Ανάλυση και σχεδιασμός σύγχρονων ακολουθιακών κυκλωμάτων

by thcloak

December 23, 2018

Original can be found at: github.com/thcloak/digielecguide

Βασικές έννοιες

Μεθοδολογία

Παρακάτω παρουσιάζεται η βασική μεθοδολογία ανάλυσης και σχεδιασμού, ενός τυπικού παραδείγματος σύγχρονου ακολουθιακού κυκλώματος. Στις εξετάσεις, συχνά μας δίνεται η **λεκτική περιγραφή** του προβλήματος, και απαιτείται από εμάς να ακολουθήσουμε τα βήματα της μεθοδολογίας, για να σχεδιάσουμε τελικά το **λογικό διαγράμμα** του κυκλώματος (παραλλαγές, για έρευνα και περαιτέρω εξάσκηση, δίνονται άλυτες στο τέλος του κεφαλαίου της Μεθοδολογίας).

1 Λεκτική περιγραφή

Δίνεται η εκφώνηση:

Να σχεδιαστεί σύγχρονο ακολουθιακό κύκλωμα με JK flip-flop, το οποίο για είσοδο 0, να μεταβαίνει διαδοχικά στις καταστάσεις 5, 6, 4, 2, 0, 3, 1, 5, 6... και για είσοδο 1, στις καταστάσεις 4, 1, 3, 6, 5, 0, 2, 4, 1.... Η απλοποίηση των χαρακτηριστικών εξισώσεων να γίνει με 2 μεθόδους (χάρτης Karnaugh, άλγεβρα Boole).

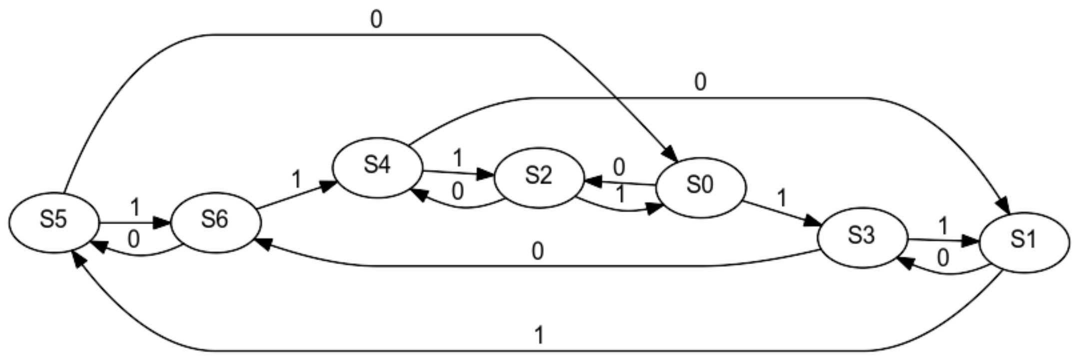
Πρώτο μας βήμα, είναι να δώσουμε όνομα στις εισόδους και στις καταστάσεις του κυκλώματος. Το κείμενο λύσης της άσκησης θα δίνεται σε διακριτές παραγράφους, σε πλάγια γραφή:

Ονομάζουμε x την είσοδο, και S_0, S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6 τις καταστάσεις 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6 αντίστοιχα.

2 Σχεδιασμός διαγράμματος καταστάσεων

Στο διάγραμμα καταστάσεων, οι καταστάσεις S αναπαρίστανται ως κύκλοι, και οι μεταβάσεις, για x=1 ή x=0, ως κατευθυνόμενα βέλη που συνδέουν τις διάδοχες καταστάσεις (αφήστε λίγο κενό χώρο εντός των κύκλων, για να συμπληρώσετε αργότερα τις δυαδικές αναπαραστάσεις των καταστάσεων):

Σχεδιάζουμε το διάγραμμα καταστάσεων:



