ΗΥ-120: Ψηφιακή Σχεδίαση
Φθινόπωρο 2003

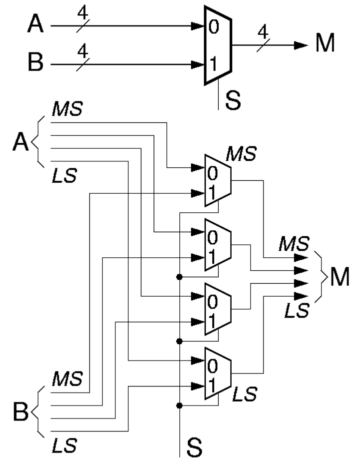
Τμ. Επ. Υπολογιστών
© Πανεπιστήμιο Κρήτης

Εργαστήριο 8: Μετρητής μέσω Αθροιστή & Καταχωρητή, Ακμοπυροδότηση

8 - 11 Δεκεμβρίου 2003

[Βιβλίο: *προαιρετικά* μπορείτε να διαβάσετε την μισή παράγραφο **6.3** (σελίδες 264-269)].

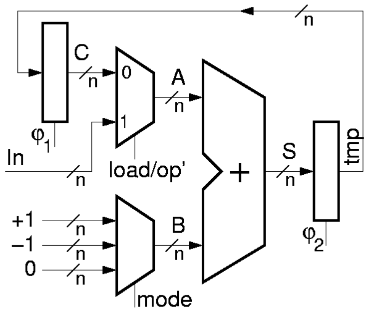
8.1 Πολύμπιτοι Πολυπλέκτες:



Στο εργαστήριο 2 είδαμε ότι οι πολυπλέκτες είναι κυκλώματα με δύο ή περισσότερες εισόδους δεδομένων, μία έξοδο δεδομένων, και μία είσοδο επιλογής (είσοδο ελέγχου, με ένα ή περισσότερα bits)· ανάλογα με την τιμή της εισόδου ελέγχου, επιλέγεται μία από τις εισόδους δεδομένων και η λογική τιμή της αντιγράφεται στην έξοδο. Στην §4.9 είδαμε πώς κατασκευάζεται ένας πολυπλέκτης από πύλες, και πώς αυτός λειτουργεί εσωτερικά. Σε όλα αυτά τα παραδείγματα, οι είσοδοι δεδομένων ήσαν του ενός bit καθεμία. Πολύ συχνά όμως, στις εφαρμογές, θέλουμε να επιλέξουμε μεταξύ εισόδων που έχουν πολλαπλά bits καθεμία· αυτό μπορούμε να το κάνουμε χρησιμοποιώντας τόσους πολυπλέκτες (του ενός bit) όσα και τα bits των λέξεων εισόδου, όπως φαίνεται στο σχήμα δίπλα.

Κανονικά, όλες οι είσοδοι δεδομένων πρέπει να έχουν το ίδιο πλήθος bits καθεμία (4 bits στο παράδειγμά μας). Το πλήθος των bits της εξόδου πρέπει να επαρκεί γιά να μεταφέρει την πληροφορία της οιασδήποτε επιλεγόμενης εισόδου, άρα πρέπει να ισούται με αυτό το πλήθος bits των εισόδων (εάν οι είσοδοι δεν είχαν όλες το ίδιο πλήθος bits, η έξοδος θα έπρεπε να έχει το μεγαλύτερο από τα πλήθη αυτά, γιά να "χωράει" την φαρδύτερη είσοδο, αλλά τότε θα έπρεπε να μας προδιαγράψουν και τι θα περιέχουν τα επιπλέον bits της εξόδου όποτε επιλέγεται είσοδος με λιγότερα bits). Ο ρόλος του **πολύμπιτου (multibit)** πολυπλέκτη, λοιπόν, είναι να τροφοδοτήσει το κάθε bit της εξόδου από το κατάλληλο bit της επιλεγόμενης εισόδου, όπως δείχνει το σχήμα. Π.χ. σαν MS bit της εξόδου πρέπει να μπορεί να επιλεγεί το MS bit μιάς οιασδήποτε από τις εισόδους δεδομένων, μέσω του "MS" (περισσότερο σημαντικού) πολυπλέκτη· και ο "LS" πολυπλέκτης πρέπει να επιλέγει το LS bit της εξόδου μεταξύ των LS bits όλων των εισόδων, κ.ο.κ. Επομένως, χρειαζόμαστε από έναν (μονόμπιτο) πολυπλέκτη γιά το κάθε bit της εξόδου· κάθε τέτοιος (μονόμπιτος) πολυπλέκτης πρέπει να έχει τόσες εισόδους δεδομένων όσες και οι λέξεις δεδομένων εισόδου που θέλουμε να πολυπλέξουμε. Συνολικά, γιά να φτιάξουμε έναν (πολύμπιτο) πολυπλέκτη *m-σε-1* των *n bits* (*n-bit m-to-1 multiplexer*), χρειαζόμαστε *n* μονόμπιτους πολυπλέκτες μεγέθους *m-σε-1* ο καθένας. Προφανώς, σε δεδομένη στιγμή, οι πολυπλέκτες πρέπει να επιλέγουν καθένας το κατάλληλο bit, της *ίδιας εισόδου* όλοι· άρα, η είσοδος ελέγχου (επιλογής) πρέπει να έχει την ίδια, κοινή τιμή γιά όλους τους πολυπλέκτες. Γιά τον πολύμπιτο αυτό πολυπλέκτη χρησιμοποιούμε ένα συνοπτικό σύμβολο, όπως φαίνεται στο επάνω μέρος του σχήματος.

