

Τμήμα Πληροφορικής
Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας

Σχεδιασμός Ενσωματωμένων Συστημάτων με VLSI

Ασκήσεις- Πράξεις Κεφάλαιο 10

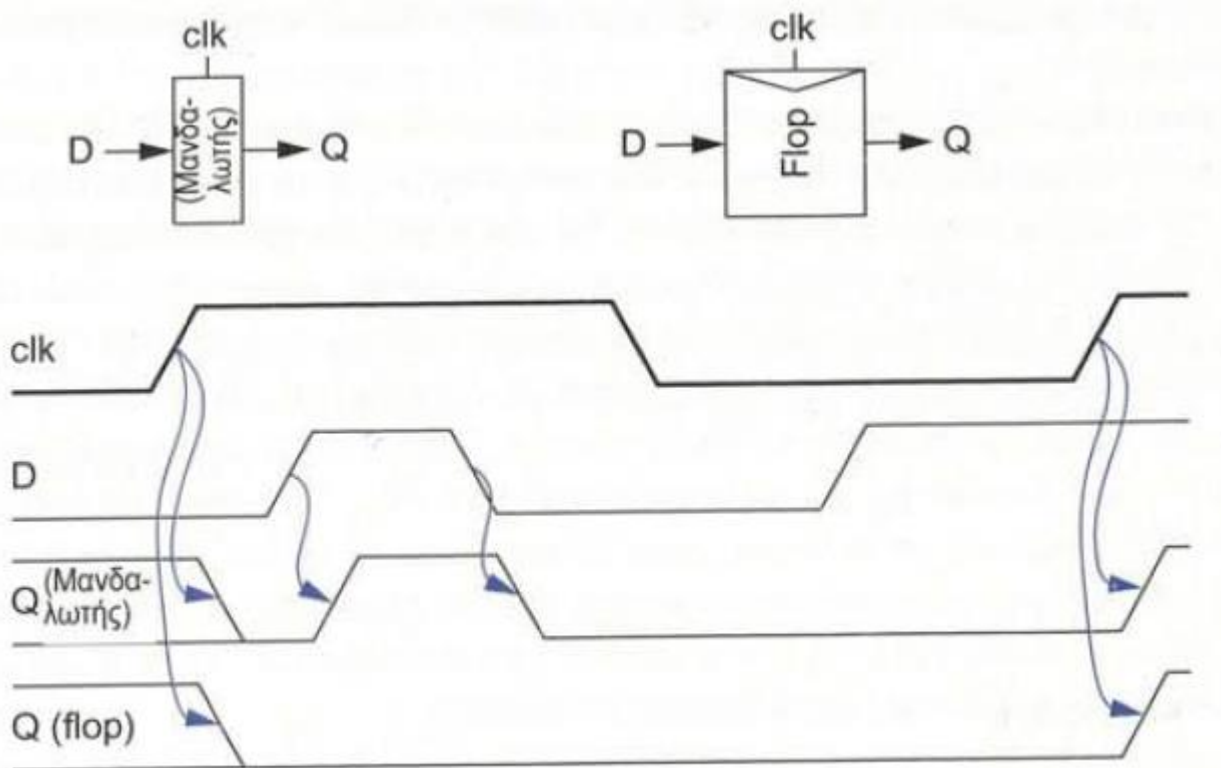
Ζωή Ρίζου

email: zrizou.uowm@gmail.com

Latches vs Flip-Flops (1)

Ο μανδαλωτής είναι διαφανής όταν το ρολόι είναι ψηλά, το D ρέει προς το Q περίπου σαν να ήταν ο μανδαλωτής ένας απλός απομονωτής, ενώ όταν το ρολόι είναι χαμηλά ο μανδαλωτής διατηρεί την τρέχουσα τιμή εξόδου Q ακόμα κι όταν το D αλλάζει. Το flip-flop είναι ένα ακμοπυροδότητο στοιχείο, το οποίο αντιγράφει το D στο Q κατά την ανοδική ακμή του ρολογιού και αγνοεί το D σε οποιαδήποτε άλλη στιγμή. Η συμπεριφορά αυτή απεικονίζεται στο Σχήμα 10.1 Η άγνωστη τιμή του Q πριν από την πρώτη ανοδική ακμή επισημαίνεται με το ζεύγος γραμμών προς τη χαμηλή και υψηλή στάθμη.

