

Μάθημα 4: Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

4.1 Γενικά

Ο υπολογιστής επεξεργάζεται δεδομένα ακολουθώντας βήμα – βήμα, τις εντολές ενός προγράμματος. Το τμήμα του υπολογιστή, που εκτελεί τις εντολές και συντονίζει όλες τις λειτουργίες, είναι η **κεντρική μονάδα επεξεργασίας (ΚΜΕ)**.

Η ΚΜΕ είναι ένα πολύπλοκο κύκλωμα, σχεδιασμένο να διαβάζει εντολές από τη μνήμη και να τις εκτελεί. Σήμερα οι περισσότερες ΚΜΕ κατασκευάζονται στη μορφή ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (τσιπ). Στο ολοκληρωμένο κύκλωμα, που περιέχει την ΚΜΕ, ενσωματώνονται συχνά και άλλα βοηθητικά κυκλώματα. Το ολοκληρωμένο αυτό κύκλωμα έχει επικρατήσει να το ονομάζουμε **επεξεργαστή (processor)** ή και **μικροεπεξεργαστή (microprocessor)**.

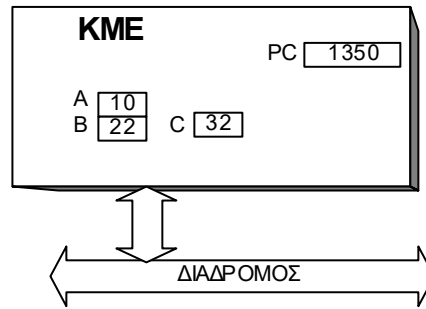
Μόλις τροφοδοτήσουμε την ΚΜΕ με τάση, αυτή θα ξεκινήσει την εκτέλεση του προγράμματος από μια συγκεκριμένη διεύθυνση στη μνήμη, που θεωρείται η αρχή του προγράμματος. Η ΚΜΕ θα διαβάσει την πρώτη εντολή από την μνήμη και στη συνέχεια θα την εκτελέσει. Όμοια θα συνεχίσει με την δεύτερη εντολή, την τρίτη κ.ο.κ.

Η ΚΜΕ χωρίζεται, σε διαφορετικά τμήματα. Κάθε τμήμα είναι υπεύθυνο για μια σειρά λειτουργιών. Τα τμήματα αυτά είναι:

- Μονάδα διαδρόμου (Bus unit)
- Μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών (Instruction unit)
- Μονάδα εκτέλεσης (Execution unit):
 - Καταχωρητές (Registers)
 - Αριθμητική και Λογική Μονάδα (Arithmetic and Logic Unit – ALU)
 - Μονάδα ελέγχου (Control unit)

4.2 Καταχωρητές

Τα δεδομένα που διαβάζει η ΚΜΕ τα αποθηκεύει στους **καταχωρητές (registers)**. Οι καταχωρητές είναι **θέσεις μνήμης** μέσα στην ΚΜΕ, που χρησιμοποιούνται για την προσωρινή αποθήκευση και την επεξεργασία των δεδομένων. Κάθε καταχωρητής έχει ένα συγκεκριμένο όνομα που τον χαρακτηρίζει.



Σχήμα 4.1: Καταχωρητές ενός επεξεργαστή

Στο σχήμα 4.1 βλέπουμε μια ΚΜΕ με τέσσερις καταχωρητές. Τα ονόματα των καταχωρητών αυτών είναι A, B, C και PC αντίστοιχα. Στο σχήμα βλέπουμε επίσης και το περιεχόμενο του κάθε καταχωρητή. Κάθε φορά που θέλουμε να εκτελέσουμε κάποια αριθμητική ή λογική πράξη μεταξύ δύο αριθμών, θα πρέπει πρώτα να μεταφερθεί κάθε ένας από τους δύο αριθμούς σε ένα καταχωρητή της ΚΜΕ. Ο λόγος που πρέπει να γίνει η μεταφορά αυτή είναι ότι η ΚΜΕ μπορεί να κάνει αριθμητικές ή λογικές πράξεις **μόνο** μεταξύ των δεδομένων που περιέχουν οι καταχωρητές της. Τα δεδομένα που επεξεργάζεται η ΚΜΕ θα πρέπει να αποθηκεύονται μέσα σε κάποιο καταχωρητή της έστω και προσωρινά.

