



Ενότητα 3^η: Οι Αρτηρίες του Υπολογιστή

Σκοπός Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να περιγράψει τις αρτηρίες των υπολογιστών, τον τρόπο λειτουργίας και τη σύστασή τους.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα Όταν θα έχετε μελετήσει την ενότητα, θα είστε σε θέση να:



ορίζετε την έννοια της αρτηρίας,



επισημαίνετε τα βασικά χαρακτηριστικά μίας USB αρτηρίας,



περιγράφετε τις συνδέσεις συσκευών I/O με τον επεξεργαστή και τη μνήμη,



απαριθμείτε τα βήματα για τη λειτουργία μιας εγγραφής στο δίσκο μέσω μιας αρτηρίας,



εξηγείτε τον τρόπο με τον οποίο εκτελείται μια ανάγνωση στο δίσκο μέσω μιας αρτηρίας.



αρτηρία, αρτηρία I/O, εσωτερική αρτηρία, αρτηρία δικτύου, γέφυρα αρτηριών, γενική σειριακή αρτηρία (USB), γραμμές ελέγχου, γραμμές δεδομένων



Αρτηρίες: συνδέοντας συσκευές I/O με τον Επεξεργαστή και τη Μνήμη

Σε ένα υπολογιστικό σύστημα, τα διάφορα υποσυστήματα πρέπει να έχουν διασυνδέσεις από το ένα στο άλλο. Για παράδειγμα, η μνήμη και ο επεξεργαστής πρέπει να επικοινωνούν, όπως και ο επεξεργαστής και οι συσκευές I/O. Αυτό γίνεται συνήθως με μία αρτηρία (bus).



Μία **αρτηρία** χρησιμεύει ως ένας κοινός (shared) σύνδεσμος επικοινωνίας μεταξύ των διαφόρων υποσυστημάτων του υπολογιστικού συστήματος. Είναι αυτή που διασφαλίζει το μηχανισμό για τη ροή δεδομένων μέσα από τα κανάλια και είναι έτσι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του Η/Υ.

Υπάρχουν διάφορα είδη αρτηριών, ενδεικτικά αναφέρουμε:

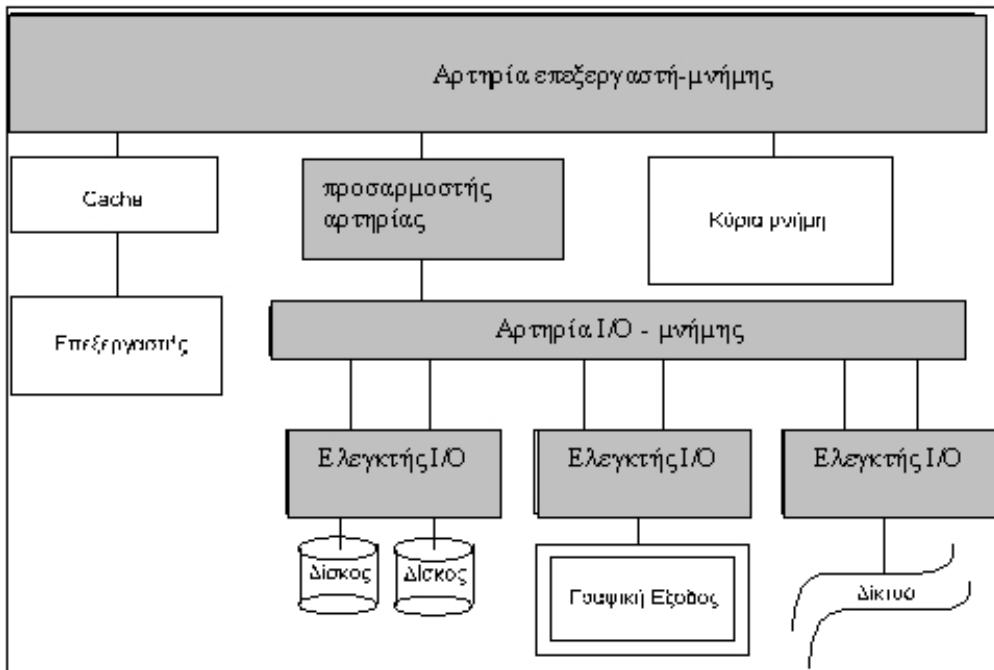
- Η **αρτηρία I/O** (*I/O- ή expansion bus*): συνήθως αναφερόμαστε σε αυτή με τον όρο «αρτηρία». Είναι η αρτηρία που συνδέει τους ελεγκτές των I/O συσκευών με τον Η/Υ.
- Η **εσωτερική αρτηρία** (*internal bus*): είναι η πιο γνωστή αρτηρία στους προσωπικούς Η/Υ (PC). Πρόκειται για μία αρτηρία που συνδέει όλες τις συνιστώσες του υπολογιστή στη ΚΜΕ και την κύρια μνήμη.
- Η **αρτηρία δικτύου** (*backbone*): είναι ένα κεντρικό καλώδιο που συνδέει όλες τις συσκευές σε ένα τοπικό δίκτυο.