Latches vs Flip-Flops (2)

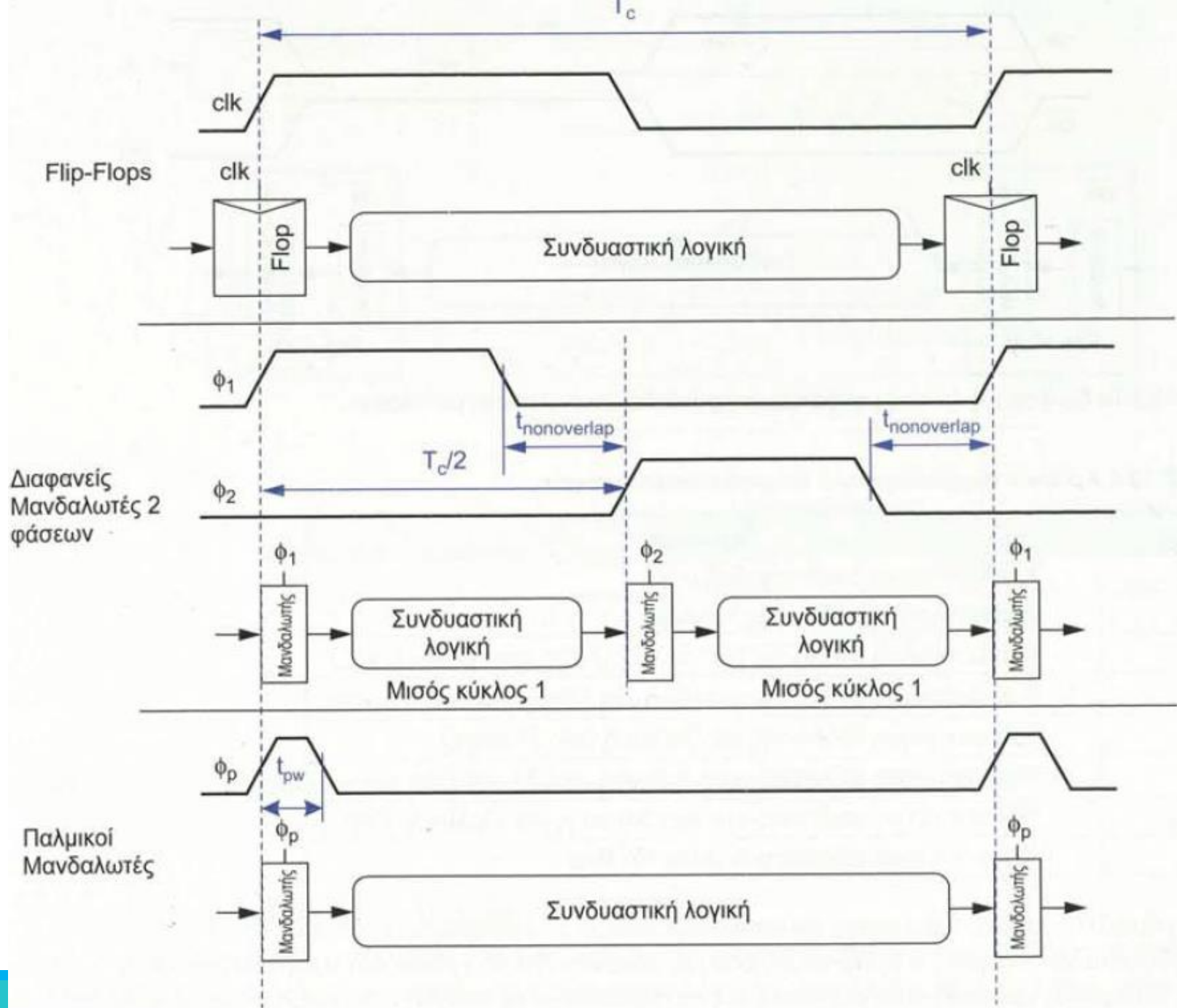


ΣΧΗΜΑ 10.1 Μανδαλωτές και Flip-Flop.

