

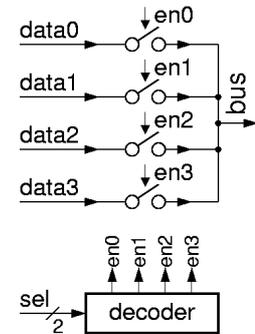
Εργαστήριο 9: Τρικατάστατοι Οδηγητές, Λεωφόροι, Μνήμες SRAM

15 - 18 Δεκεμβρίου 2003

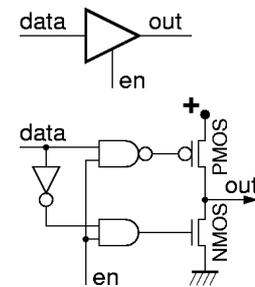
[Βιβλίο: **πρέπει** να διαβάσετε τις παραγράφους 7.7, 7.8 (σελ. 363-375)].

9.1 Πολύπλεξη μέσω Τρικατάστατων Οδηγητών:

Στο εργαστήριο 2 είδαμε ότι οι πολυπλέκτες αποτελούν βασικότατο δομικό λίθο των ψηφιακών συστημάτων. Στην §4.9 είδαμε πώς φτιάχνεται ένας πολυπλέκτης από πύλες, ενώ στο πείραμα 2.1 είχαμε δει έναν πολυπλέκτη φτιαγμένο με διακόπτες. Στο σχήμα δεξιά φαίνεται μία άλλη υλοποίηση πολυπλέκτη με διακόπτες: η διαφορά έχει ως εξής. Για έναν πολυπλέκτη n -σε-1, το κύκλωμα του πειράματος 2.1 δέχεται $\log n$ εισόδους επιλογής, τις οποίες και αποκωδικοποιεί στους n συνδυασμούς τους προκειμένου να αποκαταστήσει έναν αγωγίμο δρόμο μεταξύ της εξόδου και μίας και μόνο εισόδου. Για έναν ίδιο πολυπλέκτη n -σε-1, το κύκλωμα δεξιά δέχεται n εισόδους επιλογής, $en_0, \dots, en_{(n-1)}$, οι οποίες πρέπει να είναι **ήδη** αποκωδικοποιημένες, δηλαδή ακριβώς μία από αυτές πρέπει να είναι ενεργή (1) και οι υπόλοιπες αδρανείς (0).



Όταν οι πηγές πληροφοριών, $data_0, data_1$, κλπ, βρίσκονται σχετικά μακριά η μία από την άλλη, ή όταν είναι επιθυμητή η προσθαφαίρεση πηγών κατά τη λειτουργία του συστήματος (π.χ. προσθήκη νέας κάρτας σε υπολογιστή), τότε η υλοποίηση του πολυπλέκτη μέσω διακοπών είναι προτιμότερη της υλοποίησης μέσω πυλών. Η πρώτη αιτία είναι το πλήθος και το κόστος των απαιτούμενων συρμάτων: το κύκλωμα με πύλη OR απαιτεί να συλλεγούν οι πληροφορίες από όλες τις πηγές σε ένα κεντρικό σημείο, πράγμα που χρειάζεται τόσα σύρματα όσες και οι πηγές· αντίθετα, το κύκλωμα με διακόπτες λειτουργεί με ένα μόνο σύρμα που διατρέχει το σύστημα απ' άκρη σ' άκρη μεταφέροντας κάθε φορά την πληροφορία της όποιας πηγής μας ενδιαφέρει τη στιγμή εκείνη. (Ο αποκωδικοποιητής και τα σύρματα επιλογής είναι ένα επιπλέον κόστος, αλλά όταν υπάρχουν πολλαπλά σύρματα (bits) δεδομένων το κόστος της επιλογής αποσβέννεται μεταξύ όλων αυτών· επίσης, υπάρχει πλήθος εφαρμογών όπου η επιλογή γίνεται με άλλους, καταναμημένους τρόπους). Το δεύτερο πλεονέκτημα της πολύπλεξης μέσω διακοπών είναι η ευκολία προσθήκης νέων πηγών πληροφορίας: εάν κάθε πηγή έχει ενσωματωμένο και το δικό της διακόπτη εξόδου, τότε η προσθήκη αυτή γίνεται μέσω απλής σύνδεσης συρμάτων --π.χ. με την εισαγωγή μιάς κάρτας σε μιάν υποδοχή-πρίζα.



