



Κεφάλαιο 4

Αρχιτεκτονική Υπολογιστών &
Μικροεπεξεργαστών

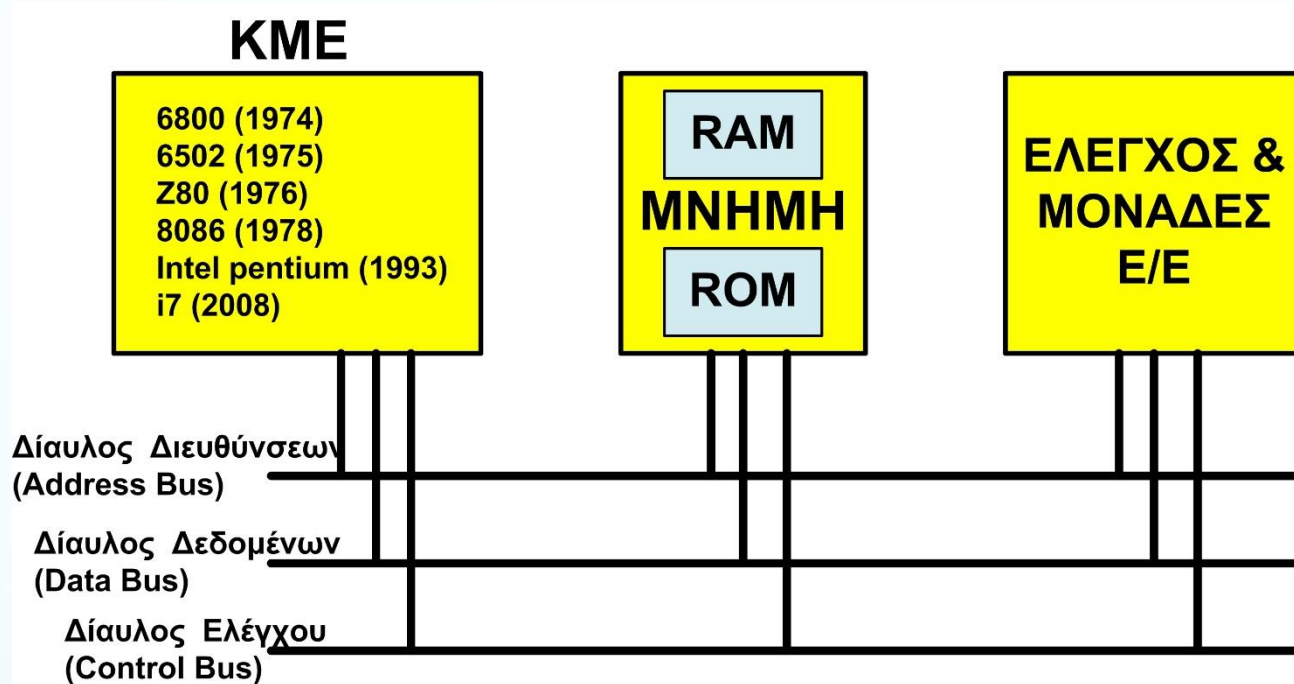
Δομή και λειτουργία υπολογιστή



Φιλοσοφία λειτουργίας υπολογιστικού συστήματος



Δομή Υπολογιστή



Δίαυλος Δεδομένων (Data Bus)
μεταφορά των δεδομένων (π.χ. μεταξύ μικροεπεξεργαστή και μνήμης)

Δίαυλος Διευθύνσεων (Address Bus)
ενεργοποίηση της τοποθεσίας που θα μεταφερθούν τα δεδομένα

