

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής  
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών  
2019-20

# Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

(Σχεδιασμός και λειτουργία μιας απλής ΚΜΕ)

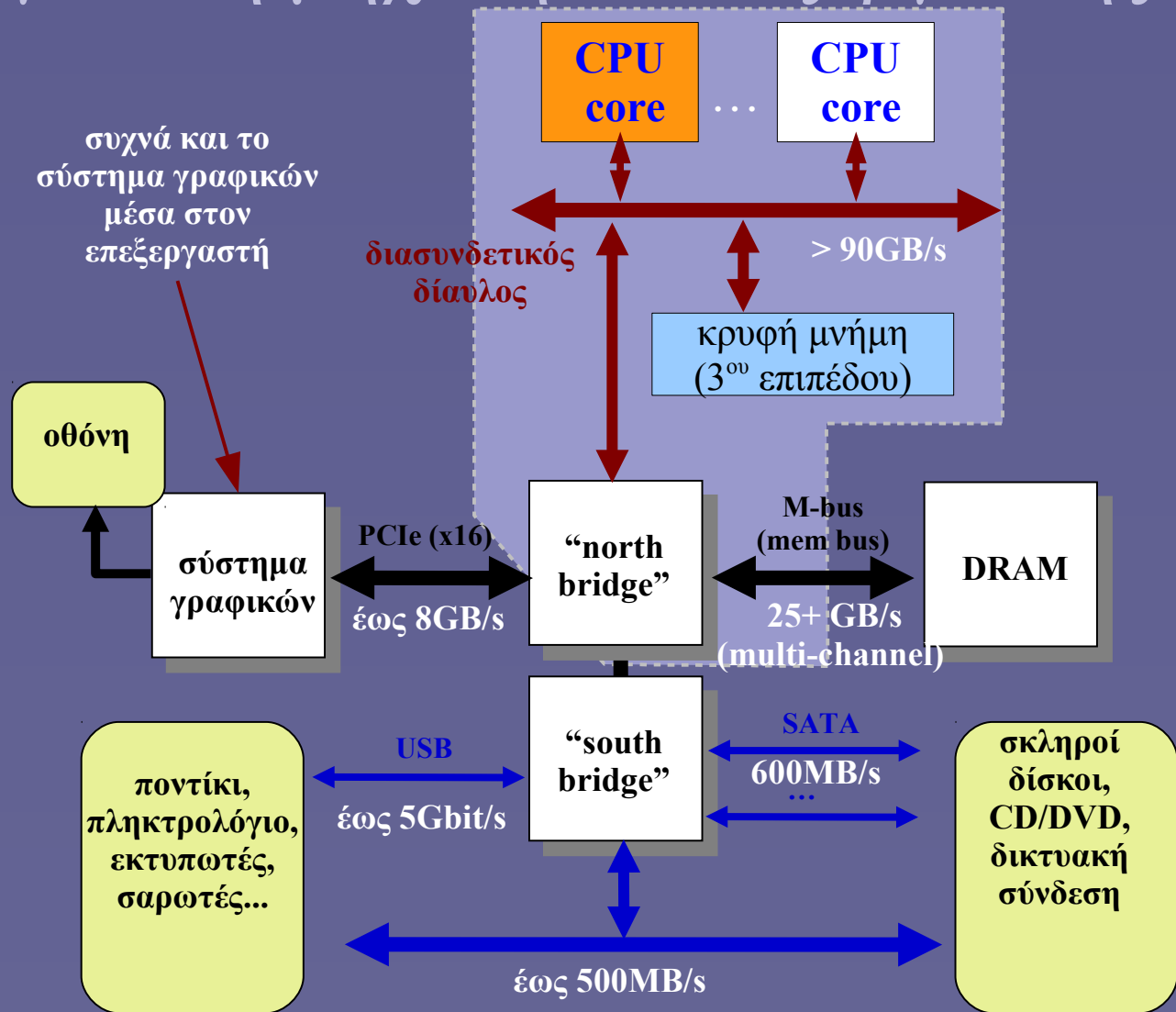
<http://mixstef.github.io/courses/comparch/>

Μ.Στεφανιδάκης



# Η υπολογιστική μηχανή: ο επεξεργαστής

- Ο επεξεργαστής



οι ρυθμοί μεταφοράς που δίνονται είναι οι θεωρητικά μέγιστοι!

# Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ

- (Μικρο)επεξεργαστής
  - Ψηφιακό σύστημα που εκτελεί υπολογισμούς σε πολλαπλά βήματα
- Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
  - Παλαιότερα: συνώνυμο του “επεξεργαστή”
  - Στην ίδια συσκευασία (chip) σήμερα:
    - Κρυφή Μνήμη (1<sup>ο</sup>, 2<sup>ο</sup> ή και 3<sup>ο</sup> επιπέδου)
    - Ελεγκτές Ε/Ε (ένα μέρος αυτών)
    - Σύστημα Γραφικών (προαιρετικά)

# Σχεδιασμός μιας απλής ΚΜΕ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ



Όλες οι σύγχρονες ΚΜΕ είναι πολυπλοκότερες!

- Παραδοχές

- Μοντέλο load-store (τύπου RISC)

- Εντολές σταθερού μήκους

- Βασικές κατηγορίες εντολών

- Αριθμητικές-λογικές πράξεις
    - Ανάγνωση-εγγραφή από/στη μνήμη
    - Εντολές διακλάδωσης

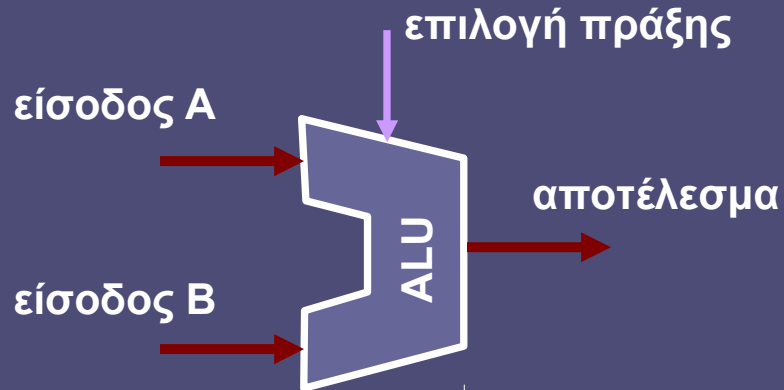
- N καταχωρητές γενικού σκοπού

- Απλουστευμένο μοντέλο μνήμης

- Ως «κουτί» που δέχεται διεύθυνση και επιστρέφει δεδομένα και εντολές
    - Αντιπροσωπεύει στην πραγματικότητα μια ιεραρχία μνήμης