Οι καταχωρητές διακρίνονται σε:

- **καταχωρητές γενικού σκοπού** (general purpose registers - GPR)
- **καταχωρητές ειδικού σκοπού** (special purpose registers - SPR)

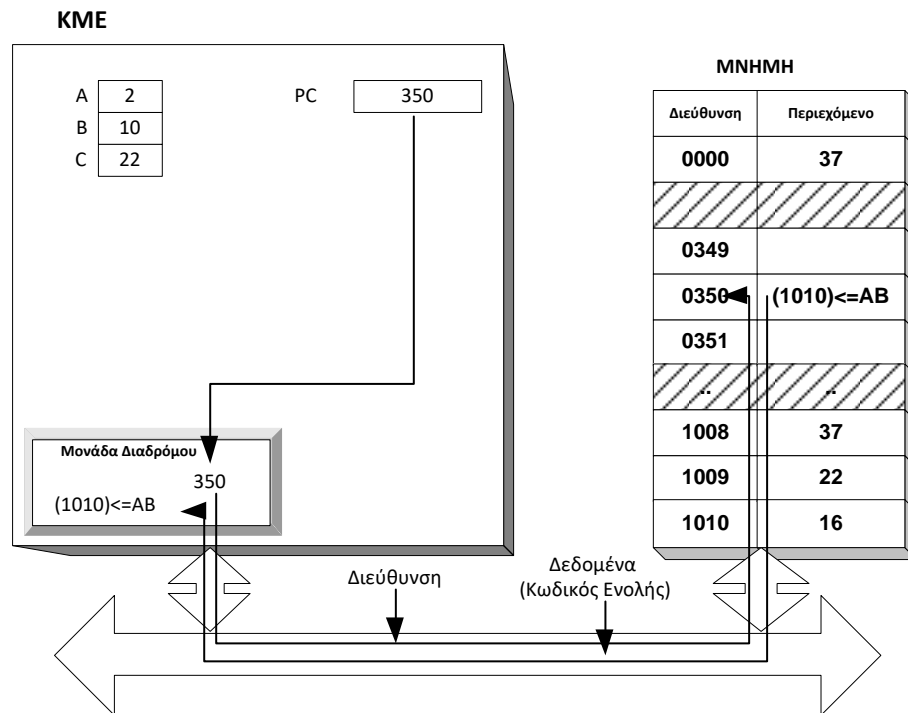
Οι καταχωρητές γενικού σκοπού χρησιμοποιούνται μόνο για την αποθήκευση και επεξεργασία των δεδομένων της ΚΜΕ (π.χ. καταχωρητές A, B στο σχήμα). Οι καταχωρητές ειδικού σκοπού, εκτός από αποθηκευτικοί χώροι, είναι συνυφασμένοι με μια λειτουργία της ΚΜΕ (π.χ. PC ή Program Counter – δείχνει την επόμενη προς εκτέλεση εντολή).

4.3 Μονάδα διαδρόμου

Ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να πραγματοποιήσουμε μία πράξη στην Κ.Μ.Ε. του σχήματος 4.1, έναν πολλαπλασιασμό. Όπως κάθε εντολή, έτσι και η εντολή του πολλαπλασιασμού πρέπει πρώτα να ανακληθεί (fetch) από τη μνήμη. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας θα πρέπει να διαβάσει από τη μνήμη το περιεχόμενο της διεύθυνσης 350, όπου βρίσκεται η εντολή του πολλαπλασιασμού.

Για το λόγο αυτό, η ΚΜΕ πρέπει να διαθέτει μια μονάδα, για να επικοινωνεί με τη μνήμη μέσω του διαδρόμου. Η μονάδα αυτή εμφανίζει με μορφή κατάλληλων ηλεκτρικών σημάτων, την διεύθυνση 350, που είναι αποθηκευμένη η εντολή του πολλαπλασιασμού και στη συνέχεια διαβάζει από το διάδρομο το περιεχόμενο της διεύθυνσης αυτής.

Η μονάδα αυτή ονομάζεται **μονάδα διαδρόμου**. Η μονάδα διαδρόμου παράγει όλα τα απαραίτητα ηλεκτρικά σήματα ώστε η ΚΜΕ να επικοινωνεί μέσω του διαδρόμου, με τη μνήμη ή τις περιφερειακές μονάδες.



Σχήμα 4.2: Μονάδα διαδρόμου

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 4.2, για να διαβάσει η μονάδα του διαδρόμου την επόμενη εντολή του προγράμματος από τη μνήμη, θα πρέπει πρώτα να γνωρίζει τη διεύθυνση της εντολής αυτής. Η διεύθυνση αυτή βρίσκεται στον μετρητή προγράμματος (PC). Αφού διαβάσει το περιεχόμενο του μετρητή προγράμματος, η μονάδα διαδρόμου εμφανίζει σε δυαδική παράσταση, με κατάλληλα σήματα, την διεύθυνση 350 πάνω στο διάδρομο. Η μνήμη απαντά με το περιεχόμενο της διεύθυνσης αυτής, που είναι η εντολή $(1010) \leftarrow A \cdot B$.