Μέθοδοι δημιουργίας ακολουθιακών δομών

Το Σχήμα 10.2 απεικονίζει τρεις μεθόδους δημιουργίας ακολουθιακών δομών συνδυαστικής λογικής. Σε κάθε περίπτωση, απεικονίζονται οι κυματομορφές του ρολογιού, τα ακολουθιακά στοιχεία και η συνδυαστική λογική. Ο οριζόντιος άξονας αντιστοιχεί στη χρονική στιγμή που ένα σύμβολο (token) φτάνει σ' ένα συγκεκριμένο σημείο στο κύκλωμα. Για παράδειγμα, το σύμβολο φτάνει στο πρώτο flip-flop κατά την πρώτη ανοδική ακμή του ρολογιού. Στη συνέχεια διαδίδεται διαμέσου της συνδυαστικής λογικής και φτάνει στο δεύτερο flip-flop κατά τη δεύτερη ανοδική ακμή του ρολογιού. Οι διακεκομμένες κατακόρυφες γραμμές υποδεικνύουν το όριο μεταξύ ενός κύκλου ρολογιού και του επόμενου. Η περίοδος του ρολογιού είναι T_c . Σ' ένα σύστημα 2 φάσεων, οι φάσεις μπορούν να διαχωρίζονται κατά ένα χρονικό διάστημα «μη-επικάλυψης», $t_{\text{nonoverlap}}$. Σ' ένα σύστημα παλμών, το χρονικό εύρος του παλμού είναι t_{pw} .

Εάν διαχωρίσουμε τους μανδαλωτές, μπορούμε να διαιρέσουμε τον πλήρη κύκλο της συνδυαστικής λογικής σε δύο φάσεις, οι οποίες αποκαλούνται ημι-κύκλοι. Τα δύο ρολόγια των μανδαλωτών αποκαλούνται συνήθως φ_1 και φ_2 : μπορεί να αντιστοιχούν στο clk και στο συμπλήρωμά του, ή μπορεί να είναι μη-επικαλυπτόμενα ($t_{\text{nonoverlap}} > 0$). Ανά πάσα χρονική στιγμή, τουλάχιστον ένα ρολόι βρίσκεται σε χαμηλή στάθμη και ο αντίστοιχος μανδαλωτής είναι διαφανής, εμποδίζοντας ένα σύμβολο να προφτάσει ένα άλλο και να ενωθεί μ' αυτό. Οι δύο μανδαλωτές συμπεριφέρονται περίπου με τον ίδιο τρόπο όπως δύο υδατοστεγείς πύλες στις δεξαμενές ενός καναλιού [Mead80]. Τα συστήματα παλμικών μανδαλωτών εξαλείφουν ένα μανδαλωτή από κάθε κύκλο και εφαρμόζουν ένα σύντομο παλμό στον άλλο μανδαλωτή. Ακόμα κι αν ένας παλμός είναι πιο σύντομος από την καθυστέρηση διάδοσης διαμέσου της συνδυαστικής λογικής, μπορούμε και πάλι να αναμένουμε ότι ένα σύμβολο θα προωθείται κατά τη διάρκεια ενός κύκλου του ρολογιού σε κάθε παλμό.



ΣΧΗΜΑ 10.2 Μέθοδοι υλοποίησης ακολουθιακών δομών σε στατικά κυκλώματα.

