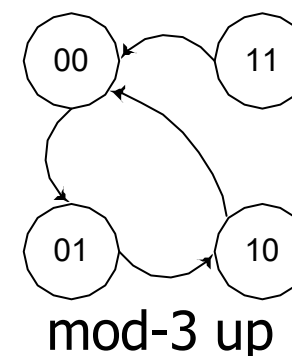
Προκύπτουν από τις συναρτήσεις εισόδου και τις τιμές της παρούσας κατάστασης

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

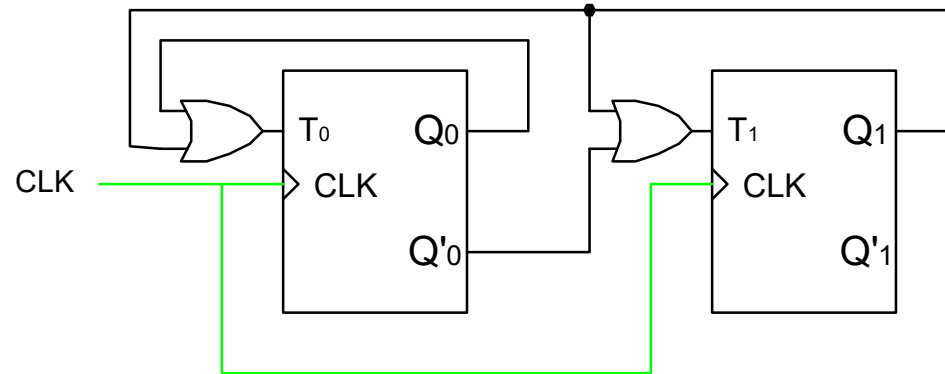


- Παρατηρήσεις
- Οι **ωρολογιακοί παλμοί δε φαίνονται στον πίνακα και στο διάγραμμα καταστάσεων.**
Εννοείται ότι από την παρούσα κατάσταση μεταβαίνουμε στην επόμενη κατάσταση με την έλευση της ενεργού ακμής πυροδότησης του ωρολογιακού παλμού CLK.
- Για την κατάστρωση του πίνακα βασιζόμαστε εκτός από 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.

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

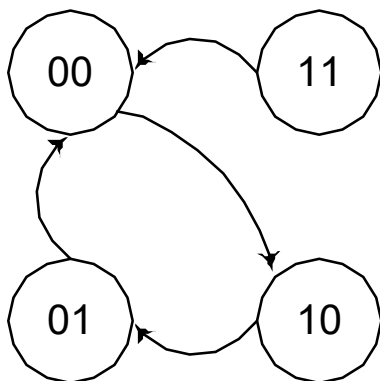
| | |
|---|-----------|
| T | Q_{t+1} |
| 0 | Q_t |
| 1 | Q'_t |

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

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

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

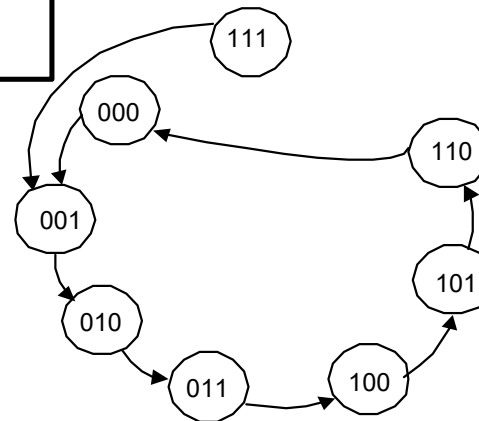
Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

| 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 |

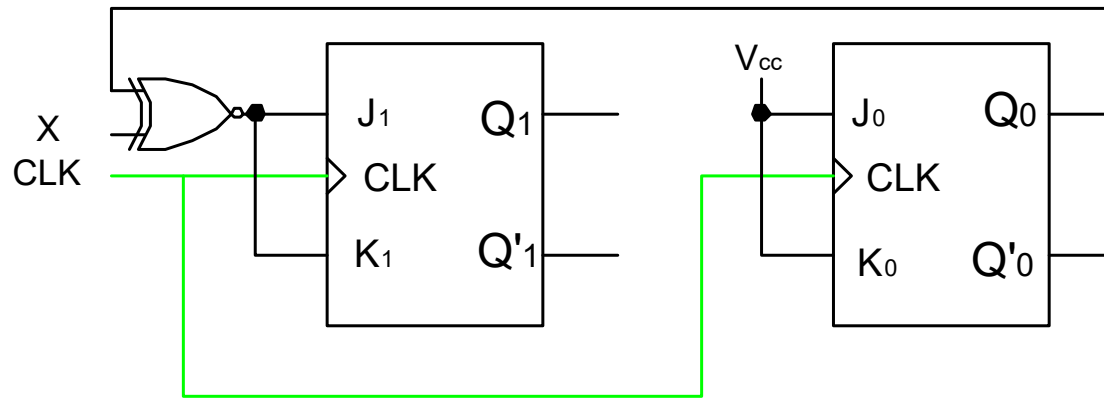
Βήμα A3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



mod-7

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

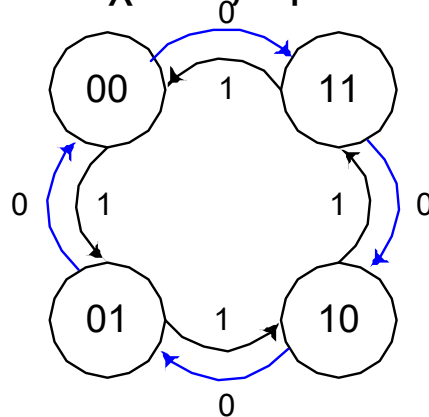
Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

| 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 |

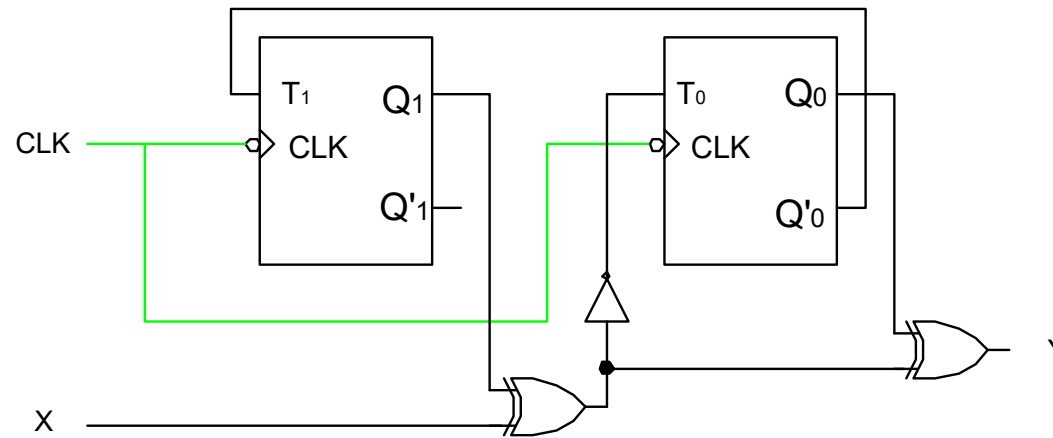
| ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | |
|----------------------|----------------|
| Q ₁ | Q ₀ |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |

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.

