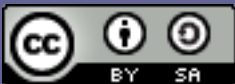


Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας

(Σχεδιασμός και λειτουργία μιας απλής ΚΜΕ)

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

Μ.Στεφανιδάκης



Σχεδιασμός μιας απλής ΚΜΕ

- ΚΜΕ

- 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



Όλες οι σύγχρονες ΚΜΕ είναι πολυπλοκότερες!

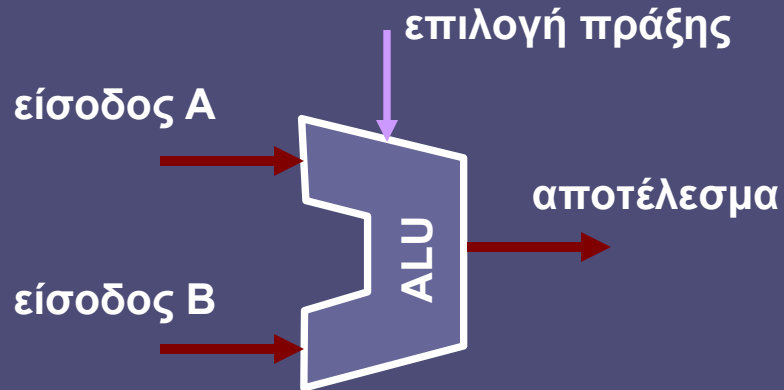
Εκτέλεση πράξεων: ΑΛΜ

- ΚΜΕ
- ΑΛΜ

i

~~M~~

... M



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

Εντολές για αριθμητικές – λογικές πράξεις

- ΚΜΕ
- ΑΛΜ

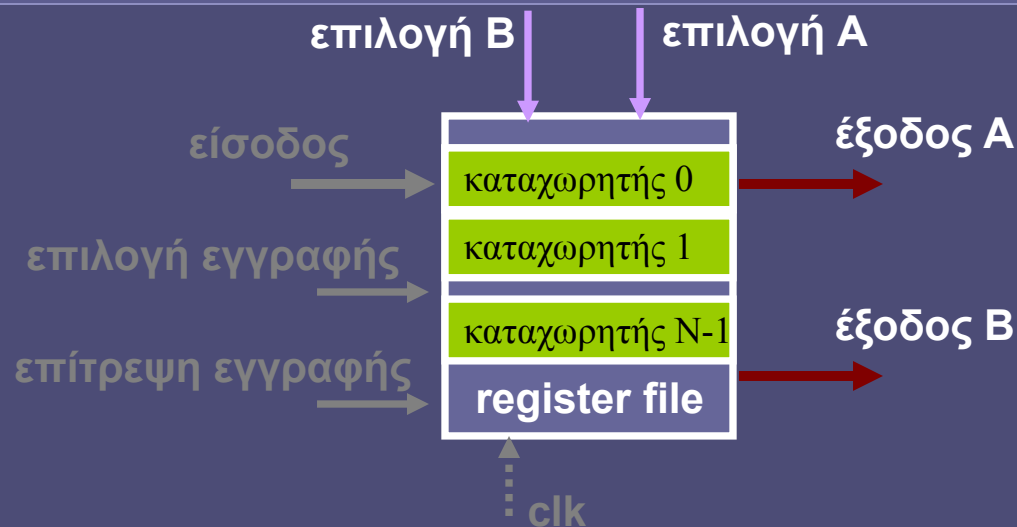


$$Rz \leftarrow Rx \text{ op } Ry$$

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

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές

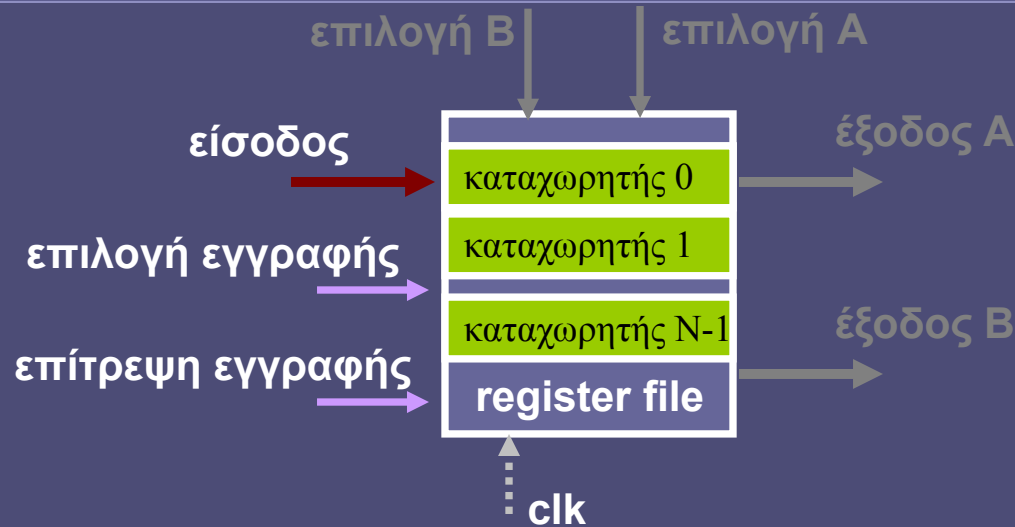


Τα σήματα στο σχήμα αυτό (και στα επόμενα) αποτελούνται από πολλά bits το καθένα!

- Ανάγνωση: **Επιλογή A** και **Επιλογή B**
 - Ποιων καταχωρητών το περιεχόμενο θα εμφανιστεί στην αντίστοιχη έξοδο

Συστοιχία καταχωρητών (register file)

