

ΠΙΝΑΚΑΣ 7.4 Συγκριτική παρουσίαση ακολουθιακών στοιχείων

	Ακολουθιακή επίδραση ( $t_r - t_{fd}$ )	Ελάχιστη Καθυστέρηση Λογικής $t_{cl}$	Δυνατός χρόνος $t_{max}$
Flip-flop	$t_{prop} + t_{setup} + t_{ckew}$	$t_{hold} - t_{sig} + t_{ckew}$	0
Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων	$2t_{pd}$	$t_{hold} - t_{sig} + t_{nonoverlap} + t_{ckew}$ in each half-cycle	$T/2 - (t_{setup} + t_{nonoverlap} + t_{ckew})$
Παλμικοί μανδαλωτές	$\max(t_{pd}, t_{prop} + t_{setup} - t_{rw} + t_{ckew})$	$t_{hold} - t_{sig} + t_{rw} + t_{ckew}$	$t_{rw} - (t_{setup} + t_{ckew})$

Σ' ένα ναυπηγητικό περιβάλλον, κατά τη διαδικασία επαγωγικών μαθημάτων πάνω στο σχεδιασμό συστημάτων VLSI, η χρονική ανάλυση είτε μελετάται αναπαρωώς, είτε παραβλέπεται ολοκληρωτικά. Η χρήση μη-επικαλυπτόμενων ρολογιών 2 φάσεων τα οποία παράγονται εκτός ολοκληρωμένου είναι ελκυστική, επειδή παρέχει τη διασφάλιση ότι το ολοκληρωμένο δεν θα αστοχήσει λόγω ελάχιστης ή μέγιστης καθυστέρησης, εάν η περίοδος του ρολογιού και ο χρόνος μη-επικάλυψης είναι επαρκώς μεγάλα. Ωστόσο, η παραγωγή και διανομή δύο μη-επικαλυπτόμενων φάσεων σ' ένα μεγάλο, υψηλής απόδοσης εμπορικό ολοκληρωμένο δεν είναι πρακτική.

Η συντηρητική πιθανότητα των σχεδιασμών χαμηλής/μέτριας απόδοσης, καθώς και ορισμένες σχεδιαστικές υψηλής απόδοσης, χρησιμοποιούν flip-flop. Τα flip-flop είναι εύχρηστα και οικεία στους περισσότερους σχεδιαστές. Ακόμα πιο σημαντικό είναι το γεγονός ότι υλοποιούνται καλά από εργαλεία σύνθεσης και αναλυτές χρονισμού. Δυστυχώς, στα συστήματα με λίγες καθυστερήσεις πολλών ανά κύκλο, η ακολουθιακή επίδραση μπορεί να καταναλώσει σημαντικό ποσό των κόσμων. Επιπλέον, πολλά flip-flop σε μορφή τυποποιημένων κυττάρων σχεδιάζονται ούτως ώστε να είναι αργά, με στόχο την αποτροπή παραβιάσεων του χρόνου συγκράτησης και αντίηχο τη μεγαλύτερη ακολουθιακή επίδραση.

Τα περισσότερα συστήματα μανδαλωτών 2 φάσεων καταφέρνουν μόνο ένα ρολόι και το αντίστοιχόν του για να οδηγήσουν ένα δεύτερο μανδαλωτή. Αυτά τα συστήματα μπορούν να ανιχνεύουν σημαντικές χρονικές αποκλίσεις ρολογιού χωρίς μείωση της απόδοσης, μπορούν επίσης να χρησιμοποιούν την τεχνική του δανεισμού χρόνου για να ισορροπήσουν την καθυστέρηση, είτε εσκεμμένα είτε αυτοκινητικά. Ωστόσο, η κατανόησή τους είναι πιο δύσκολη επειδή ο δανεισμός χρόνου καταμετρά τους περιορισμούς χρόνου σε πολλαπλά στάδια μιας διαδοχικής διεργασίας αντί να τους απομονώνει σε κάθε στάδιο. Ορισμένοι αναλυτές χρονισμού δεν μπορούν να χειριστούν ικανοποιητικά τους χρονισμούς των μανδαλωτών, κυρίως όταν υπάρχουν διαφορετικές χρονικές αποκλίσεις μεταξύ διαφορετικών ρολογιών [Harris99]. Μανδαλωτές 2 φάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί στους Alpha 21064 και 21164 [Gonowskij98], καθώς και σε διάφορα άλλα ολοκληρωμένα, αλλά πλέον σπάνια χρησιμοποιούνται σπανίως.