$$T_1 = Q'_0 \quad T_0 = X \odot Q_1$$

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

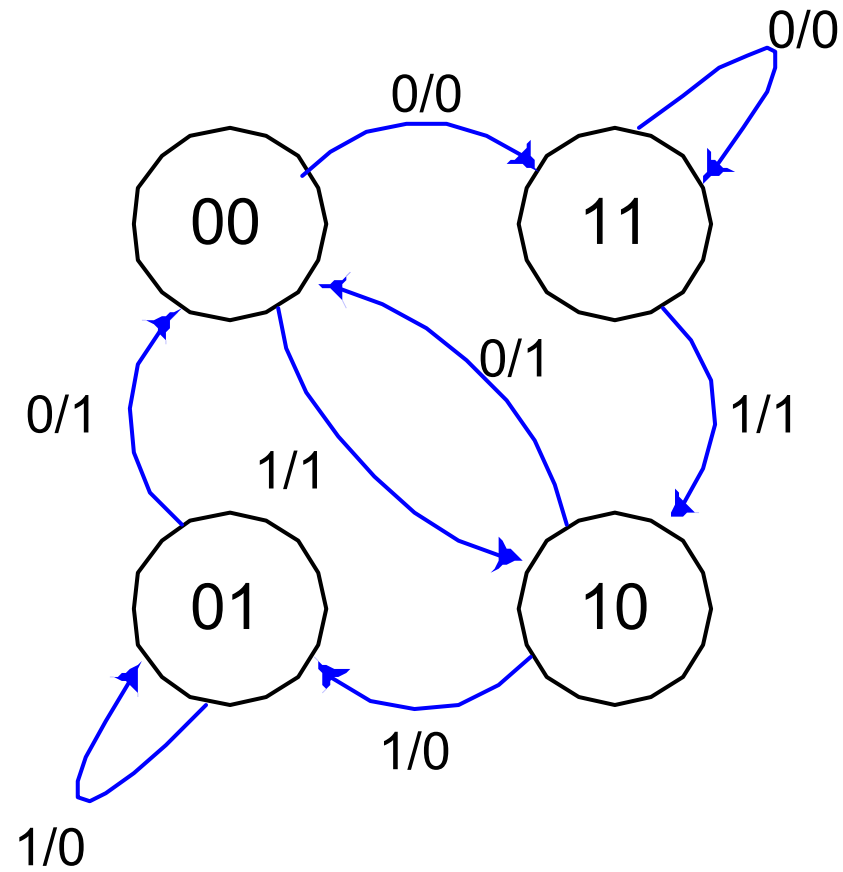
Παράδειγμα 5

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

| 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 |

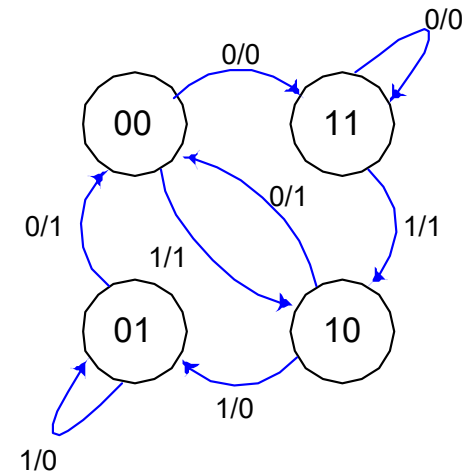
Παράδειγμα 5

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



Παράδειγμα 5

Βήμα A3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων



Βήμα A4:

Τι κάνει;

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

Ποιες ακολουθίες «αναγνωρίζει»;

Παράδειγμα 6

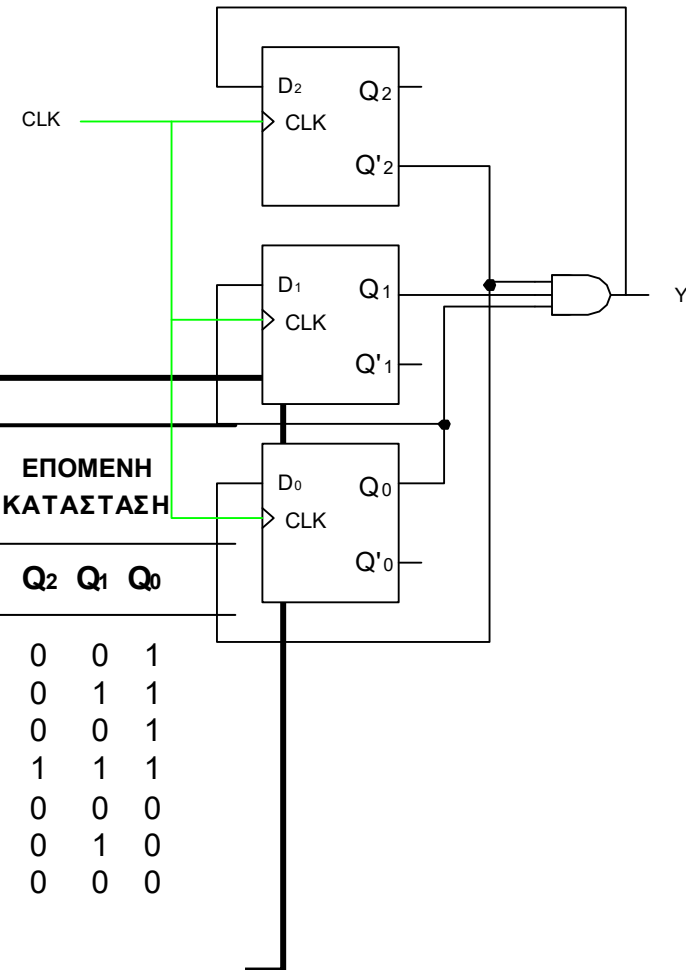
Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

| 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 |

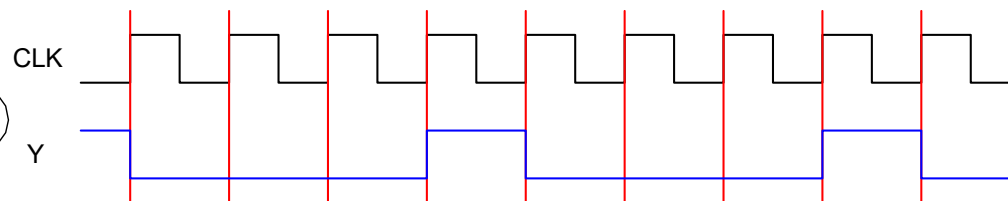
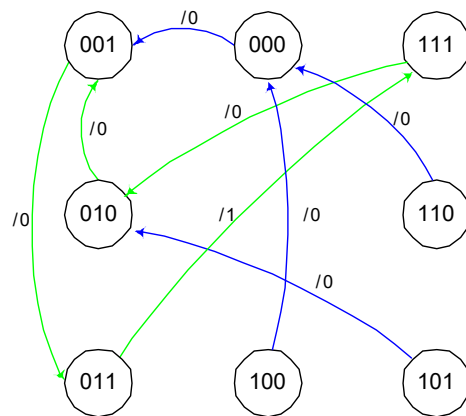