Δίαυλος Ελέγχου (Control bus)
συντονισμός μονάδων συστήματος

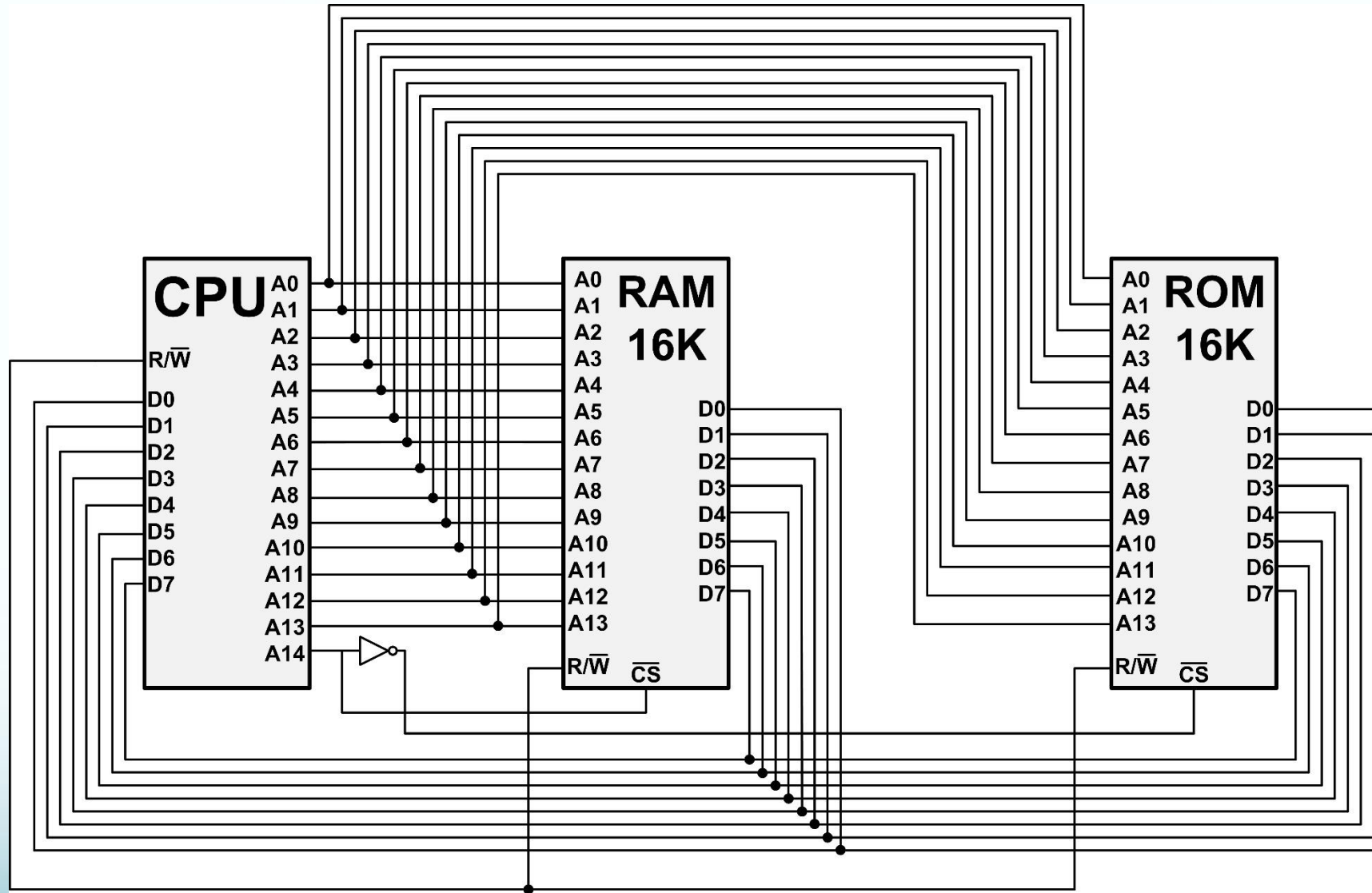
Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας (ΚΜΕ). Η ΚΜΕ υλοποιείται σε ένα ολοκληρωμένο ψηφιακό κύκλωμα (IC) που ονομάζεται **μικροεπεξεργαστής**. Εκτελεί τις εντολές του προγράμματος