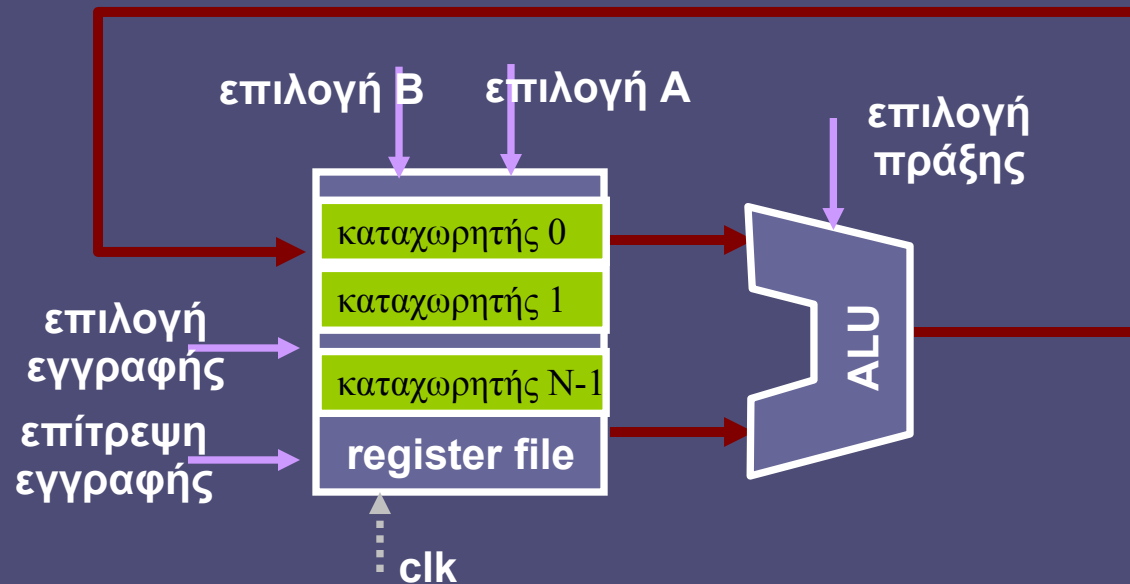
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές



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

Ένα απλό μονοπάτι δεδομένων (datapath)

- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath



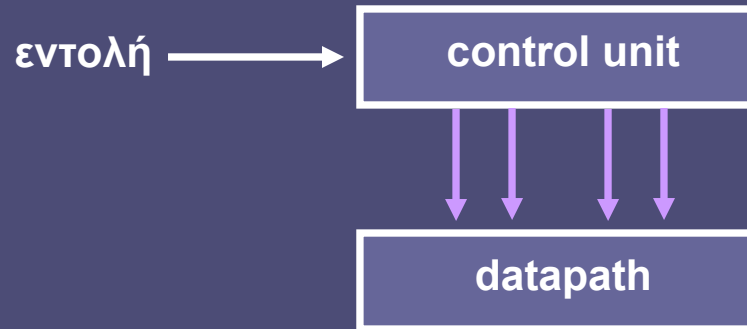
- Εκτέλεση μιας εντολής ανά κύκλο ρολογιού
- **Ανάγνωση και εγγραφή στον ίδιο κύκλο;**
 - Ναι, η **ανάγνωση** θα δώσει το αποτέλεσμα της εγγραφής του προηγούμενου κύκλου
 - Ενώ η **εγγραφή** θα είναι διαθέσιμη για ανάγνωση στον επόμενο κύκλο

;

Ποιος οδηγεί τα
σήματα ελέγχου;

Η μονάδα ελέγχου (control unit)

- 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»

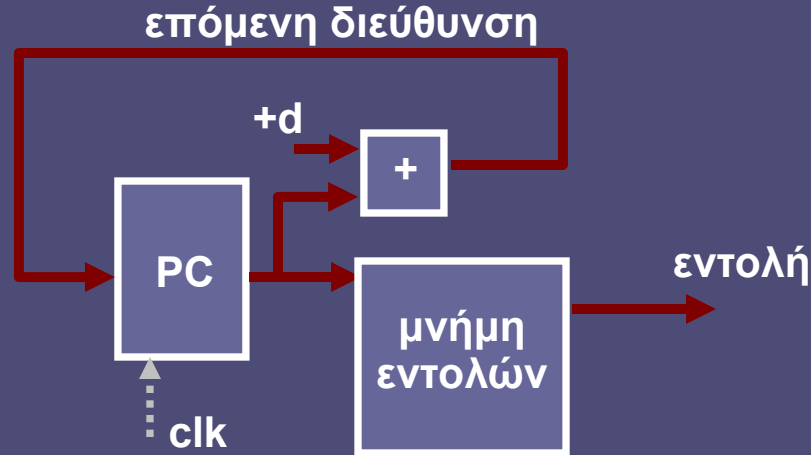
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές



- Μια χρήσιμη αφαίρεση
 - Στην πραγματικότητα
 - Αντιπροσωπεύει μια ιεραρχία μνήμης
 - Από την κρυφή μνήμη 1^{ου} επιπέδου μέχρι την κύρια μνήμη
 - Στην πραγματικότητα ίσως να μην είναι δυνατή η ανάκτηση μιας εντολής σε κάθε έναν κύκλο ρολογιού

Η διεύθυνση της επόμενης εντολής

- 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
 - d = μήκος σε bytes κάθε εντολής