Παράδειγμα 6

Βήμα Α2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων

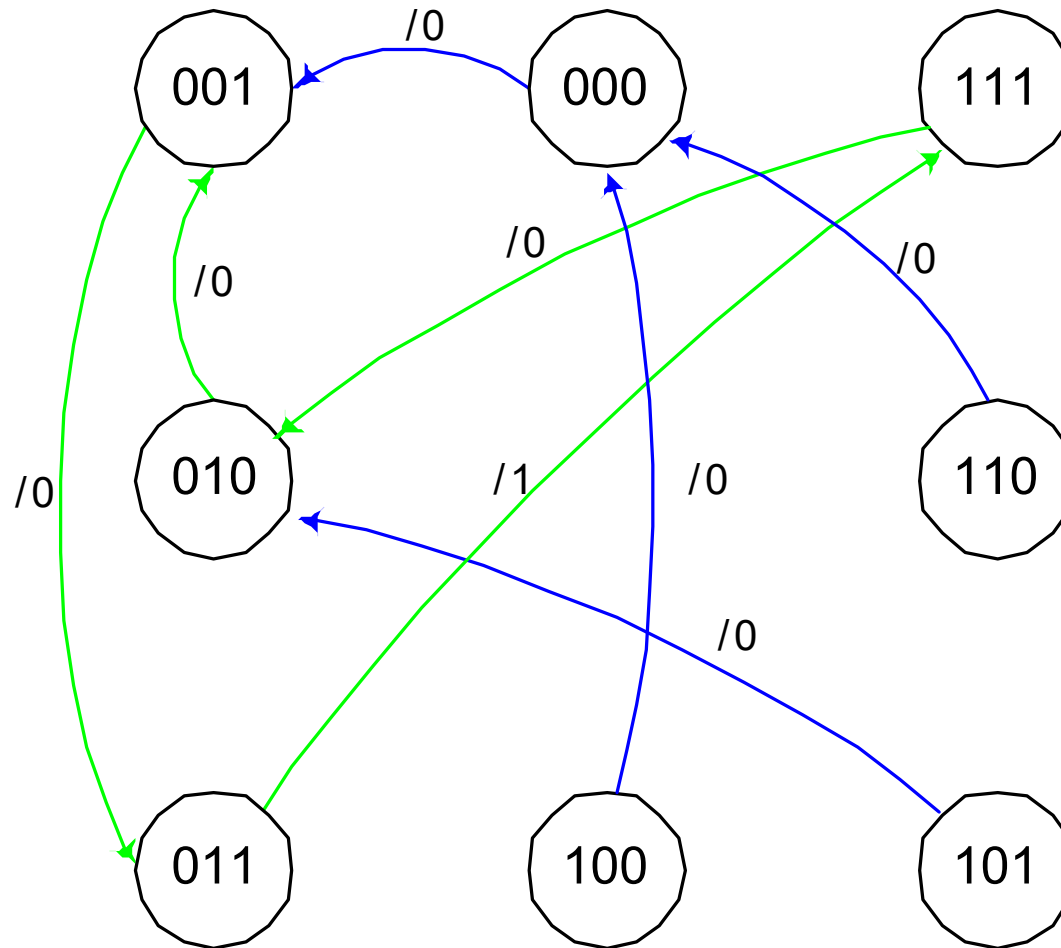
| ΠΑΡΟΥΣΑ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | | | ΕΙΣΟΔΟΙ | | | ΕΞΟΔΟΣ | ΕΠΟΜΕΝΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ | | |
|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------------------|----------------|----------------|
| Q ₂ | Q ₁ | Q ₀ | D ₂ | D ₁ | D ₀ | Y | Q ₂ | Q ₁ | Q ₀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

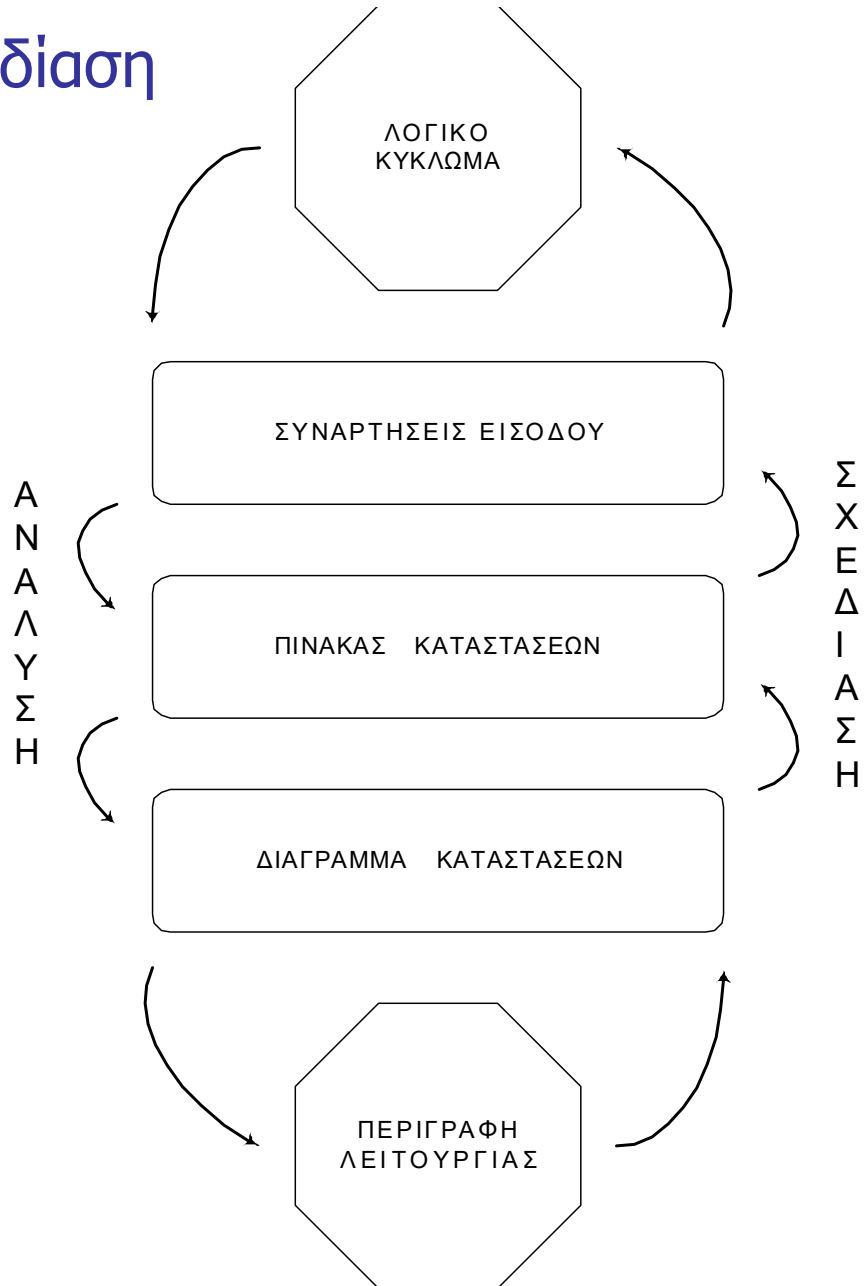


Παράδειγμα 6

Βήμα 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 | 1 | | |
| 1 | 0 | | |
| 1 | 1 | | |

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 |

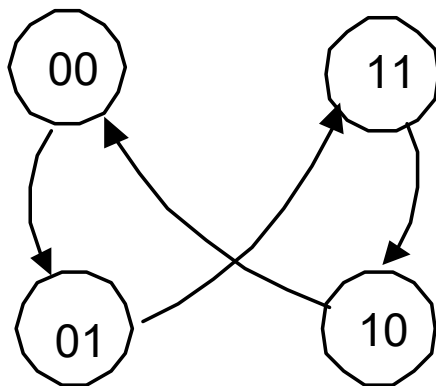
T-FF

| 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.