8.2 Μετρητής από Αθροιστές, Καταχωρητές, και Πολυπλέκτες:



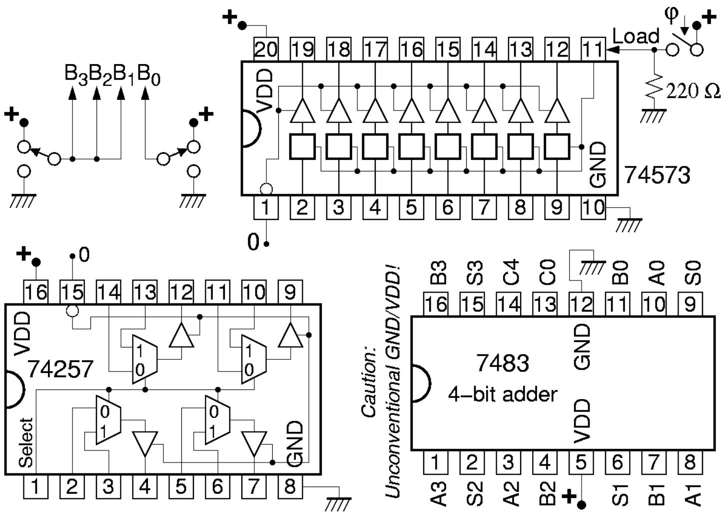
Το ακολουθιακό κύκλωμα που θα μελετήσουμε σε αυτό το εργαστήριο λέγεται "**μετρητής**" (counter), διότι μετράει, ξεκινώντας από δοσμένο αριθμό, δηλαδή θυμάται έναν αριθμό και τον αυξάνει (ή τον μειώνει) κατά ένα κάθε φορά που το επιθυμεί ο χρήστης. Ψηφιακοί μετρητές μπορούν να κατασκευαστούν με flip-flops διαφόρων τύπων (και το βιβλίο έχει πολλά τέτοια παραδείγματα στις παραγράφους 6.8, 7.4, και 7.5), αλλά εμείς θα ακολουθήσουμε έναν διαφορετικό τρόπο, χρησιμοποιώντας μανταλωτές τύπου D και αθροιστές. Ο τρόπος που θα ακολουθήσουμε εμείς φαίνεται στο σχήμα δίπλα, είναι απλούστερος, και είναι και κοντύτερα στον τρόπο λειτουργίας των αριθμητικών μονάδων στους σημερινούς υπολογιστές.

Όπως δείχνει το σχήμα, ένα ζευγάρι μανταλωτών, tmp και C (ελεγχόμενοι από διφασικό ρολόϊ), είναι υπεύθυνοι γιά τη διατήρηση της τιμής του μετρητή. Κατά τη βασική λειτουργία, ξεκινώντας από την τιμή αυτή, C, ο αθροιστής υπολογίζει το άθροισμα S=C+1· το άθροισμα S αποθηκεύεται στην προσωρινή θέση tmp, και στη συνέχεια μεταφέρεται στον μανταλωτή C σαν η νέα τιμή του μετρητή. Ο μετρητής αποκτά ευελιξία με την προσθήκη δύο (πολύμπιτων) πολυπλεκτών στις δύο εισόδους του αθροιστή. Ο πρώτος πολυπλέκτης μας επιτρέπει να επιλέγουμε αν η βάση A της πρόσθεσης θα είναι η αποθηκευμένη τιμή του μετρητή, C, ή νέα, εξωτερική τιμή που έρχεται από την είσοδο In. Ο δεύτερος πολυπλέκτης μας επιτρέπει να επιλέγουμε τι θα προστεθεί στην βάση A: η τιμή B=+1, ή B=-1, ή B=0. Με τη συνδυασμένη χρήση των δύο πολυπλεκτών προκύπτουν οι τέσσερεις χρήσιμες λειτουργίες του κυκλώματος, καθώς και δύο λιγότερο ενδιαφέρουσες πράξεις:

- **Count Up** (μέτρηση προς τα επάνω --αύξηση του C κατά 1): **S = C+1** (A=C, B=+1),
- **Count Down** (μέτρηση προς τα κάτω --ελάττωση του C κατά 1): **S = C-1** (A=C, B=-1),
- **Load** (φόρτωση αρχικής τιμής στον C από την εξωτερική είσοδο): **S = In** (A=In, B=0),
- **Noop** (καμία πράξη --διατήρηση αμετάβλητης της τιμής του C): **S = C** (A=C, B=0), και
- οι δύο λιγότερο ενδιαφέρουσες λειτουργίες: S = In+1, και S = In-1.

Πείραμα 8.3: ο Μετρητής Up/Down/Load/Noop, με Διφασικό Ρολόϊ

Κατασκευάστε και δοκιμάστε τον παραπάνω μετρητή στο εργαστήριο γιά n=4 (τετράμπιτος μετρητής). Φτιάξτε καθέναν από τους δύο καταχωρητές με ένα chip 74573, σαν αυτό που χρησιμοποιήσαμε και στο πείραμα 7.8 · παρ' ότι χρησιμοποιούμε μόνο τους μισούς μανταλωτές του κάθε τέτοιου chip, εν τούτοις χρειαζόμαστε δύο chips διότι οι δύο καταχωρητές έχουν διαφορετικό σήμα φόρτωσης. Συνδέστε από 4 LED's στην έξοδο του κάθε καταχωρητή, tmp και C. Τα pins του chip επαναλαμβάνονται στο σχήμα εδώ· μην ξεχάστε να συνδέσετε το pin 0 στο λογικό 0 προκειμένου να παραμένουν ενεργοποιημένες οι τρικατάστατοι έξοδοι του chip (θα μάθουμε αργότερα τι είναι "τρικατάστατοι" έξοδοι). Περισσότερες πληροφορίες γιά το chip του καταχωρητή μπορείτε να βρείτε στην ιστοσελίδα http://eu.st.com/stonline/books/pdf/docs/8026.pdf . Σαν τετράμπιτο αθροιστή χρησιμοποιήστε ένα chip 7483, σαν εκείνο του πειράματος 6.8· γιά διευκόλυνσή σας, τα pins του αθροιστή δίδονται ξανά στο σχήμα εδώ. **Προσοχή:** *το chip αυτό έχει τα pins τροφοδοσίας σε ασυνήθιστες θέσεις!*



Γιά την πολύπλεξη των τιμών C και In προς δημιουργία της εισόδου A του αθροιστή, χρησιμοποιήστε ένα chip 74257 (τετράμπιτος πολυπλέκτης 2-σε-1), του οποίου τα pins φαίνονται στο σχήμα δίπλα. Η είσοδος επιλογής είναι το pin 1: όταν είναι 0 επιλέγονται οι αριστερές είσοδοι, και όταν είναι 1 επιλέγονται οι δεξιές είσοδοι· χρησιμοποιήστε π.χ. ένα μεταγωγό διακόπτη γιά να το οδηγήσετε. Σαν εξωτερικές εισόδους In χρησιμοποιήστε 4 σύρματα συνδεδεμένα στη γείωση ή στην θετική τροφοδοσία. Οι έξοδοι και αυτού του chip είναι "τρικατάστατοι" (θα μάθουμε αργότερα τι είναι αυτό)· γιά να λειτουργούν σωστά γιά τους εδώ σκοπούς μας, συνδέστε το pin 15 (ενεργοποίηση εξόδων, αρνητικής πολικότητας) στο λογικό 0. Τα chips που θα βρείτε στο εργαστήριο γράφουν επάνω "M74HC257B1"· Περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά μπορείτε να βρείτε στην ιστοσελίδα http://eu.st.com/stonline/books/pdf/docs/1932.pdf .