Ο κύκλος μηχανής

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

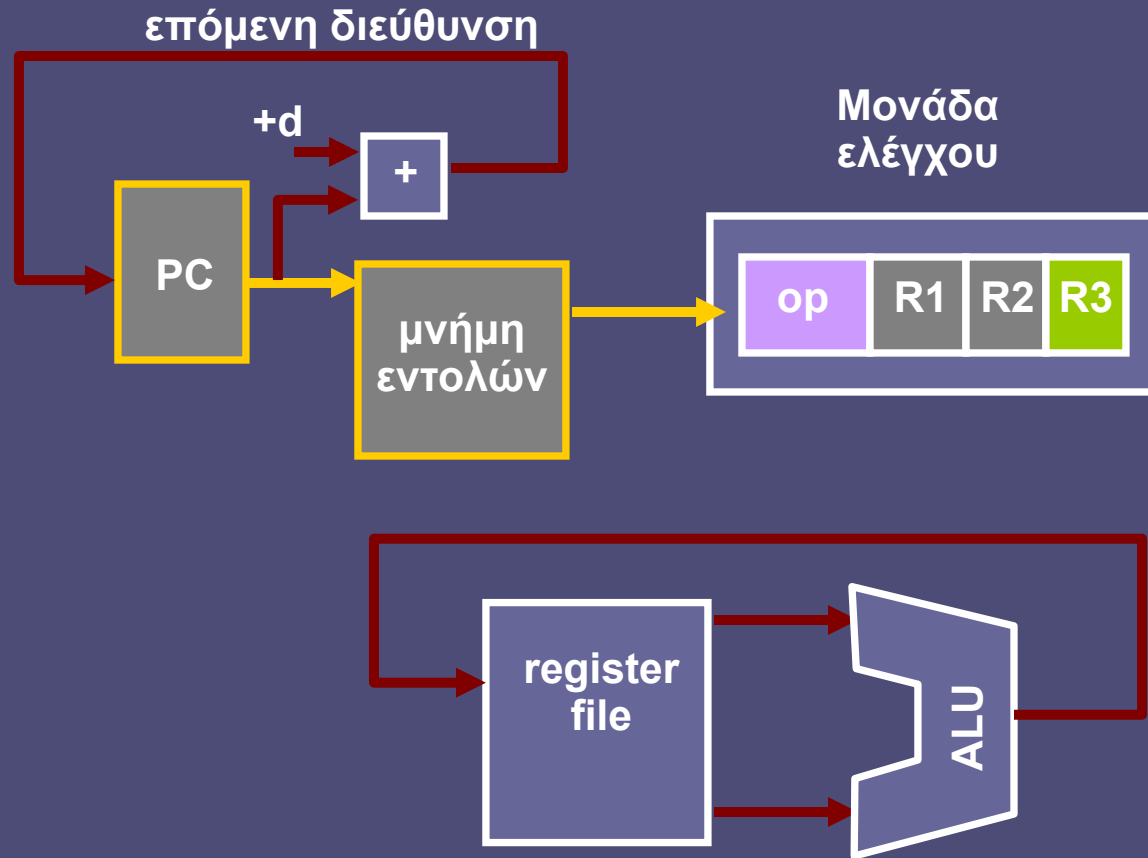


Ποια στάδια χρησιμοποιούν οι εντολές για αριθμητικές και λογικές πράξεις;

- **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

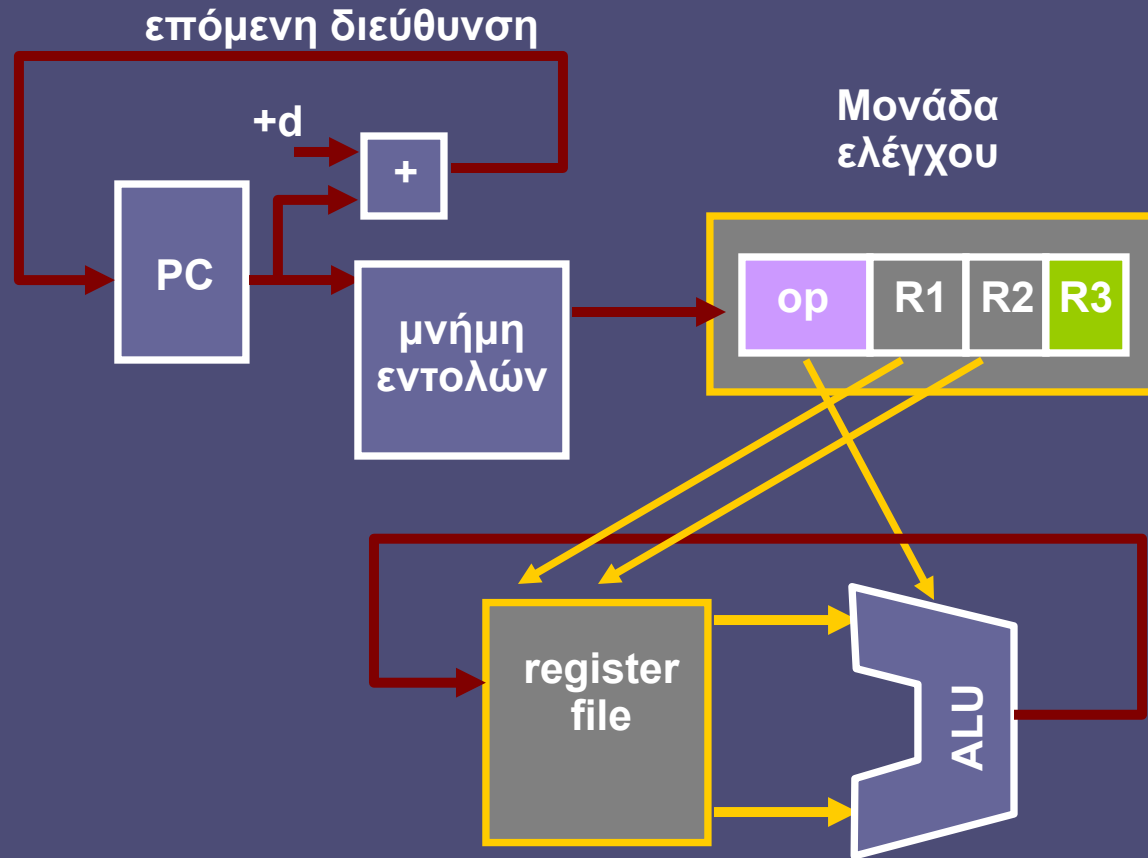
Instruction Fetch (IF): Ανάκληση

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



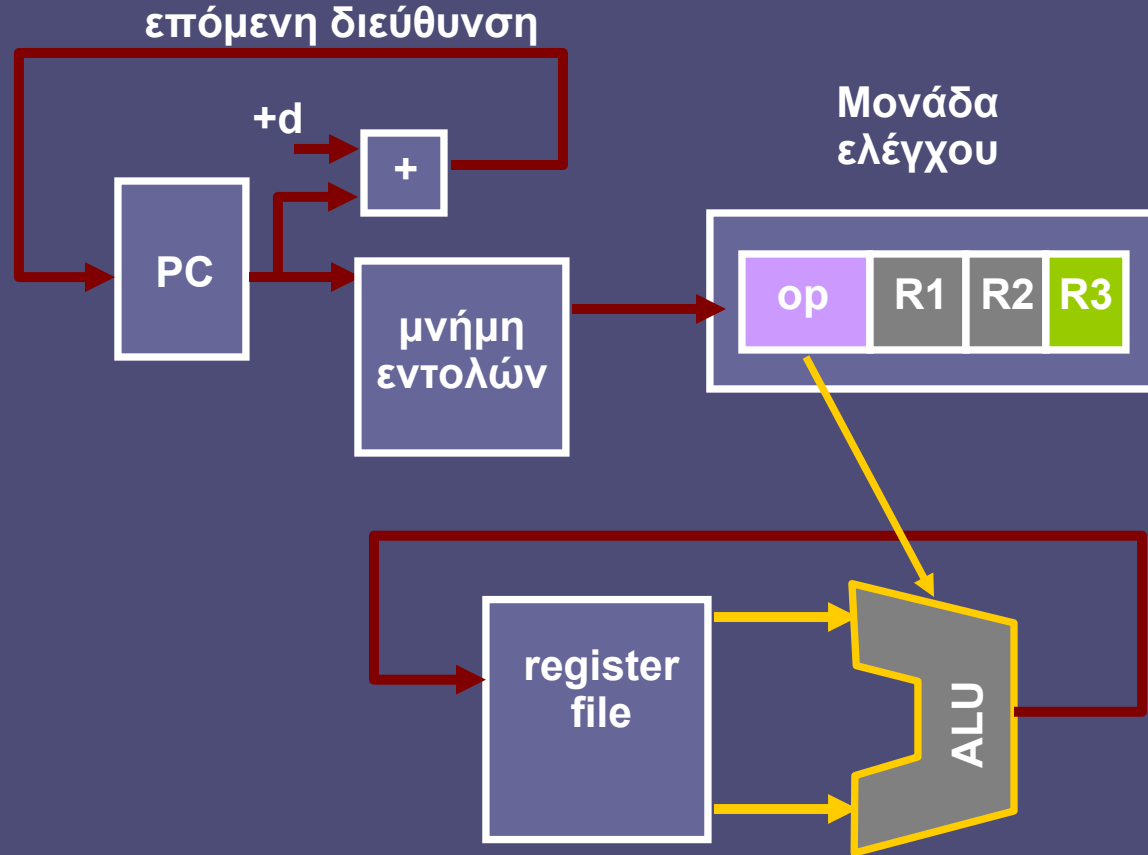
Instruction Decode (ID): Αποκωδικοποίηση