3 Κωδικοποίηση καταστάσεων κυκλώματος σε συνδυασμούς καταστάσεων flip-flop

Σε αυτό το σημείο, επιδιώκουμε να αναπαραστήσουμε κάθε κατάσταση S ως αλληλουχία δυαδικών ψηφίων. Καθώς έχουμε 7 καταστάσεις, χρειαζόμαστε τουλάχιστον 3 bit για να τις αναπαραστήσουμε. Αυτό, προφανώς επειδή $2^2 = 4$ δεν φτάνουν οι συνδυασμοί, ενώ $2^3 = 8$ ένας συνδυασμός περισσεύει. Αυτό όμως δε μας πειράζει. Κάθε δυαδικό ψηφίο, στο κύκλωμα μας θα αντιπροσωπεύει ένα flip-flop. Έτσι, λέμε:

Κωδικοποιούμε τις καταστάσεις μας S_0-S_6 ως συνδυασμούς δυαδικών ψηφίων.

Έχουμε 7 καταστάσεις, επομένως θα χρειαστούμε 3bit για να έχουμε διακριτούς συνδυασμούς για όλες τις καταστάσεις, Αυτό επειδή $2^3 = 8 \geq 7$. Αντιστοιχίζουμε:

S_0	000
S_1	001
S_2	010
S_3	011
S_4	100
S_5	101
S_6	110
-	111

4 Σχεδιασμός πίνακα καταστάσεων

Τώρα που έχουμε κωδικοποιήσει δυαδικά τις καταστάσεις μας, αναθέτουμε την αποθήκευση κάθε δυαδικού ψηφίου (bit) σε ένα flip-flop. Έτσι, για το παράδειγμα μας, θα χρειαστούμε 3 flip-flop, που θα τα ονομάσουμε A, B, C:

> *Επιλέγουμε 3 JK flip-flops για την αποθήκευση των bit καταστάσεων μας, και τα ονομάζουμε A, B και C.*

Στη συνέχεια, σχεδιάζουμε τον πίνακα καταστάσεων. Ο πίνακας αυτός αποτελείται από τις πιθανές καταστάσεις σε μια δεδομένη χρονική στιγμή t, και από τις δυνατές καταστάσεις τους στον επόμενο χτύπο του ρολογιού, t+1. **Συμβολίζουμε με Q την έξοδο των flip-flop.**

Προφανώς, κάθε παρούσα κατάσταση μπορεί να μεταβεί μόνο σε 2 διάδοχες, ανάλογα με το αν η είσοδος x είναι ένα ή μηδέν, όταν το flip-flop ενεργοποιείται στο χτύπο του ρολογιού.

> *Σχεδιάζουμε τον πίνακα καταστάσεων του κυκλώματος:*

Παρούσα Κατάσταση (t)				-	Επόμενη Κατάσταση (t+1)			
S_n	Q_A	Q_B	Q_C	x	S_n	Q_A	Q_B	Q_C
0	0	0	0	0	3	0	1	1
	0	0	0	1	2	0	1	0
1	0	0	1	0	5	1	0	1
	0	0	1	1	3	0	1	1
2	0	1	0	0	0	0	0	0
	0	1	0	1	4	1	0	0
3	0	1	1	0	1	0	0	1
	0	1	1	1	6	1	1	0
4	1	0	0	0	2	0	1	0
	1	0	0	1	1	0	0	1
5	1	0	1	0	6	1	1	0
	1	0	1	1	0	0	0	0
6	1	1	0	0	4	1	0	0
	1	1	0	1	1	0	0	1

Σημείωση: Μπορεί να βρείτε τις εξόδους των flip-flop, Q_A, Q_B, Q_C να συμβολίζονται απλούστερα και ως A, B, C.

