

Ενότητα 1^η : Δομή σύγχρονων υπολογιστών.

Σκοπός Ο σκοπός της ενότητας αυτής είναι να παρουσιάσει τη δομή των σύγχρονων υπολογιστών. Θα μάθουμε ποια είναι τα σημαντικότερα τμήματα ενός υπολογιστή και πως αυτά συνεργάζονται ώστε να μπορέσουν να εκτελέσουν τις διάφορες εντολές που περιέχονται στα εκτελέσιμα προγράμματα. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα με το τμήμα του επεξεργαστή που ονομάζεται δίοδος δεδομένων. Τέλος θα δούμε αναλυτικά ποια είναι τα βασικά βήματα εκτέλεσης μιας εντολής.

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



αναφέρετε τα κύρια τμήματα ενός σύγχρονου υπολογιστή και το ρόλο τους στην όλη λειτουργία του,



περιγράφετε τη δίοδο δεδομένων του επεξεργαστή του DLX και του PDP-11,



παρουσιάζετε τα βασικά βήματα εκτέλεσης μιας εντολής από τον επεξεργαστή του υπολογιστή DLX και του υπολογιστή PDP-11.



δίοδος δεδομένων, μονάδα ελέγχου, αριθμητική και λογική μονάδα (ALU), μονάδα μνήμης, μονάδα εισόδου εξόδου, απ αριθμητής προγράμματος (PC), καταχωρητής διευθύνσεων διακοπών (IAR), καταχωρητής διευθύνσεων μνήμης (MAR), καταχωρητής δεδομένων (MDR), καταχωρητής κατάστασης του προγράμματος



Κύρια τμήματα σύγχρονων υπολογιστών

Οι διάφοροι τύποι υπολογιστών που υπάρχουν διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους ως προς το μέγεθος, την ταχύτητα και το κόστος. Όμως στην απλοποιημένη τους μορφή όλοι οι υπολογιστές αποτελούνται από τα παρακάτω τμήματα:

► **Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)**

Η ΚΜΕ είναι ο “εγκέφαλος” του υπολογιστή και έχει ως σκοπό να εκτελεί τα προγράμματα που βρίσκονται αποθηκευμένα στην κύρια μνήμη, προσκομίζοντας τις εντολές τους, εξετάζοντας και στη συνέχεια εκτελώντας αυτές, τη μία μετά την άλλη. Τα συστατικά μέρη του υπολογιστή είναι συνδεδεμένα μέσω μιας αρτηρίας (bus), η οποία είναι μια συλλογή παράλληλων αγωγών για τη μετάδοση σημάτων διευθύνσεων, δεδομένων και ελέγχου.

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας αποτελείται από τη δίοδο δεδομένων και τη μονάδα ελέγχου:

Δίοδος Δεδομένων (Datapath)

Η δίοδος δεδομένων αποτελείται από ένα σύνολο καταχωρητών, από εσωτερικές αρτηρίες και την αριθμητική και λογική μονάδα (ALU), η οποία είναι το σημαντικότερο τμήμα της: Στην αριθμητική και λογική μονάδα ενός υπολογιστή εκτελούνται οι περισσότερες πράξεις ενός υπολογιστή. Τα δεδομένα μεταφέρονται στην ALU όπου εκτελείται η κατάλληλη πράξη ανάλογα με τον κωδικό λειτουργίας της υπό εκτέλεση εντολής. Ύστερα τα αποτελέσματα, εάν χρειάζεται, μεταφέρονται στη μνήμη ή στους καταχωρητές.

Μονάδα Ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου παράγει και στέλνει τα κατάλληλα σήματα συγχρονισμού που είναι απαραίτητα για την εκτέλεση οποιαδήποτε λειτουργίας μέσα στον υπολογιστή. Επίσης μέσα στη μονάδα ελέγχου υπάρχουν εσωτερικές αρτηρίες οι οποίες μεταφέρουν τα σήματα ελέγχου που είναι απαραίτητα για το συγχρονισμό όλων των μονάδων, σε όλα τα κυκλώματα της δίοδου δεδομένων.



Η μονάδα ελέγχου και η ALU είναι συνήθως πολύ γρηγορότερες από τις άλλες μονάδες του υπολογιστή, όπως για παράδειγμα τη μνήμη.

► **Μονάδα Μνήμης**

Στη μονάδα μνήμης αποθηκεύονται τα προγράμματα και τα δεδομένα τους. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μνήμης, οι οποίοι διαφέρουν ως προς την ταχύτητα με την οποία λειτουργούν. Παραδείγματα τέτοιων τύπων μνήμης που χρησιμοποιούνται για την κύρια και δευτερεύουσα αποθήκευση σε έναν υπολογιστή είναι οι καταχωρητές της ΚΜΕ, η κρυφή μνήμη και η κύρια μνήμη.

■ **Μονάδες Εισόδου/Εξόδου**

Οι υπολογιστές δέχονται κωδικοποιημένη πληροφορία μέσω των μονάδων εισόδου, (διατάξεων ικανών να διαβάσουν τέτοια δεδομένα) και παρέχουν πληροφορία στο περιβάλλον (είτε τους άλλους υπολογιστές, είτε τους χρήστες), μέσω των μονάδων εξόδου. Παράδειγμα μονάδας εισόδου είναι το πληκτρολόγιο, όπου κάθε φορά που ένα πλήκτρο πιέζεται, το αντίστοιχο γράμμα, ψηφίο ή χαρακτήρας μεταφράζεται στον κατάλληλο κωδικό και στέλνεται είτε στη μνήμη είτε στη μονάδα επεξεργασίας. Παράδειγμα μονάδας εξόδου είναι η οθόνη.