Η παραπάνω λογική συμπεριφορά της πηγής πληροφορίας με τον διακόπτη στην έξοδο υλοποιείται στην τεχνολογία CMOS με το κύκλωμα που φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος. Το κύκλωμα αυτό μπορεί να φέρει την έξοδο out σε μία από τρεις διαφορετικές καταστάσεις: μηδέν (0), ένα (1), ή "**υψηλή αντίσταση**" (**HiZ** - high impedance - υψηλή εμπέδηση). Λόγω των τριών καταστάσεων της εξόδου του, το κύκλωμα αυτό ονομάζεται **τρικατάστατος οδηγητής (tri-state driver)**. Η κατάσταση 0 αντιστοιχεί σε ενεργοποιημένο διακόπτη ($en=1$) και σε πληροφορία 0, οπότε η έξοδος πρέπει να οδηγηθεί σε χαμηλή τάση, ανάβοντας το transistor NMOS. Η κατάσταση 1 αντιστοιχεί σε ενεργοποιημένο διακόπτη ($en=1$) και σε πληροφορία 1, οπότε η έξοδος πρέπει να οδηγηθεί σε υψηλή τάση, ανάβοντας το transistor PMOS. Η κατάσταση HiZ αντιστοιχεί σε αδρανή (σβηστό) διακόπτη ($en=0$), οπότε η έξοδος πρέπει να μείνει ασύνδετη --να μην τοποθετηθεί καμία πληροφορία σε αυτήν, αφήνοντας άλλες πηγές να την οδηγήσουν· σε αυτή την περίπτωση πρέπει και τα δύο transistors, NMOS και PMOS, να παραμείνουν σβηστά. Οι πύλες NAND, NOT, και AND που φαίνονται στο σχήμα προφανώς επιτυγχάνουν ακριβώς τη λειτουργία αυτή· επίσης εξασφαλίζουν ότι σε καμία περίπτωση δεν ανάβουν ταυτόχρονα και τα δύο transistors, NMOS και PMOS, αφού κάτι τέτοιο και απροσδιόριστη τάση εξόδου θα έδινε, και υπερβολικό ρεύμα τροφοδοσίας θα ξόδευε, και υπερθέρμανση των transistors θα προκαλούσε.

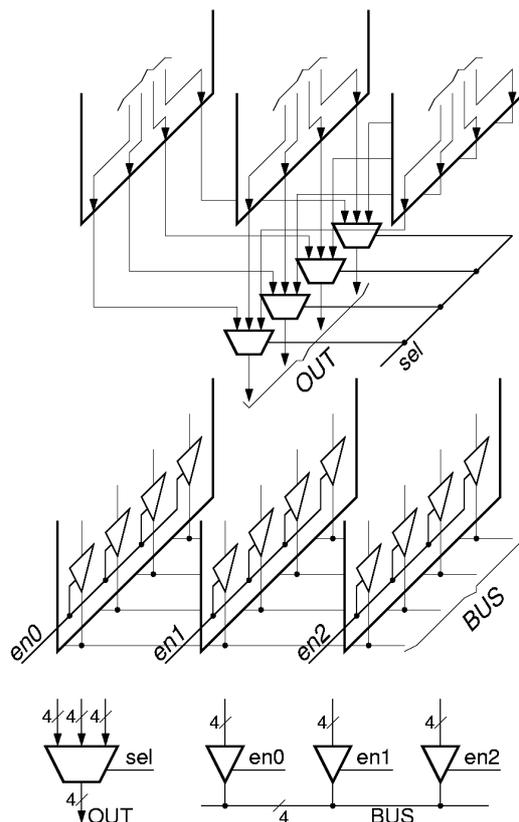
Ένα σύρμα στο οποίο συνδέονται πολλαπλοί τρικατάστατοι οδηγητές προκειμένου να υλοποιηθεί πολύπλεξη των αντίστοιχων δεδομένων εισόδου ονομάζεται "**λεωφόρος**" (**bus**), ή "αρτηρία" ή "διάδρομος" (ή καμιά φορά "δίαυλος"). Ο κανόνας λειτουργίας μιάς λεωφόρου είναι ότι, ανά πάσα στιγμή, **το πολύ ένας** από τους οδηγητές που συνδέονται σε αυτήν επιτρέπεται να είναι ενεργοποιημένος· ο οδηγητής αυτός προσδιορίζει την τάση (λογική τιμή) της λεωφόρου. Όποτε δεν υπάρχει κανείς ενεργοποιημένος οδηγητής, η λογική τιμή της λεωφόρου είναι **απροσδιόριστη**, δηλαδή η πληροφορία πάνω της είναι "σκουπίδια" ή "θόρυβος" (σε ειδικές περιπτώσεις τεχνολογιών μπορεί να είναι προβλέψιμη η τιμή αυτή, όπως συμβαίνει με την "δυναμική αποθήκευση πληροφορίας" (δυναμική μνήμη) μέσα σε chips τεχνολογίας CMOS, όμως αυτά δεν αφορούν το παρόν μάθημα). Μία υδραυλική αναλογία της λεωφόρου είναι ένας σωλήνας που διατρέχει πολλά διαμερίσματα, και τον οποίο μπορούν να τροφοδοτούν βρύσες από κάθε διαμέρισμα. Ένας τρικατάστατος οδηγητής είναι μιά από αυτές τις βρύσες, αλλά με χωριστό ρομπινέτο ζεστού και κρύου νερού. Για να μεταδώσουμε πληροφορία "0" ανοίγουμε το κρύο ρομπινέτο· για να μεταδώσουμε "1" ανοίγουμε το ζεστό· για να μη