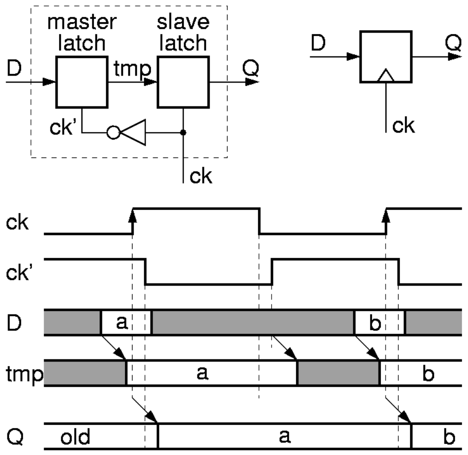
Γιά την τροφοδότηση της σταθεράς στην είσοδο B του αθροιστή, αντί πολυπλέκτη, χρησιμοποιήστε δύο μεταγωγούς διακόπτες συνδεδεμένους όπως δείχνει στο σχήμα (πάνω αριστερά). Με τους δύο διακόπτες επάνω, όπως στο σχήμα, τα σύρματα $B_3B_2B_1B_0$ θα έχουν την τιμή 1111, δηλαδή τον αριθμό -1. Γυρίζοντας τον αριστερό διακόπτη κάτω, ο αριθμός B γίνεται 0001, δηλαδή +1. Γυρίζοντας και τον δεξιό διακόπτη κάτω, παίρνουμε το 0. Ο τέταρτος συνδυασμός των διακοπτών δεν είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρων.

Πριν φτάσετε στο εργαστήριο κάντε ένα πλήρες σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας, δείχνοντας ακριβώς ποιό pin τίνος chip πρέπει να συνδεθεί πού, περιλαμβανομένων των τροφοδοσιών, διακοπτών, αντιστάσεων, και LED's. **Στο εργαστήριο**, κατασκευάστε το κύκλωμα και ελέγξτε τη σωστή λειτουργία του. Αρχίστε επιλέγοντας την εξωτερική είσοδο, In, και τη σταθερά 0, και ενεργοποιώντας τη φάση φ_2 και μετά την φ_1· διαπιστώσετε ότι πρώτα τα 4 LED's "tmp" και μετά τα άλλα 4 LED's "C" παίρνουν την τιμή της εξωτερικής εισόδου In. Στη συνέχεια, αλλάξτε την επιλογή του πολυπλέκτη, ώστε A=C, και επιλέξτε τη σταθερά +1 μέσω των άλλων διακοπτών. Ενεργοποιείτε εναλλάξ τις δύο φάσεις του ρολογιού, και παρακολουθείτε τους δύο τετράμπιτους αριθμούς καθώς αλλάζουν και αυξάνονται κατά 1 κάθε φορά. Συνεχίστε μέχρις ότου η τιμή του μετρητή συστραφεί (wrap around) και αρχίσει να ξαναπαίρνει τις ίδιες τιμές όπως στην αρχή. Μετά, επιλέξτε τη σταθερά -1, και ενεργοποιείτε ξανά εναλλάξ τις δύο φάσεις του ρολογιού· παρακολουθείτε τους τετράμπιτους αριθμούς να αλλάζουν με την αντίθετη σειρά και να συστρέφονται πάλι μέχρι την αρχική τιμή και πέραν αυτής. Ενεργοποιήστε ταυτόχρονα τις 2 φάσεις ρολογιού (παράνομη κατάσταση) και παρατηρήστε τις LED's. Όταν σβήσουν οι 2 φάσεις, ποιός αριθμός μένει στο μετρητή; Υπάρχει τρόπος να προβλεφθεί αυτός; Επαναλάβετε πολλές φορές γιά να δείτε αν είναι προβλέψιμος ο αριθμός που προκύπτει, και προσπαθήστε να εξηγήστε τις παρατηρήσεις σας. Τέλος, ξαναφορτώστε έναν προκαθορισμένο αριθμό μέσω της εισόδου In (διαφορετικόν από τον πρώτο, και διαφορετικόν από τον αριθμό που είχε μείνει στο μετρητή), και ξαναμετρήστε λίγο πάνω και λίγο κάτω.

Ερώτηση κρίσεως: Αν ερμηνεύσουμε την τετράμπιτη τιμή του μετρητή σαν **προσημασμένο αριθμό συμπληρώματος-2**, είναι η μέτρηση προς τα πάνω πάντα σωστή; Όταν "τελειώνουν" τα bits και ο μετρητής συστρέφεται, από ποιόν αριθμό "πηδάει" σε ποιόν; Η μέτρησή προς τα κάτω είναι πάντα σωστή; Κατά τη συστροφή, από ποιόν αριθμό "πηδάει" σε ποιόν; Αν τώρα ερμηνεύσουμε την τετράμπιτη τιμή του μετρητή σαν **μη προσημασμένο αριθμό**, τότε είναι η μέτρηση προς τα πάνω πάντα σωστή; Σε ποιό σημείο συμβαίνει το "πήδημα" των αριθμών κατά τη συστροφή; Η μέτρησή προς τα κάτω είναι πάντα σωστή; Κατά τη συστροφή, από ποιόν αριθμό "πηδάει" σε ποιόν; Πώς δικαιολογείται η ορθότητα της λειτουργίας του μετρητή τόσο γιά προσημασμένους αριθμούς όσο και γιά μη προσημασμένους; Θυμηθείτε τη συνεστραμένη αναπαράσταση των αριθμών που είδαμε στην §6.2.