Στο σχήμα 5.3.1 εικονίζεται ένα τυπικό περιβάλλον υπολογιστικού συστήματος που περιλαμβάνει τον επεξεργαστή, τη μνήμη, τις συσκευές εισόδου/εξόδου καθώς και δύο αρτηρίες: την αρτηρία που συνδέει τον επεξεργαστή με τη μνήμη, και την αρτηρία που συνδέει τις συσκευές με τα υπόλοιπα μέρη του συστήματος μέσω της αρτηρίας επεξεργαστή-μνήμης.

Οι αρτηρίες, εκτός από να συνδέουν διάφορες συσκευές, μπορούν να συνδέονται και μεταξύ τους μέσω της **γέφυρας αρτηριών**. Πρόκειται για μία συσκευή που συναντάται σε συστήματα πολλαπλών αρτηριών, τόσο στους προσωπικούς υπολογιστές, όσο και στα δίκτυα. Η γέφυρα αρτηριών συνδέει και επιτρέπει την επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων αρτηριών.



Η πιο διαδεδομένη γέφυρα αρτηριών είναι η γέφυρα PCI-ISA, που συναντάται στους Η/Υ Pentium και Pentium Pro. Εδώ, η αρτηρία PCI συνδέεται επιπλέον με γέφυρα στη αρτηρία ΚΜΕ.



Σχήμα 5.3.1 – Η τυπική διασύνδεση των συσκευών I/O και της αρτηρίας I/O στην αρτηρία ΚΜΕ-μνήμης.

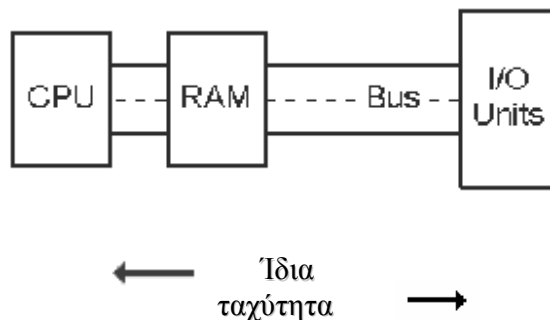


ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

- Να αναφέρετε τρία τουλάχιστον είδη αρτηριών και να εξηγήσετε τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούνται σε έναν υπολογιστή.
- Με ποιον τρόπο συνδέονται μεταξύ τους οι αρτηρίες σε έναν υπολογιστή;
- Να συγκρίνετε τις απαντήσεις σας με την παράγραφο που διαβάσατε.

📖 Ιστορική Αναδρομή

Οι πρώτοι Η/Υ είχαν μία μοναδική αρτηρία, που ήταν κοινή για τη ΚΜΕ, RAM και τις συνιστώσες I/O :





Οι παλαιότερες πρώτη και δεύτερης γενιάς κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (ΚΜΕ) έτρεχαν με σχετικά χαμηλές συχνότητες ρολογιού, και όλες οι συνιστώσες του συστήματος μπορούσαν να ανταποκριθούν σε αυτές τις ταχύτητες. Με την πάροδο του χρόνου δημιουργήθηκαν διάφορες αρτηρίες I/O. Πολλές από αυτές αποτελούσαν απλά εξέλιξη κάποιων αρτηριών ΚΜΕ.