μεταδώσουμε τίποτα, αφήνοντας κάποιον άλλον να μεταδώσει, κλείνουμε εντελώς και τα δύο ρομπινέτα μας. Εάν μεταδίδω ταυτόχρονα κι εγώ (π.χ. "1") και κάποιος άλλος (π.χ. "0"), τότε ο σωλήνας θα έχει "χλιαρό" νερό, που δεν είναι ούτε 0 ούτε 1· όποτε δεν μεταδίδει κανείς πληροφορία, η θερμοκρασία του σωλήνα είναι τυχαία, εξαρτώμενη από άλλους παράγοντες (π.χ. χειμώνας/καλοκαίρι).

Η "αρχιτεκτονική λεωφόρου" (bus) αποτελεί την απλούστερη μορφή δικτύου επικοινωνίας (communication network), και χρησιμοποιείται ευρύτατα όποτε η επικοινωνία γίνεται με ένα "κοινόχρηστο" μέσο (shared medium). Τέτοιο κοινόχρηστο μέσο μπορεί να είναι ένα σύρμα (όπως στην "κλασική" μορφή του δικτύου "Ethernet" --όχι "switched ethernet"), μία ραδιοσυχνότητα σε δεδομένη περιοχή (π.χ. τα ραδιοταξί μιάς πόλης ή συνοικίας, ή μία από τις ραδιοσυχνότητες της κινητής τηλεφωνίας), ή παραδοσιακότερα μέσα όπως τα ηχητικά κύματα σε μιά αιθουσα συνεδρίασης. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις υπάρχουν ειδικοί κανόνες ("πρωτόκολλο επικοινωνίας") για το ποιός και πότε μπορεί να "πάρει το λόγο", δηλαδή με ποιόν τρόπο θα εξασφαλιστεί η τήρηση του κανόνα ότι το πολύ ένας οδηγητής (ομιλητής) μπορεί να είναι ενεργός κάθε φορά.

9.2 Πολύμπιτες Τρικατάστατες Λεωφόροι (Buses):

Λεωφόροι (buses) του ενός bit (ένα σύρμα) είναι κοινές όταν η απόσταση επικοινωνίας είναι σημαντική. Για μικρότερες αποστάσεις, π.χ. μέσα σε ένα κουτί ή πάνω σε μία πλακέτα ή μέσα σε ένα chip, συνήθως χρησιμοποιούμε λεωφόρους πολλαπλών bits, δηλαδή λεωφόρους που μεταφέρουν, κάθε φορά, μιάν ολόκληρη λέξη πληροφορίας αποτελούμενη από πολλά bits· όλα τα bits της λέξης αυτής προέρχονται από την ίδια πηγή. Το διπλανό σχήμα (φαντασείτε το σαν τριδιάστατο), δείχνει ένα παράδειγμα τριών πηγών (τρεις πλακέτες), καθεμία από τις οποίες έχει μιά τετράμπιτη λέξη πληροφορίας να στείλει. Στο επάνω μέρος του σχήματος, η λέξη εξόδου, OUT, προκύπτει από έναν τετράμπιτο πολυπλέκτη 3-σε-1· αυτός αποτελείται, όπως είδαμε στην § 8.1, από τέσσερις βασικούς (μονόμπιτους) πολυπλέκτες 3-σε-1, όπου όλοι τους έχουν κοινά σήματα επιλογής, sel. Στη μέση του σχήματος φαίνεται η υλοποίηση του ίδιου συστήματος με τρικατάστατους οδηγητές· η λέξη εξόδου εμφανίζεται πάνω στην τετράμπιτη λεωφόρο BUS. Όλοι οι τρικατάστατοι οδηγητές της κάθε μιάς πηγής ελέγχονται (ενεργοποιούνται) από ένα κοινό σήμα ελέγχου, en0, en1, en2. Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνονται τα συνεπυγμένα σύμβολα των δύο υλοποιήσεων: κάθε τετράδα συρμάτων που μεταφέρει τα 4 bits της ίδιας λέξης παριστάνεται με ένα σύρμα και μιά πλάγια γραμμή που υποδεικνύει το πλάτος της λέξης· το "πλάτος" του πολυπλέκτη ή των τρικατάστατων οδηγητών προκύπτει εμμέσως από το πλάτος των λέξεων που αυτοί χειρίζονται.