Μνήμη. Φιλοξενεί προγράμματα και δεδομένα

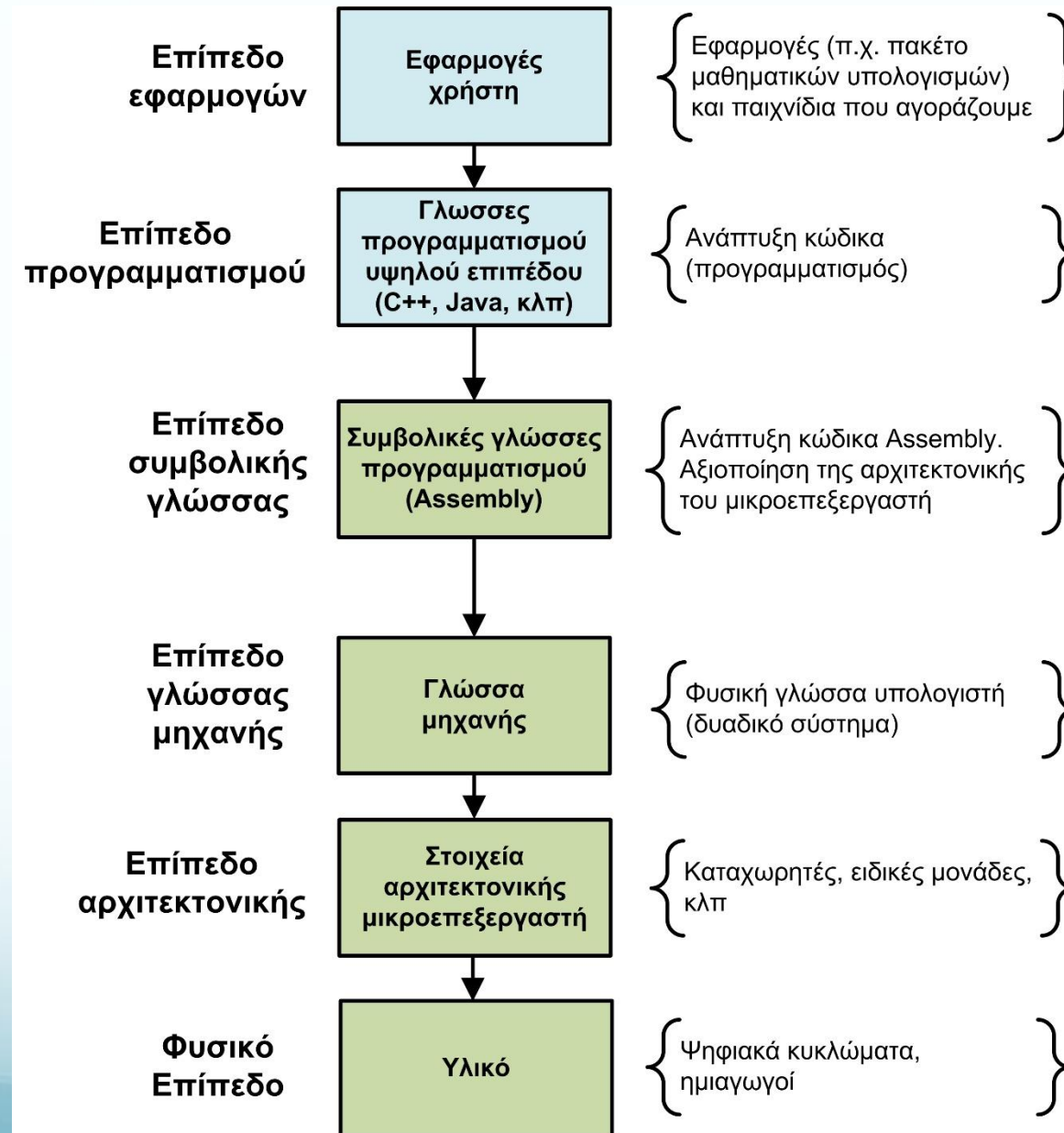
Μονάδες Εισόδου/Εξόδου. Αλληλεπίδραση του υπολογιστή με τον «έξω κόσμο» (π.χ. πληκτρολόγιο, οθόνη, εκτυπωτής), όσο και με άλλα βασικά συστατικά (π.χ. σκληρός δίσκος), κλπ.