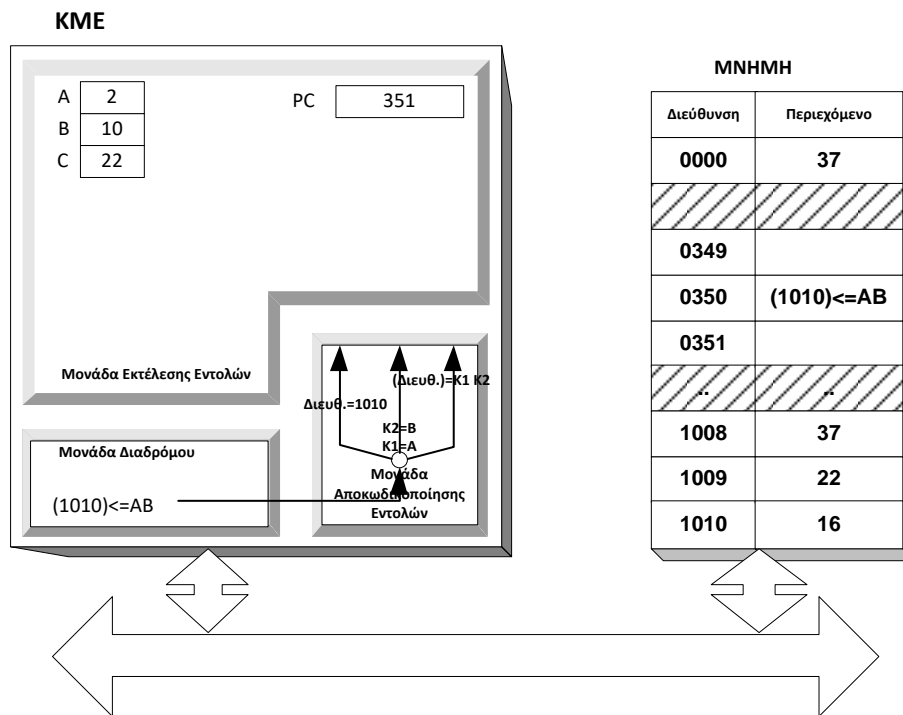
Όπως κάθε δεδομένο σε έναν υπολογιστή έτσι και κάθε εντολή παριστάνεται από ένα κατάλληλο δυαδικό κώδικα. Έτσι κάθε εντολή αντιστοιχεί σε ένα δυαδικό αριθμό, τον οποίο ονομάζουμε κωδικό ή κώδικα της εντολής. Η εντολή που είναι αποθηκευμένη στη μνήμη και που τη διαβάζουμε στη φάση ανάκλησης είναι ο αριθμός αυτός. Για παράδειγμα, όταν είμαστε στην φάση ανάκλησης της εντολής του πολλαπλασιασμού από τη μνήμη, μεταφέρεται μέσω του διαδρόμου ο κωδικός της εντολής αυτής από τη διεύθυνση 350 στην ΚΜΕ.

Παράλληλα η ΚΜΕ αυξάνει την τιμή του μετρητή προγράμματος PC, ώστε αυτός να δείχνει την επόμενη προς εκτέλεση εντολή που βρίσκεται στη θέση 351.

4.4 Μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών

Στη φάση της ανάκλησης ο κώδικας της εντολής οδηγείται από την μονάδα διαδρόμου στην **μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών**.

Η μονάδα αυτή αναγνωρίζει ότι πρόκειται για εντολή πολλαπλασιασμού. Η εντολή $(1010) \leftarrow A \cdot B$ περιέχει επιπλέον πληροφορίες για το ποιοι καταχωρητές θα πάρουν μέρος στον πολλαπλασιασμό καθώς και για το πού θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα. Οι επιπλέον αυτές πληροφορίες ονομάζονται ορίσματα της εντολής. Η μονάδα αποκωδικοποίησης διαχωρίζει τις πληροφορίες που περιέχονται στην εντολή, δηλαδή το είδος της εντολής (πολλαπλασιασμός δύο καταχωρητών και αποθήκευση του αποτελέσματος στη μνήμη), και τα ορίσματα δηλαδή τους καταχωρητές που παίρνουν μέρος στον πολλαπλασιασμό (A, B) αλλά και το πού θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα, και με κατάλληλα σήματα πληροφορεί την μονάδα εκτέλεσης για την εντολή που πρέπει να εκτελεσθεί.