9.3 Εσωτερική Οργάνωση Μνημών SRAM και Μνήμες Πολλαπλών Chips:

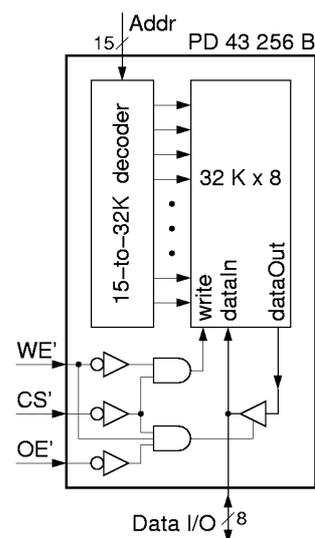
Παρακαλείσθε να διαβάσετε για το θέμα αυτό τις παραγράφους 7.7 και 7.8 (σελίδες 363-375) του βιβλίου (M. Mano: "Ψηφιακή Σχεδίαση", 2η έκδοση, Ελληνική μετάφραση). Οι σελίδες αυτές του βιβλίου περιλαμβάνονται στην εξεταστέα ύλη του μαθήματος. Παρακαλώ, λάβετε υπ' όψη τις εξής σημειώσεις:

- Σελίδα 369 (επάνω) και σχήμα 7-26: το σχήμα 7-26 δείχνει μόνο την ισοδύναμη λογική συμπεριφορά του κυττάρου μνήμης. Το πραγματικό κύκλωμα είναι διαφορετικό, και λειτουργεί ισοδύναμα μεν αλλά με διαφορετικό τρόπο· σε τεχνολογία CMOS, το πραγματικό κύκλωμα του κυττάρου "στατικής" μνήμης αποτελείται από 6 transistors. Η λογική λειτουργία της εξόδου του είναι ισοδύναμη με τρικατάστατο οδηγητή, αντί της πύλης AND στο δεξιό μέρος του σχήματος. Έτσι:
- Σχήμα 7-27 (σελίδα 370): οι εξόδοι δεδομένων, αντί να προκύπτουν από πύλες OR, όπως δείχνει το σχήμα στο κάτω μέρος, σχηματίζονται μέσω κατακόρυφων λεωφόρων --ένα bit ανά στήλη-- οι οποίες οδηγούνται από τους τρικατάστατους οδηγητές των κυττάρων μνήμης.
- Σελίδα 371, τελευταίες 6 γραμμές: αντί των όρων "μήκος" της διεύθυνσης και "μήκος" των γραμμών εισόδου και εξόδου δεδομένων, είναι προτιμότεροι οι όροι "πλάτος" (width) της διεύθυνσης και "πλάτος" της εισόδου/εξόδου δεδομένων.
- Σελίδα 372, γραμμές 11 έως 9 από το τέλος, και σχήμα 7-29 (σελ. 373), δεξιά: σύμφωνα με την αρχιτεκτονική του βιβλίου, οι 4x8 εξόδοι δεδομένων των τεσσάρων chips πρέπει να περάσουν από 8 πύλες Ή για να δώσουν τις 8 τελικές γραμμές εξόδου· οι πύλες αυτές δεν φαίνονται στο σχήμα. Στην πραγματικότητα, τα περισσότερα chips μνήμης προσφέρουν τρικατάστατες εξόδους, οπότε οι πύλες Ή περιττεύουν· έτσι, το σχήμα 7-29 δείχνει την πραγματικότητα: η εξόδος είναι μία οκτάμπιτη τρικατάστατη λεωφόρος (bus).