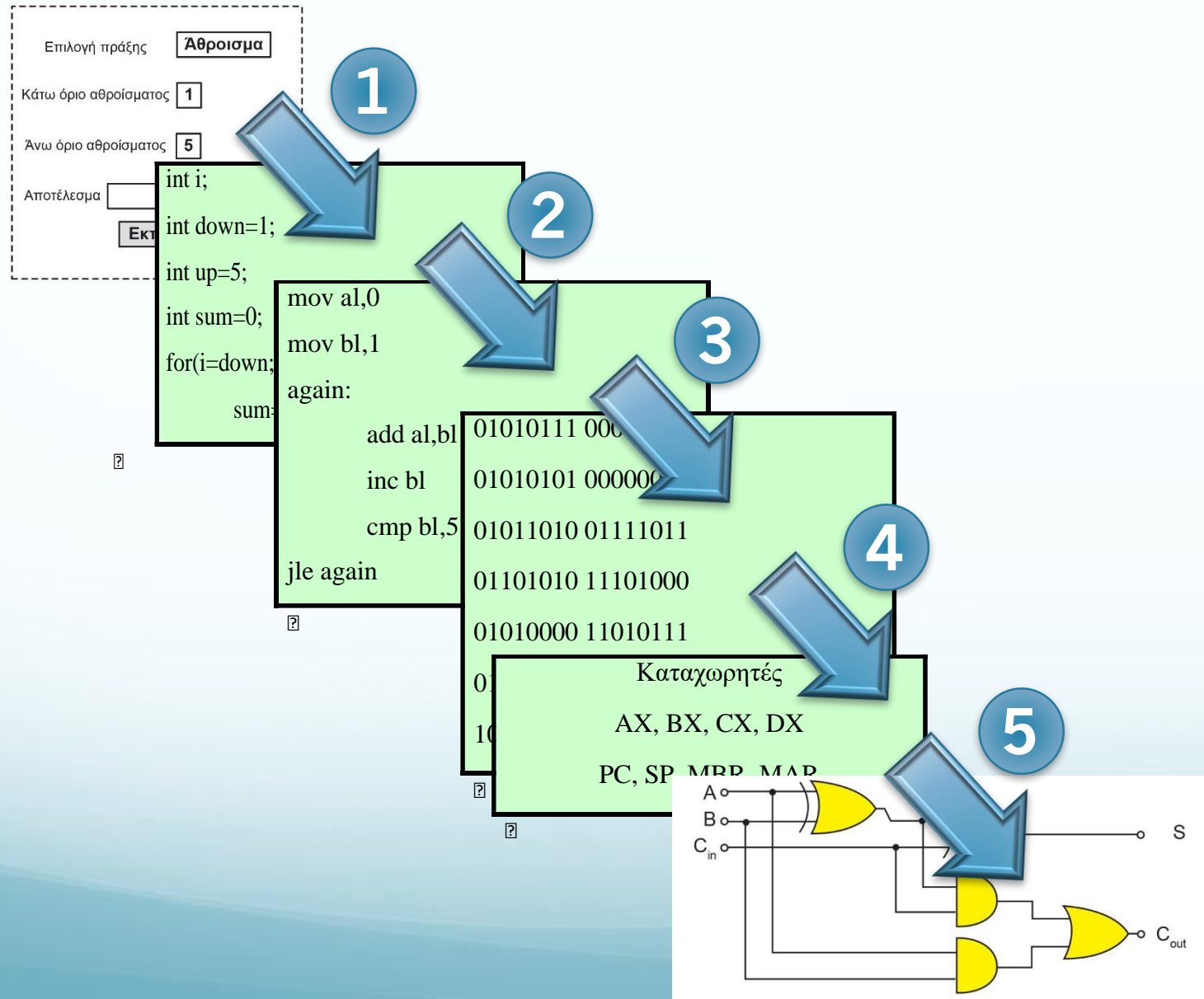
Τυπικό κύκλωμα υπολογιστή από τα '80s



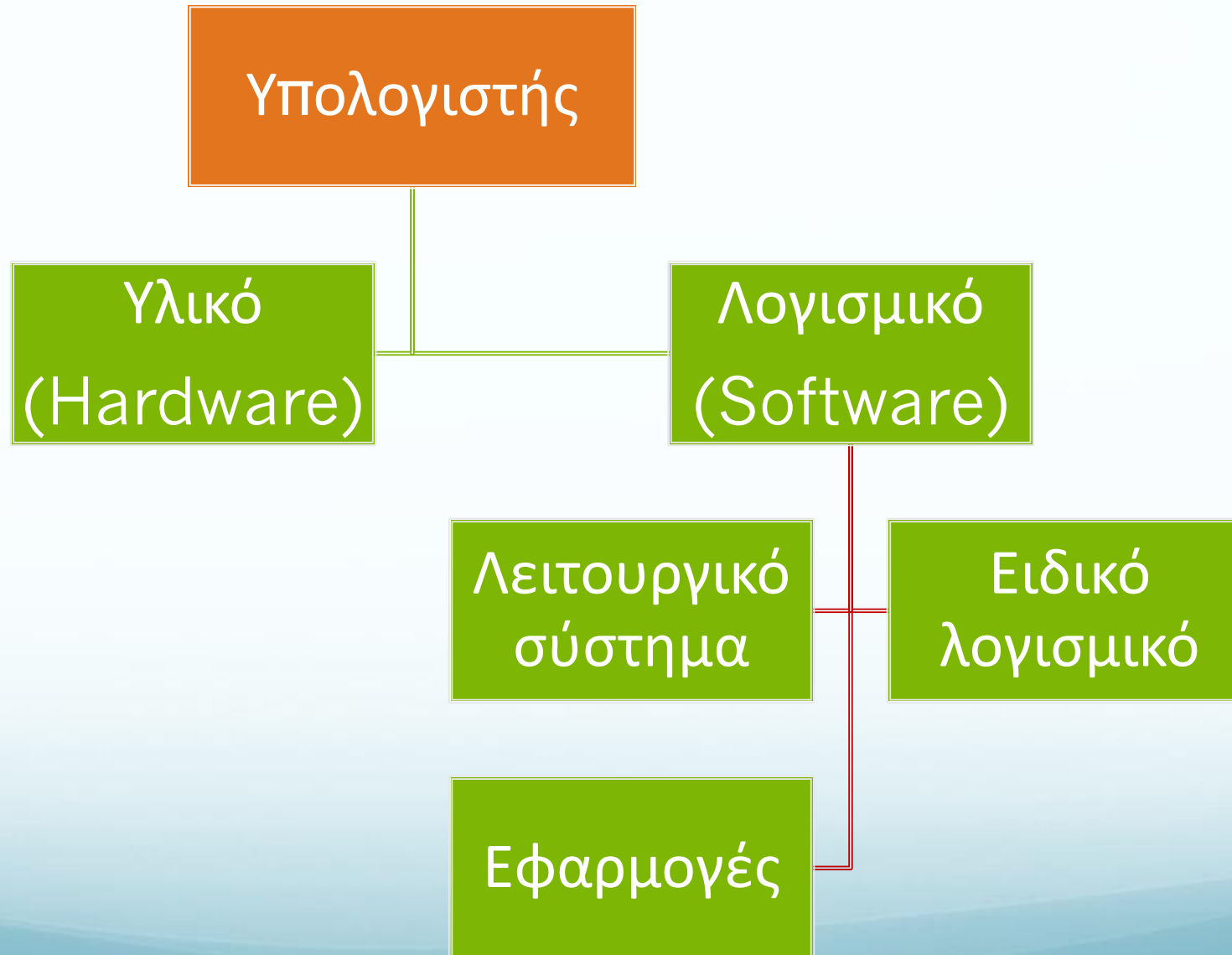
Επίπεδα συστήματος



«Ροή» υλοποίησης οδηγίας-εντολής

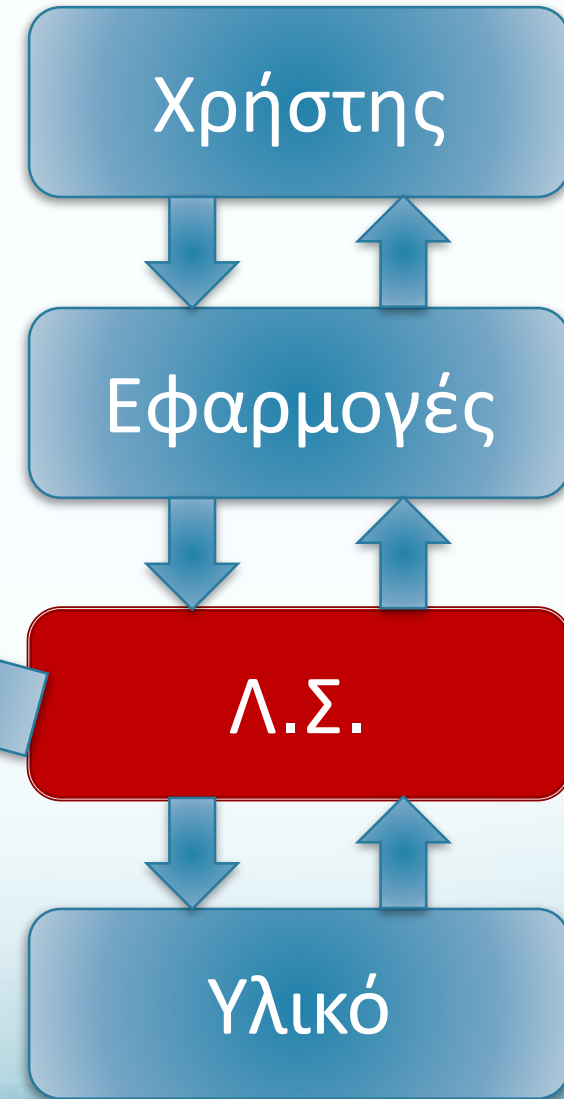


Το Λειτουργικό Σύστημα (Λ.Σ.)



Το Λειτουργικό Σύστημα (Λ.Σ.)

- Windows
- MAC OS
- iOS
- Android
- Linux



Συστήματα γενικού και ειδικού σκοπού