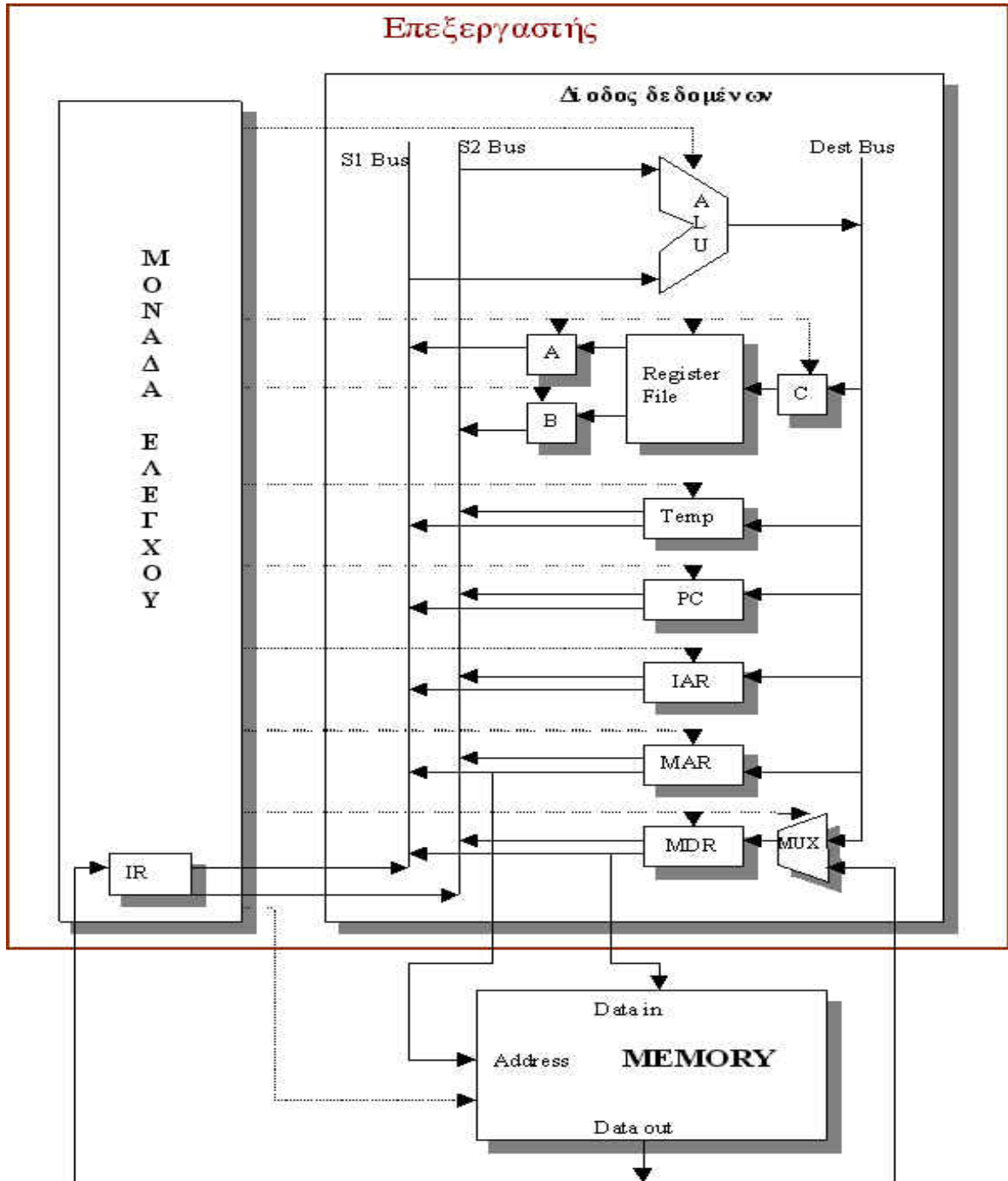


Δίοδος δεδομένων του υπολογιστή DLX

Η δίοδος δεδομένων του DLX αποτελείται από κυκλώματα κατάλληλα για την εκτέλεση εντολών, όπως η αριθμητική και λογική μονάδα, οι ολισθητές, οι καταχωρητές γενικής και ειδικής χρήσης και οι εσωτερικές αρτηρίες μεταξύ αυτών. Από την πλευρά του προγραμματιστή, η δίοδος δεδομένων περιέχει τις περισσότερες πληροφορίες που πρέπει να αποθηκευτούν για ένα πρόγραμμα έτσι ώστε όταν αυτό διακοπεί να μπορεί να επανέλθει στο σημείο που είχε διακοπεί και να συνεχιστεί η εκτέλεσή του. Εκτός των καταχωρητών γενικής χρήσης που είναι ορατοί στο χρήστη, η δίοδος δεδομένων επιπλέον περιλαμβάνει τους παρακάτω καταχωρητές ειδικής χρήσης:

- **τον απεριθμητή προγράμματος (PC)**, στον οποίο αποθηκεύεται η διεύθυνση της εντολής που πρόκειται να εκτελεσθεί και διευθυνσιοδοτεί τη μνήμη εντολών.
- **τον καταχωρητή διευθύνσεων διακοπών (IAR)**. Ο καταχωρητής αυτός αποθηκεύει την εντολή που πρόκειται να εκτελεσθεί, που διαβάζεται από τη μνήμη εντολών και είναι απαραίτητος όταν έχουμε εκτέλεση πολλών κύκλων ρολογιού. Όταν συμβεί μια διακοπή φορτώνεται στον IAR η τιμή του PC έτσι ώστε μετά την εξυπηρέτηση της διακοπής το πρόγραμμα να επανέλθει στο σημείο που διακόπηκε.
- **τον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR)**. Ο καταχωρητής αυτός χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της διεύθυνσης μνήμης στην οποία θα αποθηκευτεί ή θα διαβαστεί ένα δεδομένο. Επίσης συνδέεται με την κύρια μνήμη μέσω της αρτηρίας διευθύνσεων, η οποία είναι εξωτερική.
- **τον καταχωρητή δεδομένων (MDR)**. Ο καταχωρητής αυτός χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων που θα αποθηκευτούν στη μνήμη ή που έχουν διαβαστεί από τη μνήμη. Ο καταχωρητής δεδομένων συνδέεται με την κύρια μνήμη μέσω της αρτηρίας δεδομένων, η οποία είναι εξωτερική.
- **τον καταχωρητή κατάστασης του προγράμματος**. Ο καταχωρητής κατάστασης αποτελείται από ψηφία (bits) όπως τα (Z)ero, ο(V)erflow, (N)egative, (C)arry. Για παράδειγμα συγκεκριμένα ψηφία του καταχωρητή κατάστασης εξετάζονται όταν υπάρχει αίτηση για διακοπή του προγράμματος (έτσι ώστε να δοθεί εξουσιοδότηση για διακοπή), σε εντολές ελέγχου ροής προγράμματος κ.α.
- **προσωρινούς καταχωρητές**. Οι καταχωρητές αυτοί αποθηκεύουν προσωρινά την πληροφορία που παράγεται κατά την εκτέλεση των μικρο-λειτουργιών, ώστε να είναι δυνατή η εκτέλεση μιας εντολής σε πολλούς κύκλους ρολογιού.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται τα τμήματα της διόδου δεδομένων, πως επικοινωνούν μεταξύ τους και πως επικοινωνούν με τη μονάδα ελέγχου και τη μνήμη.



Σχήμα 3.1.1 - Ο επεξεργαστής του DLX με τη μονάδα ελέγχου και τη δίοδο δεδομένων καθώς και η επικοινωνία του με τη μνήμη: Οι γραμμές από τη μονάδα ελέγχου που μεταφέρουν σήματα ελέγχου εμφανίζονται με διακεκομμένες γραμμές και οι αρτηρίες για μεταφορά δεδομένων (εσωτερικές αρτηρίες) εμφανίζονται με κανονικές γραμμές. Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί 3 εσωτερικές αρτηρίες: S1, S2 και Dest. Η λειτουργία της δίοδου δεδομένων είναι να διαβάσει τελεστέους από το αρχείο καταχωρητών (Register File) και από τη μνήμη, να εκτελεί λειτουργίες σ' αυτούς, χρησιμοποιώντας την ALU, και να αποθηκεύει το αποτέλεσμα στο αρχείο καταχωρητών ή στη μνήμη. Παρατηρούμε ότι ο μόνος τρόπος για να επικοινωνήσουν οι αρτηρίες S1 και S2 με την αρτηρία Dest είναι μέσω της ALU.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 1

Να αναφέρεται τα κυκλώματα από τα οποία αποτελείται η δίοδος δεδομένων του σχήματος 3.1.1 και να περιγράψετε τον τρόπο με τον οποίο αυτά συνδέονται.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 1

Η δίοδος δεδομένων της ΚΜΕ του υπολογιστή DLX χρησιμοποιεί 3 εσωτερικές αρτηρίες S1, S2 και Dest. Οι αρτηρίες S1 και S2 επικοινωνούν με την τρίτη αρτηρία Dest, μέσω της ALU. Τα κυκλώματα από τα οποία αποτελείται η δίοδος δεδομένων είναι:

- ▶ Οι "μανταλωτές" (latches - A, B και C) χρησιμοποιούνται για ενδιάμεση αποθήκευση και συνδέονται με την είσοδο της ALU (A και B) και με την έξοδο της ALU (C).
- ▶ Το αρχείο καταχωρητών περιέχει 32 καταχωρητές γενικής χρήσης του DLX.
- ▶ Ο απεριθμητής προγράμματος (PC) και ο καταχωρητής διευθύνσεων διακοπών (IAR), είναι μέρος της κατάστασης του προγράμματος.
- ▶ Υπάρχουν επίσης καταχωρητές που δεν είναι μέρος της κατάστασης: καταχωρητής διευθύνσεων μνήμης (MAR): χρησιμοποιείται για την αποθήκευση διευθύνσεων μνήμης στις οποίες θα αποθηκευτεί ή θα διαβαστεί ένα δεδομένο, καταχωρητής δεδομένων (MDR): χρησιμοποιείται για την αποθήκευση των δεδομένων που θα αποθηκευτούν στη μνήμη ή που έχουν διαβαστεί από τη μνήμη, καταχωρητής εντολών (IR), και ο προσωρινός καταχωρητής (Temp) που χρησιμοποιείται για προσωρινή αποθήκευση.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 2

Μπορείτε να εξηγήσετε το λόγο για τον οποίο είναι απαραίτητοι οι “μανταλωτές” στις εισόδους και στην έξοδο του αρχείου καταχωρητών; Για περισσότερες λεπτομέρειες για τους μανταλωτές, θα ήταν καλό να ανατρέξετε στο βιβλίο του M. Morris Mano: “Ψηφιακή σχεδίαση”.