9.4 SRAM με Αμφίδρομη Pins Δεδομένων (Τρικατάστατη Λεωφόρος):

Τα σύρματα που οδηγούνται από κλασσικές (όχι τρικατάστατες) πύλες έχουν μονόδρομη φορά ροής της πληροφορίας (unidirectional wire), από την έξοδο της οδηγήτριας πύλης προς τις εισόδους που συνδέονται στο σύρμα (§ 3.3). Αντίθετα, οι τρικατάστατες λεωφόροι επιτρέπουν **αμφίδρομη** (bidirectional) μεταφορά πληροφορίας: η κατεύθυνση μπορεί να αλλάζει κάθε φορά που αλλάζει ο ενεργός οδηγητής. Την ιδιότητα αυτή την εκμεταλλεύονται οι συσκευές που επιθυμούν να επικοινωνούν αμφίδρομα (άλλοτε αποστολή και άλλοτε λήψη πληροφοριών) με άλλες συσκευές μέσω πολυπλέκτη-λεωφόρου. Εάν η επικοινωνία γίνει με κλασσικές πύλες, χρειάζονται χωριστά σύρματα εισόδου και χωριστά σύρματα εξόδου, όπως στη μνήμη του σχήματος 7-27 του βιβλίου (σελ. 370): αν όμως η επικοινωνία γίνει μέσω τρικατάστατης λεωφόρου, τότε αρκεί ή συσκευή να επικοινωνεί με τον έξω κόσμο μέσω του ενός, μοναδικού σύρματος ανά bit της λεωφόρου. Ως αμφίδρομα, τα σύρματα αυτά συχνά ονομάζονται σύρματα "**εισόδου/εξόδου**" (input/output - I/O).

Ας χρησιμοποιήσουμε σαν παράδειγμα το chip στατικής RAM (SRAM) του παρόντος εργαστηρίου: πρόκειται για το chip "PD43256BCZ" (της εταιρείας NEC) που είναι μία SRAM μεγέθους 32Kx8· ένα λογικό διάγραμμα υψηλού επιπέδου του chip φαίνεται στο σχήμα δίπλα, και περισσότερες πληροφορίες γι' αυτό μπορείτε να βρείτε στο: <http://www.necel.com/memory/pdfs/M10770EJCVO0DS00.pdf>. Το chip αυτό έχει μία μονόδρομη, δεκαπεντάμπιτη είσοδο διεύθυνσης, τρεις μονόδρομες εισόδους ελέγχου, και μία αμφίδρομη, οκτάμπιτη είσοδο/έξοδο δεδομένων. Τα τελευταία αυτά 8 σύρματα προορίζονται να συνδεθούν σε μία λεωφόρο δεδομένων. Όταν θέλουμε να γράψουμε στη μνήμη, πρέπει κάποια άλλη συσκευή να οδηγήσει τη λεωφόρο, βάζοντας εκεί τα δεδομένα που θέλουμε να εγγραφούν· η μνήμη διαβάζει τα δεδομένα από τα σύρματα αυτά, και τα αποθηκεύει στην επιθυμητή λέξη. Όταν θέλουμε να διαβάσουμε από τη μνήμη, ενεργοποιούμε τους τρικατάστατους οδηγητές που έχει μέσα του το chip, οπότε αυτό γίνεται ο οδηγητής της λεωφόρου και τοποθετεί εκεί τη λέξη που του ζητήσαμε να διαβάσει· από εκεί, τη λέξη αυτή θα την πάρουν οι άλλοι "ακροατές" που συνδέονται πάνω στη λεωφόρο.