5 Εξαγωγή εξισώσεων εισόδων

Επειδή το κύκλωμα μας υλοποιείται με JK flip-flop θα χρειαστεί, προτού φτιάξουμε τις εξισώσεις εισόδων των flip-flop, να εντοπίσουμε τις περιπτώσεις όπου η τιμή κάποιας εκ των J, K ενός flip-flop, δεν έχει αντίκτυπο στον καθορισμό της μελλοντικής εξόδου του. Αυτές οι περιπτώσεις δε θα χρειαστεί να εκφραστούν στις εξισώσεις εισόδων του καθε flip-flop, και έτσι οι εξισώσεις θα είναι κατά πολύ απλούστερες.

Οι περιπτώσεις αυτές, ονομαζόμενες **συνθήκες αδιαφορίας**, μπορούν να εντοπιστούν εύκολα, εάν σχεδιάσουμε τον **πίνακα διέγερσης** για κάθε flip-flop του κυκλώματος μας. Ο πίνακας διέγερσης για οποιοδήποτε JK flip-flop, έχει την παρακάτω μορφή, η οποία προκύπτει λογικά από τη συμπεριφορά του στοιχείου (Μπορείτε να βρείτε την περιγραφή της συμπεριφοράς του JK flip-flop, στο κεφάλαιο "Βασικές έννοιες"):

Q(t)	Q(t+1)	J	K
0	0	0	X
0	1	1	X
1	0	X	1
1	1	X	0

Οι συνθήκες αδιαφορίας σημειώνονται με X. Παρατηρήστε ότι, για παράδειγμα, στη δεύτερη γραμμή του πίνακα, ανεξαρτήτως της τιμής του K, η τιμή της εξόδου θα μεταβεί από το 0 στο 1. Αυτό επειδή, για K=0 έχουμε εντολή θέσης (Set: J=1, K=0), δηλαδή Q(t+1)=1, ενώ για K=1 έχουμε εντολή συμπλήρωσης του Q(t)=0 (Q': J=1, K=1), δηλαδή Q(t+1)=Q'(t)=1. Γι'αυτό, η K μαρκάρεται με X ως συνθήκη αδιαφορίας.

Επεκτείνουμε τον πίνακα καταστάσεων με τον πίνακα διέγερσης των JK flip-flop A, B, C, προς εξεύρεση των συνθηκών αδιαφορίας:

Παρούσα Κατάσταση (t)				-	Επόμενη Κατάσταση (t+1)									
S_n	Q_A	Q_B	Q_C	x	S_n	Q_A	Q_B	Q_C	J_A	K_A	J_B	K_B	J_C	K_C
0	0	0	0	0	3	0	1	1	0	X	1	X	1	X
	0	0	0	1	2	0	1	0	0	X	1	X	0	X
1	0	0	1	0	5	1	0	1	1	X	0	X	X	0
	0	0	1	1	3	0	1	1	0	X	1	X	X	0
2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	X	X	1	0	X
	0	1	0	1	4	1	0	0	1	X	X	1	0	X
3	0	1	1	0	1	0	0	1	0	X	X	1	X	0
	0	1	1	1	6	1	1	0	1	X	X	0	X	1
4	1	0	0	0	2	0	1	0	X	1	1	X	0	X
	1	0	0	1	1	0	0	1	X	1	0	X	1	X
5	1	0	1	0	6	1	1	0	X	0	1	X	X	1
	1	0	1	1	0	0	0	0	X	1	0	X	X	1
6	1	1	0	0	4	1	0	0	X	0	X	1	0	X
	1	1	0	1	1	0	0	1	X	1	X	1	1	X

Σε αυτό το σημείο ήμαστε έτοιμοι να εξάγουμε τις εξισώσεις των εισόδων J_A, K_A, J_B, K_B, J_C, K_C των flip-flop του κυκλώματος μας.