Οι παλμικοί μανδαλωτές έχουν χαμηλή ακολουθιακή επίδραση και επιτρέπουν συμβιβασμούς κατά την επιλογή του πλάτους παλμού. Ένας πλάτος παλμού επιτρέπει περισσότερο δανεισμό χρόνου και οετική ανοχή στη χρονική απόκλιση, αλλά δυσκολεύει την ικανοποίηση των περιορισμών ελάχιστης καθυστέρησης. Οι παλμικοί μανδαλωτές είναι επίσης δημοφιλείς επειδή μπορούν να μοντελοποιούνται ως κρήγυρα flip-flop με απαρόδεκτο χρόνο συγκράτησης από τη σκοπιά ενός χρονικού αναλυτή (ή ενός άπειρου σχεδιαστή), εάν δεν επιτρέπεται ο εσκεμμένος δανεισμός χρόνου. Τα προβλήματα ελάχιστης καθυστέρησης μπορούν να λυθούν με τη χρήση παλμικών μανδαλωτών για τα μεγάλα μέρκος μονοστάσια και flip-flop για τα μικρά μέρκος. Δυστυχώς, αρκετές πραγματικές σχεδιαστικές έχουν μονοστάσια στα οποία η καθυστέρηση διάδοσης είναι πολύ μεγάλη αλλά η καθυστέρηση μόνωσης πολύ μικρή, με αποτέλεσμα να είναι δυσκολότερη η επίτευξη συμπεριφοράς σχεδίασης. Παλμικοί μανδαλωτές έχουν χρησιμοποιηθεί στους επεξεργαστές Itanium 2 [Naffziger02], Pentium 4 [Korbl01], Athlon [Draper97], και CRAY 1 [Ungrer86]. Ωστόσο, μπορούν να προκαλέσουν χάος σε συμβατικές, εμπορικά διαθέσιμες ρυθμολογίες σχεδίασης και είναι προτιμότερο να μην χρησιμοποιούνται παρά μόνο σε περιπτώσεις που απαιτούν υπερηχητικές επόδους.

Όταν οι είσοδοι φτάνουν σ' ένα σύστημα ασύγχρονα, δεν είναι εγγυημένο ότι θα ικανοποιούνται οι απαιτήσεις χρόνου αποκατάστασης ή συγκράτησης στα χρονωμένα στοιχεία. Ακόμα κι αν δεν μας ενδιαφέρει το εάν μια είσοδος φτάνει στον ένα κύκλο ή στον επόμενο, θα πρέπει να διασφαλίσουμε ότι το χρονωμένο στοιχείο παράγει έγκυρη λογική στάθμη. Δυστυχώς, εάν το στοιχείο δειγματοληπτεί μια μεταβαλλόμενη είσοδο σε λάθος στιγμή, μπορεί να παράγει μια μετασταθερή έξοδο που παραμένει άκυρη για απροσδιόριστο χρόνο. Η πιθανότητα να παραμείνει η μετασταθερότητα μειώνεται εκθετικά με το χρόνο. Τα συστήματα χρησιμοποιούν ασύγχρονες για να δειγματοληπτούν τις ασύγχρονες εισόδους και να τις συγκρατούν αρκετά ώστε να βρεθούν με πολύ υψηλή πιθανότητα σε μια έγκυρη λογική στάθμη, πριν τις προωθήσουν.