# Εκτέλεση πράξεων: ΑΛΜ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ



- Αριθμητική-Λογική Μονάδα (ΑΛΜ)
  - Arithmetic-Logic Unit (ALU)
    - Εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων
    - Εκτέλεση συγκρίσεων (για διακλάδωση υπό συνθήκη)
    - Υπολογισμός διευθύνσεων (για προσπέλαση μνήμης)

i

~~M~~

... M

# Εντολές για αριθμητικές – λογικές πράξεις

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ

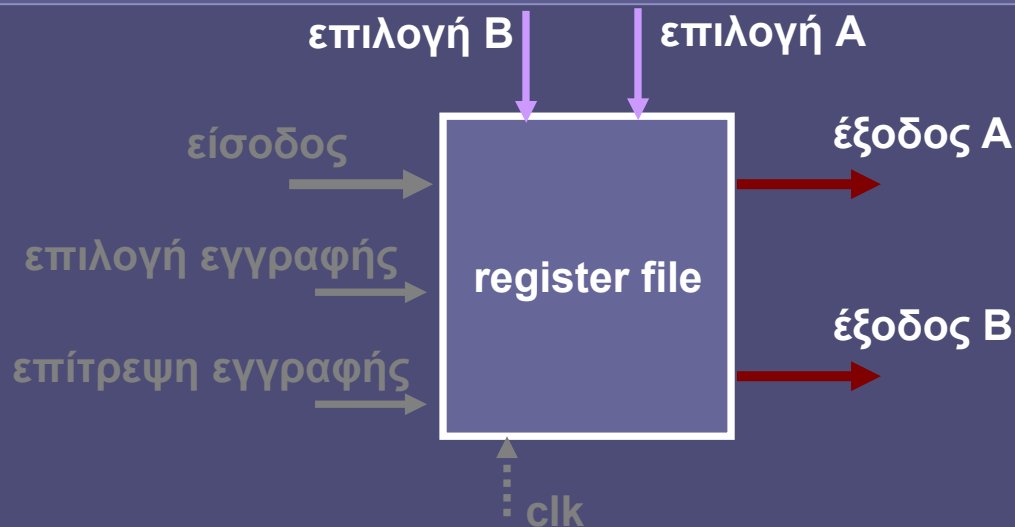


**$R3 \leftarrow R1 \text{ op } R2$**

- Σε κάθε εκτέλεση εντολής
  - Ανάγνωση από 2 καταχωρητές
  - Εγγραφή σε 1 καταχωρητή
- Ίδια ροή δεδομένων
  - διαφορετική επιλεγόμενη πράξη

# Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές

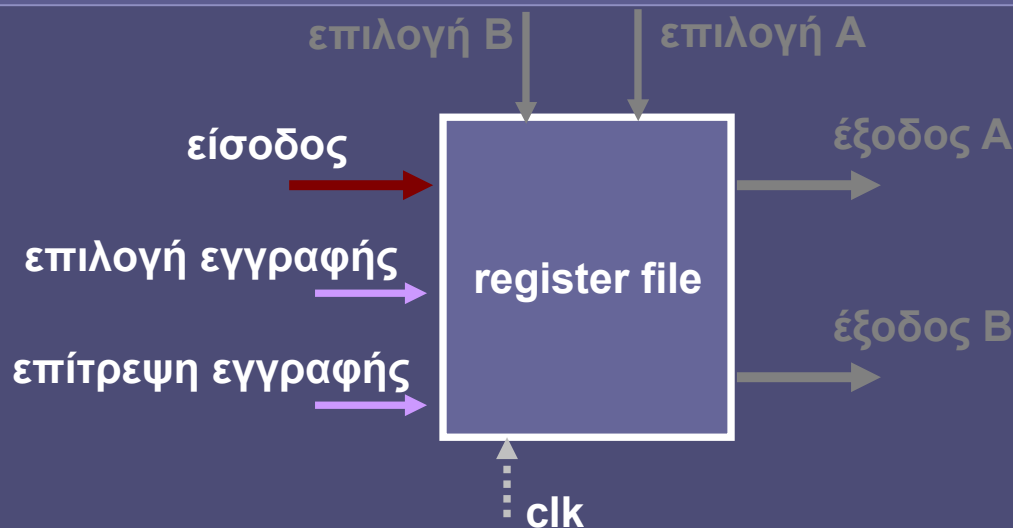


Τα σήματα στο σχήμα αυτό (και στα επόμενα) αποτελούνται από πολλά bits το καθένα!

- Ανάγνωση: **Επιλογή Α** και **Επιλογή Β**
  - Ποιων καταχωρητών το περιεχόμενο θα εμφανιστεί στην αντίστοιχη έξοδο

# Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές

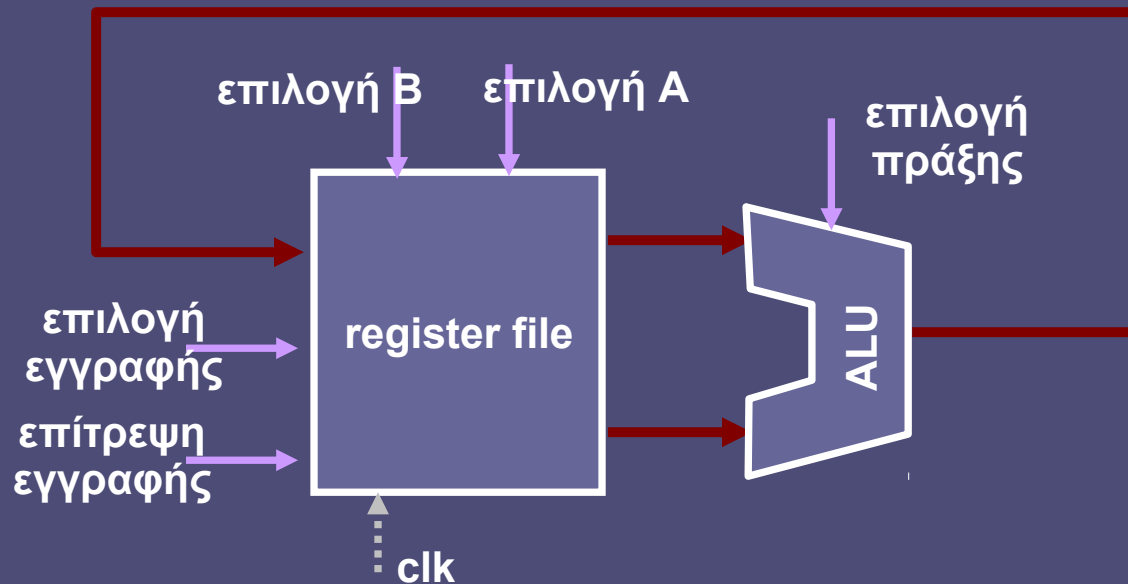


- Εγγραφή: στη θετική ακμή του clk
  - Στον καταχωρητή που ορίζει η **επίλογη εγγραφής**, εάν το επιτρέπει η **επίτρεψη εγγραφής**



# Ένα απλό μονοπάτι δεδομένων (datapath)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath



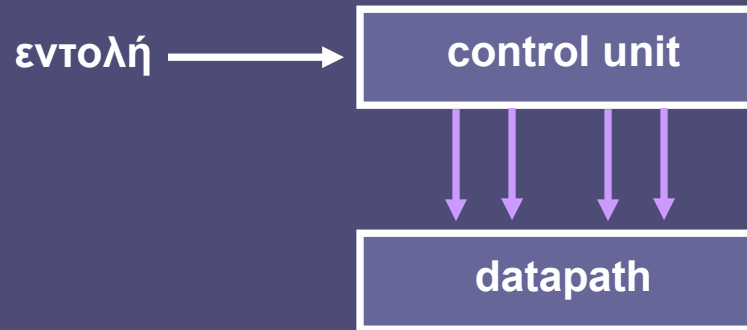
- Εκτέλεση μιας εντολής ανά κύκλο ρολογιού
- **Ανάγνωση και εγγραφή στον ίδιο κύκλο;**
  - Ναι, η ανάγνωση θα δώσει το αποτέλεσμα της εγγραφής του προηγούμενου κύκλου
  - Ενώ η εγγραφή θα είναι διαθέσιμη για ανάγνωση στον επόμενο κύκλο

;

Ποιος οδηγεί τα  
σήματα ελέγχου;