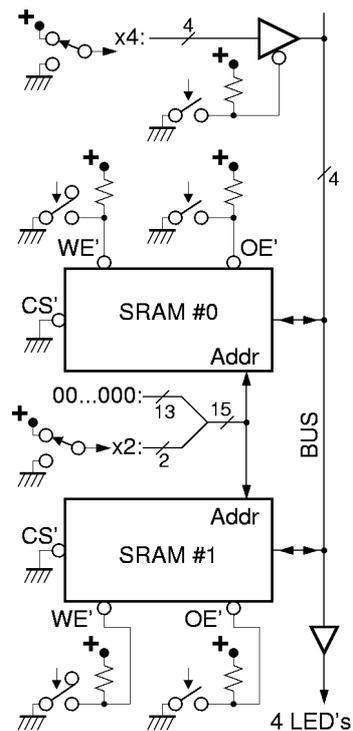
Από άποψη χρονισμού, η λειτουργία του PD43256B έχει ως εξής. Η ανάγνωση από το chip μπορεί να θεωρηθεί σαν καθαρά συνδυαστική πράξη: μπορούμε να φανταστούμε ότι ένας μεγάλος, οκτάμπιτος πολυπλέκτης 32K-σε-1 φέρνει στον εσωτερικό κόμβο "dataOut" το περιεχόμενο της λέξης εκείνης την οποία επιλέγουν τα 15 bits της διεύθυνσης· μόλις αλλάξει η διεύθυνση, μετά από λίγο (καθυστέρηση ανάγνωσης) αλλάζουν και τα dataOut και γίνονται ίσα με τα περιεχόμενα της νέας θέσης μνήμης (η πραγματική εσωτερική λειτουργία δεν είναι έτσι, αλλά αυτό δεν μας αφορά εδώ). Η εγγραφή, από την άλλη μεριά, πρέπει να γίνει προσεκτικότερα: πρώτα πρέπει να τοποθετηθεί η επιθυμητή διεύθυνση εγγραφής στην είσοδο διεύθυνσης, και **μετά** από αυτό και μόνο πρέπει να ανάγει το εσωτερικό σήμα "write". Όση ώρα είναι αναμένο το σήμα write πρέπει η διεύθυνση να παραμένει σταθερή· καθ' όλη αυτή την ώρα, η επιλεγόμενη λέξη μνήμης λειτουργεί σαν μανταλωτής: ό,τι δεδομένα υπάρχουν πάνω στις εισόδους "dataIn" εγγράφονται στη λέξη --προφανώς, τα τελευταία τέτοια δεδομένα πριν σβήσει το σήμα write θα παραμείνουν στην επιλεγμένη λέξη μνήμης. Η είσοδος διεύθυνσης επιτρέπεται να αλλάξει μόνον αφού σβήσει το σήμα write.

Η εξωτερική συμπεριφορά του chip προσδιορίζεται από τους παραπάνω κανόνες και από τα τρία σήματα ελέγχου, WE', CS', και OE', σύμφωνα με το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στο σχήμα. Και τα τρία σήματα ελέγχου έχουν αρνητική πολικότητα: ενεργοποιούν τη λειτουργία τους, το καθένα, όταν είναι μηδέν (0). Το σήμα CS' (αρνητικό Chip Select) ενεργοποιεί ή αδρανοποιεί ολόκληρο το chip· προορίζεται για χρήση όταν φτιάχνουμε μία μεγάλη μνήμη από πολλά chips, για να επιλέγουμε σε ποιο chip απευθυνόμαστε κάθε φορά. Όταν CS'=0 (ενεργό chip), το σήμα WE' (αρνητικό Write Enable) ενεργοποιεί την εγγραφή, δηλαδή ανάγει το write, οπότε γίνεται μηδέν (0). Τέλος, όταν CS'=0 (ενεργό chip), το σήμα OE' (αρνητικό Output Enable) ανάγει τους τρικατάστατους οδηγητές της λεωφόρου εξόδου, όταν WE'=1 δηλαδή όταν δεν κάνουμε εγγραφή (άρα κάνουμε ανάγνωση), με άλλα λόγια όταν θέλουμε η λέξη που διαβάζουμε να βγει έξω από το chip, στη λεωφόρο δεδομένων.

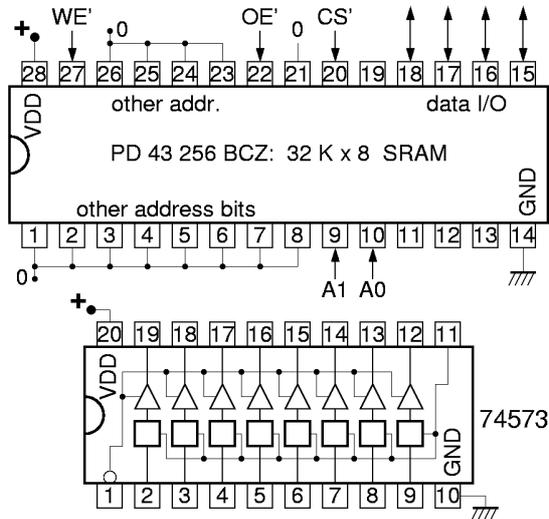
Πείραμα 9.5: Τρικατάστατη Λεωφόρος με Μνήμες SRAM