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 2

Ο μανταλωτής είναι ένας τύπος flip-flop και χρησιμοποιείται κυρίως ως μέσο αποθήκευσης. Η χρήση μανταλωτών στα ασύγχρονα κυκλώματα έχει το πλεονέκτημα ότι τα κυκλώματα τότε μοιάζουν με σύγχρονα κυκλώματα, κατά το ότι έχουν συγκεκριμένα στοιχεία μνήμης, που αποθηκεύουν και αποτελούν την εσωτερική κατάσταση. Επομένως, η χρήση μανταλωτών στην είσοδο και την έξοδο του αρχείου καταχωρητών είναι απαραίτητη, έτσι ώστε να αποθηκεύονται προσωρινά τα περιεχόμενα των καταχωρητών και να συγχρονίζεται η έξοδος ή η είσοδος αυτών από το αρχείο καταχωρητών.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 3

Μπορείτε να εξηγήσετε τους λόγους για τους οποίους η δίοδος δεδομένων καθορίζει τη διάρκεια του κύκλου ρολογιού και το κόστος του επεξεργαστή; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.



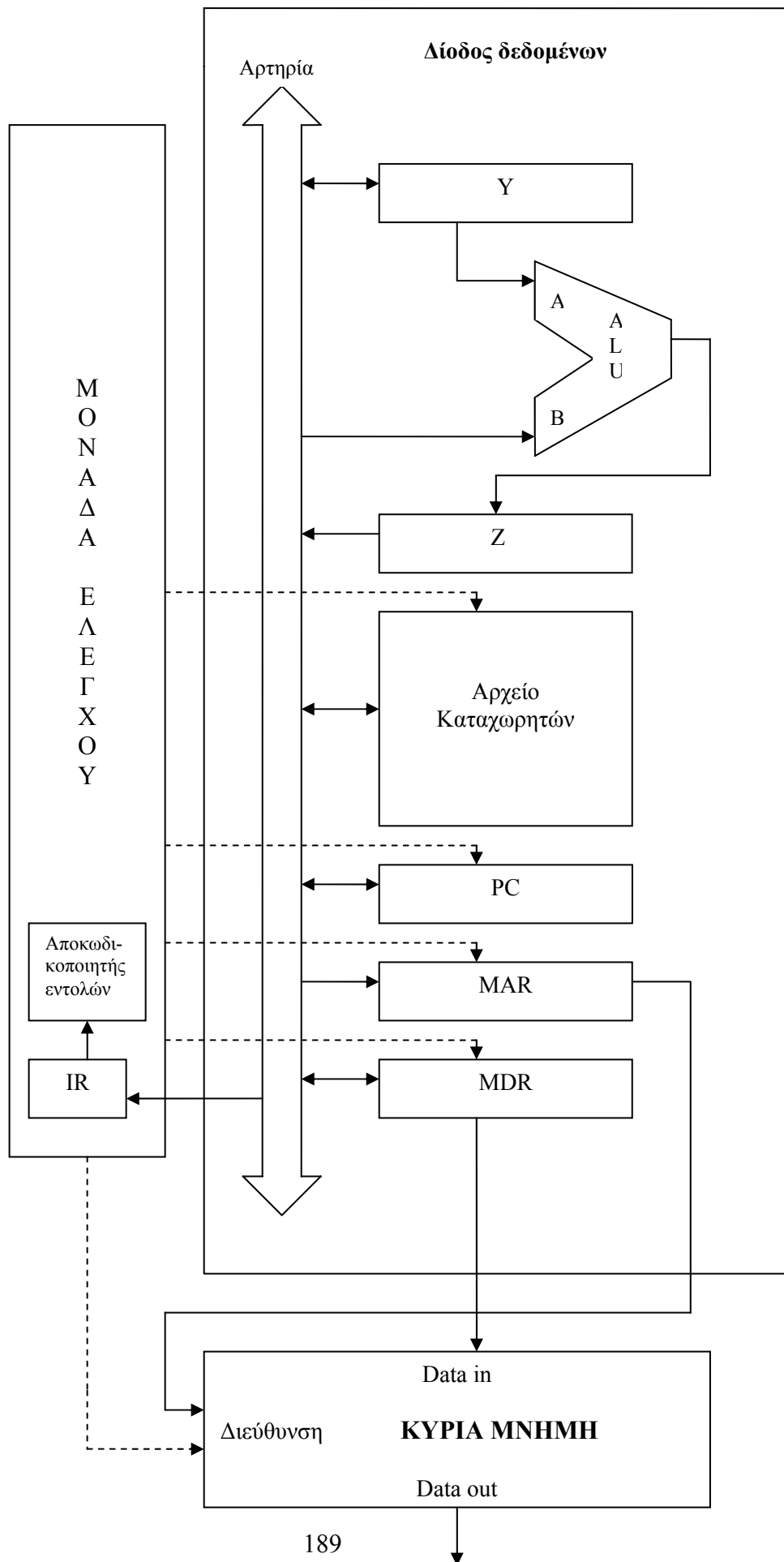
ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 3

Η δίοδος δεδομένων συνιστά τον κύριο λόγο καθυστέρησης σε έναν επεξεργαστή. Είναι το κύκλωμα που έχει τη μικρότερη ταχύτητα από όλα τα επιμέρους κυκλώματα της ΚΜΕ, με αποτέλεσμα να καθορίζει τον κύκλο ρολογιού μιας μηχανής. Επιπλέον, η δίοδος καθορίζει το κόστος του επεξεργαστή, αφού απαιτεί σχεδόν τα μισά τρανζίστορ και το μισό χώρο του επεξεργαστή.



Δίοδος δεδομένων του υπολογιστή PDP-11

Η οργάνωση της διόδου δεδομένων του επεξεργαστή του PDP-11 απεικονίζεται στο σχήμα 3.1.2. Όπως φαίνεται η ALU και όλοι οι καταχωρητές είναι συνδεδεμένοι μέσω μίας αρτηρίας. Η αρτηρία αυτή βρίσκεται στο εσωτερικό της ΚΜΕ και δεν πρέπει να συγχέεται με τις εξωτερικές αρτηρίες, όπως είναι οι αρτηρίες που συνδέουν την ΚΜΕ με τη μνήμη και τις μονάδες εισόδου / εξόδου. Η εξωτερική αρτηρία της μνήμης φαίνεται στο σχήμα 3.1.2 και συνδέει την ΚΜΕ με τη μνήμη, μέσω του καταχωρητή δεδομένων (MDR) και τον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR). Ο καταχωρητής Y είναι μόνιμα συνδεδεμένος με την πρώτη είσοδο (A) της ALU και ο καταχωρητής Z είναι μόνιμα συνδεδεμένος με την έξοδο της ALU.



Σχήμα 3.1.2. Ο επεξεργαστής του PDP-11, ο οποίος αποτελείται από τη δίοδο δεδομένων και τη μονάδα ελέγχου καθώς και η επικοινωνία του με την κύρια μνήμη. Οι γραμμές από τη μονάδα ελέγχου που μεταφέρουν σήματα ελέγχου είναι με διακεκομμένες γραμμές και οι αρτηρίες για τη μεταφορά δεδομένων για μεταφορά δεδομένων (εσωτερικές αρτηρίες) είναι με κανονικές γραμμές. Ο επεξεργαστής χρησιμοποιεί μία μονή αρτηρία.



Ο επεξεργαστής του υπολογιστή VAX έχει στηριχθεί στον τρόπο με τον οποίο έχει κατασκευαστεί ο επεξεργαστής του υπολογιστή PDP-11. Δηλαδή χρησιμοποιεί μία μόνο αρτηρία.