# Η μονάδα ελέγχου (control unit)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου



- Αποκωδικοποίηση bits της εντολής
  - Επιλογή καταχωρητών προέλευσης δεδομένων
  - Επιλογή καταχωρητή αποθήκευσης αποτελέσματος
  - Επιλογή λειτουργίας ΑΛΜ
  - Το δυσκολότερο στη σχεδίαση τμήμα της ΚΜΕ

;

Από πού  
προέρχονται οι  
εντολές;

# Η «μνήμη εντολών»

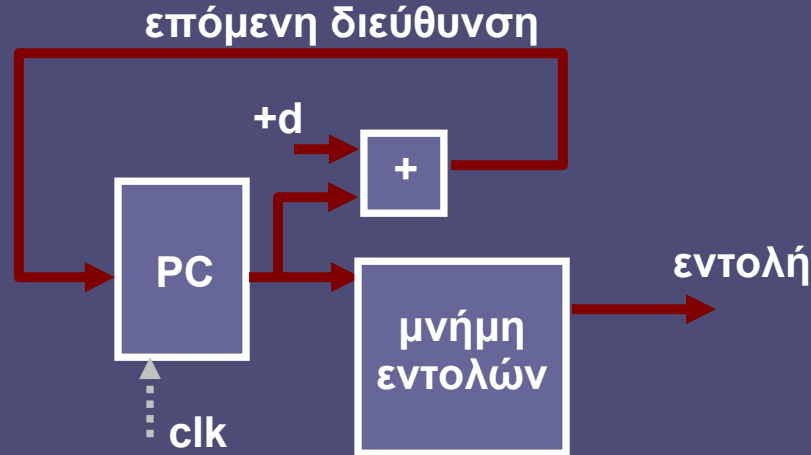
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- Μια χρήσιμη αφαίρεση
  - Στην πραγματικότητα
    - Αντιπροσωπεύει μια ιεραρχία μνήμης
    - Από την κρυφή μνήμη 1<sup>ου</sup> επιπέδου μέχρι την κύρια μνήμη
    - Πιθανόν να μην είναι δυνατή η ανάκτηση εντολής σε κάθε έναν κύκλο ρολογιού

# Η διεύθυνση της επόμενης εντολής

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- **Program Counter (PC)**
  - Περιέχει τη διεύθυνση στη μνήμη της επόμενης εντολής
    - Αυξάνεται κατά την εκτέλεση κάθε εντολής
    - Επόμενη διεύθυνση = τρέχουσα + d

# Ο κύκλος μηχανής

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές

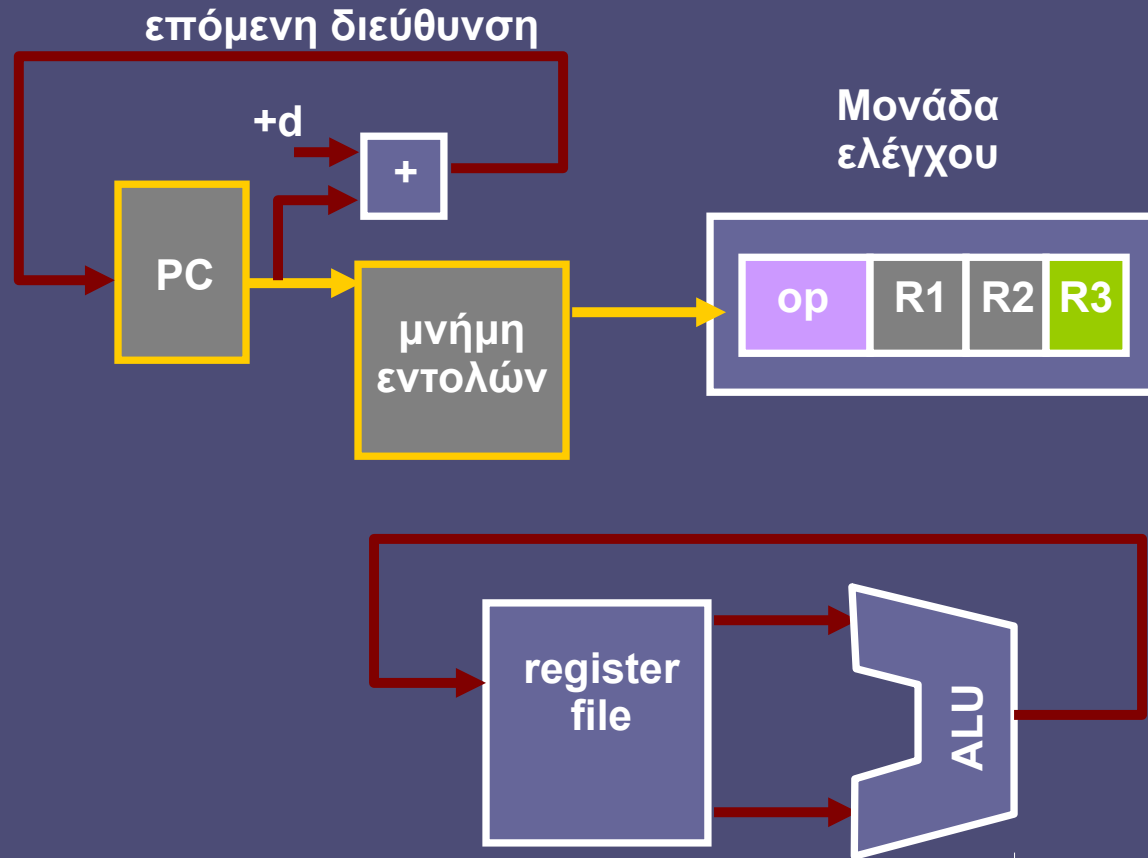


Ποια στάδια χρησιμοποιούν οι εντολές για αριθμητικές και λογικές πράξεις;

- **Στάδια εκτέλεσης εντολής**
  - Instruction Fetch (IF)
    - Ανάκτηση εντολής προς εκτέλεση
  - Instruction Decode (ID)
    - Επιλογή δεδομένων και λειτουργιών ανάλογα με εντολή
  - Execute (EX)
    - Εκτέλεση υπολογισμού στην ΑΛΜ
  - Data Memory Access (DM)
    - Προσπέλαση μνήμης δεδομένων
  - Write Back (WB)
    - Αποθήκευση αποτελεσμάτων σε καταχωρητή