Κατασκευάστε και ελέγξτε το κύκλωμα που φαίνεται στο σχήμα. Είναι οργανωμένο γύρω από μία τετράμπιτη λεωφόρο, BUS. Σ' αυτήν συνδέονται τρεις πηγές πληροφορίας: δύο SRAM chips (μέσον) σαν αυτά που μελετήσαμε παραπάνω, και μία πηγή τετράμπιτων αριθμών (επάνω) που προορίζονται σαν δεδομένα εγγραφής στις μνήμες. Παρ' ότι οι μνήμες μπορούν να αποθηκεύουν οκτάμπιτα δεδομένα, εμείς, για περιορισμό της πολυπλοκότητας, θα χρησιμοποιήσουμε μόνο τα 4 από τα 8 bits τους. Επίσης, στη λεωφόρο συνδέεται και ένας ακροατής: 4 ενδεικτικές λυχνίες LED για να παρακολουθούμε τη λογική τιμή της λεωφόρου. Επειδή οι μνήμες δεν έχουν αρκετή "ισχύ" (ρεύμα εξόδου) για να οδηγήσουν τις LED's, θα παρεμβάλατε έναν "ενισχυτή" για την οδήγηση αυτή (κάτω δεξιά στο σχήμα). Κάθε μνήμη έχει 32K λέξεις· λόγω περιορισμών στα σύρματα και στους διακόπτες διεύθυνσης, όμως, εμείς θα χρησιμοποιήσουμε μόνο 4 λέξεις στο κάθε SRAM chip, μεταβάλλοντας μόνο δύο από τα 15 bits διεύθυνσης, και κρατώντας τα υπόλοιπα όλα σταθερά στο 0.

Η λειτουργία του κυκλώματος έχει ως εξής. Επιλέγουμε μία διεύθυνση μέσω των δύο μεταγωγών διακοπών στο μέσον, και επιλέγουμε μία λέξη δεδομένων μέσω των τεσσάρων μεταγωγών διακοπών επάνω. Στη συνέχεια, πατάμε τον επάνω διακόπτη τύπου κουμπιού για να ενεργοποιηθούν τον επάνω τρικατάστατο οδηγητή: η λέξη δεδομένων πρέπει να εμφανιστεί πάνω στη λεωφόρο και στις LED's. Με πατημένο τον τελευταίο διακόπτη, πατάμε στιγμιαία έναν από τους διακόπτες WE' μιάς από τις δύο μνήμες: εάν το κύκλωμα λειτουργεί σωστά, τα δεδομένα από τη λεωφόρο θα πρέπει τώρα να έχουν γραφτεί στην επιλεγμένη διεύθυνση της μνήμης αυτής (γράψτε σ' ένα χαρτί τη διεύθυνση και τα δεδομένα για επαλήθευση αργότερα). Αλλάζουμε τα δεδομένα και πατάμε το WE' της άλλης μνήμης: τα νέα δεδομένα θα πρέπει να γράφτηκαν στην επιλεγμένη διεύθυνση εκείνης της μνήμης. Αλλάζουμε τη διεύθυνση και τα δεδομένα, και επαναλαμβάνουμε τη διαδικασία ούτως ώστε να γράψουμε προκαθορισμένες (και διαφορετικές!) λέξεις σε κάθεμιά από τις 4 προσπελάσιμες λέξεις καθεμιάς από τις δύο μνήμες. Προσοχή: τη στιγμή της αλλαγής της διεύθυνσης να μην είναι πατημένος κανένας διακόπτης WE'. Στη συνέχεια, αφού "γεμίσαμε" (αρχικοποιήσαμε) τις μνήμες, διαβάζουμε τα περιεχόμενά τους για να διαπιστώσουμε αν είναι τα σωστά: πατάμε το OE' της πρώτης μνήμης (με κανέναν άλλο διακόπτη πατημένο), αλλάζουμε τη διεύθυνση, περνώντας διαδοχικά από το 00, 01, 10, και 11, και παρακολουθούμε (μέσω των LED's) την τιμή στη λεωφόρο για να δούμε αν αντιστοιχεί κάθε φορά στα δεδομένα που είχαμε γράψει στην αντίστοιχη διεύθυνση εκείνης της μνήμης. Επαναλαμβάνουμε μετά με την άλλη μνήμη. Προσοχή: μεταξύ των 3 διακοπών κουμπιού που ενεργοποιούν τις 3 τετράδες τρικατάστατων οδηγητών (οδηγητής δεδομένων εισόδου επάνω, OE' πρώτης μνήμης, OE' δεύτερης μνήμης), το πολύ ένας επιτρέπεται να είναι πατημένος κάθε στιγμή! Τι δείχνουν οι LED's όταν κανείς τους δεν είναι πατημένος;