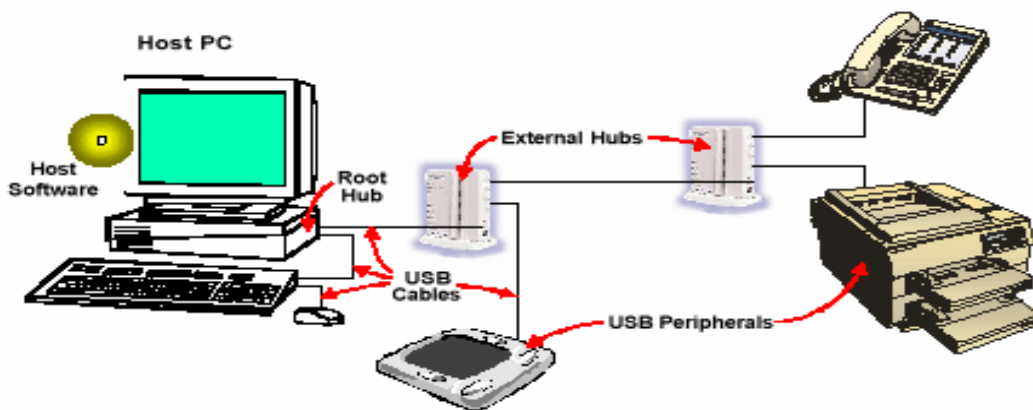


Οι σύγχρονοι Η/Υ, συνήθως διαθέτουν αρτηρίες που μπορεί να ανήκουν στις εξής τέσσερις (4) κατηγορίες:

- **ISA**, μία αρκετά παλιά κατηγορία αρτηριών,
- **PCI** (*Peripheral Component Interconnect*) - μία νέα, υψηλής ταχύτητας κατηγορία αρτηριών που συνεργάζεται με την ISA για να αυξήσει την ταχύτητα της,
- **AGP**, που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για κάρτες γραφικών,
- **USB** (*Universal Serial Bus*), που είναι η πλέον σύγχρονη κατηγορία αρτηριών.



Σήμερα στην αγορά οι περισσότερες εταιρίες υποστηρίζουν ένα νέο είδος αρτηρίας που είναι γνωστό ως **Καθολική Σειριακή Αρτηρία** (Universal Serial Bus – USB).



Βασικά χαρακτηριστικά του USB

- Ρυθμός μετάδοσης: 900Kb/s – 480 Mb/s
- Ταυτόχρονη πρόσβαση σε πολλές συσκευές (πολλαπλές συνδέσεις)
- Ταυτόχρονη μεταφορά πολλαπλών δεδομένων και μηνυμάτων ελέγχου στις γραμμές
- Δυνατότητα σύνδεσης μέχρι και 127 συσκευών, ακόμα και αν το σύστημα βρίσκεται σε λειτουργία

Πλεονεκτήματα

- Προσαρμογή στις απαιτήσεις της συσκευής
- Δυνατότητα σύγχρονης και ασύγχρονης επικοινωνίας στις ίδιες γραμμές
- Μεγάλο εύρος ζώνης και μικρή καθυστέρηση απόκρισης για σύγχρονες επικοινωνίες (audio, video)
- Μικρό κόστος



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Μπορείτε να περιγράψετε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα από την οργάνωση αρτηρίας, σύμφωνα με όσα έχετε διαβάσει μέχρι τώρα; Να συγκρίνετε την απάντησή σας με την παράγραφο που ακολουθεί.

▣ Πλεονεκτήματα της οργάνωσης αρτηρίας

- ↻ **ευελιξία:** ορίζοντας ένα απλό σχήμα σύνδεσης, οι νέες συσκευές μπορούν εύκολα να προστεθούν και τα περιφερειακά μπορούν ακόμα και να μετακινηθούν ανάμεσα σε υπολογιστικά συστήματα που χρησιμοποιούν το ίδιο είδος αρτηρίας
- ↻ **χαμηλό κόστος:** οι αρτηρίες είναι οικονομικές, επειδή ένα απλό σύνολο καλωδίων χρησιμοποιείται από κοινού με διάφορους τρόπους.