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



Execute (EX): Εκτέλεση

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

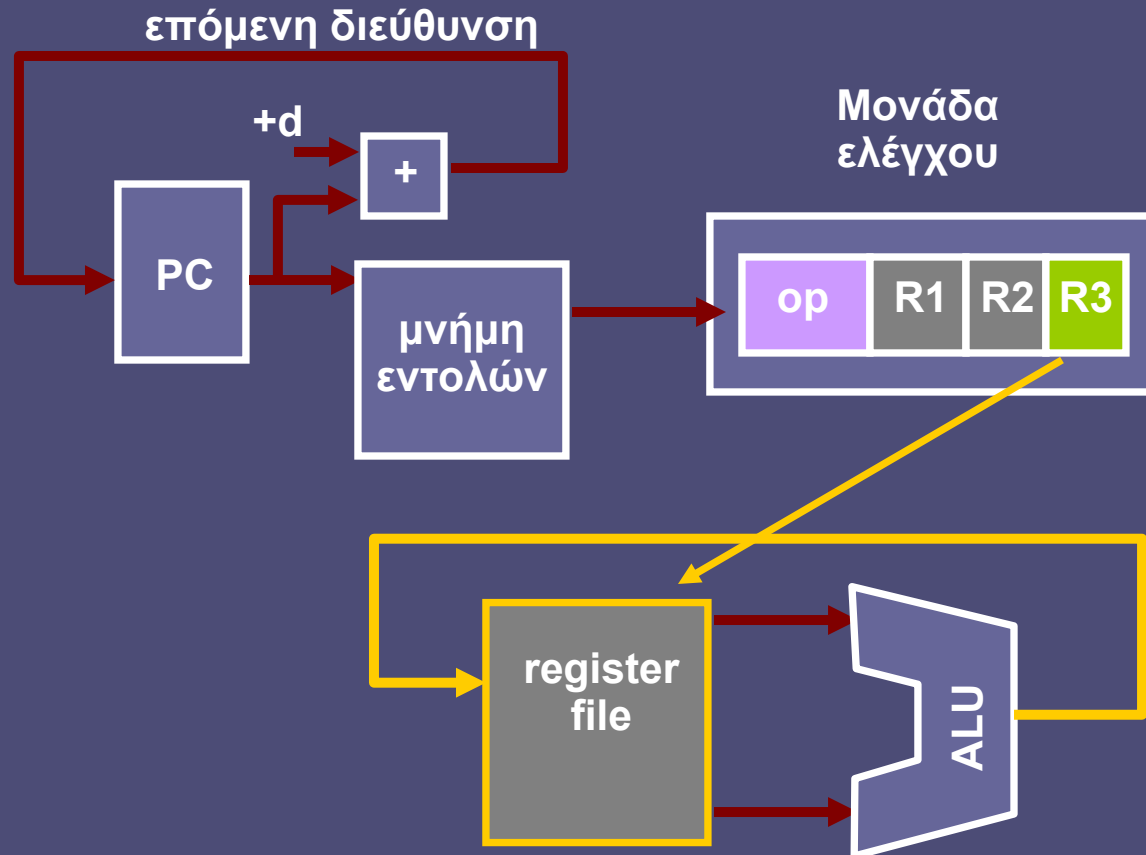


Write Back (WB): Αποθήκευση

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

;

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



Εντολές διακλάδωσης (branch ή jump)

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

- Παράδειγμα

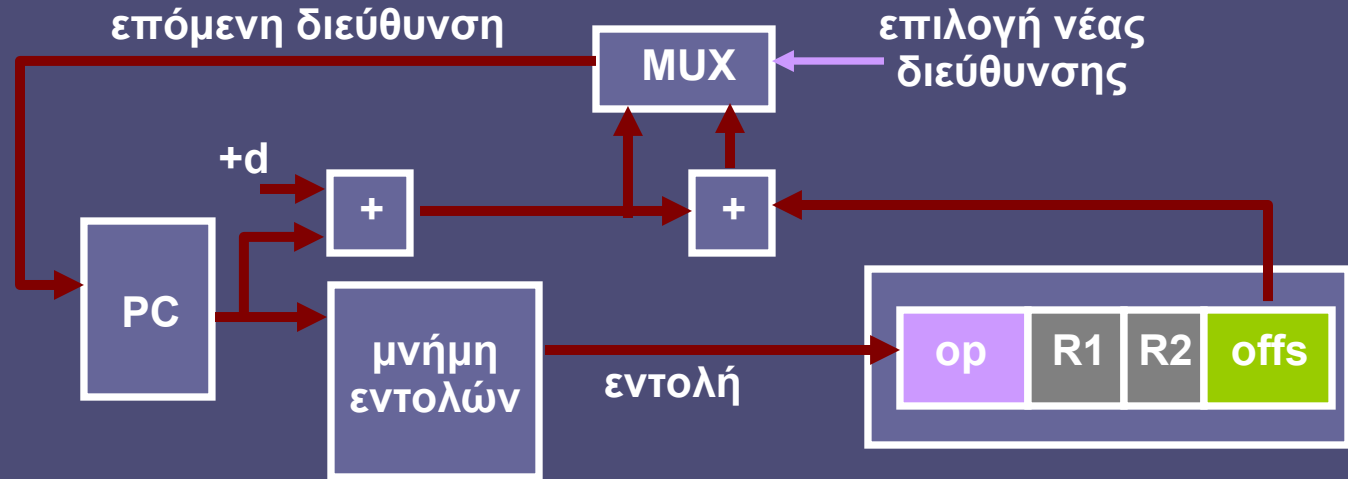


if Rx == Ry then PC \leftarrow PC + offset
“branch if equal”