Χρονικοί συμβολισμοί

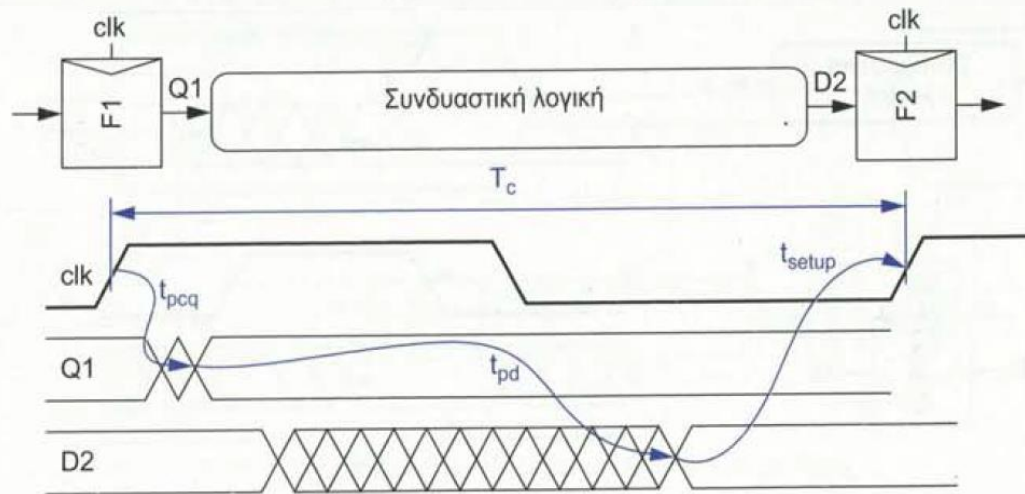
Όρος	Περιγραφή
t_{pd}	Καθυστέρηση διάδοσης λογικής
t_{cd}	Καθυστέρηση μόλυνσης λογικής
t_{pcq}	Καθυστέρηση διάδοσης μανδαλωτή/ flop από ρολόι έως Q
t_{ccq}	Καθυστέρηση μόλυνσης μανδαλωτή/ flop από ρολόι έως Q
t_{pdq}	Καθυστέρηση διάδοσης μανδαλωτή από D έως Q
t_{cdq}	Καθυστέρηση μόλυνσης μανδαλωτή από D έως Q
t_{setup}	Χρόνος ενεργοποίησης-αποκατάστασης μανδαλωτή/ flop
t_{hold}	Χρόνος συγκράτησης μανδαλωτή/ flop

Πίνακας 10.1. Χρονικοί συμβολισμοί για τα ακολουθιακά στοιχεία.

Καθυστέρηση διάδοσης flip-flop (1)

Το Σχήμα 10.5 παρουσιάζει τους περιορισμούς μέγιστης-καθυστέρησης σ' ένα μονοπάτι από ένα flip-flop έως το επόμενο, υποθέτοντας ιδανικά ρολόγια χωρίς χρονική απόκλιση. Το μονοπάτι ξεκινά όταν η ανοδική ακμή σκανδαλίζει το $F1$. Τα δεδομένα θα πρέπει να διαδοθούν στην έξοδο $Q1$ του flip-flop και διαμέσου της συνδυαστικής λογικής στο $D2$, θέτοντας το $F2$ πριν από την επόμενη ανοδική ακμή του ρολογιού. Αυτό σημαίνει ότι η περίοδος του ρολογιού θα πρέπει να είναι τουλάχιστον