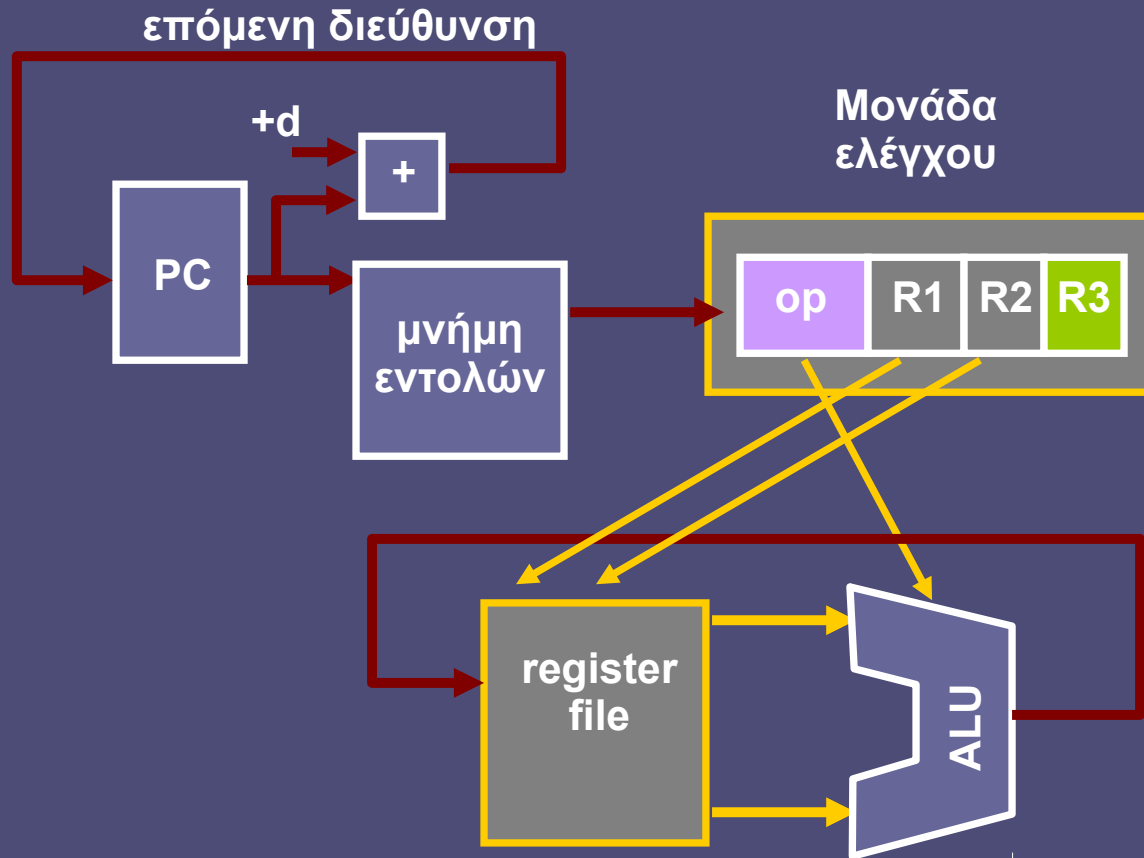
# Instruction Fetch (IF)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



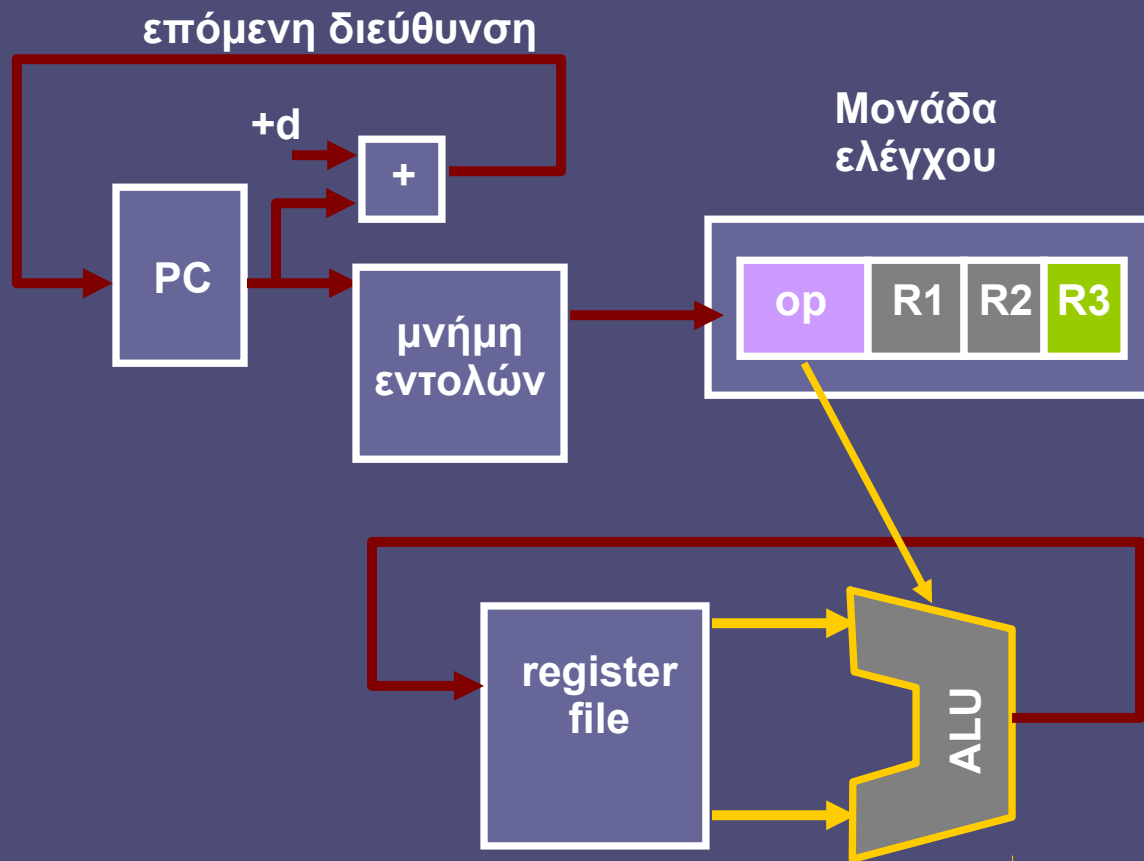
# Instruction Decode (ID)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



# Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



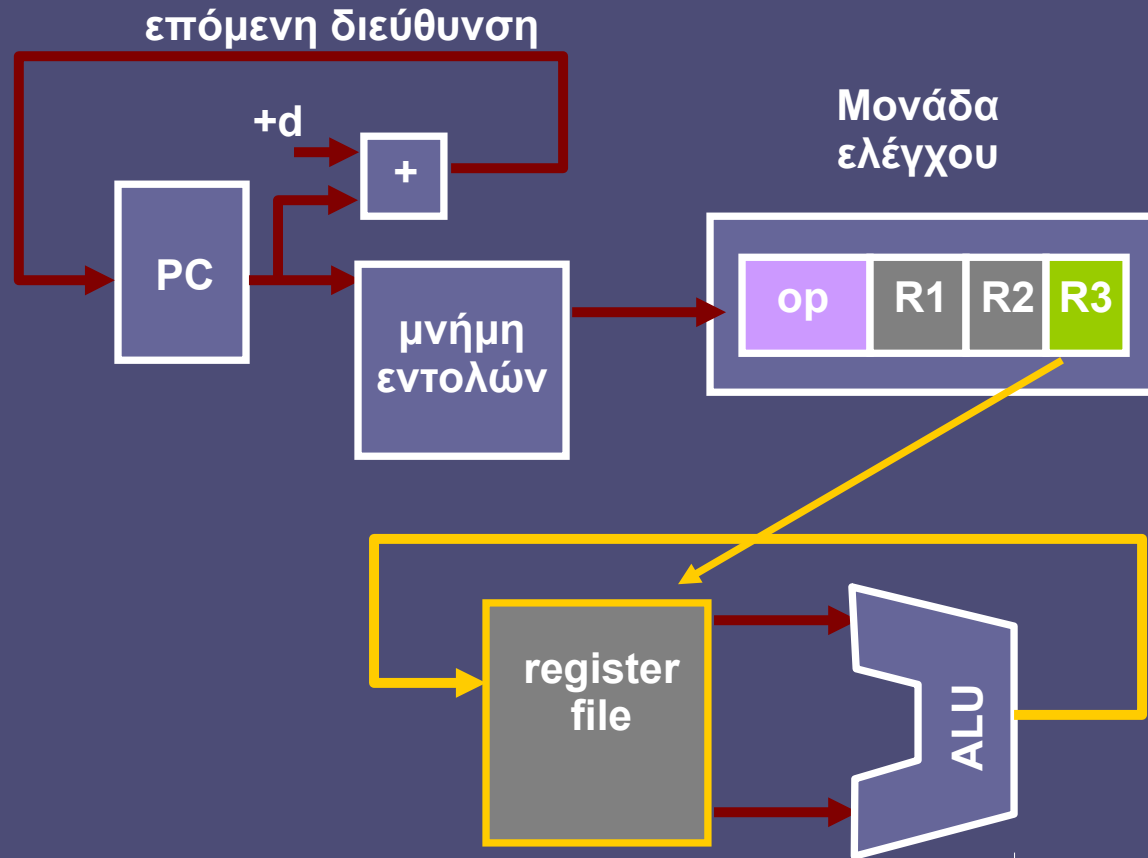


# Write Back (WB)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές

;