Βασικά βήματα εκτέλεσης μίας εντολής από τον επεξεργαστή του DLX

Ο αλγόριθμος επίλυσης οποιουδήποτε προβλήματος αποτελείται από έναν αριθμό βημάτων που πρέπει να εκτελεστούν με μία συγκεκριμένη σειρά. Για να υλοποιηθεί ένας τέτοιος αλγόριθμος σε έναν υπολογιστή, τα βήματα αυτά αναλύονται σε έναν αριθμό άλλων μικρότερων βημάτων, όπου το καθένα από αυτά αντιπροσωπεύει μία εντολή σε γλώσσα μηχανής. Η διαδοχική σειρά των εντολών αποτελεί ένα πρόγραμμα σε γλώσσα μηχανής που αναπαριστά τον αλγόριθμο. Η ίδια γενική προσέγγιση χρησιμοποιείται για να μπορέσει ένας υπολογιστής να εκτελέσει τις λειτουργίες που προσδιορίζονται από διαφορετικές εντολές σε γλώσσα μηχανής, δηλ. κάθε μία από αυτές τις εντολές εκτελείται πραγματοποιώντας μία διαδοχική σειρά πρωτογενών λειτουργιών.

Οι εντολές που αποτελούν ένα εκτελέσιμο πρόγραμμα είναι αποθηκευμένες σε διαδοχικές θέσεις στην κύρια μνήμη. Για να εκτελεστεί το πρόγραμμα, η ΚΜΕ ανακαλεί τις εντολές από τη μνήμη και εκτελεί τις λειτουργίες που αναφέρονται σε αυτές. Η διεύθυνση στην οποία βρίσκεται κάθε φορά η προς εκτέλεση εντολή, είναι το περιεχόμενο του απαριθμητή προγράμματος (PC). Οι εντολές ανακαλούνται από τις θέσεις μνήμης διαδοχικά μέχρι την εκτέλεση κάποιας εντολής διακλάδωσης ή εντολής κλήσης υπορουτίνας, οπότε η ροή του προγράμματος μεταφέρεται στη θέση μνήμης που ξεκινά η υπορουτίνα ή στη θέση μνήμης που καθορίζεται από το στόχο της διακλάδωσης. Μετά την ανάκληση της εντολής, το περιεχόμενο του PC αυξάνεται και δείχνει την επόμενη προς εκτέλεση εντολή.

Για το σύνολο εντολών του DLX (εκτός από τις εντολές κινητής υποδιαστολής), όλες οι εντολές μπορούν να χωριστούν σε 5 βασικά βήματα που εκτελούνται από την ΚΜΕ:

1. Ανάκληση εντολής (IF)
2. Αποκωδικοποίηση εντολής / Ανάκληση των καταχωρητών (ID)
3. Εκτέλεση (EX)
4. Πρόσβαση στη μνήμη / βήμα ολοκλήρωσης διακλάδωσης (MEM)
5. Επανεγγραφή (WB)

Κάθε βήμα μπορεί να διαρκέσει έναν ή περισσότερους κύκλους ρολογιού στον επεξεργαστή. Παρακάτω, δίνονται αναλυτικά τα 5 βήματα.



1. Ανάκληση εντολής (IF – Instruction Fetch)

```
MAR <- Mem[PC]
IR    <- Mem[MAR]
NPC   <- PC +4
```

- Γίνεται ανάκληση της εντολής από τη μνήμη της οποίας την διεύθυνση την παίρνει από τον PC και αποθηκεύει αυτή στον καταχωρητή IR.
- Αύξηση του καταχωρητή PC κατά 4 (NPC) που δείχνει την αρχή της διεύθυνσης στη μνήμη της επόμενης εντολής που θα εκτελεστεί.

- Ο IR χρησιμοποιείται για να κρατήσει την εντολή που θα εκτελεστεί, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο όταν έχουμε εκτέλεση εντολών σε πολλούς κύκλους.



Ο καταχωρητής MAR είναι καταχωρητής ειδικής χρήσης και συνδέεται μέσω της αρτηρίας διευθύνσεων με τη μνήμη του επεξεργαστή. Επομένως, όποια διεύθυνση αποθηκευτεί στον καταχωρητή MAR, μεταφέρεται στη μνήμη. Ο IR είναι ο καταχωρητής εντολών του επεξεργαστή, δηλ. κάθε φορά εκτελείται η εντολή που βρίσκεται στον συγκεκριμένο καταχωρητή.



Η διεύθυνση της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί περιέχεται στον απεριθμητή προγράμματος (PC). Κατά την ανάκληση εντολής, η ΚΜΕ πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση της θέσης μνήμης που είναι αποθηκευμένη η εντολή και να ζητήσει τη λειτουργία ανάγνωσης. Έτσι, μεταφέρεται η διεύθυνση εντολής από τον PC στον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR), ο οποίος συνδέεται μέσω της αρτηρίας διευθύνσεων με τη μνήμη. Η ΚΜΕ χρησιμοποιεί τις γραμμές που μεταφέρουν σήματα ελέγχου για να υποδείξει στη μνήμη ότι ζητείται μία λειτουργία ανάγνωσης. Η εντολή ανακαλείται από τη μνήμη και αποθηκεύεται μέσω του MDR, στον καταχωρητή εντολών (IR). Αυτό ολοκληρώνει τη λειτουργία ανάκλησης εντολής.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 4

Θυμάστε τον τρόπο με τον οποίο γίνεται η κωδικοποίηση των εντολών του DLX; Να περιγράψετε την κωδικοποίηση για τους τρεις τύπους εντολών (εντολές τύπου I, εντολές τύπου R, εντολές τύπου J). Για περισσότερες λεπτομέρειες, θα ήταν καλό να ανατρέξετε στο 2^ο κεφάλαιο και συγκεκριμένα στην τέταρτη ενότητα “Η Αρχιτεκτονική του DLX”.



2. Αποκωδικοποίηση εντολής / Ανάκληση των καταχωρητών (ID – Instruction Decode /register fetch)

$$\begin{aligned} A &<- \text{Reg}[\text{IR}_{6..10}] \\ B &<- \text{Reg}[\text{IR}_{11..15}] \\ \text{Imm} &<- ((\text{IR}_{16})^{16} \# \# \text{IR}_{16..31}) \end{aligned}$$

- Αποκωδικοποίηση της εντολής και πρόσβαση στο αρχείο καταχωρητών
- Η έξοδος από τους καταχωρητές γενικής χρήσης αποθηκεύεται μέσα στους δύο προσωρινούς καταχωρητές A και B για να χρησιμοποιηθεί αργότερα στους επόμενους κύκλους του ρολογιού.
- Τα χαμηλότερα 16 bits του καταχωρητή IR επιδέχονται επέκταση πρόσημου και αποθηκεύονται μέσα στον προσωρινό καταχωρητή Imm για να χρησιμοποιηθούν σε επόμενο κύκλο

- Η αποκωδικοποίηση γίνεται παράλληλα με την ανάγνωση από το αρχείο καταχωρητών, κάτι που είναι δυνατό λόγω της σταθερής θέσης των πεδίων στην εντολή του επεξεργαστή DLX (είναι γνωστή σαν fixed-field decoding τεχνική)

Στο βήμα αυτό, αποκωδικοποιείται η εντολή και ταυτόχρονα γίνεται πρόσβαση στο αρχείο των καταχωρητών για να διαβαστούν οι πηγαίοι καταχωρητές. Αυξάνεται ο απαριθμητής προγράμματος ώστε να δείχνει την επόμενη εντολή.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 5

Μπορείτε να αιτιολογήσετε την ταυτόχρονη αποκωδικοποίηση της εντολής και την πρόσβαση στο αρχείο καταχωρητών;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 5

Η αποκωδικοποίηση μπορεί να γίνει παράλληλα με το διάβασμα των καταχωρητών. Αυτό είναι εφικτό, διότι η μορφή εντολών του DLX είναι σταθερής κωδικοποίησης και οι πηγαίοι καταχωρητές βρίσκονται πάντα στην ίδια θέση σε μία εντολή. Για το λόγο αυτό οι καταχωρητές μπορούν να διαβαστούν πριν ολοκληρωθεί η αποκωδικοποίηση της εντολής.