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

Διακλαδώσεις και ενημέρωση PC

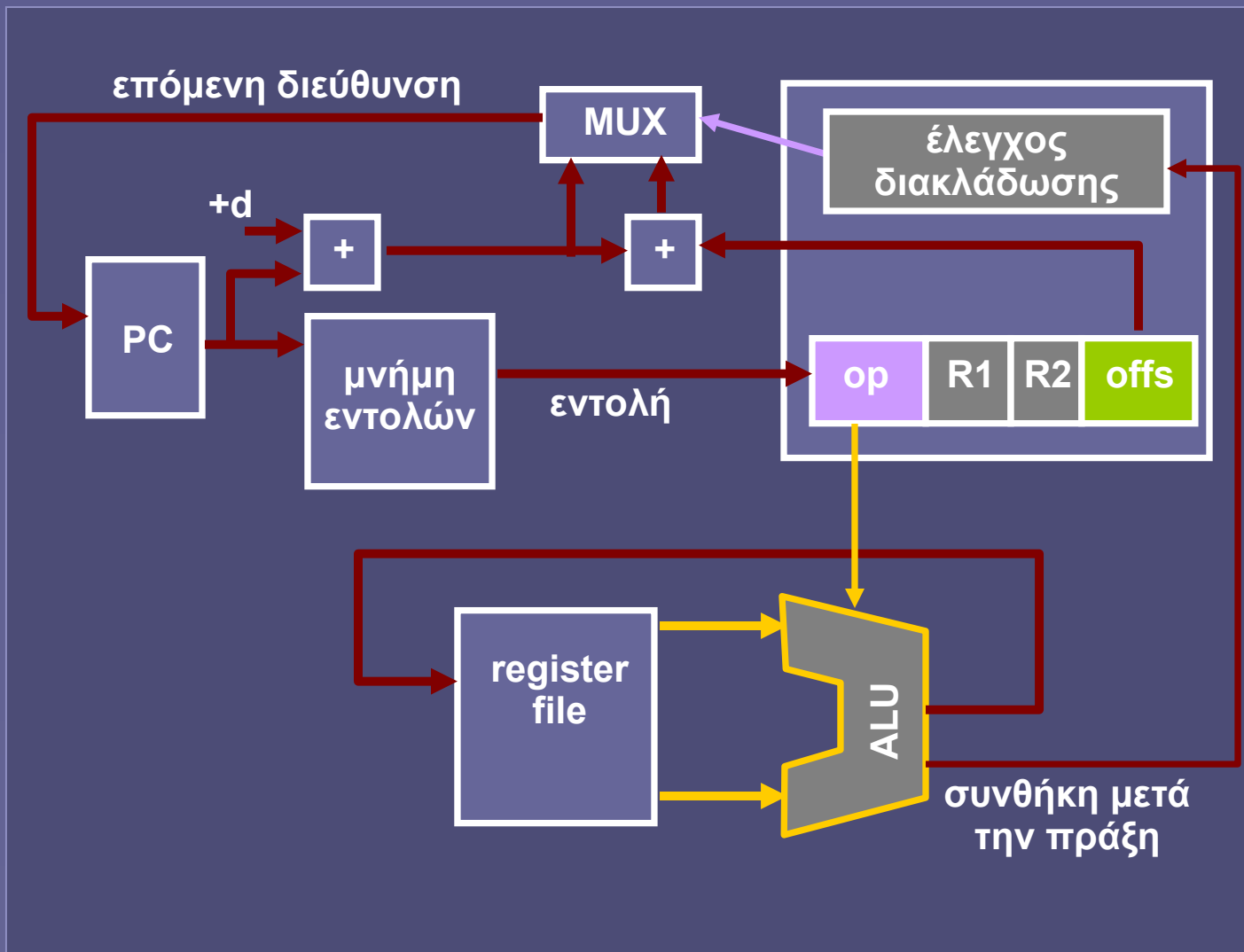
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις



- **Επιλογή νέας (επόμενης) διεύθυνσης**
 - $PC = PC + d$
 - ή $PC = PC + d + \text{offset}$
 - Επιλογή σύμφωνα με τιμές από πράξη στην ΑΛΜ αν πρόκειται για εντολή διακλάδωσης
 - Π.χ. σύγκριση 2 καταχωρητών (αφαίρεση τιμών τους)

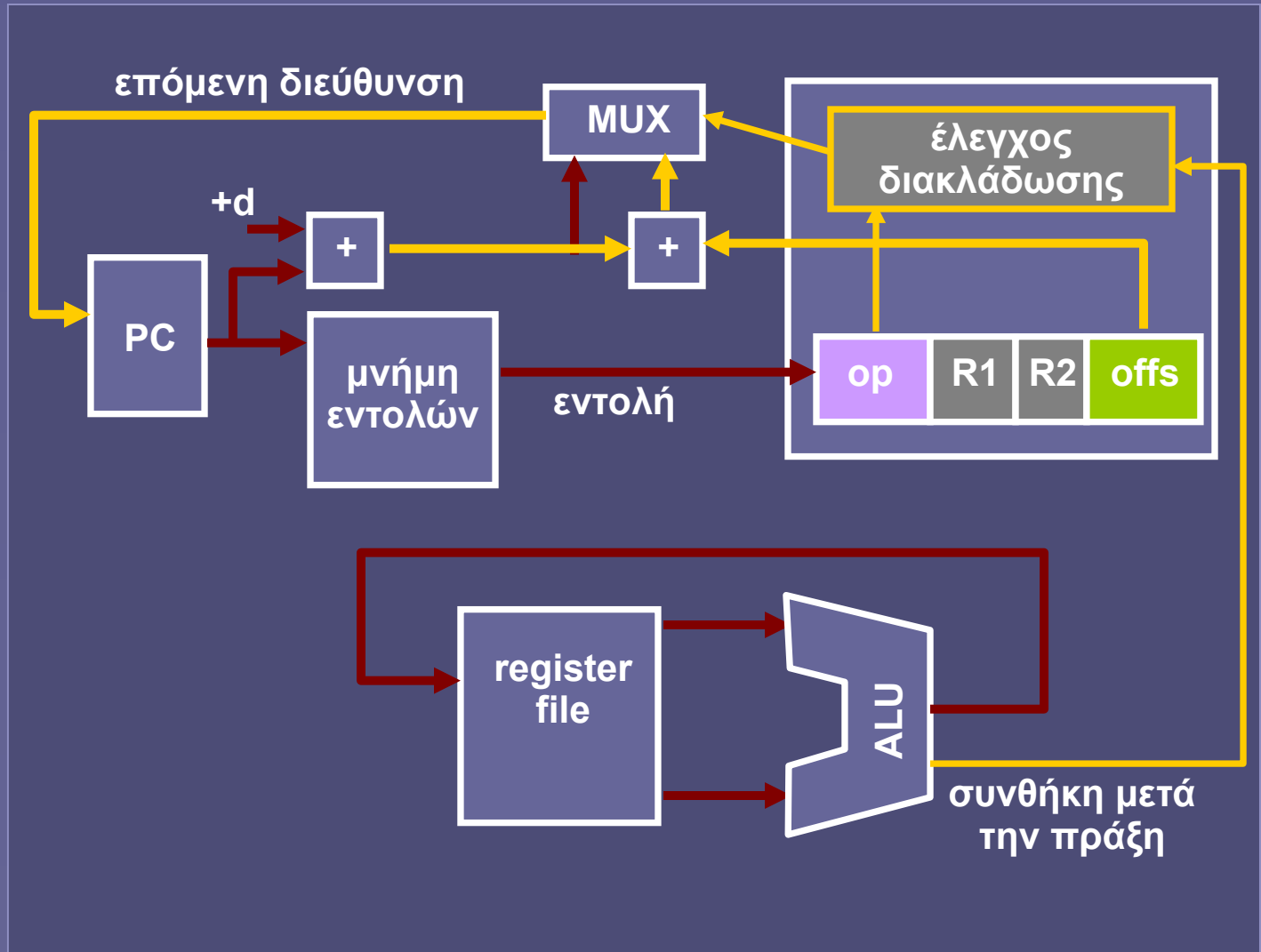
Execute (EX)