Σχήμα 4.3: Μονάδα αποκωδικοποίησης εντολών

Στο σχήμα βλέπουμε ότι η μονάδα αποκωδικοποίησης των εντολών χωρίζει την εντολή στις επιμέρους πληροφορίες που περιέχει η εντολή που ανακλήθηκε από τη μνήμη. Οι πληροφορίες αυτές είναι:

1. **Ποια πράξη θα εκτελεστεί.** Εδώ έχουμε την αριθμητική πράξη του πολλαπλασιασμού μεταξύ δύο καταχωρητών και της αποθήκευσης του αποτελέσματος σε κάποια διεύθυνση της μνήμης. $((\text{Διευθ.}) \leftarrow \text{Κατ1} \cdot \text{Κατ2})$
2. **Ποιοι καταχωρητές συμμετέχουν:** Εδώ έχουμε τους καταχωρητές A, B (Κατ1=A, Κατ2=B).

3. **Πού θα πάει το αποτέλεσμα:** Εδώ δίνεται η διεύθυνση της θέσης μνήμης όπου θα αποθηκευτεί το αποτέλεσμα. Η διεύθυνση είναι η 101016. (Διευθ.=1010)

4.5 Μονάδα εκτέλεσης εντολών

Η μονάδα εκτέλεσης εντολών αποτελείται από τρεις υπομονάδες:

- 1) τους καταχωρητές
- 2) την αριθμητική και λογική μονάδα και
- 3) την μονάδα ελέγχου

Οι **καταχωρητές** αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Η **αριθμητική και λογική μονάδα** είναι το σύνολο των κυκλωμάτων της ΚΜΕ που εκτελούν αριθμητικές και λογικές πράξεις μεταξύ των καταχωρητών της ΚΜΕ.

Ανάλογα με τον τύπο της ΚΜΕ, η αριθμητική και λογική μονάδα (ALU) μπορεί να εκτελεί **πράξεις** πρόσθεσης, αφαίρεσης, πολλαπλασιασμού και διαίρεσης ακεραίων αριθμών καθώς και τις λογικές πράξεις Η (OR), ΚΑΙ (AND), ΟΧΙ (NOT).

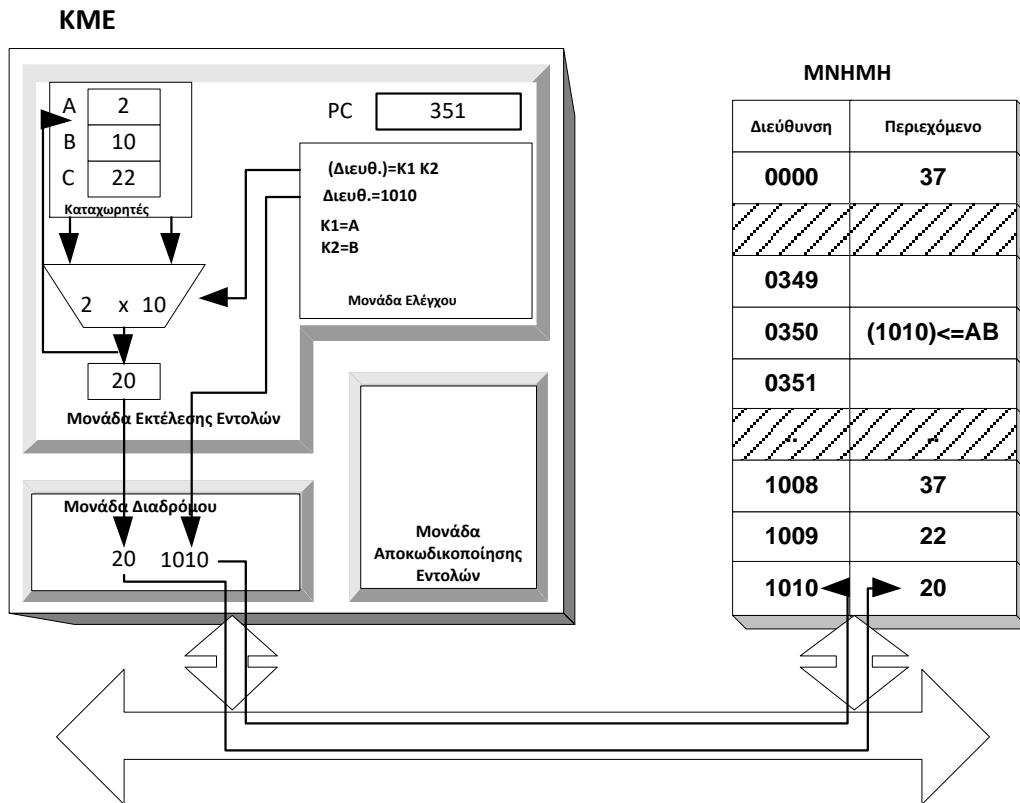
Η αριθμητική και λογική μονάδα περιέχει ειδικές θέσεις μνήμης, στις οποίες κρατά πληροφορίες για το αποτέλεσμα των πράξεων που εκτελεί, όπως για παράδειγμα εάν το αποτέλεσμα της πράξης είναι μεγαλύτερο (θετικό) ή μικρότερο (αρνητικό) από το μηδέν. Οι θέσεις αυτές ονομάζονται **σημαίες** (flags). Κάθε φορά που εκτελείται μια αριθμητική ή λογική πράξη οι πληροφορίες για το αποτέλεσμα των πράξεων αποθηκεύονται στις αντίστοιχες σημαίες και τότε λέμε ότι οι σημαίες ενημερώθηκαν.