3. Εκτέλεση (EX – EXecution/effective address cycle)

Οι τελεστέοι (καταχωρητές) που διαβάστηκαν στο προηγούμενο βήμα, έχουν μεταφερθεί μέσω των αρτηριών S1 και S2 αντίστοιχα και βρίσκονται στην είσοδο της ALU. Η ALU πραγματοποιεί μία από τις τρεις λειτουργίες, ανάλογα με τον τύπο της εντολής του DLX.

♦ **Επικοινωνία με τη Μνήμη** (εντολές φόρτωσης / αποθήκευσης):

$$\text{MAR} \leftarrow A + (\text{IR}_{16})^{16} \text{ ## IR}_{16...31};$$

$$\text{MDR} \leftarrow B$$

Η ALU προσθέτει το περιεχόμενο του πηγαίου καταχωρητή (A) με το περιεχόμενο του καταχωρητή εντολών, το οποίο έχει υποστεί επέκταση προσήμου στα ψηφία 16 έως 31. Έτσι σχηματίζεται η ενεργός διεύθυνση, η οποία μεταφέρεται στον MAR. Στην περίπτωση εντολής αποθήκευσης ο MDR φορτώνεται με την τιμή του B.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 6

Έστω η παρακάτω εντολή φόρτωσης του DLX: **LB R1,50(R2).**

- α) Αν το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 είναι 100, ποιο θα είναι το αποτέλεσμα μετά την εκτέλεση της εντολής;
 β) Να εκτελέσετε την παραπάνω εντολή, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>

Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την απάντηση που δώσατε.

- γ) Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης των εντολών φόρτωσης του DLX το οποίο βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/ls_type/LS.html



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 6

Με την εντολή αυτή φορτώνουμε στον καταχωρητή R1, το περιεχόμενο της διεύθυνσης μνήμης, η οποία υπολογίζεται προσθέτοντας την τιμή 50 στο περιεχόμενο του καταχωρητή R2. Επομένως γίνεται η πρόσθεση της τιμής 50 και του περιεχομένου του καταχωρητή R2 (100) και το αποτέλεσμα (150) πηγαίνει στον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης.

♦ Αριθμητική ή λογική εντολή

$$\text{ALU}_{\text{output}} \leftarrow A \text{ op } (B \text{ or } (\text{IR}_{16})^{16} \text{ ## IR } 16 \dots 31)$$

Η ALU εκτελεί τη λειτουργία που καθορίζεται από τον κωδικό λειτουργίας μεταξύ του A (Rs1) και του B ή μεταξύ του A και της τιμής που βρίσκεται στα τελευταία 16 bits του καταχωρητή εντολών ((IR₁₆)¹⁶ ## IR_{16..31}).



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 7

- α) Να περιγράψετε την εκτέλεση της εντολής του DLX: **ADDI R1, R2, #3.**
 β) Ποιο θα είναι το αποτέλεσμα αν το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 είναι 147;
 γ) Να εκτελέσετε την παραπάνω εντολή, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>

Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την απάντηση που δώσατε.

- δ) Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης των εντολών τύπου R του DLX το οποίο βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/r_type/R.html



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 7

- α) Η εντολή **ADDI R1, R2, #3** προσθέτει το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 με την τιμή 3 και τοποθετεί το αποτέλεσμα στον καταχωρητή R1.
 β) Το αποτέλεσμα θα είναι το 150 και θα εγγραφεί στον καταχωρητή R1.

♦ Διακλάδωση με συνθήκη / Μεταπήδηση

$ALU_{output} \leftarrow PC + (IR_{16})^{16} \# IR_{16...31}$;
 $Cond \leftarrow (A \text{ op } 0)$

Η ALU προσθέτει στον PC την τιμή του offset για να υπολογίσει τη διεύθυνση του στόχου διακλάδωσης. Για διακλαδώσεις με συνθήκη, ο καταχωρητής A ελέγχεται για να αποφασιστεί αν αυτή η διεύθυνση θα πρέπει να γίνει η νέα τιμή του PC. Η λειτουργία σύγκρισης op είναι ο σχετικός τελεστής που καθορίζεται από τον κωδικό λειτουργίας της εντολής. Για παράδειγμα, ο op είναι ο "=" (ισότητα σε σύγκριση με το 0) για την εντολή BEQZ.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 8

- α) Να περιγράψετε το βήμα εκτέλεσης της παρακάτω εντολής του DLX.
J 1100

(Να θεωρήσετε ότι η εντολή βρίσκεται στη θέση μνήμης με διεύθυνση 1000)

- β) Να εκτελέσετε την παραπάνω εντολή, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 8

Η εντολή **J 1100** είναι μια εντολή μεταπήδησης. Μετά την αποκωδικοποίηση της εντολής, το περιεχόμενο του PC έχει αυξηθεί κατά 4 και έχει πάρει την τιμή 1004. Κατά την εκτέλεση της εντολής, η είσοδος της ALU είναι το περιεχόμενο του PC μαζί με την επέκταση προσήμου, έτσι ώστε η διεύθυνση του στόχου διακλάδωσης να είναι το 1100. Άρα, η τιμή του offset είναι 96.



4. Πρόσβαση στη μνήμη/βήμα ολοκλήρωσης διακλάδωσης (MEM - Memory access/branch completion cycle)

♦ Επικοινωνία με τη Μνήμη

LW: $MDR \leftarrow Mem[MAR]$
 SW: $Mem[MAR] \leftarrow MDR$

- Γίνεται πρόσβαση στη μνήμη όταν αυτό απαιτείται
- Αν έχουμε εντολή φόρτωσης, τα δεδομένα διαβάζονται από τη μνήμη και τοποθετούνται στον καταχωρητή MDR
- Αν έχουμε εντολή αποθήκευσης τα δεδομένα διαβάζονται από τον καταχωρητή B και εγγράφονται στη μνήμη
- Σε κάθε μια από τις δύο προηγούμενες περιπτώσεις η διεύθυνση που χρησιμοποιείται είναι αυτή που έχει υπολογιστεί στον προηγούμενο κύκλο και αποθηκευτεί στον καταχωρητή ALUOutput

♦ Διακλάδωση με συνθήκη

if (cond) PC <- ALUOutput
 else PC <- NPC

- Εάν έχουμε εντολή διακλάδωσης, το περιεχόμενο του καταχωρητή PC αντικαθίσταται με τη διεύθυνση του στόχου της διακλάδωσης που βρίσκεται στον καταχωρητή ALUOutput
- Διαφορετικά ο PC παίρνει περιεχόμενο αυτό του καταχωρητή NPC



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 9

α) Να περιγράψετε το βήμα ολοκλήρωσης διακλάδωσης της παρακάτω εντολής του DLX.

BEQZ R1,150

Β) Να εκτελέσετε την παραπάνω εντολή, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 9

Στην περίπτωση της εντολής διακλάδωσης BEQZ R1,150 αρχικά γίνεται σύγκριση στο περιεχόμενο του καταχωρητή R1 με το 0, (δηλαδή αν η συνθήκη cond είναι αληθής). Στην περίπτωση που η συνθήκη είναι αληθής, τότε ο PC φορτώνεται με την τιμή 150. Η τιμή αυτή είναι η έξοδος της ALU και έχει υπολογιστεί στο προηγούμενο βήμα εκτέλεσης της εντολής.



5. Επανεγγραφή (WB - Write-Back cycle)

Γενικά: $Rd \leftarrow ALU_{output} \text{ or } MDR$

- Αριθμητική η λογική εντολή (καταχωρητή – καταχωρητή)
 $Reg[IR_{16..20}] \leftarrow ALUOutput$
 - Αριθμητική η λογική εντολή (καταχωρητή – Immediate)
 $Reg[IR_{11..15}] \leftarrow ALUOutput$
 - Εντολή φόρτωσης
 $Reg[IR_{11..15}] \leftarrow MDR$
- Η εντολή αυτή γράφει το αποτέλεσμα στο αρχείο καταχωρητών, το οποίο αποτέλεσμα προέρχεται είτε από τη μνήμη είτε από την ALU (ALUOutput)
- Ο καταχωρητής προορισμού εξαρτάται από το opcode



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 10

α) Να αναφέρετε τα πέντε βήματα εκτέλεσης των εντολών στον υπολογιστή DLX και να περιγράψετε συνοπτικά τη λειτουργία που επιτελείται και τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται σε κάθε ένα από αυτά.

β) Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης της εκτέλεσης των εντολών του DLX το οποίο παρατίθεται στις ιστοσελίδες και να δείτε τον τρόπο με τον οποίο προσομοιώνεται η εκτέλεση των εντολών:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/ls_type/LS.html

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/r_type/R.html



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 11

α) Ποια είναι τα βήματα για την παρακάτω εντολή του υπολογιστή DLX:

LB R1, 50(R2)

Έστω ότι πριν από την εκτέλεση της εντολής, ο PC έχει την τιμή 100, ο καταχωρητής R1 έχει περιεχόμενο -100, ο R2 έχει περιεχόμενο 60 και στη θέση μνήμης με διεύθυνση 110 βρίσκεται ο αριθμός 200.

β) Να εκτελέσετε την παραπάνω εντολή φόρτωσης, χρησιμοποιώντας το λογισμικό που βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

<http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/instruction/instr.html>

γ) Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης της εκτέλεσης των εντολών φόρτωσης, το οποίο βρίσκεται στην ιστοσελίδα:

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/ls_type/LS.html



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 11

1^ο Βήμα: Βήμα ανάκλησης εντολής

| Γενικά | Παράδειγμα |
|---|--|
| MAR \leftarrow PC; IR \leftarrow M[MAR]; | MAR \leftarrow 100; IR \leftarrow M[100]; |

Μετά το πρώτο βήμα ο IR περιέχει την εντολή και έχει την παρακάτω μορφή:

| | | | |
|--------|--------|--------|---------|
| 6 bits | 5 bits | 5 bits | 16 bits |
| LB | R2 | R1 | 50 |

2^ο Βήμα: Αποκωδικοποίηση / Ανάκληση καταχωρητών

| Γενικά | Παράδειγμα |
|--|---|
| A \leftarrow Rs1; B \leftarrow Rs2; PC \leftarrow PC + 4 | A \leftarrow 60; B \leftarrow -100; PC \leftarrow 104 |

3^ο Βήμα: Εκτέλεση

| Γενικά | Παράδειγμα |
|---|----------------------|
| MAR \leftarrow A + (IR ₁₆) ¹⁶ ## IR _{16...31} ; | MAR \leftarrow 110 |

| | |
|--|----------------------|
| 4^ο Βήμα: Πρόσβαση στη μνήμη / βήμα ολοκλήρωσης διακλάδωσης | |
| <i>Γενικά</i> | Παράδειγμα |
| $MDR \leftarrow M[MAR]$ | $MDR \leftarrow 200$ |
| 5^ο Βήμα: Βήμα επανεγγραφής | |
| Γενικά | Παράδειγμα |
| $Rd \leftarrow MDR$ | $R1 \leftarrow 200$ |



Βασικά βήματα εκτέλεσης μιας εντολής από τον επεξεργαστή του VAX

Η κατασκευή του υπολογιστή VAX έχει στηριχθεί στον PDP-11. Επομένως, ο τρόπος εκτέλεσης των εντολών στον υπολογιστή VAX, είναι ανάλογος με τον τρόπο που εκτελούνται οι εντολές στον PDP-11. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές στον υπολογιστή VAX.

Για την εκτέλεση μιας εντολής στον υπολογιστή VAX, αν η εντολή αποθηκεύεται σε μια θέση μνήμης, χρειάζεται να γίνουν οι παρακάτω λειτουργίες στην ΚΜΕ:

- Η διεύθυνση της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί, περιέχεται στον απαριθμητή προγράμματος (PC). Το περιεχόμενο αυτής της θέσης είναι η εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί, το οποίο στη συνέχεια ανακαλείται και φορτώνεται στον καταχωρητή εντολών (IR).

$$IR \leftarrow M[PC]$$

- Αύξηση του απαριθμητή προγράμματος κατά 1.

$$PC \leftarrow [PC] + 1$$

- Εκτέλεση της λειτουργίας που προσδιορίζεται από τον κωδικό της εντολής.



Στην περίπτωση που η εντολή καταλαμβάνει περισσότερες από μία θέσεις μνήμης, οι δύο πρώτες λειτουργίες μπορούν να επαναληφθούν όσες φορές χρειάζεται για την ανάκληση ολόκληρης της εντολής. Οι δύο πρώτες λειτουργίες συνήθως αναφέρονται σαν 'φάση ανάκλησης', ενώ η τρίτη λειτουργία αναφέρεται σαν 'φάση εκτέλεσης'.



Οι δύο πρώτες λειτουργίες υλοποιούνται με τα παρακάτω βήματα.

1. Η ανάκληση της εντολής εκτελείται, φορτώνοντας το περιεχόμενο του PC στον MAR και στέλνοντας μια αίτηση για διάβασμα στη μνήμη. Κατά τη διάρκεια αναμονής για απόκριση από τη μνήμη, ο PC αυξάνεται κατά 1, θέτοντας μία από τις εισόδους της ALU (τον καταχωρητή Y) σε 1 και την άλλη είσοδο της ALU (την αρτηρία της ΚΜΕ) στην παρούσα τιμή του PC. Ταυτόχρονα, η μονάδα ελέγχου ελέγχει το σήμα ελέγχου Add.
2. Η τιμή που προκύπτει, μεταφέρεται από τον καταχωρητή Z, στον απαριθμητή προγράμματος.

3. Η λέξη που ανακαλέστηκε από τη μνήμη και βρίσκεται στον MDR, φορτώνεται στον IR (καταχωρητή εντολών).

Τα βήματα για την ανάκληση της εντολής, καθώς και η αποκωδικοποίησή της είναι κοινά για όλους του τύπους των εντολών. Μετά από αυτά τα βήματα, η εκτέλεση των εντολών εξαρτάται από τον τύπο της εντολής. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε την εκτέλεση των εντολών, οι οποίες μπορεί να εκτελούνται μόνες τους ή να αποτελούν τμήματα πιο σύνθετων εντολών. Οι εντολές αυτές είναι:

- ▶ **Ανάκληση λέξης από τη μνήμη.** Ανάκληση του περιεχομένου που βρίσκεται σε δεδομένη θέση μνήμης και φόρτωση αυτού σε καταχωρητή της ΚΜΕ. (Ανάγνωση)
- ▶ **Εγγραφή λέξης στη μνήμη.** Αποθήκευση μιας λέξης δεδομένων από την ΚΜΕ, σε μία δεδομένη θέση μνήμης. (Εγγραφή)
- ▶ **Μεταφορά περιεχομένου από έναν καταχωρητή σε έναν άλλο.** Μεταφορά μιας λέξης δεδομένων από έναν καταχωρητή της ΚΜΕ σε έναν άλλο, ή στην ALU.
- ▶ **Εκτέλεση μιας αριθμητικής ή λογικής εντολής** και αποθήκευση του αποτελέσματος σε έναν καταχωρητή της ΚΜΕ.
- ▶ **Εκτέλεση μιας εντολής μεταπήδησης** ή εντολής διακλάδωσης.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 12

Κατά την εκτέλεση μιας εντολής, με ποιον τρόπο η ΚΜΕ καταλαβαίνει πότε αυτό που διαβάζει από τη μνήμη είναι εντολή ή είναι τα δεδομένα μιας εντολής;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 12

Κατά την ανάκληση μιας εντολής, η ΚΜΕ προσδιορίζει τη θέση μνήμης που βρίσκεται η εντολή ή τα δεδομένα της εντολής. Στην περίπτωση που πρόκειται για εντολή, γίνεται μεταφορά αυτής από τον καταχωρητή εντολών (IR), στον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR). Στην περίπτωση όμως, που πρόκειται για δεδομένα μιας εντολής, τότε σχηματίζεται η διεύθυνση αυτών και στη συνέχεια αυτά μεταφέρονται στον MAR.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως η ανάκληση και η αποκωδικοποίηση των εντολών γίνεται με τον ίδιο τρόπο σε όλα τα είδη των εντολών. Επομένως, θα ασχοληθούμε μόνο με τη φάση της εκτέλεσης των εντολών. Ας δούμε τώρα αναλυτικότερα, τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι παραπάνω εντολές.