5.1 Με πίνακα Karnaugh

Ένας πίνακας Karnaugh μας επιτρέπει να εκμεταλλευτούμε την ικανότητα αναγνώρισης μοτίβων που διαθέτει η ανθρώπινη όραση, για να εξάγουμε εύκολα μια όσο το δυνατόν απλούστερη εξίσωση, για μια είσοδο ενός flip-flop. Για το παράδειγμα μας θα χρειαστεί να καταστρώσουμε 6 πίνακες Karnaugh, έναν για κάθε είσοδο flip-flop. Οι εν λόγω πίνακες παρουσιάζονται παρακάτω. Για την κατασκευή τους:

1. Μοιράζουμε **διαδοχικά**, στον οριζόντιο και τον κατακόρυφο άξονα, τις καταστάσεις εξόδου των flip-flop Q(t), και την είσοδο x. Συνηθίζεται, όταν έχουμε μόνο 2 flip-flops, το x να μπαίνει μόνο του στον κατακόρυφο άξονα.

Χωρίζουμε τον πίνακα σε κελιά, κάθε ένα εκ των οποίων αντιπροσωπεύει έναν πιθανό συνδυασμό τιμών των παραγόντων που μοιράσαμε στους άξονες. **Προσοχή:** Η αρίθμηση κάθε κελιού είναι αυστηρή και γίνεται, όχι σε δυαδικό σύστημα, αλλά σε **κώδικα Gray**. Ο τρόπος αρίθμησης για μέχρι τέσσερεις παράγοντες, φαίνεται στο παράδειγμα μας (είναι απίθανο να σας ζητηθεί να εφαρμόσετε τη μέθοδο Karnaugh για περισσότερους από 4 παράγοντες).

2. Βάζουμε παύλα (-) μέσα στα κελιά που δεν αντιστοιχούν σε εφικτή κατάσταση του κυκλώματος.

3. Το περιεχόμενο των κελιών του πίνακα αντιπροσωπεύει την τιμή της εισόδου flip-flop, την εξίσωση της οποίας αναζητάμε, για τον συνδυασμό των παραγόντων που αντιστοιχούν στο κελί. Αντιγράφουμε από τον πίνακα καταστάσεων.

4. Πλαισιώνουμε, σε τετράγωνο ή παραλληλόγραμμο σχήμα, όσα κελιά είναι γειτονικά μεταξύ τους και περιέχουν τη μονάδα. Τα κελιά που αγγίζουν κάποια άκρη του πίνακα, θεωρούνται γειτονικά με τα κελιά που αγγίζουν την απέναντι άκρη. Πλαισιώνουμε σε δυάδες, τετράδες και οκτάδες (γενικά, 2^{n}άδες). Στοχεύουμε στην ένταξη όσο το δυνατόν περισσοτέρων κελιών σε ένα πλαίσιο. Επιτρέπεται η επικάλυψη κελιών από πολλαπλά πλαίσια.

5. Κάθε πλαίσιο αντιστοιχεί σε ένα μονώνυμο (γινόμενο παραγόντων) της αντίστοιχης εξίσωσης εισόδου. Το μονώνυμο αυτό αποτελείται από τους παράγοντες που δε μεταβάλλονται μεταξύ των κελιών του πλαισίου. Έτσι, αν ένας παράγοντας είναι ίσος με τη μονάδα σε όλα τα κελιά του πλαισίου, ο παράγοντας εισάγεται ως έχει (π.χ. $\mathrm{Q_A}$). Εάν ο παράγοντας είναι ίσος με το μηδέν σε όλα τα κελιά του πλαισίου, εισάγουμε το συμπλήρωμα του (π.χ. $\mathrm{Q'_A}$). Το άθροισμα των μονονύμων αποτελεί το δεξί μέρος της εξίσωσης εισόδου του flip-flop.

   Εμπειρικά, βλέπουμε ότι για έναν πίνακα Karnaugh τεσσάρων παραγόντων, ένα πλαίσιο 2 κελιών θα αντιστοιχεί σε ένα μονώνυμο τριών παραγόντων, ένα πλαίσιο 4 κελιών σε ένα μονώνυμο 2 παραγόντων, ενώ ένα πλαίσιο 8 κελιών θα αντιστοιχεί σε μονώνυμο του ενός παράγοντα.