8.4 Καταχωρητές Αφέντη-Σκλάβου, Απλά (μονοφασικά) Ρολόγια, και Ακμοπυροδότηση:

Συνήθως, στα ακολουθιακά συστήματα, οι τιμές που εγγράφονται στα στοιχεία μνήμης είναι συνδυαστικές συναρτήσεις των τιμών που προϋπήρχαν αποθηκευμένες στα ίδια αυτά στοιχεία μνήμης· γιά παράδειγμα, στο μετρητή που είδαμε, η νέα τιμή του, C(new), είναι συνάρτηση της προηγούμενης τιμής του, C(prev): C(new) = C(prev)+1 ή C(prev)-1. Όπως είδαμε, γιά να γίνει με ασφάλεια μιά τέτοια εγγραφή, δεν αρκεί ένας μανταλωτής ανά bit αποθηκευόμενης πληροφορίας, διότι όταν ανάβει το σήμα εγγραφής καταστρέφεται η αποθηκευμένη τιμή, με αποτέλεσμα να καταστρέφεται και η νέα τιμή --που είναι συνάρτησή της-- προτού προλάβει να αποθηκευτεί ασφαλώς. Η λύση, όπως είδαμε, είναι η χρήση **δύο** μανταλωτών ανά bit αποθηκευόμενης πληροφορίας: πρώτα εγγράφεται η νέα τιμή στο ένα από αυτά, tmp = f(C), και μετά αντιγράφεται αυτή στο άλλο, C = tmp, καταστρέφοντας την παλαιά τιμή, ούτως ώστε να είναι έτοιμη γιά την επόμενη πράξη. Αφού λοιπόν οι μανταλωτές χρησιμοποιούνται τόσο συχνά κατά ζευγάρια, τα ζευγάρια αυτά θα τα θεωρούμε συνήθως σαν ένα νέο δομικό λίθο. Κανονικά, οι μεμονωμένοι μανταλωτές χρειάζονται διφασικά ρολόγια γιά να δουλέουν, με την ιδιότητα ότι ποτέ δεν είναι αναμένες ταυτόχρονα και οι δύο φάσεις του ρολογιού. Όταν όμως φτιάχνουμε ζευγάρια μανταλωτών σαν ενιαίο κύκλωμα, απλοποιούμε αυτή την απαίτηση, ζητώντας ένα μοναδικό ρολόϊ (μοναδική φάση) από τον εξωτερικό χρήστη, και φτιάχνοντας εσωτερικά και προσεγγιστικά τη δεύτερη φάση.



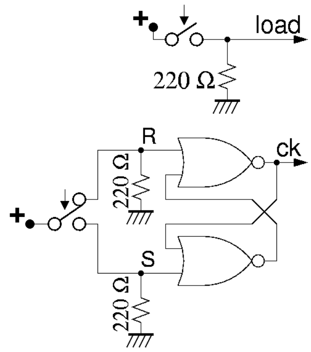
Το σχήμα δεξιά δείχνει τον απλούστερο τρόπο κατασκευής ενός τέτοιου ζευγαριού μανταλωτών. Τις δύο φάσεις του ρολογιού τις προσεγγίζουμε με το εξωτερικό σήμα ρολογιού, ck (**clock**), και το συμπλήρωμά του, ck'. Η προσέγγιση αυτή είναι ατελής σε ένα σημείο: λόγω της μη μηδενικής καθυστέρησης του αντιστροφέα, όταν το σήμα ck ανάβει, και μέχρι να προλάβει να σβήσει το ck', βρίσκονται γιά λίγο αναμένα τα σήματα φόρτωσης και των δύο μανταλωτών, όπως φαίνεται στο διάγραμμα χρονισμού στο κάτω μέρος του σχήματος. Η ατέλεια αυτή αντιμετωπίζεται από τον κατασκευαστή με το να φροντίσει η καθυστέρηση αυτού του αντιστροφέα να είναι πάντα σημαντικά μικρότερη από την καθυστέρηση του δεύτερου μανταλωτή, όπως θα αναλυθεί παρακάτω.