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



Ενημέρωση PC (στη φάση “DM”)

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



Εντολές προσπέλασης μνήμης (load-store)

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

- Παράδειγμα

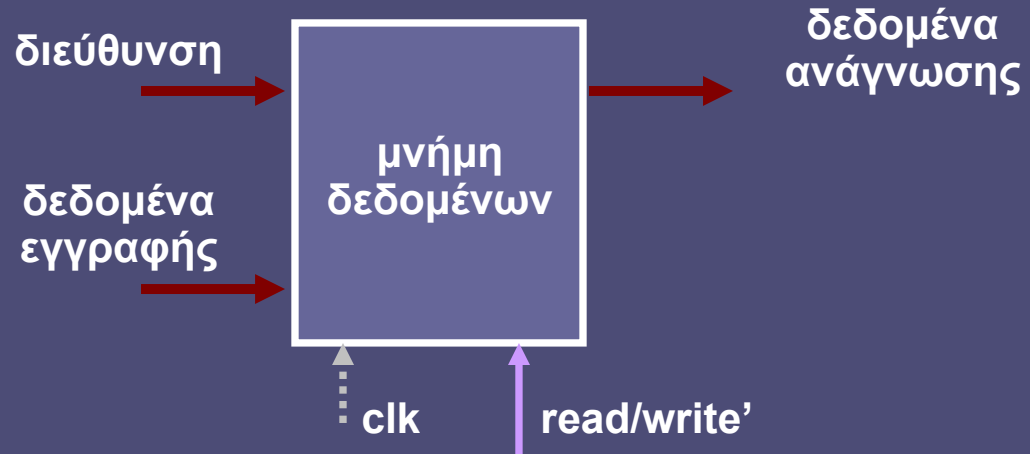


$Rx \leftarrow \text{mem}[Ry + \text{offset}]$

- 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»

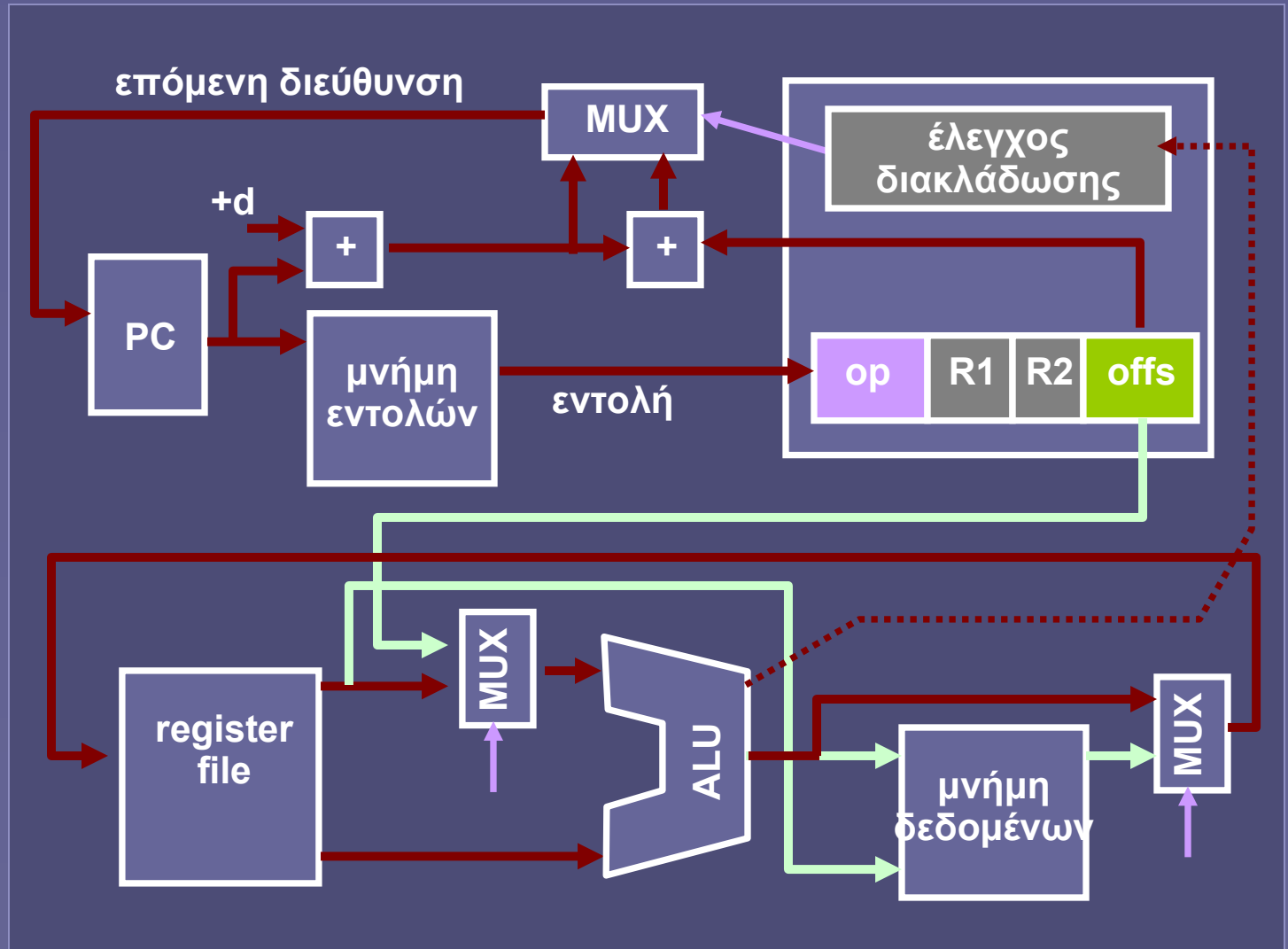
- ΚΜΕ
- ΑΛΜ
- Καταχωρητές
- Datapath
- Μονάδα Ελέγχου
- Εντολές
- Διακλαδώσεις
- Προσπέλαση μνήμης