▣ Μειονεκτήματα

- ↻ **επικοινωνιακή συμφόρηση:** το κύριο μειονέκτημα μίας αρτηρίας είναι ότι δημιουργεί επικοινωνιακή συμφόρηση (communication bottleneck), περιορίζοντας πιθανώς το μέγιστο ρυθμό διαμεταγωγής (throughput) I/O. Όταν το I/O πρέπει να περάσει μέσω μιας μόνο αρτηρίας, το εύρος ζώνης αυτής της αρτηρίας περιορίζει το μέγιστο ρυθμό διαμεταγωγής I/O.

▣ Δυσκολίες στο σχεδιασμό ενός συστήματος αρτηρίας. Τεχνικές για την αύξηση της απόδοσης

Σε εμπορικά συστήματα, όπου οι λειτουργίες I/O είναι πολύ συχνές και στους υπερυπολογιστές, όπου οι ρυθμοί I/O πρέπει να είναι πολύ υψηλοί επειδή και η απόδοση του επεξεργαστή είναι υψηλή, η σχεδίαση ενός συστήματος αρτηρίας ικανό να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του επεξεργαστή, όπως επίσης και να συνδέσει μεγάλο πλήθος συσκευών I/O με τη μηχανή, αποτελεί μία μεγάλη πρόκληση.



Ένας λόγος που ο σχεδιασμός αρτηριών είναι τόσο δύσκολος είναι ότι η μέγιστη ταχύτητα της αρτηρίας περιορίζεται πολύ από φυσικούς παράγοντες: το μήκος της αρτηρίας και το πλήθος των συσκευών συνδεδεμένων στην αρτηρία. Αυτά τα φυσικά όρια εμποδίζουν την ταχύτερη επιθυμητή λειτουργία της αρτηρίας. Παρόλο που δεσμευόμαστε απ' αυτά τα όρια, υπάρχει μία ποικιλία από τεχνικές που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για να αυξήσουμε την απόδοση της αρτηρίας· όμως, αυτές οι τεχνικές μπορεί να επηρεάσουν αντίθετα άλλα μέτρα απόδοσης.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

- Με ποιον τρόπο θα μπορούσαμε να πετύχουμε γρήγορο χρόνο απόκρισης (response time) για τις λειτουργίες I/O, τροποποιώντας την αρτηρία;
- Με την τροποποίηση αυτή μπορούμε να υποστηρίξουμε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων, ή χρειάζεται κάποια άλλη τροποποίηση;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3

- Προκειμένου να επιτύχουμε γρήγορο χρόνο απόκρισης για τις λειτουργίες I/O, πρέπει να ελαχιστοποιήσουμε την καθυστέρηση της αρτηρίας συμπιέζοντας, μικραίνοντας το διάδρομο επικοινωνίας (δηλαδή πρέπει να μειώσουμε τη φυσική διαδρομή των δεδομένων).
- Για να υποστηρίξουμε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων I/O, θα πρέπει να μεγιστοποιήσουμε το εύρος ζώνης της αρτηρίας, το οποίο έρχεται σε σύγκρουση με την επίτευξη γρήγορου χρόνου απόκρισης..



Το εύρος ζώνης της αρτηρίας μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας μεγαλύτερη ενδιάμεση αποθήκευση (buffering) και μεταφέροντας μεγαλύτερα μπλοκ δεδομένων, αλλά και οι δύο αυτές λύσεις αυξάνουν την καθυστέρηση (latency) της αρτηρίας! Προφανώς αυτοί οι δύο στόχοι, μικρή καθυστέρηση και υψηλό εύρος ζώνης, μπορούν να οδηγήσουν σε συγκρουόμενες σχεδιαστικές απαιτήσεις.

Γραμμές ελέγχου και γραμμές δεδομένων

Μία αρτηρία γενικά περιλαμβάνει ένα σύνολο γραμμών ελέγχου (control lines) και ένα σύνολο γραμμών δεδομένων (data lines).

- ↻ Οι **γραμμές ελέγχου** χρησιμοποιούνται για να σηματοδοτούν αιτήσεις (requests) και επιβεβαιώσεις (acknowledgments) και για να δηλώνουν τι τύπου πληροφορίες βρίσκονται στις γραμμές δεδομένων.