Συστήματα γενικού σκοπού = ανάπτυξη μεγάλου εύρους εφαρμογών για κάθε χρήστη. Τα συστήματα αυτά βασίζονται στους σημερινούς σύγχρονους **μικροεπεξεργαστές** που έχουν οι υπολογιστές που χρησιμοποιούμε.

Συστήματα ειδικού σκοπού = καλύπτουν ένα συγκεκριμένο εύρος εφαρμογών. Εκτελούν συνήθως το ίδιο πρόγραμμα και επεξεργάζονται συγκεκριμένα δεδομένα. Στα σημερινά συστήματα ειδικού σκοπού χρησιμοποιούνται ειδικού τύπου ολοκληρωμένα κυκλώματα που καλούνται **μικροελεγκτές**.

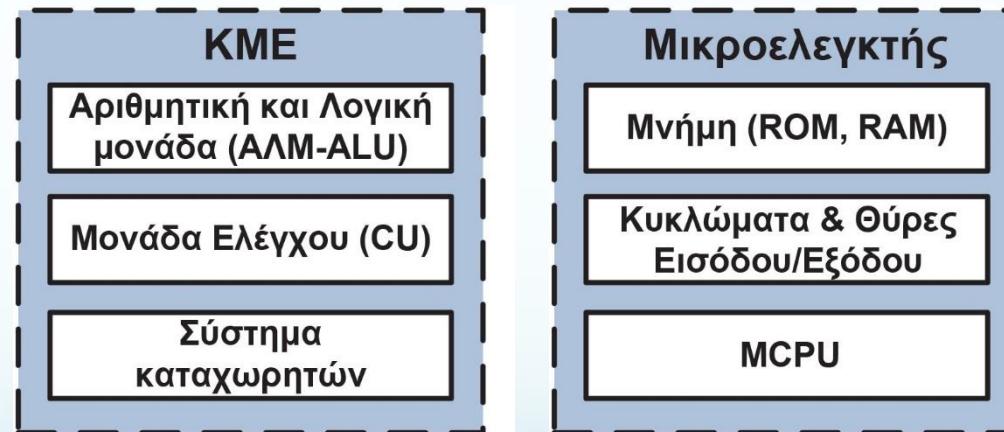
Μικροεπεξεργαστής = απαιτεί μεγάλο πλήθος εξωτερικών κυκλωμάτων για τη λειτουργία του (μνήμη, κυκλώματα ελεγκτών, περιφερειακές μονάδες, κλπ).
Έμφαση στις επιδόσεις.