Καταστρώνουμε πίνακες Karnaugh για εξαγωγή απλοποιημένων εξισώσεων εισόδου των flip-flops A, B, C:

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	0	0	0	1
01	0	1	1	0
11	X	X	-	-
10	X	X	X	X

$$J_A = Q'_A Q_B\, x + Q'_B Q_C\, x'$$

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	X	X	X	X
11	0	1	-	-
10	1	1	1	0

$$K_A = Q'_B\, x + Q_A Q'_B Q'_C + Q'_C x$$

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	1	1	1	0
01	X	X	X	X
11	X	X	-	-
10	1	0	0	1

$$J_B = Q'_C\, x' + Q'_A\, x + Q_A Q'_B\, x'$$

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	X	X	X	X
01	1	1	0	1
11	1	1	-	-
10	X	X	X	X

$$K_B = Q'_C + Q'_A Q_B\, x'$$

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	1	0	X	X
01	0	0	X	X
11	0	1	-	-
10	0	1	X	X

Q_AQ_B \ Q_Cx	00	01	11	10
00	X	X	0	0
01	X	X	1	0
11	X	X	-	-
10	X	X	1	1

$\boxed{J_C = Q'_A Q'_B x' + Q_A Q'_C x}$

$\boxed{K_C = Q'_A Q_B x + Q_A Q'_B}$

5.2 Με άλγεβρα Boole

Σημείωση: *Η ακόλουθη μέθοδος είναι προαιρετική. Εάν δεν έχετε χρόνο, προσπεράστε την.*

Οι εξισώσεις εισόδου μπορούν να εξαχθούν απευθείας από τον πίνακα καταστάσεων. Αυτό γίνεται ως εξής:

1. Επιλέγουμε την είσοδο flip-flop, την εξίσωση της οποίας αναζητάμε.
2. Βρίσκουμε τις γραμμές του πίνακα καταστάσεων, στις οποίες η επιλεγμένη είσοδος είναι ίση με 1.
3. Κάθε γραμμή αντιστοιχεί σε ένα μονώνυμο (γινόμενο παραγόντων) της εξίσωσης εισόδου του flip-flop. Οι παράγοντες που στη γραμμή ισούνται με ένα, εισάγονται ως έχουν στο αντίστοιχο μονώνυμο (π.χ. Q_A). Οι παράγοντες που στη γραμμή ισούνται με μηδέν, εισάγονται στο μονώνυμο ως το συμπλήρωμα τους (π.χ. Q'_A).

Εξάγουμε τις εξισώσεις εισόδου των flip-flop J_A, K_A, J_B, K_B, J_C, K_C απευθείας από τον πίνακα καταστάσεων:

$$J_A = Q'_A\, Q'_B\, Q_C\, x' + Q'_A\, Q_B\, Q'_C\, x + Q'_A\, Q_B\, Q_C\, x$$

$$K_A = Q_A\, Q'_B\, Q'_C\, x' + Q_A\, Q'_B\, Q'_C\, x + Q_A\, Q'_B\, Q_C\, x + \\ + Q_A\, Q_B\, Q'_C\, x$$

J_B= $Q'_A\ Q'_B\ Q'_C\ x' + Q'_A\ Q'_B\ Q'_C\ x + Q'_A\ Q'_B\ Q_C\ x +$
$+ Q_A\ Q'_B\ Q'_C\ x' + Q_A\ Q'_B\ Q_C\ x'$

K_B= $Q'_A\ Q_B\ Q'_C\ x' + Q'_A\ Q_B\ Q'_C\ x + Q'_A\ Q_B\ Q_C\ x' +$
$+ Q_A\ Q_B\ Q'_C\ x' + Q_A\ Q_B\ Q'_C\ x$

J_C= $Q'_A\ Q'_B\ Q'_C\ x' + Q_A\ Q'_B\ Q'_C\ x + Q_A\ Q_B\ Q'_C\ x$

K_C= $Q'_A\ Q_B\ Q_C\ x + Q_A\ Q'_B\ Q_C\ x' + Q_A\ Q'_B\ Q_C\ x$

Στη συνέχεια, θα χρησιμοποιήσουμε τους κανόνες της άλγεβρας Boole για να απλοποιήσουμε τις παραπάνω εξισώσεις. Έτσι θα μπορέσουμε, στο επόμενο βήμα, να σχεδιάσουμε ένα πολύ απλούστερο κύκλωμα. Η άλγεβρα Boole διέπεται από τους εξής κανόνες:

1. A + 0 = A	7. A * A = A
2. A + 1 = 1	8. A * A' = 0
3. A * 0 = 0	9. (A')' = A
4. A * 1 = A	10. A + AB = A
5. A + A = A	11. A + A'B = A + B
6. A + A' = 1	12. (A + B)(A + C) = A + BC

Θεώρημα DeMorgan

(AB)' = (A' + B')   (A + B)' = (A'B')

Προσοχή: Είναι συχνό λάθος των φοιτητών, να εφαρμόζουν κανόνες της συμβατικής άλγεβρας στην προσπάθεια απλοποίησης των εξισώσεων. Ένα παράδειγμα: στην άλγεβρα Boole, **δεν** ισχύει (A'B)' = AB', αλλά (A'B)' = (A')' + B' = = A + B' (θεώρημα DeMorgan).

Σημείωση: Στην ενότητα αυτή, για ευκρίνεια και για περαιτέρω εξοικείωση με το συμβολισμό, θα γράφουμε A αντί για Q_A και $\bar{A}$ αντί για A'.

Χρησιμοποιούμε τους κανόνες της άλγεβρας Boole για να απλοποιήσουμε τις εξισώσεις:

$$
\begin{aligned}
J_A = \bar{A}\bar{B}C\bar{x} + \bar{A}B\bar{C}x + \bar{A}BCx = \\
= \bar{A}\bar{B}C\bar{x} + \bar{A}Bx(\bar{C} + C) \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} \bar{A}\bar{B}C\bar{x} + \bar{A}Bx * 1 = \\
= \bar{A}\bar{B}C\bar{x} + \bar{A}Bx
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
K_A = A\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{B}\bar{C}x + A\bar{B}CX + AB\bar{C}x = \\
= A\bar{B}\bar{C}(\bar{x} + x) + A\bar{B}Cx + AB\bar{C}x \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} A\bar{B}\bar{C} * 1 + A\bar{B}Cx + AB\bar{C}x = \\
= A\bar{B}(\bar{C} + Cx) + AB\bar{C} \overset{\{11\}}{=} \\
\overset{\{11\}}{=} A\bar{B}(x + \bar{C}) + AB\bar{C}x = \\
= A\bar{B}x + A\bar{B}\bar{C} + AB\bar{C}x = \\
= Ax(\bar{B} + B\bar{C}) + A\bar{B}\bar{C} \overset{\{11\}}{=} \\
\overset{\{11\}}{=} Ax(\bar{C} + \bar{B}) + A\bar{B}\bar{C} = \\
= A\bar{C}x + A\bar{B}x + A\bar{B}\bar{C}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
J_B = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + \bar{A}\bar{B}\bar{C}x + \bar{A}\bar{B}Cx + A\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{B}C\bar{x} = \\
= \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + \bar{A}\bar{B}x(\bar{C} + C) + A\bar{B}\bar{x}(\bar{C} + C) \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + \bar{A}\bar{B}x * 1 + A\bar{B}\bar{x} * 1 = \\
= \bar{A}\bar{B}(\bar{C}\bar{x} + x) + A\bar{B}\bar{x} \overset{\{11\}}{=} \\
\overset{\{11\}}{=} \bar{A}\bar{B}(\bar{C} + x) + A\bar{B}\bar{x} = \\
= \bar{A}\bar{B}\bar{C} + \bar{A}\bar{B}x + A\bar{B}\bar{x}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
K_B = \bar{A}B\bar{C}\bar{x} + \bar{A}B\bar{C}x + \bar{A}BC\bar{x} + AB\bar{C}\bar{x} + AB\bar{C}x = \\
= \bar{A}B\bar{C}(\bar{x}+x) + AB\bar{C}(\bar{x}+x) + \bar{A}BC\bar{x} \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} \bar{A}B\bar{C}*1 + AB\bar{C}*1 + \bar{A}BC\bar{x} = \\
= B\bar{C}(\bar{A}+A) + \bar{A}BC\bar{x} \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} B\bar{C}*1 + \bar{A}BC\bar{x} = \\
= B(\bar{C} + \bar{A}C\bar{x}) \overset{\{11\}}{=} \\
\overset{\{11\}}{=} B(\bar{C} + \bar{A}\bar{x}) = \\
= B\bar{C} + \bar{A}B\bar{x}
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
J_C = \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{B}\bar{C}x + AB\bar{C}x = \\
= \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{C}x(\bar{B}+B) \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{C}x*1 = \\
= \bar{A}\bar{B}\bar{C}\bar{x} + A\bar{C}x
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
K_C = \bar{A}BCx + A\bar{B}C\bar{x} + A\bar{B}Cx = \\
= \bar{A}BCx + A\bar{B}C(\bar{x}+x) \overset{\{6\}}{=} \\
\overset{\{6\}}{=} \bar{A}BCx + A\bar{B}C*1 = \\
= \bar{A}BCx + A\bar{B}C
\end{aligned}
$$