Τι πρέπει να  
αλλάξει για την  
χρήση μιας  
σταθεράς στις  
πράξεις;



# Εντολές διακλάδωσης (branch ή jump)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις

- Παράδειγμα

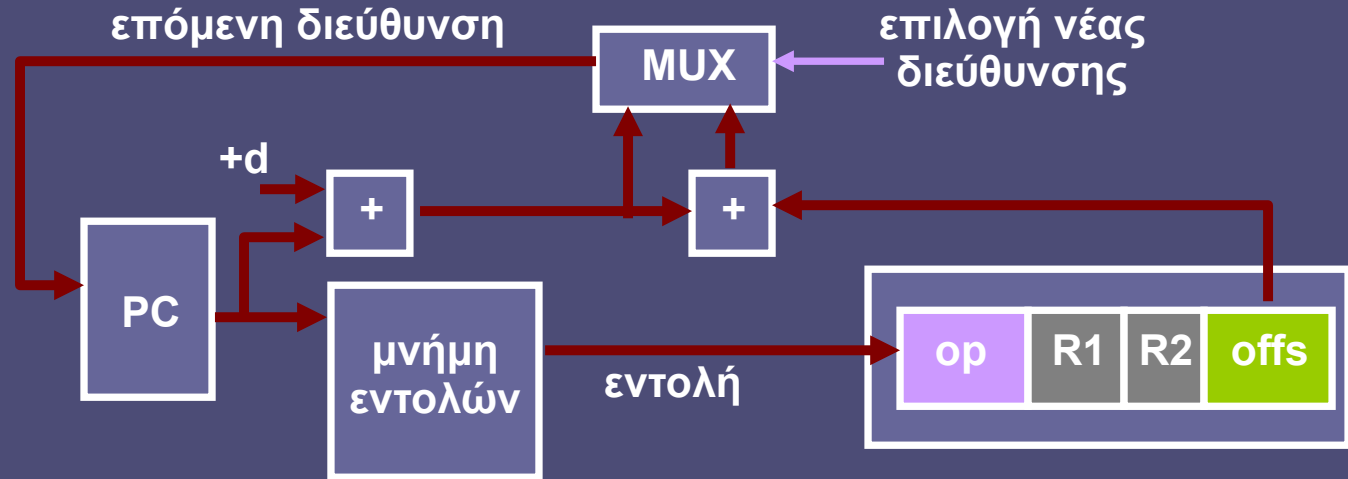


**if R1 == R2 then PC  $\leftarrow$  PC + offset**  
“branch if equal”

- Διακλάδωση υπό συνθήκη
  - Βασισμένο σε αποτέλεσμα πράξης ΑΛΜ
- Σχετική διεύθυνση
- Παραδοχή: υπολογισμός συνθήκης και διακλάδωση στην ίδια εντολή

# Διακλαδώσεις και ενημέρωση PC

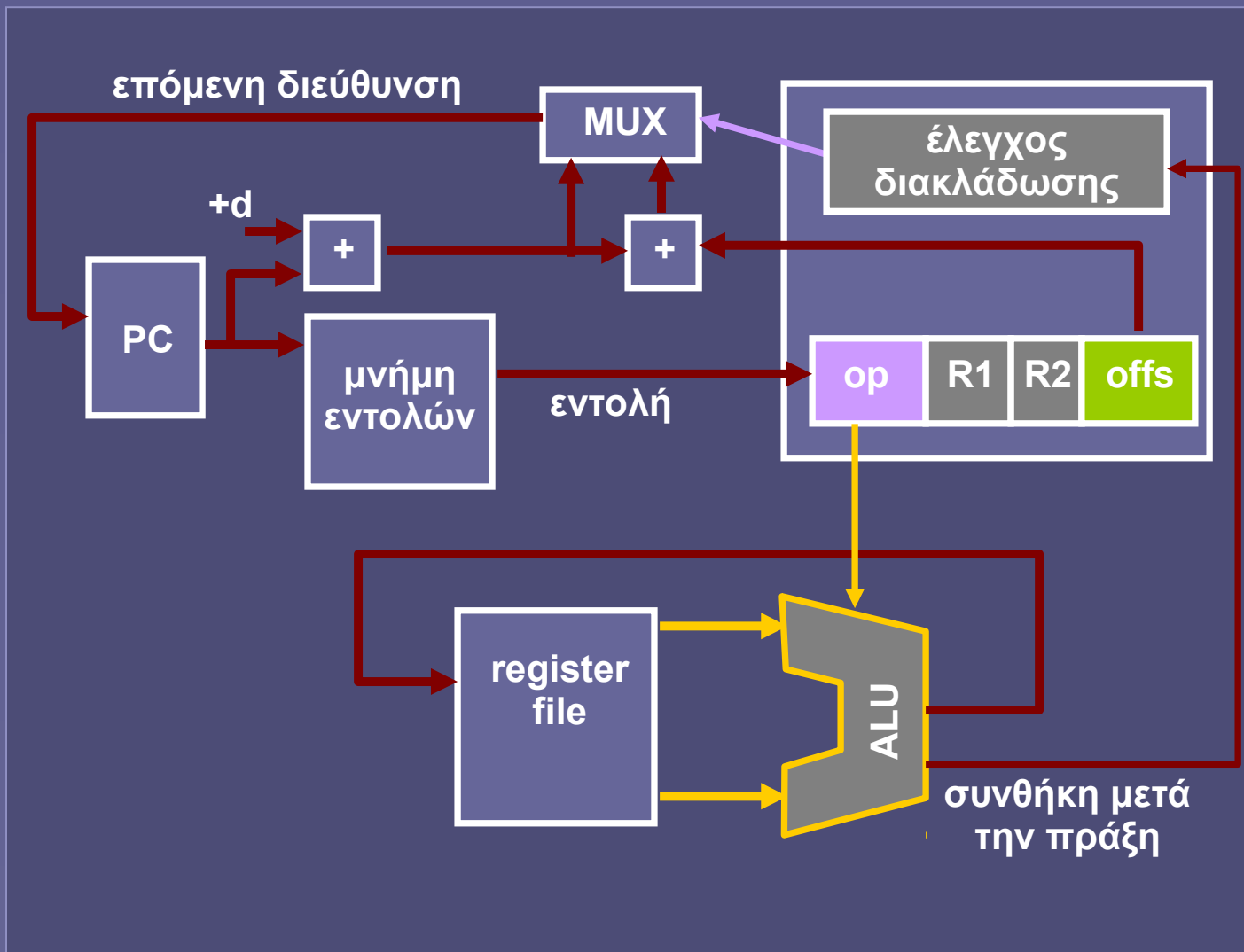
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



- **Επιλογή νέας (επόμενης) διεύθυνσης**
  - Η νέα τιμή του PC
  - Από τη μονάδα ελέγχου
  - Σύμφωνα με τιμές από πράξη στην ΑΛΜ
    - Π.χ. σύγκριση 2 καταχωρητών (αφαίρεση τιμών τους)