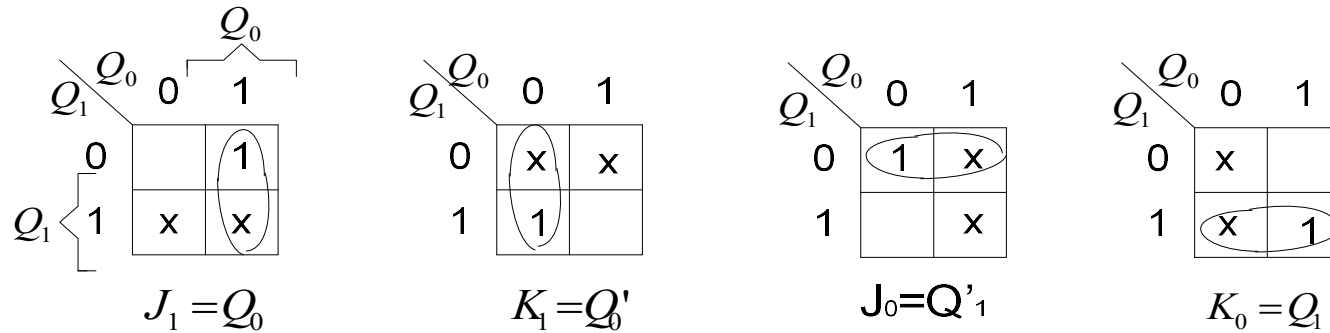
| Π. Κ. | |
|----------------|----------------|
| Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 1 | 1 |

| Ε.Κ. | |
|----------------|----------------|
| Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 1 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0 |

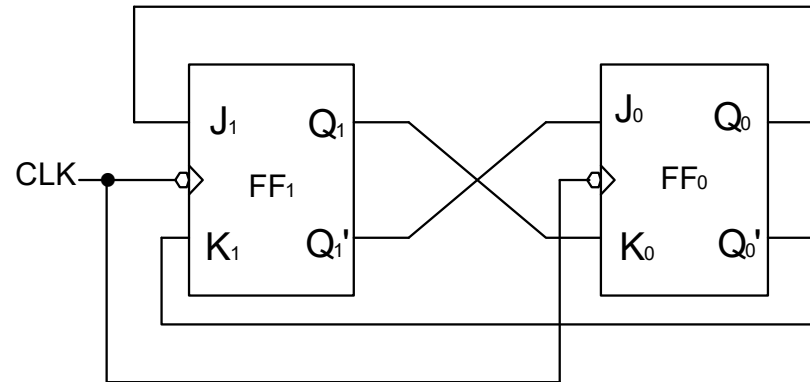
| ΕΙΣΟΔΟΙ | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| J ₁ K ₁ | J ₀ K ₀ |
| 0X | 1X |
| 1X | X0 |
| X1 | 0X |
| X0 | X1 |

Παράδειγμα 7

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



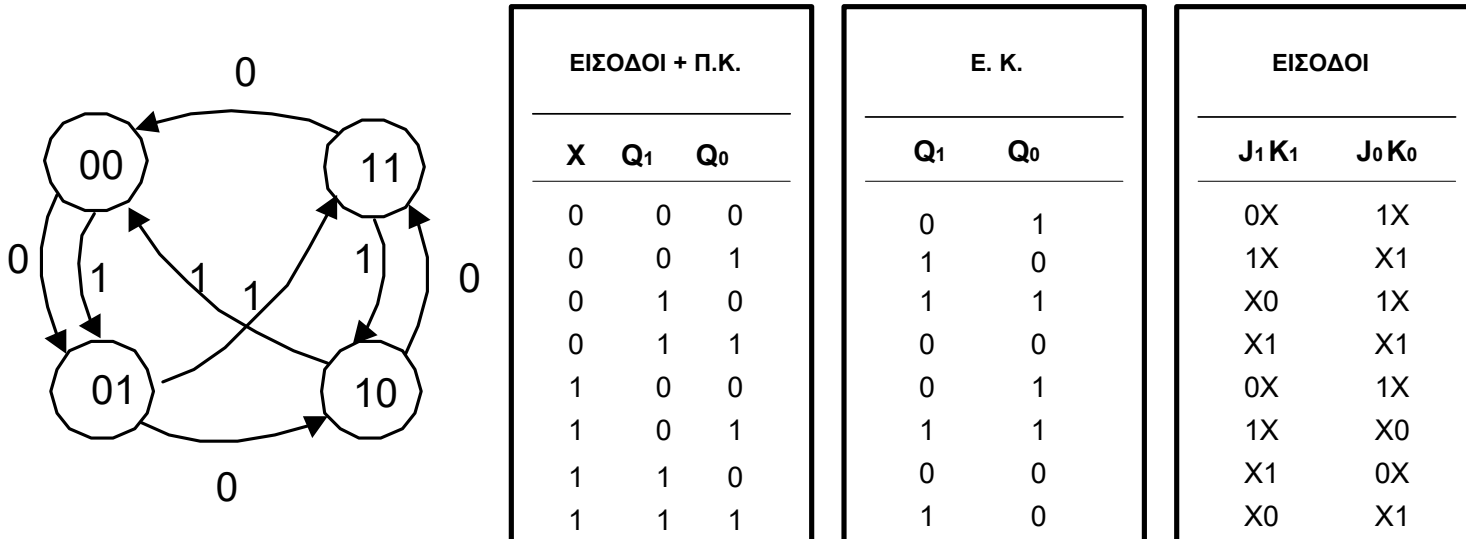
Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Παράδειγμα 8

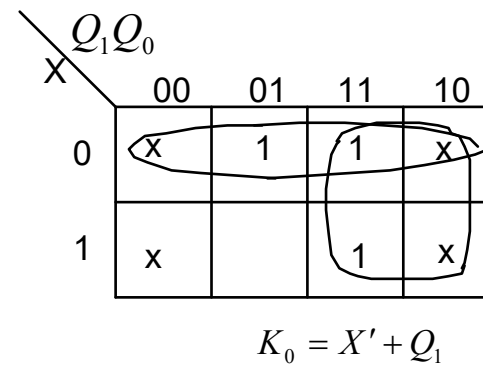
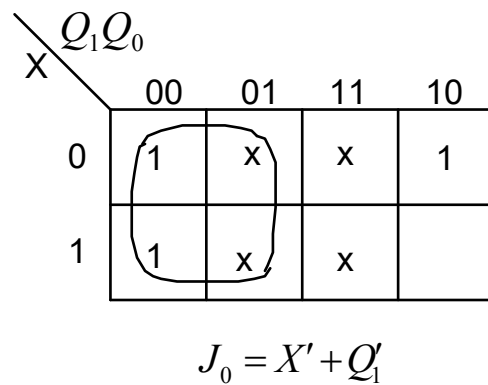
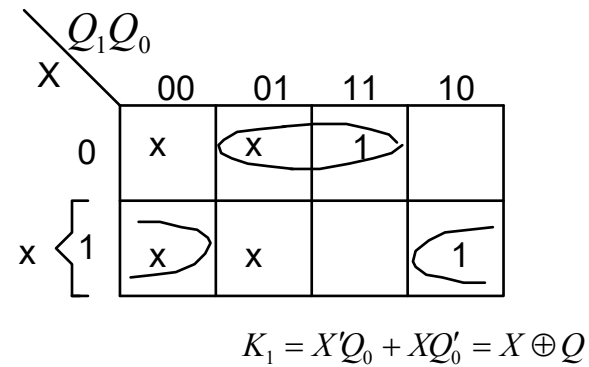
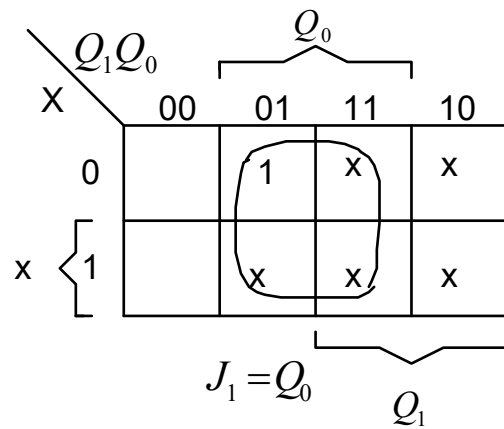
Με την χρήση FFs τύπου JK θετικής ακμής πυροδότησης να σχεδιαστεί ΣΑΚ το οποίο να "περνά" από τις καταστάσεις 0, 1, 2, 3 (κανονική απαρίθμηση) ή 0, 1, 3, 2 (απαρίθμηση σύμφωνα με τον κώδικα Gray) ανάλογα με το αν η είσοδος X είναι 0 ή 1 αντίστοιχα.