Ανάκληση λέξης από τη μνήμη

Για την ανάκληση μιας λέξης από τη μνήμη, η ΚΜΕ πρέπει να προσδιορίσει τη διεύθυνση μνήμης όπου είναι αποθηκευμένη η λέξη και να κάνει αίτηση για Ανάγνωση. Συνεπώς, για την εκτέλεση της εντολής, η ΚΜΕ μεταφέρει τη διεύθυνση της λέξης, στον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR), από όπου μέσω της αρτηρίας μεταφέρεται στην κύρια μνήμη. Εν τω μεταξύ, η ΚΜΕ χρησιμοποιεί τις γραμμές ελέγχου της αρτηρίας μνήμης και ενεργοποιεί τα κατάλληλα σήματα ελέγχου, για να προσδιορίσει τη λειτουργία Ανάγνωσης. Μετά την αίτηση για Ανάγνωση, η ΚΜΕ περιμένει ένα σήμα ελέγχου από τη μνήμη, το οποίο καθορίζει αν η λειτουργία της Ανάγνωσης έχει ολοκληρωθεί. Μόλις αυτό το σήμα ελέγχου πάρει την τιμή 1, σημαίνει πως η λειτουργία Ανάγνωσης έχει ολοκληρωθεί και τα δεδομένα πηγαίνουν στον MDR και μέσω της αρτηρίας, στον καταχωρητή προορισμού.

Σαν παράδειγμα, ας υποθέσουμε πως η διεύθυνση στην οποία πρόκειται να γίνει προσπέλαση, βρίσκεται στον καταχωρητή R1 και πως τα δεδομένα από τη μνήμη πρόκειται να φορτωθούν στον καταχωρητή R2. Η εκτέλεση της εντολής επιτυγχάνεται με την ακόλουθη σειρά βημάτων (τα τρία πρώτα βήματα για την εκτέλεση της εντολής, στα οποία γίνεται η ανάκληση της εντολής και η αύξηση του PC, έχουν ήδη περιγραφεί παραπάνω):

4. $MAR \leftarrow [R1]$
5. Ανάγνωση (ενεργοποίηση των γραμμών ελέγχου της αρτηρίας μνήμης, έτσι ώστε να προσδιοριστεί η λειτουργία Ανάγνωσης)
6. Αναμονή μέχρι να ολοκληρωθεί η Ανάγνωση
7. $R2 \leftarrow [MDR]$



Οι αντίστοιχες εντολές στον υπολογιστή DLX είναι οι εντολές LW, LF, LD, ανάλογα με τον τύπο των δεδομένων.



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 13

- α)Θυμάστε τον τρόπο με τον οποίο εκτελούνται οι εντολές φόρτωσης και αποθήκευσης στον υπολογιστή DLX; Για περισσότερες λεπτομέρειες θα ήταν καλό να ανατρέξετε στο δεύτερο κεφάλαιο: “Αρχιτεκτονικές Συνόλου Εντολών”.
- β)Να χρησιμοποιήσετε το λογισμικό προσομοίωσης της εκτέλεσης των εντολών φόρτωσης και αποθήκευσης του DLX, το οποίο παρατίθεται στην ιστοσελίδα:

http://hermes.di.uoa.gr/DLXSim/ls_type/LS.html

Εγγραφή λέξης στη μνήμη

Η διαδικασία για την εγγραφή μιας λέξης σε μια δεδομένη θέση μνήμης έχει ως εξής. Αφού η διεύθυνση αποθηκευτεί στον καταχωρητή MAR, η λέξη δεδομένων η οποία πρόκειται να εγγραφεί, αποθηκεύεται στον MDR μέσω της αρτηρίας, πριν ή ταυτόχρονα με την ενεργοποίηση των σημάτων ελέγχου Εγγραφής. Αν υποθέσουμε πως η λέξη δεδομένων που πρόκειται να αποθηκευτεί στη μνήμη βρίσκεται στον καταχωρητή R2 και πως η διεύθυνση μνήμης βρίσκεται στον καταχωρητή R1, η λειτουργία Εγγραφής έχει την εξής ακολουθία βημάτων:

4. $MAR \leftarrow [R1]$
5. $MDR \leftarrow [R2]$, Εγγραφή
6. Αναμονή μέχρι να ολοκληρωθεί η Εγγραφή

Μεταφορά περιεχομένου από έναν καταχωρητή σε έναν άλλο

Για τη μεταφορά του περιεχομένου του καταχωρητή R1 στον καταχωρητή R4, γίνεται μεταφορά του περιεχομένου του καταχωρητή R1 στην αρτηρία της ΚΜΕ και μέσω της αρτηρίας, μεταφέρεται το περιεχόμενο αυτό στον καταχωρητή R4. Τα βήματα για την εκτέλεση της παραπάνω εντολής είναι:

4. $[R1] \rightarrow \text{αρτηρία}$,
5. $\text{αρτηρία} \rightarrow R4$



Η εντολή για τη μεταφορά δεδομένων από τον καταχωρητή R1 στον καταχωρητή R4, στον υπολογιστή VAX είναι η MOV R1, R4.

Εκτέλεση μιας αριθμητικής ή λογικής εντολής

1^η περίπτωση : Πρόσθεση του περιεχομένου δύο καταχωρητών

Έστω ότι θέλουμε να εκτελέσουμε μιας εντολή πρόσθεσης του περιεχομένου των καταχωρητών R1 και R2 και να αποθηκεύσουμε το αποτέλεσμα στον καταχωρητή R3.

Για την εκτέλεση μιας πρόσθεσης, το περιεχόμενο των δύο καταχωρητών που πρόκειται να προστεθεί, πρέπει να είναι διαθέσιμο στις δύο εισόδους της ALU ταυτόχρονα. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται ο καταχωρητής Y. Τα βήματα για την εκτέλεση της παραπάνω εντολής είναι:

4. Το περιεχόμενο του καταχωρητή R1 μεταφέρεται στον καταχωρητή Y, από όπου μεταφέρεται στην πρώτη είσοδο (A) της ALU.
5. Το περιεχόμενο του καταχωρητή R2 μεταφέρεται στην αρτηρία και μέσω αυτής, στη δεύτερη είσοδο (B) της ALU. Ενεργοποιείται το σήμα ελέγχου

Add και γίνεται η πρόσθεση των περιεχομένων των δύο εισόδων της ALU (A και B). Το αποτέλεσμα αποθηκεύεται στην έξοδο της ALU, που είναι ο καταχωρητής Z.

6. Το περιεχόμενο του καταχωρητή Z μεταφέρεται μέσω της αρτηρίας στον καταχωρητή προορισμού, R3.

Επομένως, τα βήματα για την εκτέλεση της εντολής είναι:

4. [R1] → Y
5. [R2] → αρτηρία
Ενεργοποίηση του σήματος ελέγχου Add
6. [Z] → αρτηρία
Αρτηρία → R3



Η αντίστοιχη εντολή στον υπολογιστή DLX είναι η ADD R3, R1, R2, ενώ στον υπολογιστή VAX είναι η ADDW3 R1, R2, R3.

➡ 2^η περίπτωση : Πρόσθεση του περιεχομένου ενός καταχωρητή με το περιεχόμενο μιας θέσης μνήμης

Έστω η εντολή “Πρόσθεσε στον καταχωρητή R1 το περιεχόμενο που υπάρχουν στη διεύθυνση μνήμης LOC”. Ας θεωρήσουμε πως η διεύθυνση LOC δίνεται με απόλυτο τρόπο διευθυνσιοδότησης, δηλαδή είναι τμήμα της ίδιας της εντολής. Για την εκτέλεση της εντολής, χρειάζεται να γίνουν τα παρακάτω βήματα:

4. Το πεδίο διεύθυνσης του IR, το οποίο περιέχει τη διεύθυνση LOC, μεταφέρεται στον MAR και ενεργοποιείται το σήμα ελέγχου ανάγνωσης.
5. Το περιεχόμενο του καταχωρητή R1 μεταφέρεται στον καταχωρητή Y.
6. Όταν εκτελεστεί η ανάγνωση, ο τελεστής της μνήμης βρίσκεται στον MDR. Από τον MDR μεταφέρεται στην ALU μέσω της αρτηρίας και ενεργοποιείται το σήμα ελέγχου Add και εκτελείται η πρόσθεση. Το αποτέλεσμα μεταφέρεται στον καταχωρητή Z.
7. Το αποτέλεσμα μεταφέρεται μέσω της αρτηρίας, από τον καταχωρητή Z, στον καταχωρητή R1.