↻ Οι **γραμμές δεδομένων** της αρτηρίας μεταφέρουν πληροφορία μεταξύ της πηγής και του προορισμού. Αυτή η πληροφορία μπορεί να αποτελείται από δεδομένα, σύνθετες εντολές ή διευθύνσεις. Μερικές αρτηρίες έχουν δύο σύνολα γραμμών σημάτων (signal lines) για να στέλνουν δεδομένα και διεύθυνση με μία μόνο μετάδοση στην αρτηρία.



Επειδή η αρτηρία είναι κοινόχρηστη (δηλαδή τη χρησιμοποιούν πολλές συσκευές του συστήματος) χρειαζόμαστε επίσης ένα πρωτόκολλο για να αποφασίζουμε ποιος θα είναι ο επόμενος που θα τη χρησιμοποιήσει. Θα μελετήσουμε αυτό το πρόβλημα στην ενότητα 6 (διαιτησία αρτηρίας).



Συναλλαγές αρτηρίας – Ανάγνωση / Εγγραφή

Ας θεωρήσουμε μία τυπική συναλλαγή αρτηρίας (bus transaction). Μία συναλλαγή αρτηρίας περιλαμβάνει δύο μέρη:

1. Την αποστολή της διεύθυνσης, και
2. τη λήψη ή την αποστολή των δεδομένων.

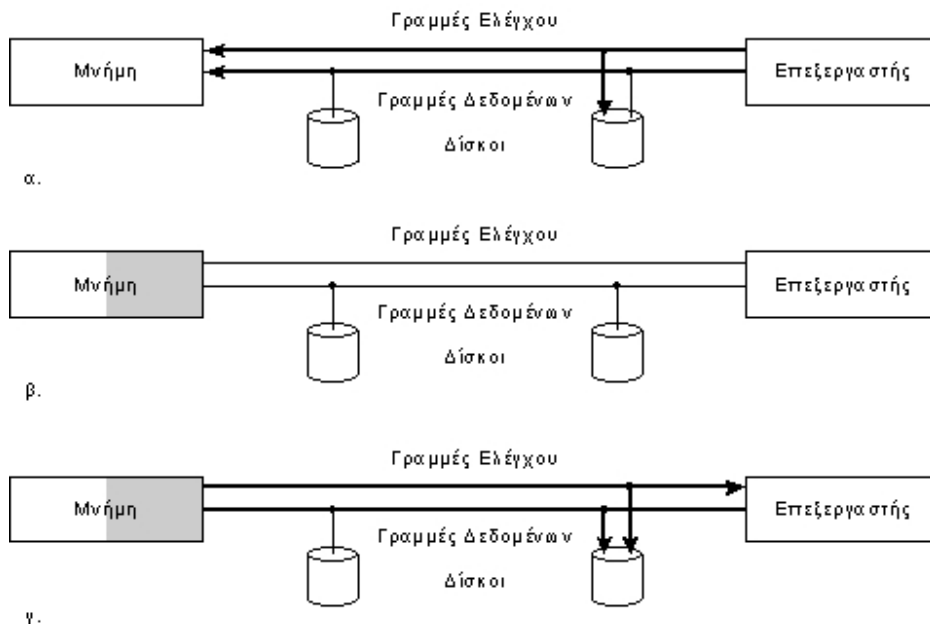
Οι συναλλαγές αρτηρίας ορίζονται τυπικά από το τι εκτελούν στη μνήμη:

- ↻ Μία **συναλλαγή ανάγνωσης** (read) μεταφέρει δεδομένα από τη μνήμη (είτε στον επεξεργαστή είτε σε μία συσκευή I/O), ενώ
- ↻ Μία **συναλλαγή εγγραφής** (write) γράφει δεδομένα στη μνήμη.