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



Παράδειγμα 8

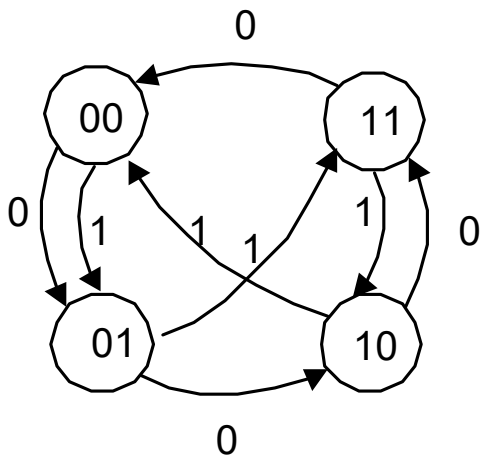
Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



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.



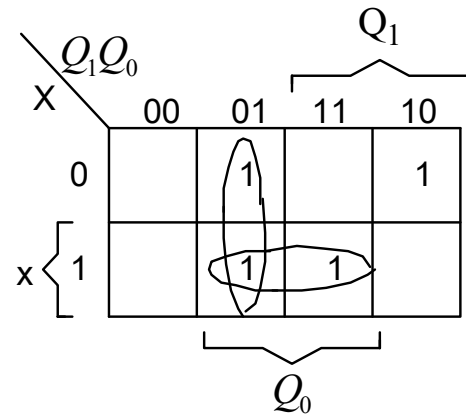
| ΕΙΣΟΔΟΙ + Π.Κ. | | | |
|----------------|----------------|----------------|--|
| X | Q ₁ | Q ₀ | |
| 0 | 0 | 0 | |
| 0 | 0 | 1 | |
| 0 | 1 | 0 | |
| 0 | 1 | 1 | |
| 1 | 0 | 0 | |
| 1 | 0 | 1 | |
| 1 | 1 | 0 | |
| 1 | 1 | 1 | |

| Ε. Κ. | |
|----------------|----------------|
| Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0 |

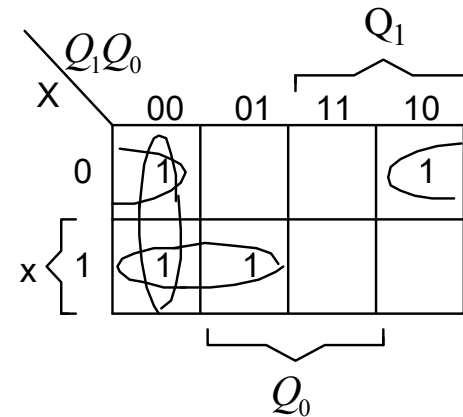
| ΕΙΣΟΔΟΙ | |
|----------------|----------------|
| D ₁ | D ₂ |
| 0 | 1 |
| 1 | 0 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 0 | 1 |
| 1 | 1 |
| 0 | 0 |
| 1 | 0 |

Παράδειγμα 9

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



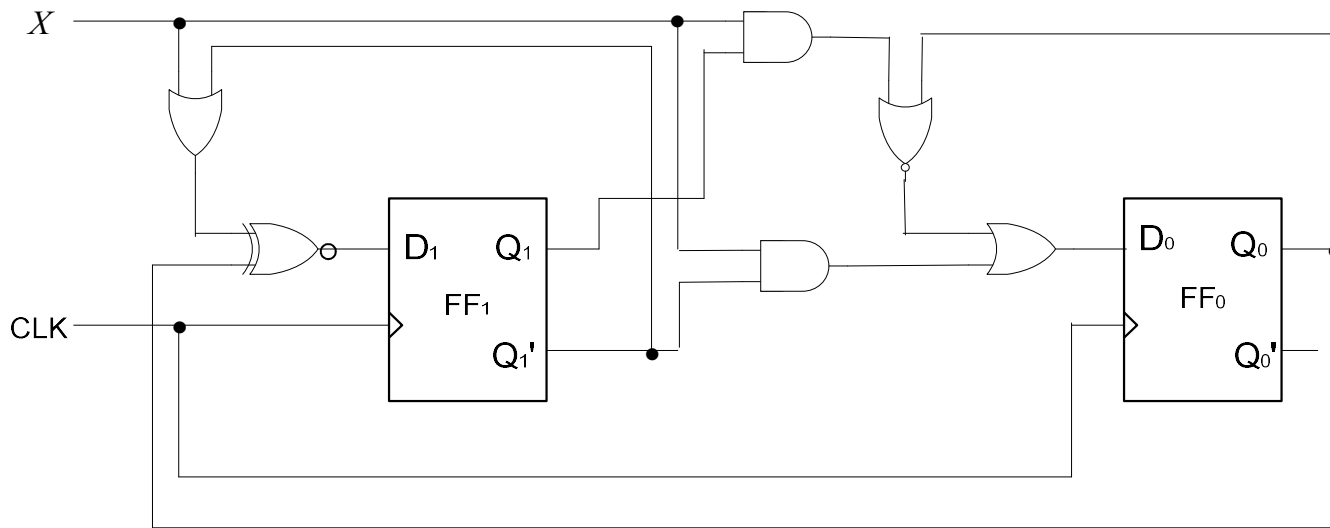
$$\begin{aligned} D_1 &= Q_0Q_1' + Q_0X + Q_0'Q_1X' = \\ &= Q_0(Q_1' + X) + Q_0'(Q_1' + X)' = \\ &= Q_0X \text{NOR} (Q_1' + X) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} D_0 &= Q_0'Q_1' + Q_0'X' + Q_1'X = \\ &= Q_0'(Q_1' + X') + Q_1'X = \\ &= Q_0'(Q_1X)' + Q_1'X = \\ &= (Q_0 + Q_1X)' + Q_1'X \end{aligned}$$