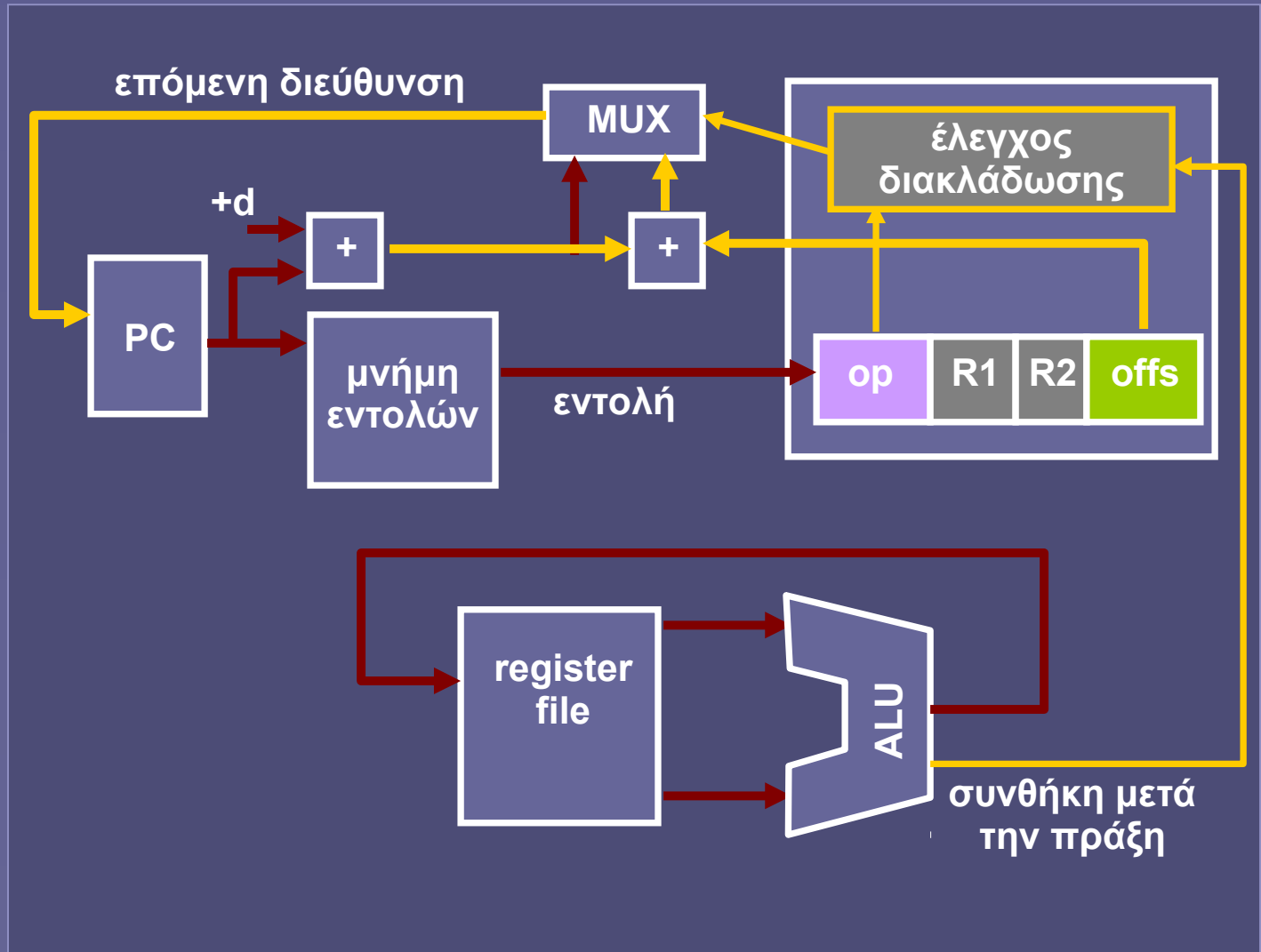
# Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



# Ενημέρωση PC (“DM”)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



# Εντολές προσπέλασης μνήμης (load-store)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης

- Παράδειγμα

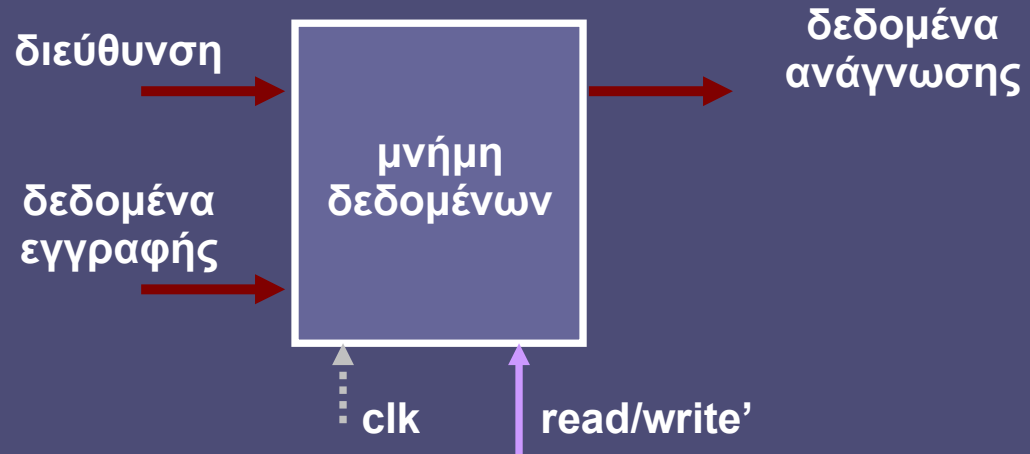


$R1 \leftarrow \text{mem}[R2 + \text{offset}]$

- Μόνο οι εντολές load και store προσπελαίνουν τη μνήμη δεδομένων
- Η διεύθυνση μνήμης παράγεται από την ΑΛΜ
  - Ως άθροισμα περιεχομένου καταχωρητή + σταθεράς (offset)