Παρατηρήστε ότι οι απλοποιημένες εξισώσεις που προκύπτουν είναι διαφορετικές και πιο σύνθετες από αυτές που λαμβάνουμε από τη μέθοδο με τους χάρτες Karnaugh.

Αυτό συμβαίνει, εν μέρει, επειδή παραλείψαμε να συμπεριλάβουμε στις αρχικές εξισώσεις τα μονώνυμα που αντιπροσωπεύουν τις συνθήκες αδιαφορίας. Αυτή η παράλειψη έγινε σκοπίμως· είναι ο συμβιβασμός που κάνουμε ώστε οι αλγεβρικοί μετασχηματισμοί για την απλοποίηση να είναι ευκολότεροι.

Σημείωση: Για τη συνέχεια της παρουσίασης, θα χρησιμοποιήσουμε τις εξισώσεις που εξήχθησαν με τη μέθοδο των χαρτών Karnaugh.

6 Σχεδιασμός λογικού διαγράμματος

i. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΜΕ ΕΞΟΔΟ

Σημαντικές επεκτάσεις αυτής της μεθοδολογίας, οι οποίες δεν αναφέρονται εδώ, αφορούν προβλήματα με πολλαπλές εισόδους (X_1,X_2,X_n), και προβλήματα όπου το output y(t) επηρεάζει τις καταστάσεις των flip-flop σε χρόνο (t+1). Κυκλώματα με τέτοια χαρακτηριστικά, συνήθως, σχεδιάζονται με τη βοήθεια υπολογιστή, με τη χρήση της γλώσσας HDL. Δεν αποκλείεται ωστόσο σε μια βατή εξέταση να συναντήσετε, ως δευτερεύον θέμα, κύκλωμα πολλαπλών εισόδων.

TODO: Mention state minimisation

TODO: Introduce logic gates in "basic concepts".

TODO: Add Mealy - Moore question: Which type is studied in our examples? Why aren't there manual methods for both types? -Put theory questions first so the background is set for exercises including e.g. output.

TODO: Accumulator, register, other essential circuit exposition.