Παράδειγμα 9

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

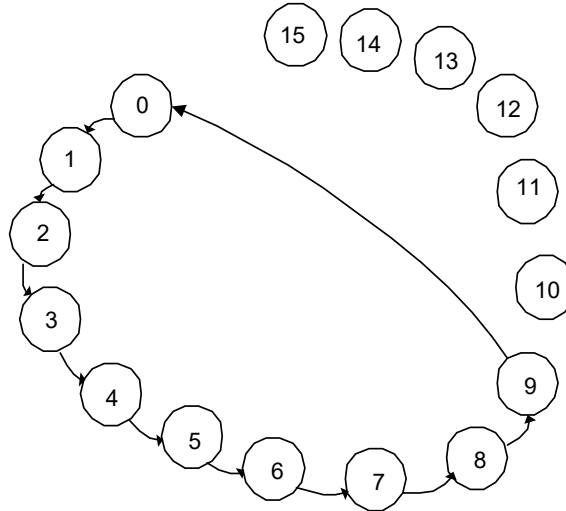


Παράδειγμα 10

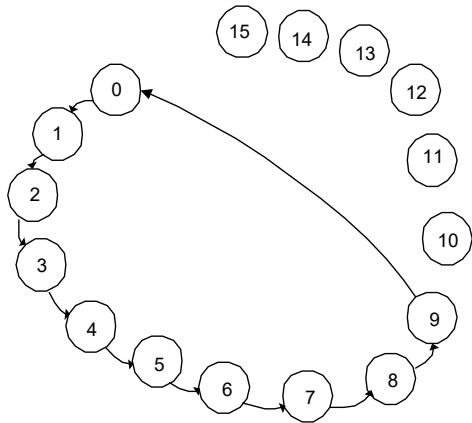
Σύγχρονα ακολουθιακά κυκλώματα με **αδιάφορες καταστάσεις**

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



| 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 |

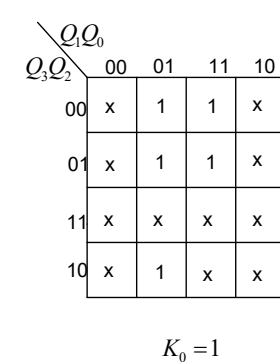
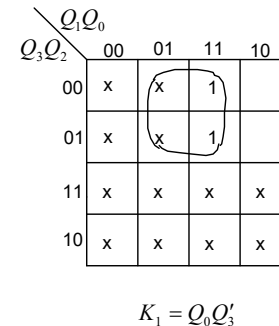
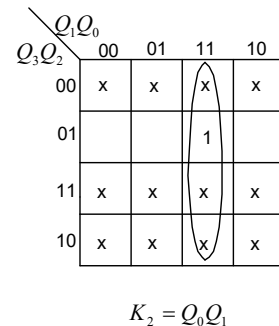
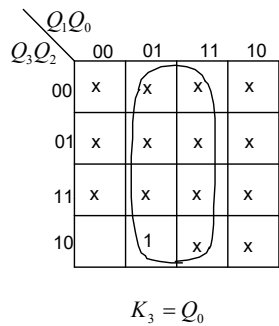
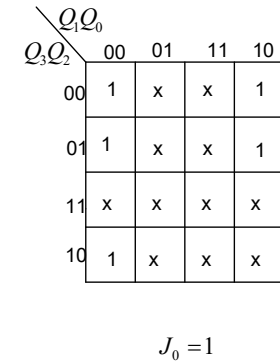
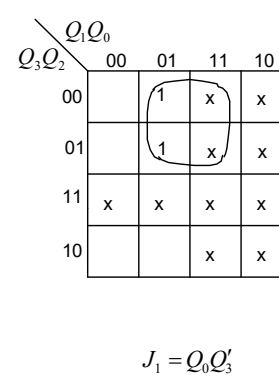
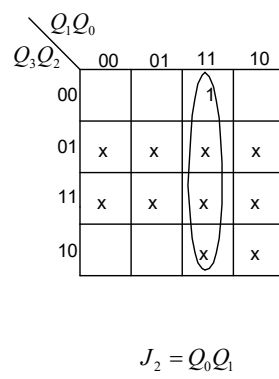
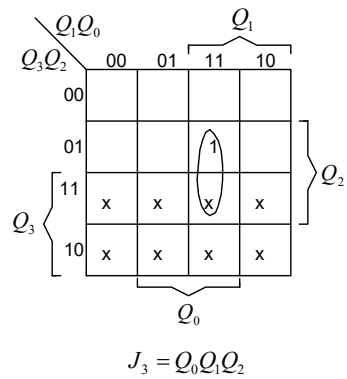
| Ε. Κ. | | | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Q ₃ | Q ₂ | Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |
| X | X | X | X |

| 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 |

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs⁴¹

Παράδειγμα 10

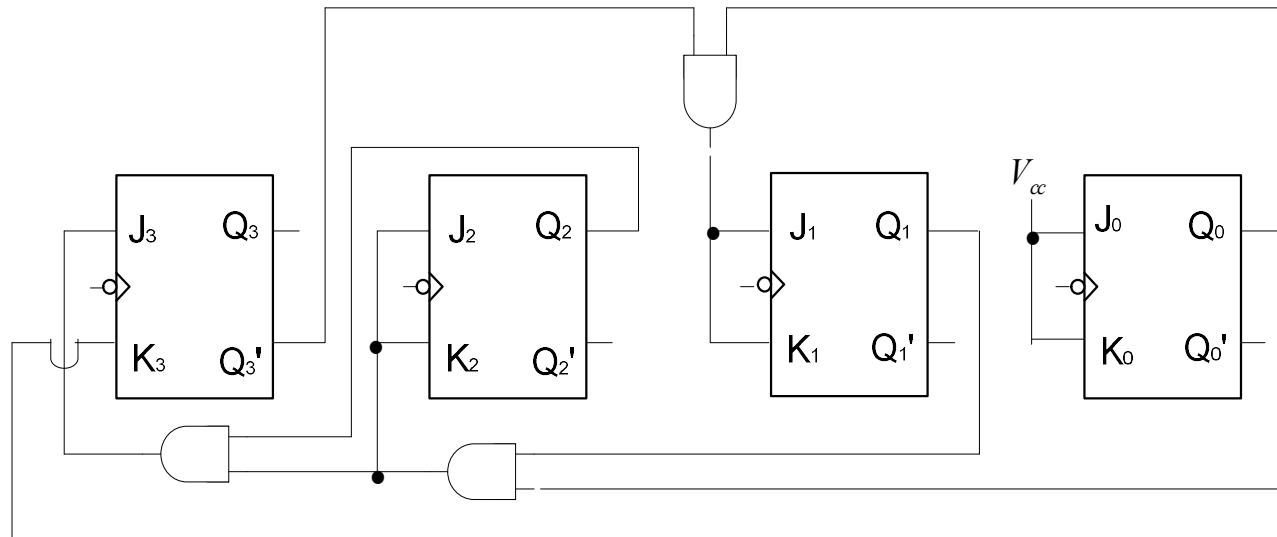
Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.

Παράδειγμα 10

Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Παράδειγμα 10

Βήμα Σ4: Έλεγχος ορθής λειτουργίας του κυκλώματος.

Βήμα A1: Γράφουμε τις συναρτήσεις εισόδου των FFs.

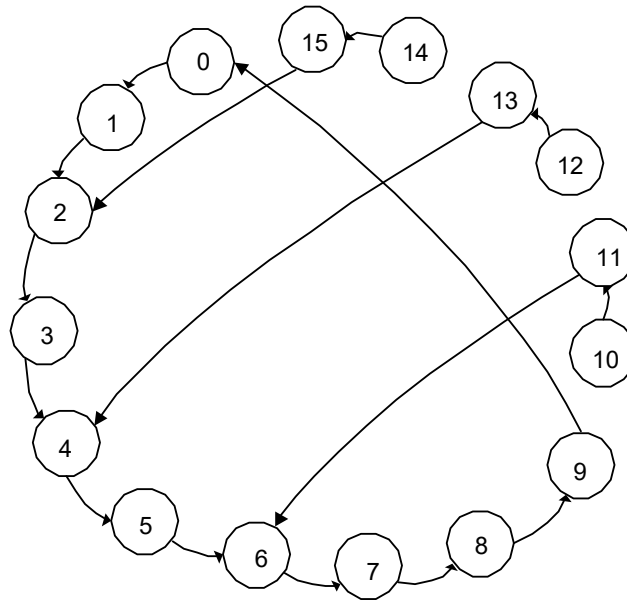
$$J_3 = Q_2 Q_1 Q_0 \quad J_2 = K_2 = Q_1 Q_0 \quad J_1 = K_1 = Q_3 Q_0 \quad J_0 = K_0 = 1 \quad K_3 = Q_0$$

Βήμα A2: Καταστρώνουμε τον πίνακα καταστάσεων.

| 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 |

Παράδειγμα 10

Βήμα Α3: Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων.