# Η «μνήμη δεδομένων»

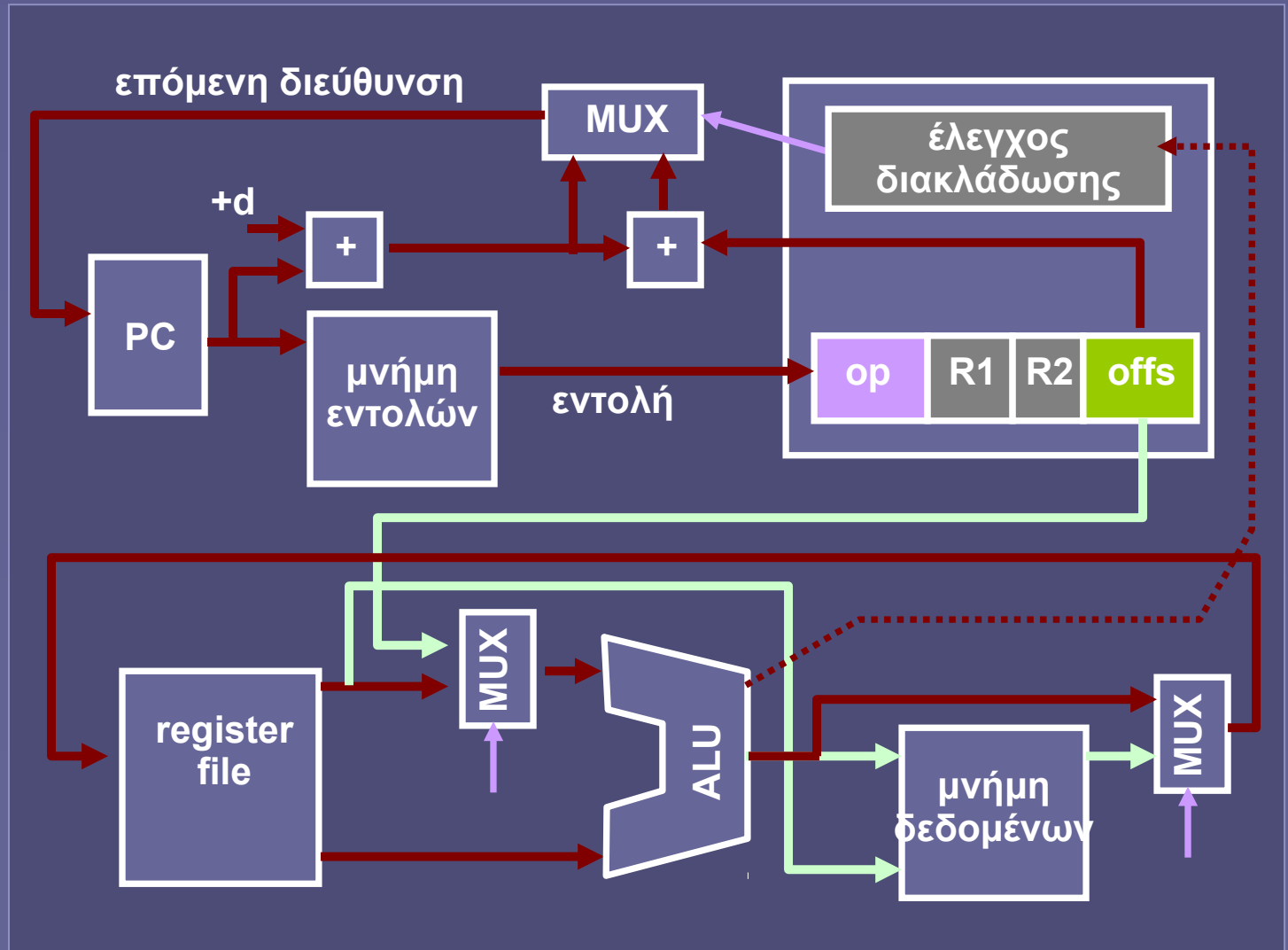
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



- Μια επίσης χρήσιμη αφαίρεση
  - Ή εγγραφή ή ανάγνωση
    - **clk** για την εγγραφή
  - Στην πραγματικότητα
    - Αντιπροσωπεύει μια ιεραρχία μνήμης

# Προσπέλαση μνήμης δεδομένων

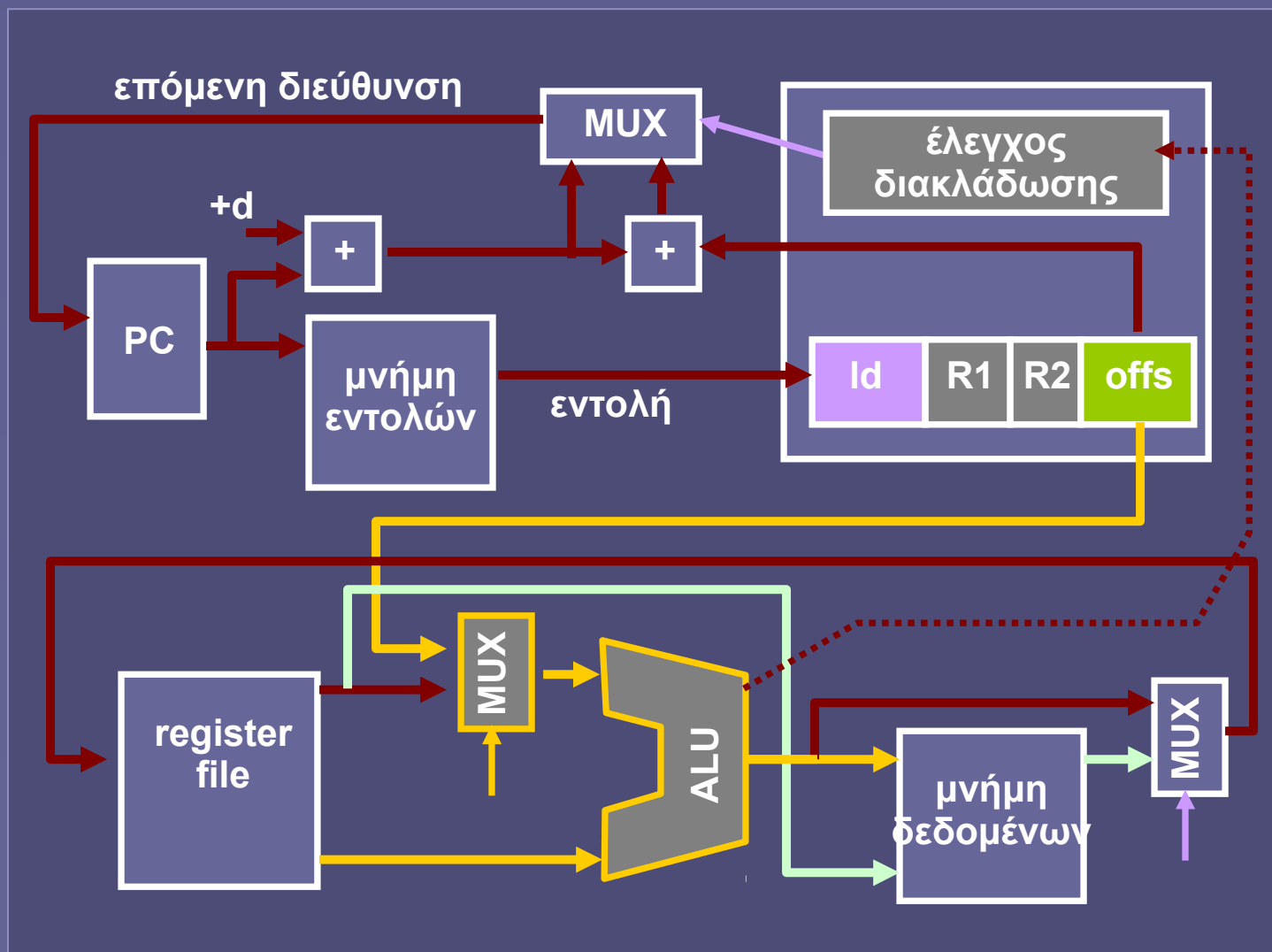
- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης





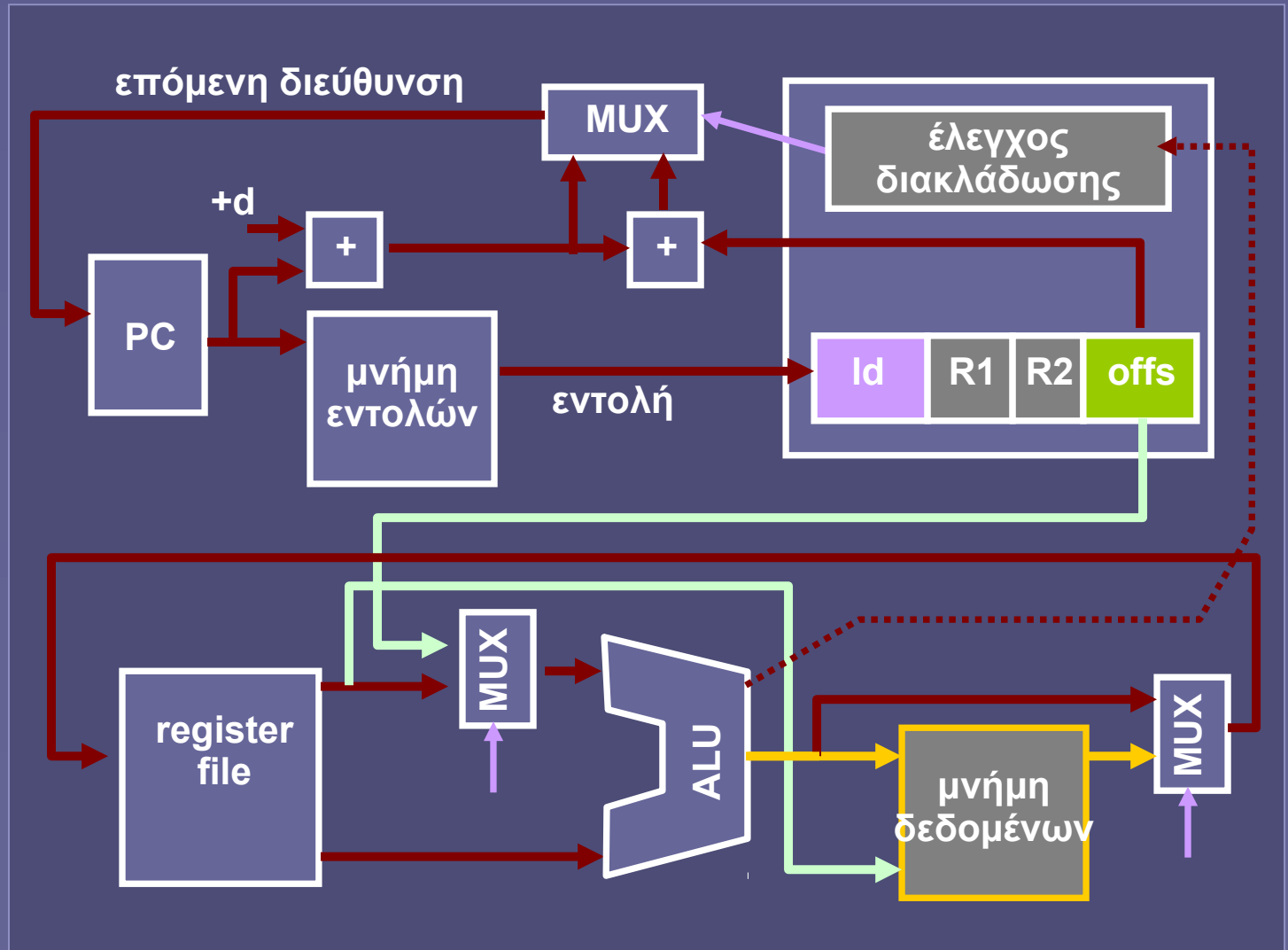
# Execute (EX)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



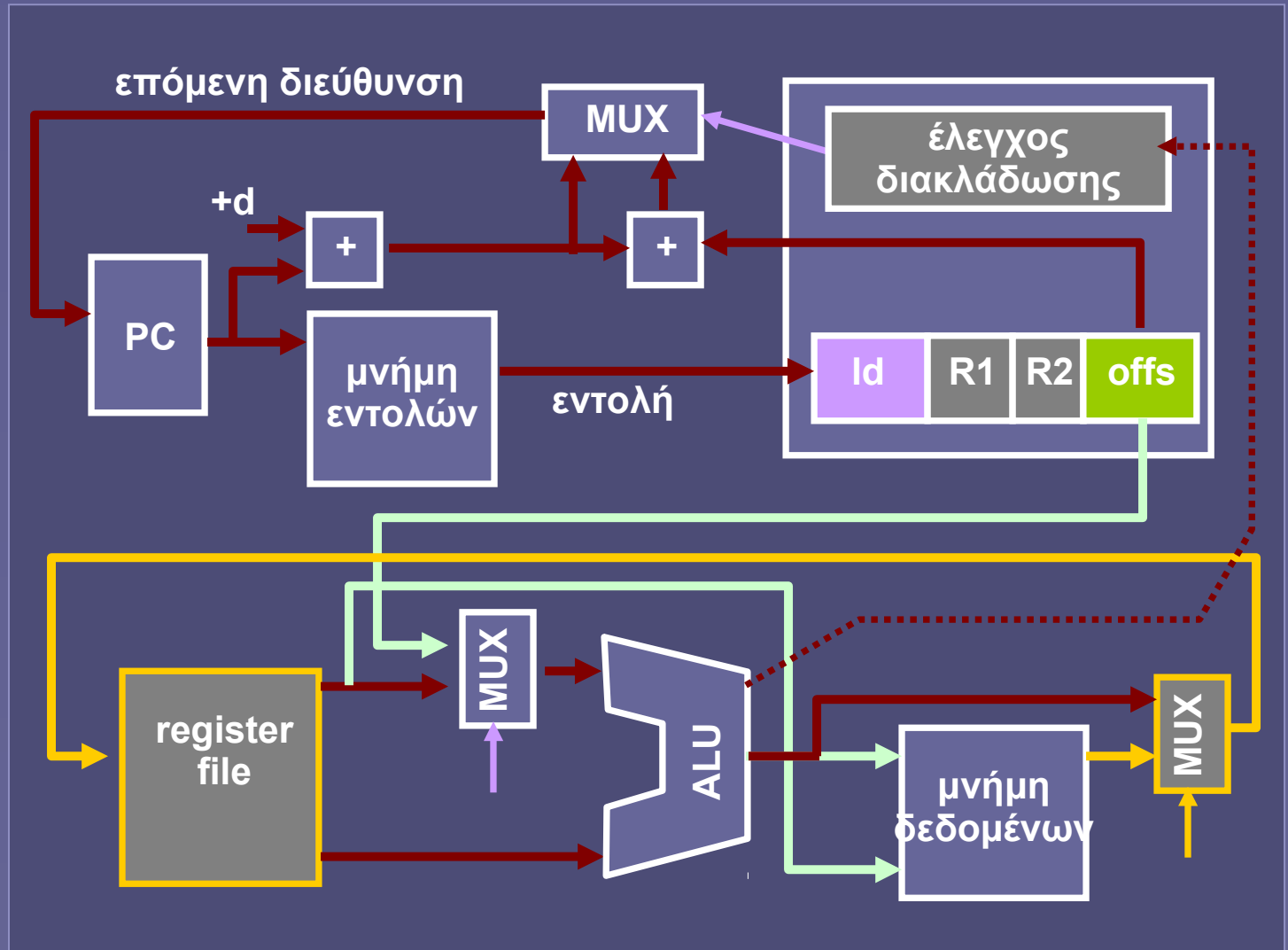
# Data Memory Access (DM)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



# Write Back (WB)

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



# Σύνοψη λειτουργίας ΚΜΕ

- Ο επεξεργαστής
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης
- Σύνοψη

- Κύκλοι ρολογιού ανά εντολή
  - Cycles per Instruction (CPI)
- Περίοδος κύκλου ρολογιού
  - Clock Cycle (Period) (CC)
- Στο σημερινό παράδειγμα ΚΜΕ
  - $CPI = 1$
  - CC σταθερό ανεξάρτητα από είδος εντολής
  - CC εξαρτάται από την πιο χρονοβόρα πράξη!
  - Όχι αποδοτικό σχήμα
  - Υπάρχει τεχνική για βελτίωση της απόδοσης;
    - (στο επόμενο μάθημα)