Τα περισσότερα ασύγχρονα συστήματα VLSI χρησιμοποιούν αδιαφανή ακολουθιακά στοιχεία για το διαχωρισμό του ενός συμβόλου από το επόμενο. Σε αντίθεση, αρκετά οπτικά συστήματα μεταδίδουν τα δεδομένα ως χρονικά διαχωριζόμενους παλμούς. Εφόσον το μέσο μεταφοράς δεν σκεδάζει υπερβολικά τους παλμούς, αυτοί μπορούν να λαμβάνονται ουσιαστικά από το δέκτη. Παρόμοια, εάν ένα VLSI σύστημα έχει χαμηλή σκέδαση, δηλαδή περίπου ίσες καθυστερήσεις διάδοσης και μόνωσης, μπορεί να σπένει περισσότερα από ένα κύματα δεδομένων χωρίς μανδαλωτές. Τέτοια κυματική διαδοχική διεργασία παρέχει δυνατότητες για υψηλές επόδους και χαμηλή ακολουθιακή επίδραση. Ωστόσο, είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθεί στην πράξη λόγω των διακορμιών στην καθυστέρηση των δεδομένων.

**Ασκήσεις**

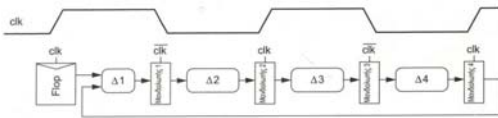
Χρησιμοποιήστε τις ακόλουθες παραμέτρους χρονισμού για τις ασκήσεις αυτής της ενότητας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 10.5 Παράμετροι χρονισμού ακολουθιακών στοιχείων

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

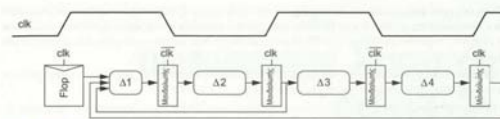
- 10.1 Για κάθε ένα από τα ακόλουθα στλ ακολουθιακών κυκλωμάτων, καθορίστε τη μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης που είναι διαθέσιμη για ένα ρολόι με κύκλο 500 ps. Υποθέστε ότι δεν υπάρχει χρονική απόκλιση ρολογιού και δεν λαμβάνει χώρα δανεισμός χρόνου.
  - α) Flip-flop
  - β) Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων
  - γ) Παλμικοί μανδαλωτές με 80 ps πλάτος παλμού
- 10.2 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.1 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού μεταξύ οποιωνδήποτε δύο στοιχείων φτάνει έως 50 ps.
- 10.3 Για κάθε ένα από τα ακόλουθα στλ ακολουθιακών κυκλωμάτων, καθορίστε την ελάχιστη καθυστέρηση μόνωσης λογικής σε κάθε κύκλο ρολογιού (ή ημι-κύκλο για μανδαλωτές 2 φάσεων). Υποθέστε ότι η χρονική απόκλιση ρολογιού είναι 0.
  - α) Flip-flop
  - β) Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων με ρολόγια με κύκλο λειτουργίας 50%
  - γ) Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων με 60 ps μη-επικάλυψη μεταξύ των φάσεων
  - δ) Παλμικοί μανδαλωτές με 80 ps πλάτος παλμού
- 10.4 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.3 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού μεταξύ οποιωνδήποτε δύο στοιχείων μπορεί να φτάσει τα 50 ps.

- 10.5 Υποθέστε ότι ένας κύκλος λογικής είναι ιδιαίτερα κρίσιμος και ο επόμενος κύκλος είναι περίπου άδειος. Καθορίστε το μέγιστο ποσό χρόνου που μπορεί να δανείσει ο πρώτος κύκλος στο δεύτερο για κάθε ένα από τα ακόλουθα στυλ ακολουθιακών κυκλωμάτων. Υποθέστε ότι δεν υπάρχει χρονική απόκλιση ρολογιού.
- Flop-flop
  - Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων με ρολόγια με κύκλο λειτουργίας 50%
  - Διαφανείς μανδαλωτές 2 φάσεων με 60 ps μη-επικάλυψης μεταξύ των φάσεων
  - Παλμικοί μανδαλωτές με 80 ps πλάτος παλμού
- 10.6 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.5 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού μεταξύ οποιονδήποτε δύο στοιχείων μπορεί να φτάσει τα 50 ps.
- 10.7 Αποδείξτε την Εξ. (10.17)
- 10.8 Δίνεται flip-flop κατασκευασμένο μ' ένα ζεύγος ομοφανών μανδαλωτών που χρησιμοποιούν μη-επικαλυπτόμενα ρολόγια. Εκφράστε το χρόνο αποκατάστασης, το χρόνο συγκράτησης και την καθυστέρηση ρολόι-σε-Q του flip-flop βάζει των παραμέτρων χρονισμού του μανδαλωτή και του  $t_{\text{comb}}^{\text{max}}$ .
- 10.9 Για το μονοπάτι του Σχήματος 10.54, βρείτε ποιοι μανδαλωτές δανείζονται χρόνο και αν συμβαίνουν παραβιάσεις στο χρόνο αποκατάστασης. Επαναλάβετε για χρόνους κύκλου 1200, 1000 και 800 ps. Υποθέστε ότι υπάρχει μηδενική χρονική απόκλιση ρολογιού και ότι οι καθυστερήσεις των μανδαλωτών προσμετρούνται στα  $\Delta$  της καθυστέρησης διάδοσης.
- $\Delta 1 = 550$  ps;  $\Delta 2 = 580$  ps;  $\Delta 3 = 450$  ps;  $\Delta 4 = 200$  ps
  - $\Delta 1 = 300$  ps;  $\Delta 2 = 600$  ps;  $\Delta 3 = 400$  ps;  $\Delta 4 = 550$  ps