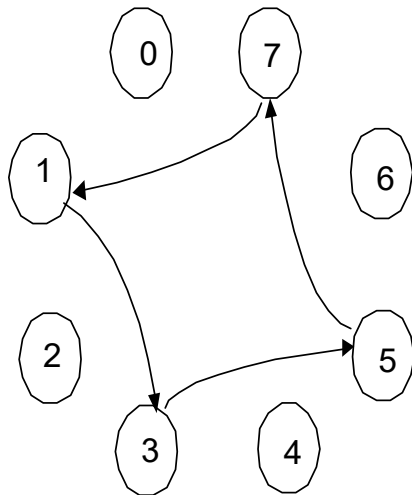
αυτόματη εκκίνηση (self-starting) / αυτόματη διόρθωση (self-correcting)

Παράδειγμα 11

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. | | |
|----------------|----------------|----------------|
| 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 |

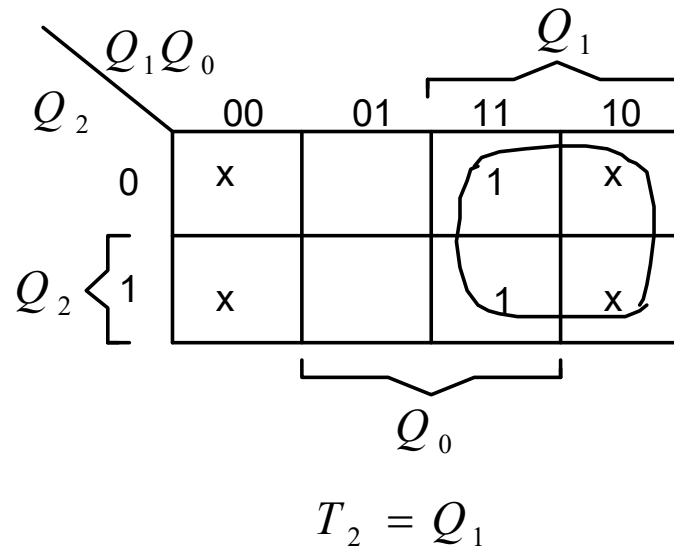
| Ε.Κ. | | |
|----------------|----------------|----------------|
| Q ₂ | Q ₁ | Q ₀ |
| X | X | X |
| 0 | 1 | 1 |
| X | X | X |
| 1 | 0 | 1 |
| X | X | X |
| 1 | 1 | 1 |
| X | X | X |
| 0 | 0 | 1 |

| ΕΙΣΟΔΟΙ | | |
|----------------|----------------|----------------|
| T ₂ | T ₁ | T ₀ |
| X | X | X |
| 0 | 1 | 0 |
| X | X | X |
| 1 | 1 | 0 |
| X | X | X |
| 0 | 1 | 0 |
| X | X | X |
| 1 | 1 | 0 |

Παράδειγμα 11

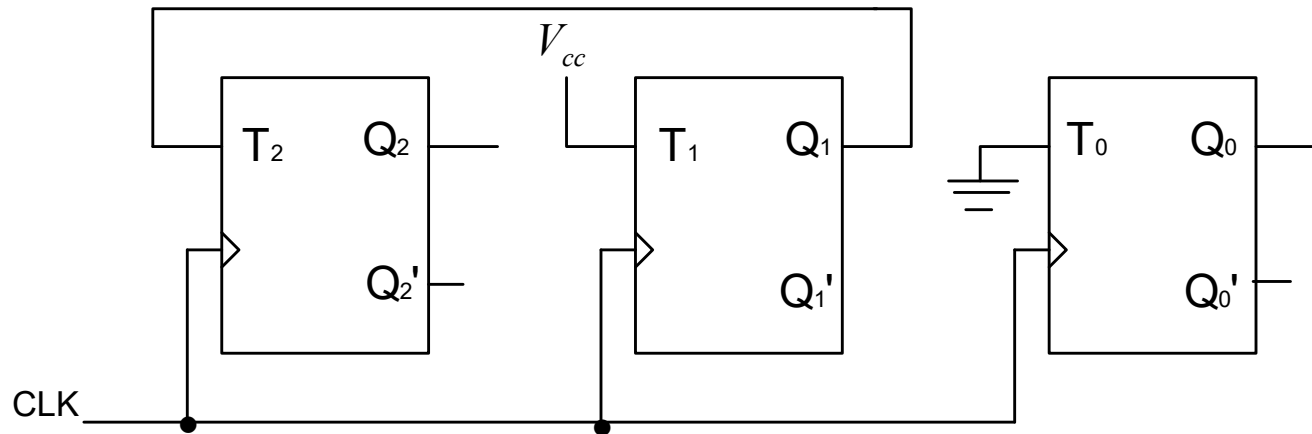
Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.

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.

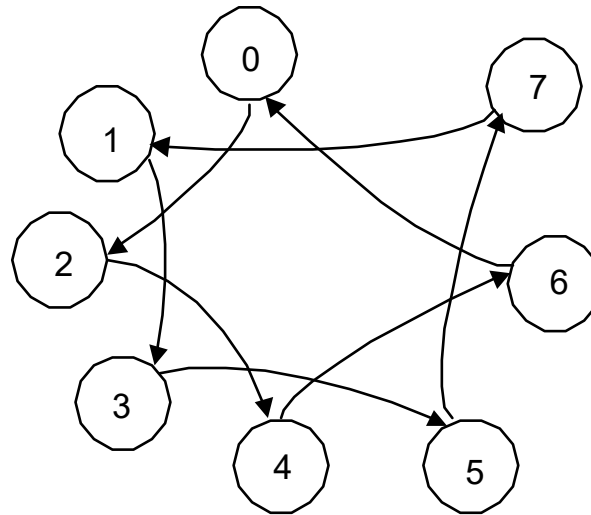
$$T_2=Q_1 \quad T_1=1 \quad T_0=0$$

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.



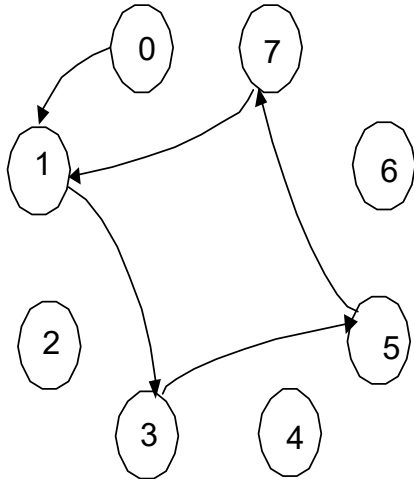
Πρόβλημα!

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.