Επειδή ο δεύτερος μανταλωτής ακολουθεί πάντα πιστά τον πρώτο, παίρνοντας την τιμή του κάθε φορά που ανάβει το ρολόϊ, γι' αυτό ο πρώτος λέγεται "αφέντης" και ο δεύτερος "σκλάβος"· έτσι προέκυψε το όνομα αυτού του κυκλώματος: "**flip-flop αφέντη-σκλάβου**" (master-slave flip-flop). Όπως θα δούμε, η συμπεριφορά αυτού του flip-flop καθορίζεται από την **ακμή** του ρολογιού (εδώ, την θετική ακμή), δηλαδή από τη στιγμή που η τιμή του ρολογιού αλλάζει καθ' ορισμένη κατεύθυνση (εδώ, από 0 σε 1), και όχι από το χρονικό διάστημα που το ρολόϊ έχει ορισμένη τιμή, π.χ. τιμή 1. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι να φτιάξει κανείς τέτοια flip-flops που η συμπεριφορά τους να καθορίζεται από μία ακμή του ρολογιού, τους οποίους εμείς δεν θα δούμε γιατί είναι πιό πολύπλοκοι. Τα άλλα εκείνα κυκλώματα τα ονομάζουμε " **ακμοπυροδότητα flip-flops** " (edge-triggered flip-flops), διότι ενεργοποιούνται (πυροδοτούνται) από την ακμή του ρολογιού. Δεδομένου ότι η εξωτερική συμπεριφορά των flip-flop αφέντη-σκλάβου και των ακμοπυροδότητων flip-flops είναι η ίδια, ο κόσμος συχνά δεν κάνει διάκριση μεταξύ τους, και το ίδιο θα κάνουμε κι εμείς --θα χρησιμοποιούμε τους δύο όρους σαν ισοδύναμους. Όταν γίνεται διάκριση μεταξύ "μανταλωτή" (latch) και "flip-flop", συνήθως η διάκριση αυτή είναι ότι το flip-flop είναι ακμοπυροδότητο (ή αφέντη-σκλάβου), ενώ ο μανταλωτής είναι όπως τον είδαμε μέχρι τώρα --ενεργοποιείται καθ' όλη τη χρονική διάρκεια που το σήμα φόρτωσης είναι αναμένο (1). Τέλος, από άποψη γραφικού συμβόλου, η διάκριση γίνεται μέσω ενός μικρού τρίγωνου στην είσοδο ρολογιού που τοποθετείται στα flip-flops αφέντη-σκλάβου ή ακμοπυροδότητα, όπως φάινεται στο σχήμα δεξιά, ενώ δεν τοποθετείται στους απλούς μανταλωτές.

Η λειτουργία του κυκλώματος φαίνεται με λεπτομέρεια στο διάγραμμα χρονισμού στο κάτω μέρος του σχήματος. Η είσοδος D επιτρέπεται να αλλάζει τιμή συνεχώς, εκτός από ένα μικρό χρονικό "παράθυρο εγκυρότητας" γύρω από την "ενεργή ακμή" του ρολογιού· εδώ, η ενεργή ακμή είναι η θετική (ανερχόμενη), ενώ σε άλλα κυκλώματα μπορεί να είναι η αρνητική (κατερχόμενη). Κατά την ημιπερίοδο πριν την ενεργή ακμή, όταν ck'=1, ο αφέντης μανταλωτής είναι ενεργοποιημένος, κι έτσι η τιμή της εισόδου D αντιγράφεται συνεχώς στον εσωτερικό κόμβο tmp· παρ' όλα αυτά, ο σκλάβος είναι αδρανής, κι έτσι η έξοδος Q παραμένει σταθερά ίση με την παλαιά της τιμή "old". Μόλις έλθει η ενεργή ακμή του ρολογιού, ο αφέντης κλείνει, κρατώντας μέσα του την τελευταία τιμή της εισόδου D που είδε, a. Ταυτόχρονα, ο σκλάβος ανοίγει, φέρνοντας την τιμή αυτή, a, στην έξοδο Q. Καθ' όλη τη διάρκεια της υπόλοιπης περιόδου, η έξοδος Q δεν μπορεί να ξαναλλάξει, αρχικά διότι ο κόμβος tmp είναι σταθερός, και αργότερα διότι ο σκλάβος μανταλωτής είναι σβηστός. Το συνολικό αυτό κύκλωμα έχει την επιθυμητή ιδιότητα ότι η είσοδός του D επιτρέπεται να είναι συνδυαστική συνάρτηση της εξόδου του Q, διότι όταν η έξοδος αλλάζει το κύκλωμα είναι ήδη αναίσθητο σε αλλαγές της εισόδου του, δηλαδή αυτές δεν επηρρεάζουν την ήδη αποθηκευμένη τιμή του, γιά τον εξής λόγο. Η έξοδος αλλάζει τόση ώρα μετά την ενεργή ακμή του ρολογιού όση η καθυστέρηση του σκλάβου. Όμως, ο αφέντης καθίσταται αναίσθητος σε αλλαγές της εισόδου D μόλις σβήσει το ck'. Επειδή ο αντιστροφέας κατασκευάζεται με καθυστέρηση πάντα μικρότερη από εκείνη του σκάλβου, το δεύτερο γεγονός (αναισθησία εισόδου) συμβαίνει πάντα πριν από το πρώτο (αλλαγή εξόδου).