ΣΧΗΜΑ 10.54 Το μονοπάτι για την Άσκηση 10.9.

- 10.10 Καθορίστε την ελάχιστη περίοδο του ρολογιού στην οποία το κύκλωμα του Σχήματος 10.55 θα λειτουργήσει ουσιά για κάθε μια από τις ακόλουθες λογικές καθυστερήσεις. Υποθέστε ότι δεν υπάρχει χρονική απόκλιση ρολογιού και ότι οι καθυστερήσεις των μανδαλωτών προσμετρούνται στα  $\Delta$  της καθυστέρησης διάδοσης.
- $\Delta 1 = 300$  ps;  $\Delta 2 = 400$  ps;  $\Delta 3 = 200$  ps;  $\Delta 4 = 350$  ps
  - $\Delta 1 = 300$  ps;  $\Delta 2 = 400$  ps;  $\Delta 3 = 400$  ps;  $\Delta 4 = 550$  ps
  - $\Delta 1 = 300$  ps;  $\Delta 2 = 900$  ps;  $\Delta 3 = 200$  ps;  $\Delta 4 = 350$  ps



ΣΧΗΜΑ 10.55 Το μονοπάτι για την Άσκηση 10.10.

- 10.11 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.10 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού είναι 100 ps
- 10.12 Χαρακτηρίστε τους τύπους χρονισμού κάθε σημείου του κυκλώματος του Σχήματος 10.54. Το flip-flop έχει κατασκευαστεί με διαφανείς μανδαλωτές συνδεδεμένους «πλάτη-με-πλάτη», όπου ο πρώτος ελέγχεται από το  $clk$ ,  $b$  και ο δεύτερος από το  $clk$ .
- 10.13 Χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή, συγκρίνετε τις καθυστερήσεις διάδοσης από  $D$ -σε- $Q$  του συμβατικού δυναμικού μανδαλωτή του Σχήματος 10.17(δ) και του μανδαλωτή TSPC του Σχήματος 10.30(α). Υποθέστε ότι κάθε μανδαλωτής φορτίζεται με βαθμό οδήγησης εξόδου 4. Χρησιμοποιήστε χρονισμένα τρανζίστορ πλάτους 4  $\lambda$ , και προσαρμόστε τα άλλα μεγέθη των τρανζίστορ για την ελάχιστη καθυστέρηση διάδοσης.
- 10.14 Χρησιμοποιώντας έναν προσομοιωτή, βρείτε τους χρόνους αποκατάστασης και συγκράτησης ενός μανδαλωτή TSPC, από τις προϋποθέσεις της Άσκησης 10.13.
- 10.15 Καθορίστε τη μέγιστη καθυστέρηση λογικής που είναι διαθέσιμη σ' έναν κύκλο για μια τυπική δομή διαχέουσας domino που χρησιμοποιεί ένα ρολόι με κύκλο 500 ps. Υποθέστε ότι υπάρχει μηδενική χρονική απόκλιση ρολογιού.
- 10.16 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.15 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού μεταξύ οποιονδήποτε δύο στοιχείων μπορεί να φτάσει τα 50 ps.
- 10.17 Βρείτε τη μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης που είναι διαθέσιμη σ' ένα κύκλο για μια δομή διαχέουσας διαδοχικής επίδρασης 4 φάσεων με ανοχή στη χρονική απόκλιση, που χρησιμοποιεί ρολόι με κύκλο 500 ps. Υποθέστε ότι υπάρχει μηδενική χρονική απόκλιση ρολογιού.
- 10.18 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.17 εάν η χρονική απόκλιση του ρολογιού μεταξύ οποιονδήποτε δύο στοιχείων μπορεί να φτάσει τα 50 ps.