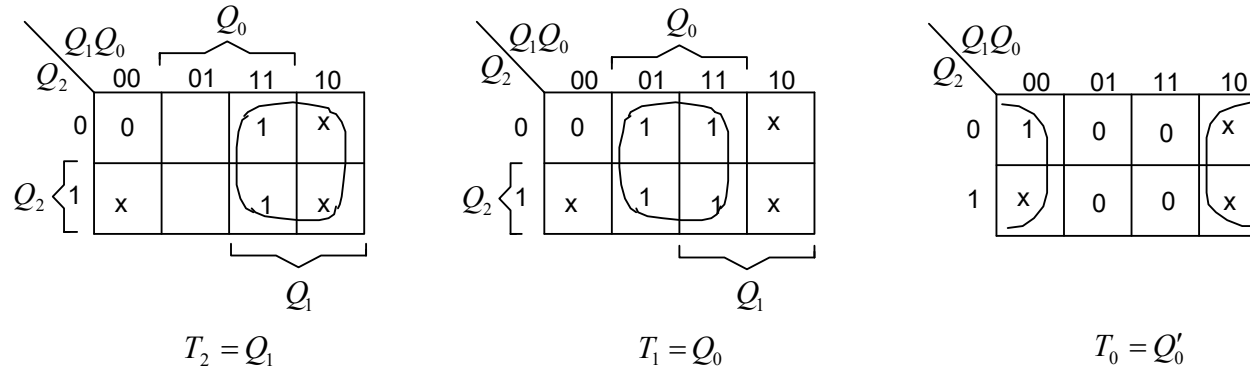
| Π.Κ. | | |
|----------------|----------------|----------------|
| Q ₂ | Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 0 | 0 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |

| ΕΙΣΟΔΟΙ | | |
|----------------|----------------|----------------|
| Q ₂ | Q ₁ | Q ₀ |
| 0 | 0 | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |

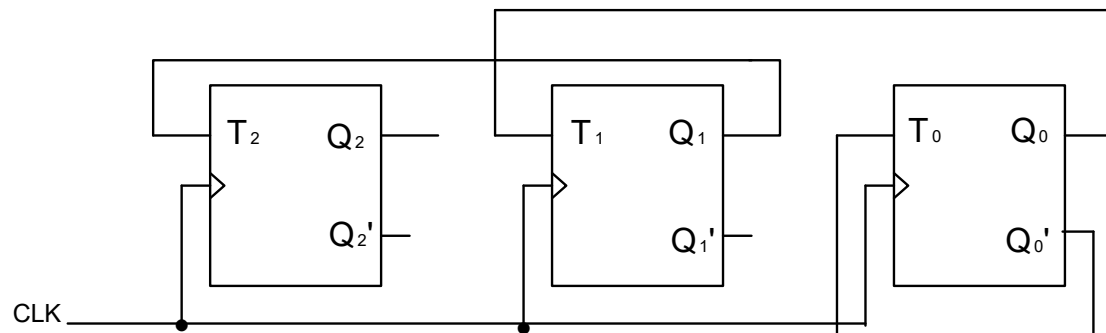
| Ε.Κ. | | |
|----------------|----------------|----------------|
| T ₂ | T ₁ | T ₀ |
| 0 | 0 | 1 |
| . | . | . |
| . | . | . |
| . | . | . |

Παράδειγμα 11

Βήμα Σ2: Προσδιορίζουμε τις απλοποιημένες συναρτήσεις εισόδου των FFs.



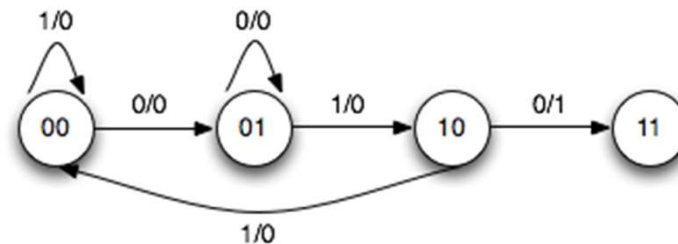
Βήμα Σ3: Σχεδιάζουμε το λογικό κύκλωμα.



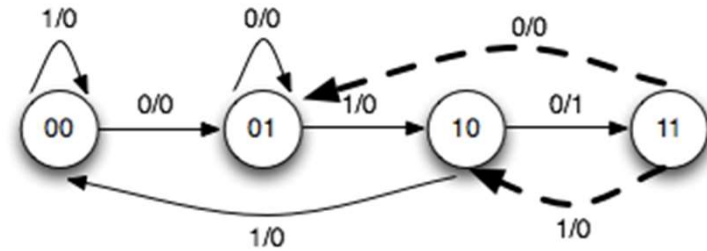
Παράδειγμα 12

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.

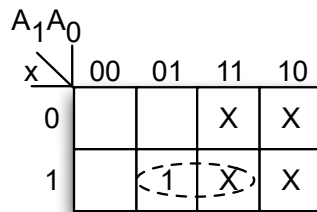
1. Προσθέστε τις μεταβάσεις που λείπουν
2. Σχεδιάστε το απλούστερο δυνατό ακολουθιακό κύκλωμα χρησιμοποιώντας δύο JK flip-flop A_1, A_0 και λογικές πύλες



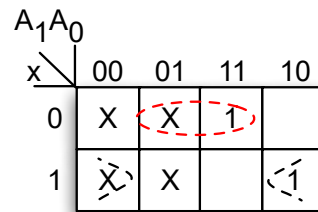
Παράδειγμα 12



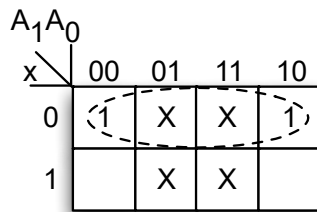
| X A ₁ A ₀ | A ₁ A ₀ | J _{A₁} K _{A₁} | J _{A₀} K _{A₀} | Y |
|---------------------------------|-------------------------------|---|---|---|
| 0 0 0 | 0 1 | 0 X | 1 X | 0 |
| 0 0 1 | 0 1 | 0 X | X 0 | 0 |
| 0 1 0 | 1 1 | X 0 | 1 X | 1 |
| 0 1 1 | 0 1 | X 1 | X 0 | 0 |
| 1 0 0 | 0 0 | 0 X | 0 X | 0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



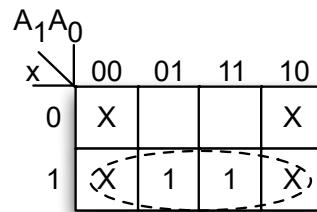
$$J_{A_1} = xA_0$$



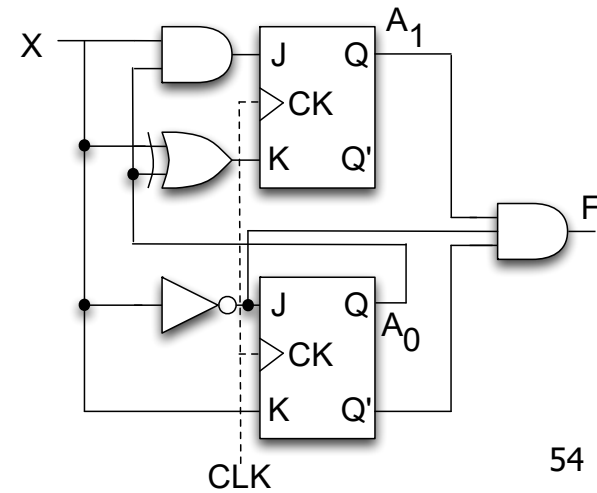
$$K_{A_1} = xA_0' + x'A_0 = x \text{ xor } A_0$$



$$J_{A_0} = x'$$



$$K_{A_0} = x$$



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 !!!