Συμπερασματικά, η λειτουργία ενός ακμοπυροδότητου flip-flop (αφέντη-σκλάβου) έχει ως εξής. Η τιμή που υπήρχε στην είσοδό του λίγο πριν την ενεργή ακμή του ρολογιού αποθηκεύεται μέσα στο flip-flop κατά την ενεργή ακμή του ρολογιού, εμφανίζεται στην έξοδο του flip-flop λίγο μετά την ενεργή ακμή, και παραμένει εκεί σταθερή μέχρι λίγο μετά την επόμενη ενεργή ακμή του ρολογιού. Το flip-flop που είδαμε είναι flip-flop "θετικής ακμοπυροδότησης": η ενεργή ακμή του ρολογιού του είναι η θετική ακμή (μετάβαση από το 0 στο 1). Άλλα flip-flops είναι αρνητικής ακμοπυροδότησης": η ενεργή ακμή τους είναι η μετάβαση του ρολογιού από το 1 στο 0. Παρατηρώντας εξωτερικά ένα flip-flop, κατά την άλλη ακμή του ρολογιού (την μη ενεργή), τίποτα το ιδιαίτερο δεν συμβαίνει --με άλλα λόγια, μόνο η μία από τις δύο ακμές σε κάθε περίοδο ρολογιού είναι η ενεργή ακμή, κατά την οποία συμβαίνει η "εγγραφή" στο flip-flop.

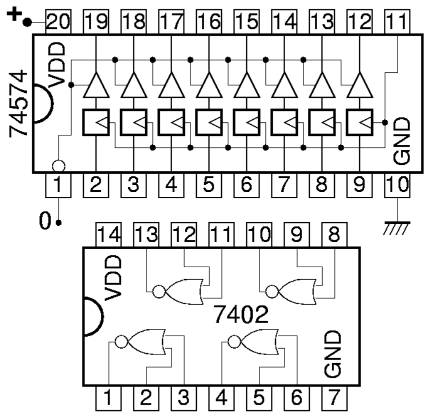
8.5 Καθαρισμός Παλμών Διακόπτη (Switch Debouncing):



Γιά να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε ακμοπυροδότητα flip-flops και καταχωρητές στο εργαστήριο, πρέπει πρώτα να λύσουμε ένα πρακτικό θέμα που έχει να κάνει με τη δημιουργία "καθαρών" παλμών ρολογιού στο εργαστήριο. Μέχρι τώρα, γεννούσαμε παλμούς φόρτωσης μανταλωτών, load, με το κύκλωμα που φαίνεται στο επάνω μέρος του διπλανού σχήματος. Το κύκλωμα αυτό δίνει 1 όποτε ο διακόπτης κάνει επαφή και 0 όποτε δεν κάνει. Το κύκλωμα αυτό έχει την εξής ιδιομορφία, η οποία μέχρι στιγμής δεν μας πείραζε: κάθε μηχανικός διακόπτης, όταν πέφτει με φόρα πάνω στην επαφή του, αναπηδά μερικές φορές μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα (περίπου 10 ms) μέχρι να ισορροπήσει στην θέση επαφής. Η συνέπεια είναι ότι τη στιγμή που πατάμε το διακόπτη, από 0 που ήταν η έξοδος, αυτή γίνεται μερικές φορές εναλλάξ 1, 0, 1, 0, 1, 0, και στο τέλος ισορροπεί σταθερά στο 1. Μέχρι τώρα, αυτό δεν μας πείραζε, διότι αν σ' ένα κύκλωμα με διφασικά ρολόγια ανάψει κάμποσες φορές η μία φάση **χωρίς** ενδιάμεσα να ανάψει η άλλη, το αποτέλεσμα είναι το ίδιο με το να είχε ανάψει η φάση μόνο μία φορά. Αν όμως το σήμα αυτό το χρησιμοποιήσουμε σαν ρολόϊ σ' έναν ακμοπυροδότητο καταχωρητή, αυτός θα δεί τόσες ενεργές ακμές όσα και τα χοροπηδητά του διακόπτη --αριθμός σχετικά μικρός μεν, πλην όμως απρόβλεπτος.