Επομένως, τα βήματα εκτέλεσης της εντολής είναι:

4. Πεδίο διεύθυνσης του IR → MAR, Ανάγνωση
5. [R1] → Y, Αναμονή μέχρι να ολοκληρωθεί η ανάγνωση
6. [MDR] → αρτηρία
Ενεργοποίηση του σήματος ελέγχου Add
7. [Z] → αρτηρία
αρτηρία → R1



ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ 14

Μπορείτε να εξηγήσετε την εκτέλεση της παρακάτω εντολής του υπολογιστή VAX : ADDW3 LOC1, LOC2, R1;



ΑΠΑΝΤΗΣΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑΣ 14

Στην εντολή ADD LOC1, LOC2, R1 γίνεται πρόσθεση των δεδομένων που βρίσκονται στις θέσεις μνήμης LOC1 και LOC2 και το αποτέλεσμα τοποθετείται στον καταχωρητή R1.

Εκτέλεση μιας εντολής μεταπήδησης

Στις εντολές μεταπήδησης γίνεται αντικατάσταση του περιεχομένου του απαριθμητή προγράμματος, από το στόχο διακλάδωσης, ο οποίος είναι η διεύθυνση της εντολής στην οποία γίνεται η διακλάδωση. Για να βρεθεί ο στόχος διακλάδωσης, γίνεται πρόσθεση ενός πεδίου offset X, το οποίο περιέχεται στο πεδίο διευθύνσεων της εντολής διακλάδωσης, με την ενημερωμένη τιμή του απαριθμητή προγράμματος. Τα επιμέρους βήματα για την εκτέλεση της εντολής μεταπήδησης, είναι τα εξής:

4. Το περιεχόμενο του PC μεταφέρεται στον καταχωρητή Y, δηλαδή στην πρώτη είσοδο (A) της ALU.
5. Το offset X (το πεδίο διευθύνσεων του IR), μεταφέρεται στην αρτηρία, δηλαδή στη δεύτερη είσοδο της ALU. Στη συνέχεια εκτελείται η πρόσθεση και το αποτέλεσμα καταχωρείται στον καταχωρητή Z.
6. Το αποτέλεσμα, το οποίο είναι ο στόχος διακλάδωσης, πηγαίνει από την έξοδο του καταχωρητή Z, μέσω της αρτηρίας, στον PC.

Επομένως, τα βήματα εκτέλεσης της εντολής είναι:

4. PC → Y
5. Offset X → αρτηρία
Ενεργοποίηση του σήματος ελέγχου Add
6. [Z] → αρτηρία
αρτηρία → PC



Η εντολή μεταπήδησης στον υπολογιστή VAX είναι η JMP, για όλους τους τρόπους διευθυνσιοδότησης για τον καθορισμό του στόχου διακλάδωσης. Οι

αντίστοιχες εντολές στον υπολογιστή DLX είναι οι J, JR, JALR, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζεται ο στόχος διακλάδωσης.



Είναι σημαντικό να αναφέρουμε πως ο PC αυξάνεται κατά τη φάση ανάκλησης της εντολής, πριν ακόμα προσδιοριστεί ο τύπος της εντολής. Έτσι, όταν το offset X προστίθεται στο περιεχόμενο του PC (βήματα 4 και 5), το περιεχόμενο του PC έχει ενημερωθεί έτσι ώστε να δείχνει την εντολή που ακολουθεί μετά την εντολή διακλάδωσης στο πρόγραμμα. Επομένως, η διαφορά ανάμεσα στο στόχο διακλάδωσης και τη διεύθυνση που βρίσκεται αμέσως μετά την εντολή διακλάδωσης, είναι το offset X. Αν για παράδειγμα, ο στόχος διακλάδωσης βρίσκεται στη θέση 1000 και λόγω της εντολής διακλάδωσης πρέπει να πάει στη θέση 1050, η τιμή του X είναι το 49.



Ας θεωρήσουμε τώρα την περίπτωση της εντολής διακλάδωσης με συνθήκη. Η μόνη διαφορά με τις εντολές μεταπήδησης, είναι ότι στην εκτέλεση της εντολής, χρειάζεται να εξεταστεί η κατάσταση των κωδικών κατάστασης (condition codes), πριν φορτωθεί η νέα τιμή στον απαριθμητή προγράμματος. Για παράδειγμα, εάν κατά τη διάρκεια αποκωδικοποίησης της εντολής, το περιεχόμενο του IR δείξει ότι η εντολή είναι εντολή αρνητικής διακλάδωσης (Branch on Negative - BRN), το βήμα 4 αντικαθίσταται από:

4. Το περιεχόμενο του PC μεταφέρεται στον καταχωρητή Y και γίνεται η πρώτη είσοδος (A) της ALU, στην περίπτωση που χρειάζεται να υπολογιστεί ο στόχος διακλάδωσης. Εν τω μεταξύ, γίνεται έλεγχος στο ψηφίο του κωδικού κατάστασης που προσδιορίζει αν ο αριθμός είναι αρνητικός (N bit). Εάν αυτό είναι ίσο με 0, τότε ολοκληρώνεται η εκτέλεση της εντολής. Εάν όμως είναι 1, εκτελούνται τα βήματα 4 και 5 έτσι ώστε να ολοκληρωθεί η λειτουργία της διακλάδωσης.

Ανακεφαλαιώνοντας λοιπόν ...



Τα βασικά τμήματα ενός σύγχρονου υπολογιστή είναι: η Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ), η μνήμη και οι μονάδες εισόδου / εξόδου. Αυτές είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους, όμως είναι πολύ σημαντική η διασύνδεση και ο χρονισμός αυτών, προκειμένου να λειτουργήσει σωστά το όλο σύστημα.



Η δίοδος δεδομένων του επεξεργαστή του DLX χρησιμοποιεί τρεις εσωτερικές αρτηρίες και αποτελείται από την ALU, το αρχείο καταχωρητών γενικής χρήσης και από τους παρακάτω καταχωρητές ειδικής χρήσης: τον απαριθμητή προγράμματος (PC), τον καταχωρητή διευθύνσεων διακοπών (IAR), τον καταχωρητή διευθύνσεων μνήμης (MAR), τον καταχωρητή δεδομένων (MDR) και τον καταχωρητή κατάστασης του προγράμματος. Η δίοδος δεδομένων συνιστά τον κύριο λόγο καθυστέρησης σε έναν επεξεργαστή.



Στη δίοδο δεδομένων του επεξεργαστή του VAX, η ALU, όλοι οι καταχωρητές (PC, MAR, MDR), καθώς και το αρχείο καταχωρητών, είναι συνδεδεμένα μέσω μίας αρτηρίας.



Η εκτέλεση μίας οποιασδήποτε εντολής από τον επεξεργαστή του υπολογιστή DLX είναι μία πολύπλοκη εργασία, η οποία χωρίζεται σε 5 βασικά βήματα: 1) Ανάκληση εντολής, 2) Αποκωδικοποίηση εντολής/Ανάκληση καταχωρητών, 3) Εκτέλεση, 4) Πρόσβαση στη μνήμη / βήμα ολοκλήρωσης διακλάδωσης και 5) Επανεγγραφή.



Στον υπολογιστή VAX, τα βήματα για την ανάκληση της εντολής, καθώς και την αποκωδικοποίησή της είναι κοινά για όλους τους τύπους εντολών. Μετά από αυτά τα βήματα, η εκτέλεση των εντολών εξαρτάται από τον τύπο της εντολής.