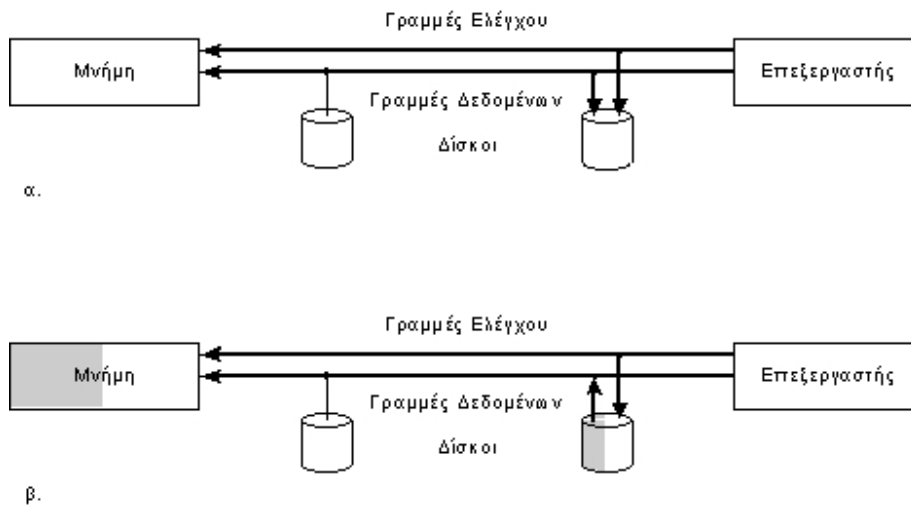
Χρησιμοποιώντας μια διαφορετική ορολογία θα αντιστοιχήσουμε στην ανάγνωση και εγγραφή τους όρους έξοδος και είσοδος αντίστοιχα, οι οποίοι ορίζονται πάντα από την πλευρά της μνήμης.

Το σχήμα 5.3.2 δείχνει τα βήματα σε μία τυπική λειτουργία εξόδου, κατά την οποία τα δεδομένα θα διαβαστούν από τη μνήμη και θα σταλούν στη συσκευή. Το σχήμα 5.3.3 απεικονίζει τα βήματα σε μία λειτουργία εισόδου, όπου τα δεδομένα διαβάζονται από τη συσκευή και γράφονται στη μνήμη.



Σχήμα 5.3.2 - Τα τρία βήματα μίας λειτουργίας εξόδου. Σε κάθε βήμα οι μονάδες που συμμετέχουν ενεργά στην επικοινωνία φαίνονται έντονες. Σημειώστε ότι οι γραμμές δεδομένων της αρτηρίας μπορούν να μεταφέρουν και μία διεύθυνση (όπως στο βήμα α) και δεδομένα (όπως

στο βήμα γ). **(α)** Πρώτο βήμα σε μία λειτουργία εξόδου που διαβάζει από τη μνήμη. Οι γραμμές ελέγχου δηλώνουν μία αίτηση ανάγνωσης, ενώ οι γραμμές δεδομένων περιέχουν τη διεύθυνση. **(β)** Δεύτερο βήμα σε μία λειτουργία εξόδου. Η μνήμη προσπελάζει τα δεδομένα. **(γ)** Τρίτο και τελευταίο βήμα σε μία λειτουργία εξόδου. Η μνήμη μεταφέρει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας τις γραμμές δεδομένων της αρτηρίας, ειδοποιώντας μέσω των γραμμών ελέγχου ότι τα δεδομένα είναι διαθέσιμα. Η συσκευή αποθηκεύει τα δεδομένα όπως εμφανίζονται στην αρτηρία.



Σχήμα 5.3.3 - Μία λειτουργία εισόδου απαιτεί λιγότερο ενεργό χρόνο επειδή η συσκευή δε χρειάζεται να περιμένει τη μνήμη για να προσπελάσει τα δεδομένα. Στα βήματα που φαίνονται, υποθέτουμε ότι η συσκευή περιμένει τη μνήμη να δηλώσει την ετοιμότητά της, αλλά ακόμα κι αυτό δεν είναι απαραίτητο σε μερικά συστήματα. Όπως στις προηγούμενες εικόνες, οι μονάδες που συμμετέχουν ενεργά σε κάθε βήμα της επικοινωνίας φαίνονται έντονες. Η σκίαση της μνήμης στο βήμα (β) δηλώνει ότι γράφει. **(α)** Πρώτο βήμα σε μία λειτουργία εισόδου. Οι γραμμές ελέγχου δηλώνουν μία αίτηση εγγραφής στη μνήμη, ενώ οι γραμμές δεδομένων περιέχουν τη διεύθυνση. **(β)** Όταν η μνήμη είναι έτοιμη, ειδοποιεί τη συσκευή, η οποία κατόπιν μεταφέρει τα δεδομένα. Τυπικά, η μνήμη θα αποθηκεύει τα δεδομένα καθώς τα παραλαμβάνει. Η συσκευή δε χρειάζεται να περιμένει την ολοκλήρωση της αποθήκευσης.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