$$T_c \geq t_{pcq} + t_{pd} + t_{setup} \quad (10.1)$$

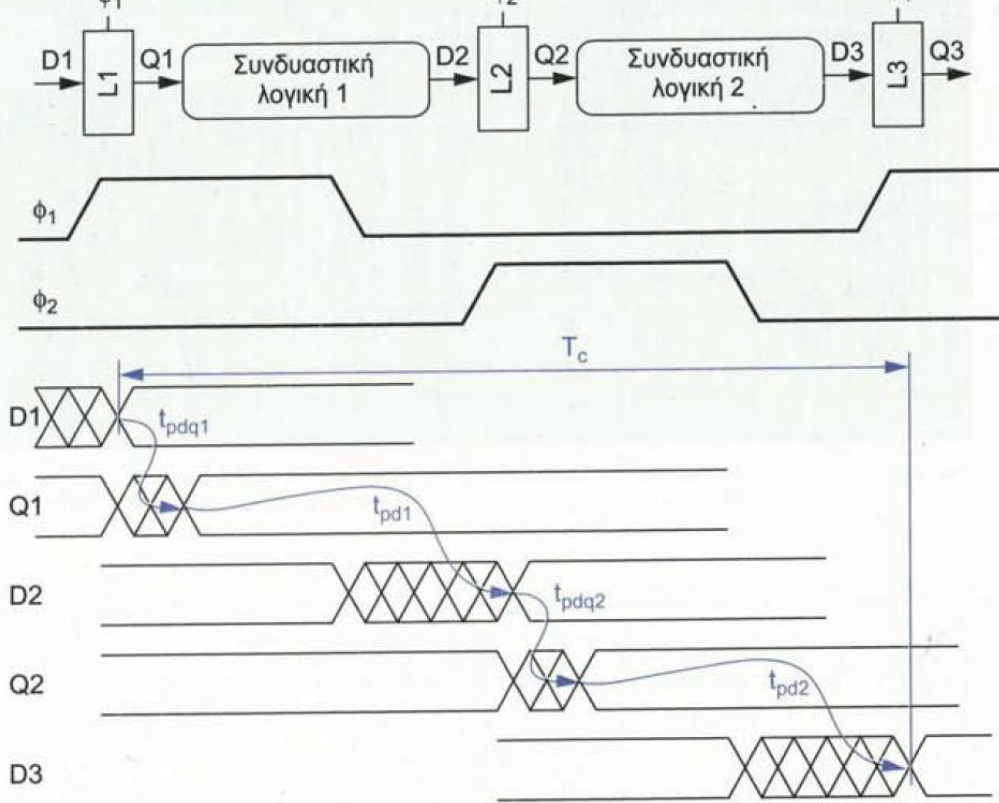


ΣΧΗΜΑ 10.5 Περιορισμός μέγιστης καθυστέρησης σε flip-flop.

Καθυστέρηση διάδοσης flip-flop (2)

Εναλλακτικά, μπορούμε να επλύσουμε την εξίσωση για τη μέγιστη επιτρεπόμενη καθυστέρηση λογικής, η οποία είναι απλώς ο χρόνος κύκλου του ρολογιού μείον την ακολουθιακή επιβάρυνση που εισάγεται από την καθυστέρηση διάδοσης και το χρόνο αποκατάστασης του flip-flop.

$$t_{pd} \leq T_c - \underbrace{(t_{setup} + t_{req})}_{\text{ακολουθιακή επιβάρυνση}} \quad (10.2)$$



ΣΧΗΜΑ 10.7 Περιορισμός μέγιστης καθυστέρησης σε μανδαλωτή 2 φάσεων.

Το Σχήμα 10.7 παρουσιάζει τους ανάλογους περιορισμούς σ' ένα μονοπάτι που χρησιμοποιεί δύο διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων. Ας υποθέσουμε ότι τα δεδομένα $D1$ φτάνουν στο $L1$ ενώ ο μανδαλωτής είναι διαφανής (το ϕ_1 σε υψηλή στάθμη). Τα δεδομένα διαδίδονται διαμέσου του $L1$, της πρώτης δομής συνδυαστικής λογικής, του $L2$, και της δεύτερης δομής συνδυαστικής λογικής. Από τεχνικής σκοπιάς, το $D3$ θα μπορούσε να φτάσει με καθυστέρηση ίση με το χρόνο αποκατάστασης, πριν από την καθοδική ακμή του ϕ_1 και παρόλα αυτά να δειγματοληπτηθεί σωστά από το $L3$. Ωστόσο, για λόγους ορθότητας θα επιμείνουμε ότι, ονομαστικά, το $D3$ φτάνει με καθυστέρηση όχι περισσότερη από μια περίοδο ρολογιού μετά από το $D1$, επειδή, σε επίπεδο συνολικής σχεδίασης, είναι αδύνατο το κάθε μονοπάτι μονού κύκλου ρολογιού να καταναλώνει περισσότερο από μια πλήρη περίοδο ρολογιού. Ορισμένα μονοπάτια μπορεί να καθυστερήσουν περισσότερο εάν κάποια άλλα μονοπάτια χρησιμοποιήσουν λιγότερο χρόνο. Αυτή

Καθυστέρηση διάδοσης μανδαλωτή 2 φάσεων (2)