Τα pins του SRAM chip φαίνονται στο επόμενο σχήμα. Τα pins διεύθυνσης που θα χρησιμοποιήσουμε εμείς είναι μόνο τα 9 και 10: A1 και A0. Τα υπόλοιπα 13 pins διεύθυνσης δεν τα χρησιμοποιούμε, και πρέπει να γειωθούν (λογικό 0): pins 1 έως και 8, 21, και 23 έως και 27. Τα pins δεδομένων (εισόδου/εξόδου) είναι τα 11, 12, 13, και 15 έως και 19· εμείς θα χρησιμοποιήσουμε μόνο 4 (οιαδήποτε) από αυτά --π.χ. τα 15 έως και 18. Τέλος, οι 3 εισόδοι ελέγχου βρίσκονται στα pins 20, 22, και 27, όπως φαίνεται δίπλα. Σαν **τρικατάστατους οδηγητές** για τα δεδομένα εγγραφής (προηγούμενο σχήμα, επάνω μέρος), χρησιμοποιήστε 4 από τα 8 bits ενός chip μανταλωτών "74573" όπως αυτά που χρησιμοποιήσατε στα 2 τελευταία εργαστήρια. Όπως είχαμε πεί, τα chips αυτά έχουν τρικατάστατες εξόδους. Για να χρησιμοποιήσουμε μόνο τους οδηγητές, χωρίς τους μανταλωτές, αρκεί να συνδέσουμε μονίμως στο 1 το σήμα φόρτωσης (pin 11): τότε, ό,τι υπάρχει στις εισόδους "εγγράφεται" συνεχώς και αμέσως και εμφανίζεται στις εξόδους. Η είσοδος ενεργοποίησης των τρικατάστατων οδηγητών είναι το pin 1, και είναι **αρνητικής** λογικής: ενεργοποιεί τους οδηγητές με 0, και τους αδρανοποιεί με 1. Σαν ενισχυτές για την οδήγηση των LED's (προηγούμενο σχήμα, κάτω δεξιά), χρησιμοποιήστε πάλι 4 από τα 8 bits ενός άλλου chip μανταλωτών "74573". Αυτή τη φορά, συνδέστε το σήμα φόρτωσης (pin 11) μονίμως στο 1 (ούτως ώστε ότι δεδομένο υπάρχει στην είσοδο να περνάει συνεχώς στην έξοδο), και επίσης συνδέστε το σήμα ενεργοποίησης των οδηγητών (pin 1) μονίμως στο 0, ούτως ώστε οι οδηγητές να είναι συνεχώς αναμένοι.



Πριν φτάσετε στο εργαστήριο κάντε ένα πλήρες σχεδιάγραμμα συνδεσμολογίας, δείχνοντας ακριβώς ποιά pin τίνος chip πρέπει να συνδεθεί πού, περιλαμβανομένων των τροφοδοσιών, διακοπών, αντιστάσεων, και LED's. **Στο εργαστήριο**, κατασκευάστε το κύκλωμα, πρώτα με το ένα chip μνήμης και τους σχετικούς διακόπτες μόνο, ελέγξτε τη σωστή λειτουργία του, και μετά προσθέστε και το άλλο chip μνήμης και ελέγξτε τη λειτουργία του συνόλου. Όταν σβήνετε την τάση τροφοδοσίας, τι γίνονται τα περιεχόμενα της μνήμης; **Προσοχή:** αυτά τα chips μνήμης είναι σημαντικά ακριβότερα από τα άλλα chips του εργαστηρίου: προστατέψτε τα όσο καλύτερα μπορείτε! Φροντίστε επίσης να τα προστατέψτε από το στατικό ηλεκτρισμό του σώματός σας (που αναπτύσσεται από μάλλινα ρούχα, κλπ): αγγίξτε τη γείωση της τροφοδοσίας πριν αγγίξετε τα chips και πριν αρχίσετε τις συνδέσεις, και ξανα-αγγίξτε τη γείωση συχνά κατά τη διάρκεια εργασίας σας.