- Να απαριθμήσετε τα βήματα τα οποία απαιτούνται για μία συναλλαγή ανάγνωσης μέσω αρτηρίας και να παρουσιάσετε τα βήματα αυτά σχηματικά. Να συγκρίνετε την απάντησή σας με το σχήμα 5.3.2.
- Ομοίως για μια συναλλαγή εγγραφής. Να συγκρίνετε την απάντησή σας με το σχήμα 5.3.3.



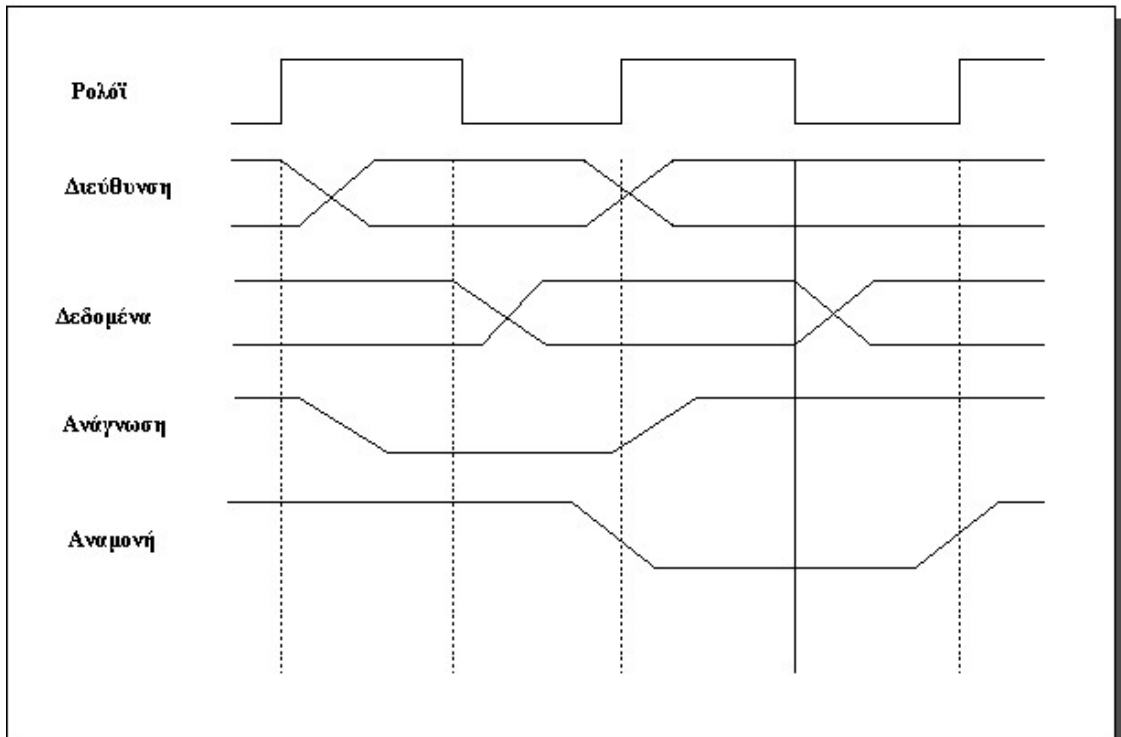
Παράδειγμα

Παράδειγμα χρήσης των γραμμών ελέγχου και δεδομένων σε μια συναλλαγή αρτηρίας.

Εάν ένας δίσκος θέλει να διαβάσει κάποια δεδομένα από τη μνήμη και να τα γράψει σε ένα τομέα,

- Οι **γραμμές δεδομένων** θα χρησιμοποιηθούν για να δηλώσουν τη διεύθυνση στη μνήμη απ' όπου θα εξαχθούν τα δεδομένα, όπως επίσης και για να μεταφέρουν τα δεδομένα από τη μνήμη στο δίσκο.
- Οι **γραμμές ελέγχου** θα χρησιμοποιηθούν για να δηλώσουν τι τύπου πληροφορίες περιέχονται στις γραμμές δεδομένων της αρτηρίας σε κάθε σημείο της μεταφοράς.