η τεχνική αποκαλείται «δανεισμός χρόνου» (time borrowing) και θα περιγραφεί στην Ενότητα 10.2.4. Υποθέτοντας ότι το μονοπάτι δεν χρησιμοποιεί περισσότερο χρόνο από έναν κύκλο, διαπιστώνουμε ότι ο χρόνος ρολογιού θα πρέπει να είναι

$$T_c \geq t_{pdq1} + t_{pd1} + t_{pdq2} + t_{pd2} \quad (10.3)$$

Και σ' αυτή την περίπτωση, μπορούμε να επιλύσουμε την εξίσωση ως προς τη μέγιστη λογική καθυστέρηση, η οποία είναι το άθροισμα των λογικών καθυστερήσεων κάθε μιας από τις δύο φάσεις. Η ακολουθιακή επιβάρυνση αποτελείται από τις καθυστερήσεις διάδοσης των δύο μανδαλωτών. Παρατηρήστε ότι η μη-επικάλυψη των ρολογιών δεν υποβαθμίζει την απόδοση στα βασιζόμενα σε μανδαλωτή συστήματα, επειδή τα δεδομένα συνεχίζουν να διαδίδονται διαμέσου της συνδυαστικής λογικής μεταξύ των μανδαλωτών ακόμα και κατά τη διάρκεια που τα δύο ρολόγια είναι σε χαμηλή στάθμη. Αντιλαμβανόμενοι ότι ένα flip-flop μπορεί να κατασκευαστεί με δύο μανδαλωτές, των οποίων οι καθυστερήσεις καθορίζουν την καθυστέρηση διάδοσης του flip-flop και το χρόνο αποκατάστασης, διαπιστώνουμε ότι η Εξ. (10.4) έχει μεγάλο βαθμό ομοιότητας με την Εξ. (10.2).

$$t_{pd} = t_{pd1} + t_{pd2} \leq T_c - \underbrace{(2t_{pdq})}_{\text{ακολουθιακή επιβάρυνση}} \quad (10.4)$$

Καθυστέρηση διάδοσης σε παλμικούς μανδαλωτές (1)

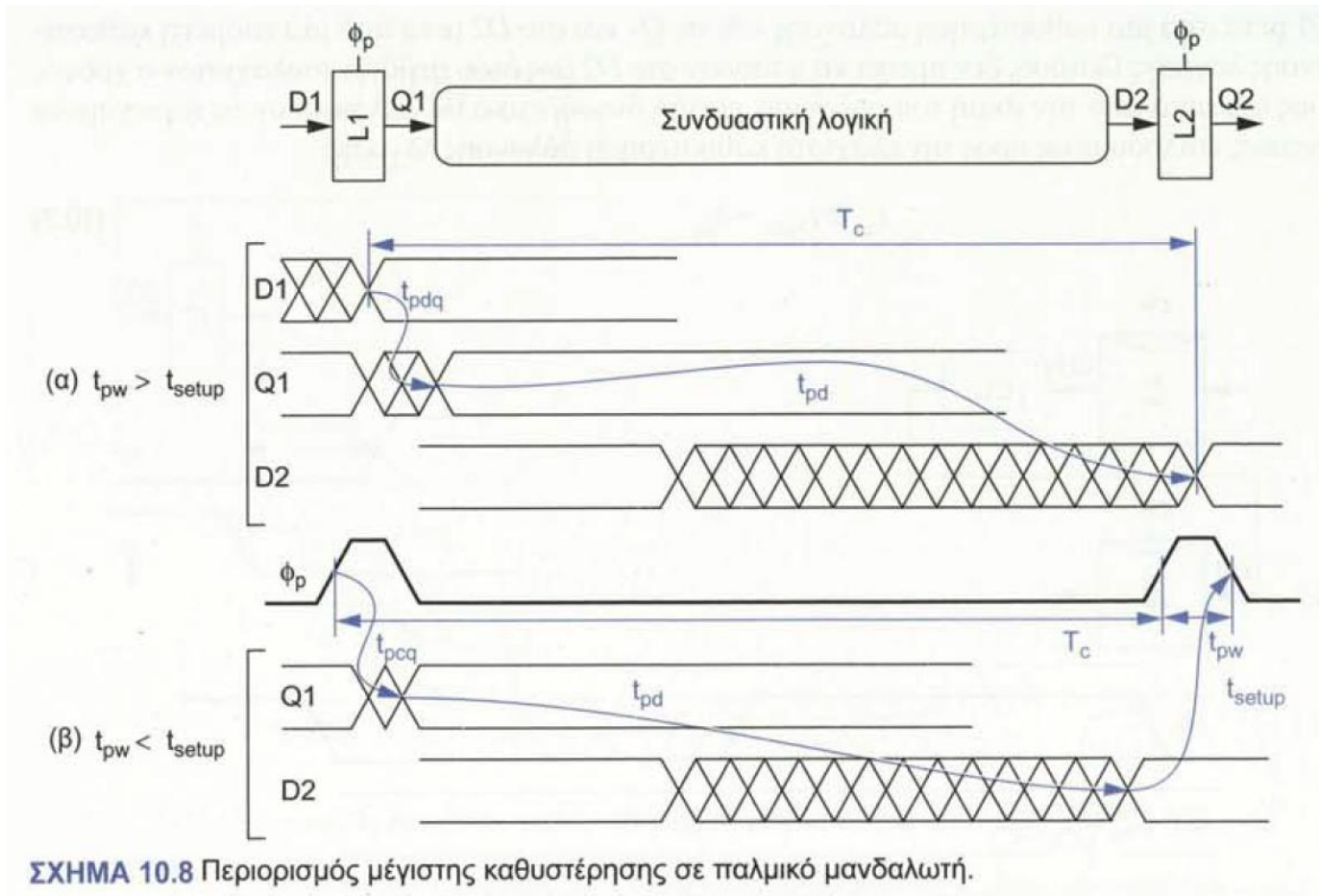
Ο περιορισμός μέγιστης καθυστέρησης για παλμικούς μανδαλωτές είναι παρόμοιος με αυτόν για τους μανδαλωτές 2 φάσεων, εκτός από το γεγονός ότι μόνο ο ένας εξ αυτών βρίσκεται στο κρίσιμο μονοπάτι, όπως υποδεικνύεται στο Σχήμα 10.8(α). Ωστόσο, εάν ο παλμός έχει πιο περιορισμένο εύρος (πλάτος) από το χρόνο αποκατάστασης, τα δεδομένα θα πρέπει να αποκατασταθούν πριν ανέλθει ο παλμός, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 10.8(β). Συνδυάζοντας αυτές τις δύο περιπτώσεις έχουμε