Η λύση του προβλήματος είναι να χρησιμοποιηθεί ένας διακόπτης SPDT και ένας μανταλωτής τύπου RS, όπως φάινεται στο κάτω μέρος του σχήματος. Η βασική ιδιότητα αυτού του κυκλώματος είναι η εξής: όταν το κινητό μέρος του διακόπτη βρίσκεται καθ' οδόν από τη μία επαφή προς την άλλη, τότε και οι δύο είσοδοι R και S του μανταλωτή είναι 0 (καμία από τις δύο δεν κάνει επαφή με την τροφοδοσία αριστερά), κι έτσι η έξοδος ck παραμένει *σταθερή* στην προηγούμενη τιμή της. Όταν ο διακόπτης δεν είναι πατημένος, R=1 και S=0, άρα ck=0. Όταν ο διακόπτης πατηθεί, και ενώ βρίσκεται καθ' οδόν, πρώτα γίνεται R=0, οπότε η έξοδος παραμένει σταθερή εκεί που ήταν, στο 0. Μόλις ο διακόπτης ακουμπήσει γιά *πρώτη φορά* την κάτω επαφή, γίνεται S=1 ενώ R=0, άρα η έξοδος αλλάζει τιμή σε ck=1. Όταν ο διακόπτης αναπηδήσει, γίνεται S=0 ενώ R=0, οπότε η έξοδος παραμένει σταθερή *εκεί που ήταν*, δηλαδή στο 1. Παρατηρήστε ότι οι αναπηδήσεις δεν είναι τόσο μεγάλες ώστε ο διακόπτης να ξανακάνει επαφή επάνω --απλώς χοροπηδάει γιά λίγο κοντά στην κάτω επαφή. Τελικά, όταν ο διακόπτης ισορροπήσει, γίνεται S=1 ενώ R=0, άρα η έξοδος παραμένει στο 1. Συνολικά, βλέπουμε ότι η έξοδος έκανε μόνο μία μετάβαση από το 0 στο 1, τη στιγμή της *πρώτης* επαφής του διακόπτη κάτω. Τα ανάλογα συμβαίνουν και όταν αφήνουμε το διακόπτη να επανέλθει επάνω.

Πείραμα 8.6: ο Μετρητής με Ακμοπυροδότηση



Στον μετρητή του πειράματος 8.1, αντικαταστήστε τους δύο καταχωρητές τύπου μανταλωτή με έναν ακμοπυροδότητο καταχωρητή. Χρησιμοποιήστε ένα chip 74574, το οποίο, όπως φαίνεται δίπλα, έχει πανομοιότυπη θέση pins με τους μανταλωτές 74573, και διαφέρει μόνο κατά το ότι τα flip-flops του είναι ακμοπυροδότητα. Συνδέστε τις 4 LED's στην έξοδο του καταχωρητή, και τις άλλες 4 στην είσοδό του (δηλαδή στην έξοδο του αθροιστή). Τα chips στο εργαστήριο γράφουν επάνω "M74HC574B1", και περισσότερες πληροφορίες γι' αυτά μπορείτε να βρείτε στο http://eu.st.com/stonline/books/pdf/docs/8025.pdf . Τροφοδοτήστε το pin 11 (ρολόϊ) από το παραπάνω κύκλωμα καθαρισμού παλμών (φτιάξτε το με ένα γνωστό chip 7402). **Πριν** το εργαστήριο κάντε ένα πλήρες σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας. **Στο εργαστήριο**, δοκιμάστε το κύκλωμα όπως και το προηγούμενο. Παρατηρήστε τη λειτουργία της ακμοπυροδότησης: μόλις πατάτε το διακόπτη (ενεργή ακμή ρολογιού), οι έξοδοι του καταχωρητή αλλάζουν, και αμέσως μετά (δεν φαίνεται η καθυστέρηση) αλλάζουν και οι έξοδοι του αθροιστή· όταν αφήνετε το διακόπτη (μη ενεργή ακμή ρολογιού) δεν γίνεται τίποτα. Παρακάμψτε το κύκλωμα καθαρισμού παλμών, και τροφοδοτήστε τον μετρητή κατ' ευθείαν από το διακόπτη (κόμβος S του καθαριστή παλμών). Τι παρατηρείτε όταν πατάτε το διακόπτη; Μπορείτε να μετρήσετε το πλήθος των αναπηδήσεων του διακόπτη (υποθέτοντας ότι είναι μικρότερο του 16); Είναι σταθερό αυτό το πλήθος;

Up to the Home Page of CS-120