Ο έλεγχος της λειτουργίας της αριθμητικής και λογικής μονάδας γίνεται από την **μονάδα ελέγχου**. Η μονάδα ελέγχου παραλαμβάνει τις επιμέρους πληροφορίες της εντολής από τη μονάδα αποκωδικοποίησης και ακολουθεί μια σειρά βημάτων για την εκτέλεση της.

Π.χ., για τον πολλαπλασιασμό των καταχωρητών A και B:

- Αρχικά η μονάδα ελέγχου θα επιλέξει τους δύο καταχωρητές, A και B, που σύμφωνα με την εντολή θα πρέπει να οδηγηθούν στην είσοδο της αριθμητικής και λογικής μονάδας.
- Θα ενεργοποιήσει την πράξη του πολλαπλασιασμού.
- Τέλος θα αποθηκεύσει το αποτέλεσμα σε κάποιο προσωρινό καταχωρητή. Στη συνέχεια θα το δώσει στη μονάδα διαδρόμου να το γράψει στη θέση μνήμης 1010.

Η μονάδα διαδρόμου γράφει το αποτέλεσμα στη μνήμη και έτσι ολοκληρώνεται η εκτέλεση της εντολής. Στη συνέχεια η ΚΜΕ προχωράει στην εκτέλεση της επόμενης εντολής με την ίδια πάλι διαδικασία (ανάκληση της εντολής από τη θέση 351 και εκτέλεση της).



Σχήμα 4.4: Μονάδα εκτέλεσης εντολών (καταχωρητές, αριθμητική και λογική μονάδα, μονάδα ελέγχου)

4.6 Ασκήσεις

1. Συμπλήρωσε τα κενά με τις λέξεις που λείπουν:

1. Οι είναι οι εσωτερικές αποθηκευτικές μονάδες της ΚΜΕ.
2. Ο μετρητής προγράμματος είναι ένας καταχωρητής σκοπού.
3. Η ΚΜΕ επικοινωνεί με τη μνήμη και τις περιφερειακές μονάδες μέσω του διαδρόμου. Η μονάδα υπεύθυνη της ΚΜΕ για αυτή την επικοινωνία ονομάζεται
4. Κάθε εντολή αφού διαβαστεί από τη μνήμη στη φάση της εντολής, οδηγείται στη μονάδα των εντολών.
5. Η μονάδα αποκωδικοποίησης της εντολής χωρίζει τα διάφορα της εντολής και τα δίνει στη μονάδα των εντολών.
6. Η μονάδα εκτέλεσης των εντολών αποτελείται από τους, τη και μονάδα και τη μονάδα
7. Οι και πράξεις γίνονται στην Αριθμητική και Λογική Μονάδα. Μετά από κάθε τέτοια πράξη οι ενημερώνονται και μας δίνουν πληροφορίες για το αποτέλεσμα της πράξης.

2. Ταιριάξτε τις λέξεις της δεξιάς στήλης με τις λέξεις της αριστερής στήλης:

Αριθμητική και Λογική Μονάδα

Επικοινωνία με το διάδρομο

Μονάδα Ελέγχου

Καταχωρητές

Μονάδα Διαδρόμου

Μονάδα Εκτέλεσης

Εκτέλεση των Εντολών

Πράξεις

Αποθηκευτικές μονάδες

Βήματα εκτέλεσης της εντολής