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

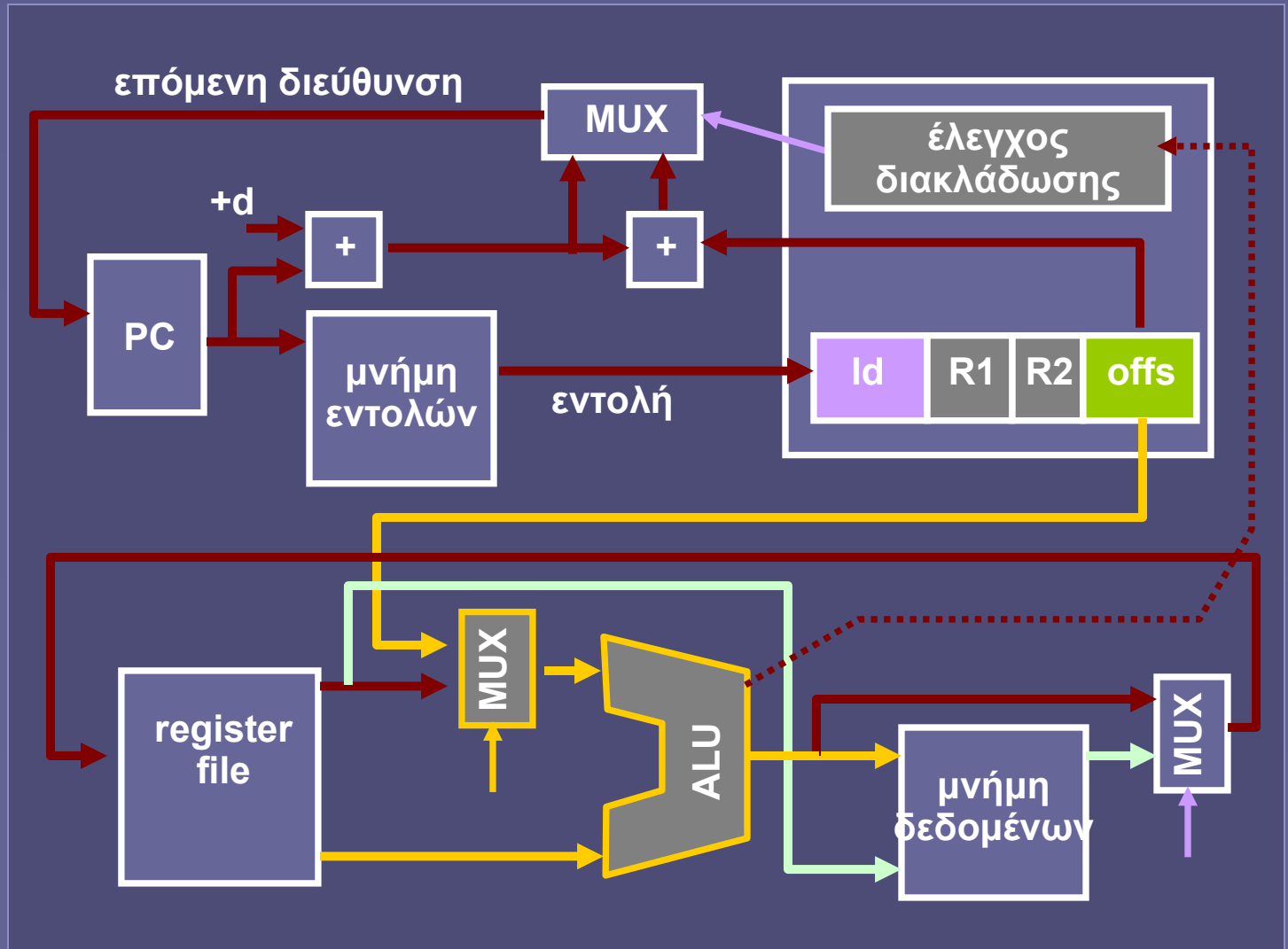
Προσπέλαση μνήμης δεδομένων

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



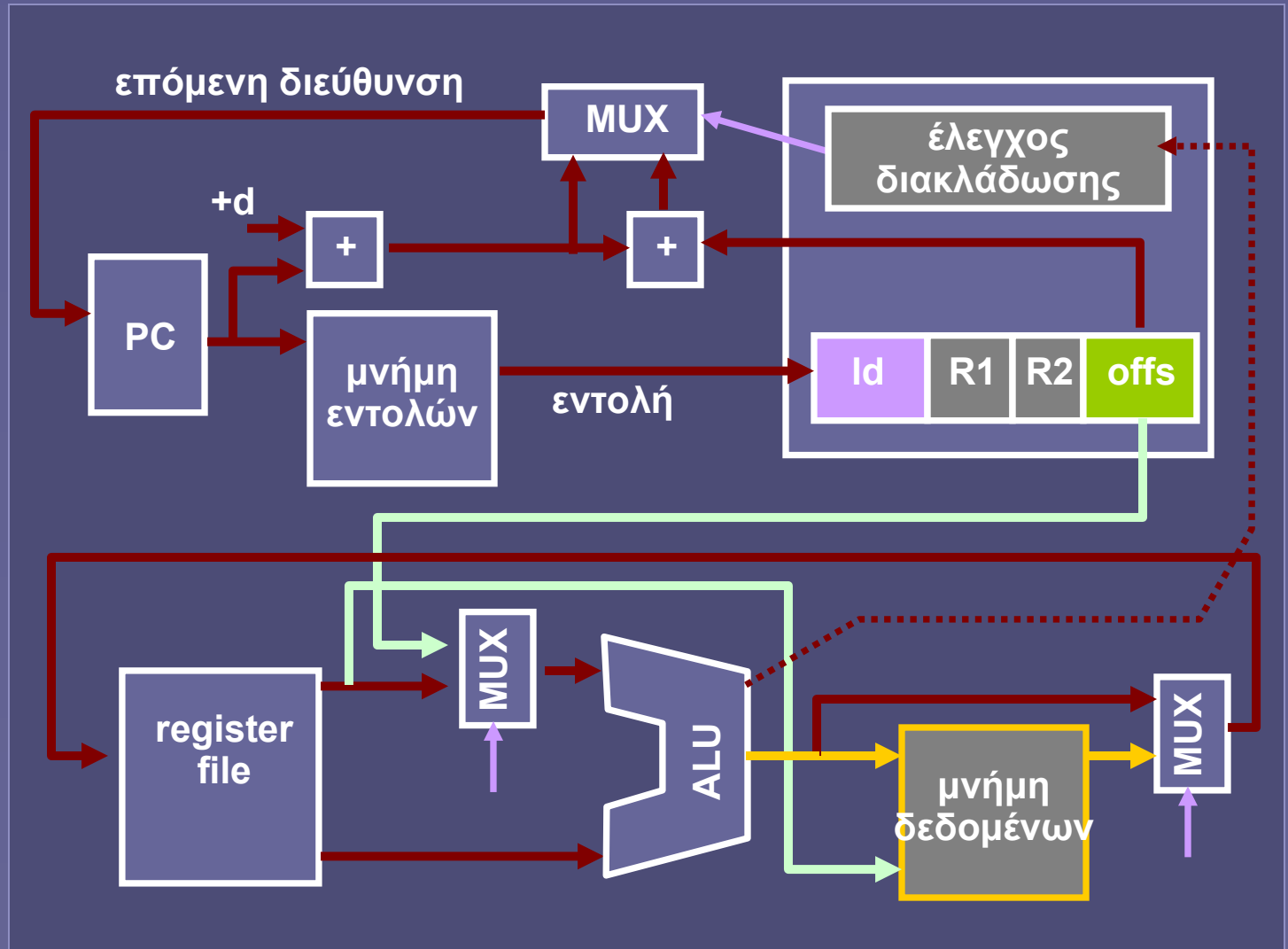
Execute (EX)

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



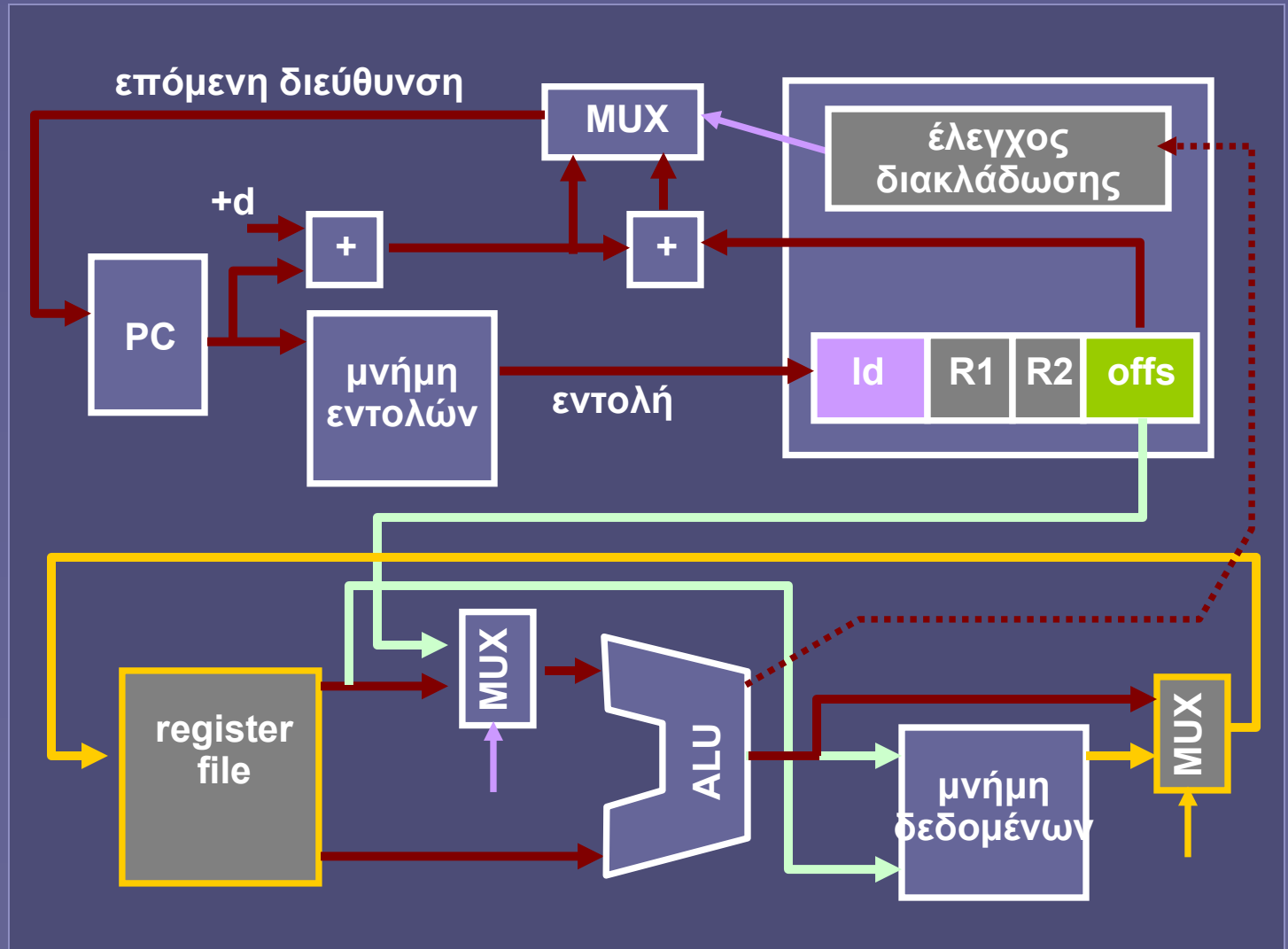
Data Memory Access (DM)

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



Write Back (WB)

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



Σύνοψη λειτουργίας της απλής ΚΜΕ

- 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, εξαρτάται από την πιο χρονοβόρα εντολή
 - Όχι αποδοτικό σχήμα
 - Υπάρχει τεχνική για βελτίωση της απόδοσης;
 - (στο επόμενο μάθημα)