Ανάλυση του σχήματος 5.3.4: Στη συναλλαγή ανάγνωσης (μεταφορά δεδομένων από τη μνήμη στον επεξεργαστή ή σε συσκευή I/O) στέλνεται πρώτα στην αρτηρία η διεύθυνση μαζί με τα σχετικά σήματα ελέγχου που προσδιορίζουν ανάγνωση. Στο σχήμα 5.3.4 αυτό σημαίνει ν' απενεργοποιηθεί το σήμα ανάγνωσης. Η μνήμη αποκρίνεται επιστρέφοντας τα δεδομένα στην αρτηρία μαζί με τα κατάλληλα σήματα ελέγχου. Σε αυτή την περίπτωση απενεργοποιείται το σήμα αναμονής. Συνήθως ο επεξεργαστής σε μία λειτουργία ανάγνωσης πρέπει να περιμένει από τη στιγμή που θα στείλει τη διεύθυνση ως τη στιγμή που θα λάβει τα δεδομένα, αντιθέτως συνήθως δεν αναμένει σε μία διαδικασία εγγραφής.



Σχήμα 5.3.4 - Μία τυπική διαδικασία ανάγνωσης με αρτηρία. Αυτή η αρτηρία είναι σύγχρονη (βλέπε ενότητα 5η). Η ανάγνωση αρχίζει όταν το σήμα ανάγνωσης απενεργοποιείται, και τα δεδομένα δεν είναι έτοιμα μέχρις ότου το σήμα αναμονής απενεργοποιείται. 🏠



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 5

Να συγκρίνετε τις συναλλαγές ανάγνωσης και εγγραφής όσον αφορά στην αναμονή στον δίσκο (για να δεχτεί ή να στείλει τα δεδομένα αντίστοιχα).

(Υπόδειξη: Να χρησιμοποιήσετε το σχήμα 5.3.4 το οποίο απεικονίζει τα σήματα ελέγχου.)



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 5

Στο σχήμα 5.3.4 παρατηρούμε ότι μόλις στέλνεται στη μνήμη η διεύθυνση απενεργοποιείται το σήμα εγγραφής, όπως και στην ανάγνωση. Όμως, σε αντίθεση με την ανάγνωση, στην εγγραφή τα δεδομένα μεταφέρονται κατευθείαν στη μνήμη γι' αυτό έχουμε πολύ μικρότερη αναμονή, και έτσι το σήμα αναμονής απενεργοποιείται πολύ γρηγορότερα απ' ό τι κατά τη συναλλαγή ανάγνωσης.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν...



Η αρτηρία αποτελεί ένα σημαντικό τμήμα του υπολογιστικού συστήματος και διασυνδέει τα διάφορα υποσυστήματα μεταξύ τους.



Τα πλεονεκτήματα της οργάνωσης αρτηρίας είναι η ευελιξία και το χαμηλό κόστος, ενώ σημαντικό μειονέκτημα αποτελεί η επικοινωνιακή συμφόρηση στην αρτηρία, γεγονός που περιορίζει και το ρυθμό διαμεταγωγής του συστήματος.



Ο σχεδιασμός ενός συστήματος αρτηρίας είναι ένα δύσκολο πολλές φορές πρόβλημα και αυτό γιατί η απόδοση και η ταχύτητά της εξαρτάται από φυσικούς παράγοντες – όπως το μήκος και το πλήθος των συσκευών – ενώ και στις αρτηρίες συγκρούεται ο χρόνος απόκρισης και ο ρυθμός διαμεταγωγής.



Μια αρτηρία περιλαμβάνει ένα σύνολο γραμμών ελέγχου και γραμμών δεδομένων, ενώ μία τυπική συναλλαγή αρτηρίας περιλαμβάνει την αποστολή της διεύθυνσης και την αποστολή ή παραλαβή των δεδομένων.



Δύο κλασσικές συναλλαγές αρτηρίας είναι η ανάγνωση δεδομένων από τη μνήμη και η εγγραφή δεδομένων σε αυτή, είτε από μια συσκευή I/O ή από τον επεξεργαστή.