$$T_c \geq \max(t_{pdq} + t_{pd}, t_{pcq} + t_{pd} + t_{setup} - t_{pw}) \quad (10.5)$$

Επιλύοντας ως προς τη μέγιστη καθυστέρηση λογικής, διαπιστώνουμε ότι η ακολουθιακή επιβάρυνση είναι ίση με την καθυστέρηση ενός μανδαλωτή εάν ο παλμός έχει επαρκές εύρος ώστε να «κρύψει» το χρόνο αποκατάστασης

$$t_{pd} \leq T_c - \underbrace{\max(t_{pdq}, t_{pcq} + t_{setup} - t_{pw})}_{\text{ακολουθιακή επιβάρυνση}} \quad (10.6)$$

Καθυστέρηση διάδοσης σε παλμικούς μανδαλωτές (2)



ΣΧΗΜΑ 10.8 Περιορισμός μέγιστης καθυστέρησης σε παλμικό μανδαλωτή.

Άσκηση βιβλίου (1)

10.1 Για κάθε ένα από τα ακόλουθα στιλ ακολουθιακών κυκλωμάτων, καθορίστε τη μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης που είναι διαθέσιμη για ένα ρολόι με κύκλο 500 ps. Υποθέστε ότι δεν υπάρχει χρονική απόκλιση ρολογιού και δεν λαμβάνει χώρα δανεισμός χρόνου.

- a) Flip-flop
- b) Διαφανείς μανδαλωτές δύο φάσεων
- c) Παλμικοί μανδαλωτές με 80 ps πλάτος παλμού

	Χρόνος αποκατάστασης	Καθυστέρηση Clk σε Q	Καθυστέρηση D σε Q	Καθυστέρηση μόλυνσης	Χρόνος συγκράτησης
Flip-flop	65 ps	50 ps	–	35 ps	30 ps
Μανδαλωτές	25 ps	50 ps	40 ps	35 ps	30 ps

Άσκηση βιβλίου (2)

Λύση

10.1 (a) $t_{pd} = 500 - (50 + 65) = 385$ ps; (b) $t_{pd} = 500 - 2(40) = 420$ ps; (c) $t_{pd} = 500 - 40 = 460$ ps.