- 10.19 Πόσο χρόνο μπορεί να δανείσει μια φάση στην επόμενη, στην περίπτωση της Άσκησης 10.18, εάν τα ρολόγια έχουν κύκλο λειτουργίας 50%; Υποθέστε  $t_{\text{hold}} = 0$ .
- 10.20 Επαναλάβετε την Άσκηση 10.18 εάν τα ρολόγια έχουν κύκλο λειτουργίας 65%.
- 10.21 Σχεδιάστε ένα γρήγορο παλμικό μανδαλωτή. Υποθέστε ίσες χωρητικότητες πύλης στο ρολόι και στις εισόδους των δεδομένων. Διαμορφώστε το μανδαλωτή ώστε να οδηγεί ένα φορτίο εξόδου αποτελούμενο από τέσσερις πανομοιότυπες μανδαλωτές. Προσομοιώστε το μανδαλωτή και βρείτε τους χρόνους αποκατάστασης & συγκράτησης και τις καθυστερήσεις διάδοσης & μόνωσης ρολόι-σε- $Q$ . Εκφράστε τα αποτελέσματά σας σε καθυστερήσεις αντιπροσώπευ FOM.
- 10.22 Προσομοιώστε το σενάριο χειρουργικής περίπτωσης για την καθυστέρηση διάδοσης μιας δυναμικής πύλης NOR 8 εισόδων που οδηγεί 4 στοιχεία. Αναφέρετε την καθυστέρηση σε όλες τις σχεδιαστικές γωνίες (τάση, θερμοκρασία, nMOS, pMOS). Επίσης, βρείτε την καθυστέρηση αντιπροσώπευ FOM σε κάθε μια από αυτές τις γωνίες. Κατά ποιο ποσοστό διαφερουν οι τιμές η απόλυτη καθυστέρηση διάδοσης της πύλης NOR μεταξύ των γωνιών; Κατά ποιο ποσοστό διαφερουν οι τιμές η κανονικοποιημένη καθυστέρηση (βάζει καθυστέρησης αντιπροσώπευ FOM); Συζητήστε τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει από σε κυκλώματα τα οποία χρησιμοποιούν ταριασμένες καθυστερήσεις.

- 10.23 Ένας συγχρονιστής χρησιμοποιεί ένα flip-flop με  $t_r=54$  ps και  $T_p=21$  ps. Εάν υποθέσουμε ότι η είσοδος εναλλάσσεται με συχνότητα 10 MHz και ο χρόνος αποκατάστασης είναι αμελητέος, ποια είναι η ελάχιστη περίοδος ρολογιού για την οποία ο μέσος χρόνος μεταξύ αστοχιών υπερβαίνει τα 100 χρόνια;
- 10.24 Προσομοιώστε το συγχρονιστή του Σχήματος 10.45 και σχεδιάστε ένα γράφημα ανάλογο με αυτό του Σχήματος 10.43. Από το γράφημα, βρείτε τα  $\Delta t_{DQ}$ ,  $t_r$  και  $T_p$ .
- 10.25 Η εταιρεία InferiorCircuits Inc θέλει να σας πουλήσει τον ΤΕΛΕΙΟ συγχρονιστή, ο οποίος, κατά τα λεγόμενά της, δεν παράγει ποτέ μετασταθερή έξοδο. Ο συγχρονιστής αποτελείται από ένα κανονικό flip-flop το οποίο ακολουθείται από ένα συγκριτή μεγάλο κέρδους που παράγει υψηλή έξοδο για εισόδους πάνω από  $V_{DD}/4$  και χαμηλή έξοδο για εισόδους κάτω από το σημείο. Ο αντιστάθρο του τμήματος μάρκετινγκ ισχυρίζεται ότι ακόμα κι αν το flip-flop εισέλθει σε κατάσταση μετασταθερότητας, η έξοδος του θα παραμένει κοντά στο  $V_{DD}/2$ , οπότε ο συγχρονιστής θα παράγει "καλή" υψηλή έξοδο μετά από το συγκριτή. Γιατί δεν θα αγοράζατε αυτό το συγχρονιστή;

## Υποσυστήματα Χειριστών Δεδομένων

# 11

### 11.1 Εισαγωγή

Γενικά, οι λεπτομερείς μονάδες των ολοκληρωμένων μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- Χειριστές δεδομένων
- Στοιχεία μνήμης
- Δομές ελέγχου
- Κώτταρα ειδικού σκοπού
  - o Εισόδου/Εξόδου
  - o Διανομής ισχύος
  - o Δημοσιότητας και διανομής ρολογιού
  - o Αναλογικά και RF

Η διαδικασία σχεδίασης ουστημάτων CMOS συνίσταται στο διαχωρισμό του σχεδιαζόμενου συστήματος σε υποσυστήματα των παραπάνω κατηγοριών. Υπάρχουν πολλά εναλλακτικά σχήματα τα οποία επιτρέπουν στους σχεδιαστές να κάνουν τους επιθυμητούς ή αναγκαίους συμβιβασμούς μεταξύ ταχύτητας, πυκνότητας, δυνατότητας προγραμματισμού, ευκολίας σχεδίασης και διάφορων άλλων παραμέτρων. Το παρόν κεφάλαιο εξετάζει διάφορες επιλογές σχεδίασης για τους ερότερα χρησιμοποιούμενους τελεστές χειριστών δεδομένων. Το επόμενο κεφάλαιο πραγματεύεται τις διατάξεις (arrays), δίνοντας ιδιαίτερη έμφαση σ' αυτές που χρησιμοποιούνται για κυκλώματα μνήμης. Οι δομές ελέγχου κωδικοποιούνται συνήθως με τη χρήση κάποιας γλώσσας περιγραφής hardware και κατόπιν ακολουθεί η σύνταξη τους. Στο Κεφάλαιο 13 θα εξετάσουμε ορισμένα υποσυστήματα ειδικού σκοπού.

Όπως αναφέραμε στο Κεφάλαιο 1, οι χειριστές δεδομένων ωφελούνται από τις αρχές της παραγωγής της κανονικότητας της τμηματοποίησης και της τοπικότητας, οι οποίες δίνουν τη δομημένη σχεδίαση ουστημάτων. Μπορούν να χρησιμοποιούν  $N$  πανομοιότυπα κυκλώματα για την επεξεργασία δεδομένων των  $N$  bit. Οι σχετιζόμενοι χειριστές δεδομένων τοποθετούνται σε φυσικά γειτονικές θέσεις έτσι ώστε να μειώνεται το μήκος των αγωγών διασύνδεσης και η καθυστέρηση. Γενικά, τα δεδομένα διατεθούνται ώστε να ρέουν μόνο προς μία κατεύθυνση, ενώ τα σήματα ελέγχου διατεθούνται ώστε να ρέουν σε κατεύθυνση ορθογώνια προς τη ροή δεδομένων.

Στους κανόνες τελεστών χειριστών δεδομένων που θα εξετάσουμε σ' αυτό το κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι αφηρητές, οι ανηγμένες 0/1, οι συγκριτές, οι μετρητές, οι μονάδες Boolean λογικής, οι μονάδες κώδικα διάρθρωσης οραμάτων, οι ολισθητές και οι πολλαπλασιαστές.

### 11.2 Πρόσθεση/Αφαίρεση

«Σχεδιάστηκε κλειδιά μηχανισμών και δημιουργήθηκαν σχεδόν ατελείωτα σχεδιαγράμματα, με στόχο την εξοικονόμηση χρόνου και την απλοποίηση του μηχανισμού κριτούμενου».

-Charles Babbage, για την Difference Engine No.1, 1864 [Morrison61]