Μικροελεγκτής = λειτουργεί αυτόνομα (περιλαμβάνει μνήμη, ελεγκτές εισόδου/εξόδου στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα).
Έμφαση στην αυτονομία λειτουργίας



Διαφορές μικροεπεξεργαστή - μικροελεγκτή

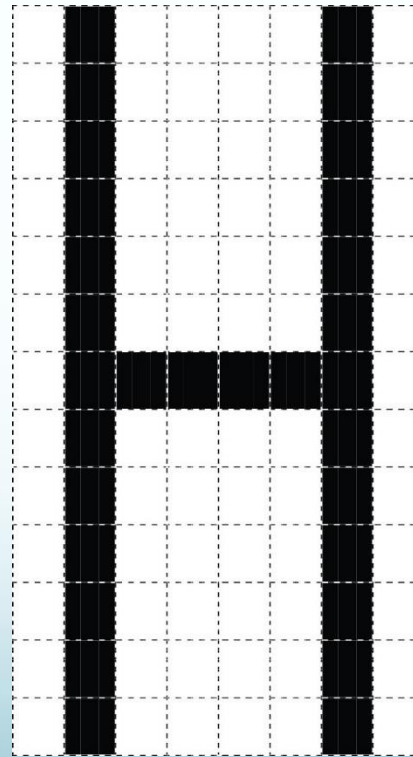
- ❑ Υπολογιστική ισχύς (ταχύτητα υπολογισμών)
- ❑ Είδος υποστηριζόμενων εφαρμογών (γενικού σκοπού ή υποστήριξη συγκεκριμένων εφαρμογών)
- ❑ Κλίμακα ολοκλήρωσης (πλήθος και πυκνότητα ψηφιακών κυκλωμάτων)
- ❑ Κόστος
- ❑ Μέγεθος κατασκευής
- ❑ Τεχνολογία κατασκευής
- ❑ Αυτονομία λειτουργίας
- ❑ Φορητότητα



Bit & Byte

- ❑ **Bit** = Ελάχιστη μονάδα πληροφορίας = 1 δυαδικό ψηφίο = τιμή 0 ή 1
- ❑ **1 Byte** = 8 bit
- ❑ Παράδειγμα αναπαράστασης με bit (σύμβολο στην οθόνη)

0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0



Εκφράζοντας μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας

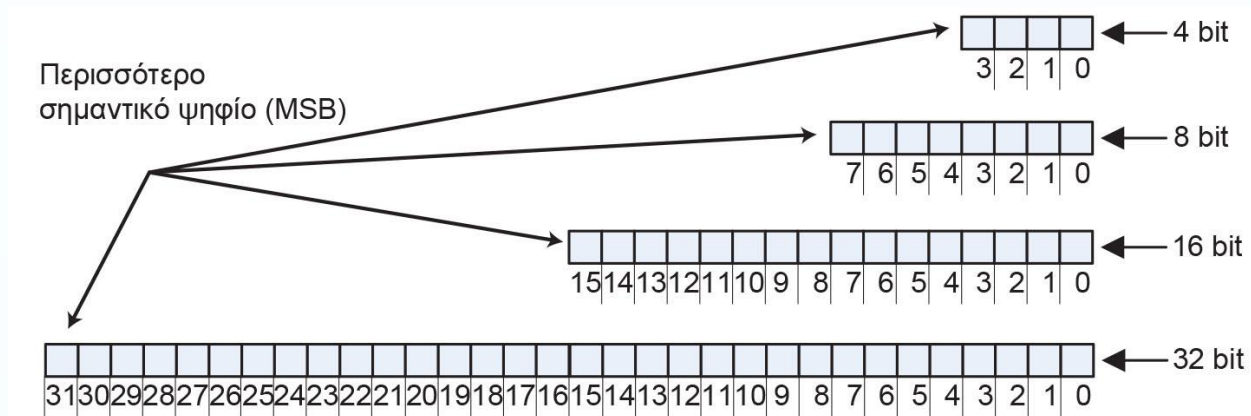
Προθέματα		
Σύμβολο	Πρόθεμα	Αξία
P	Peta	10^{15}
T	Tera	10^{12}
G	Giga	10^9
M	Mega	10^6
K	Kilo	10^3

- ❑ 1Kbyte=1024byte (και όχι 1000byte)
- ❑ N Kbyte = N πολλαπλάσια των 1024byte
- ❑ 64Kbyte = 64 x 1024 byte



Βασικά χαρακτηριστικά μικροεπεξεργαστών

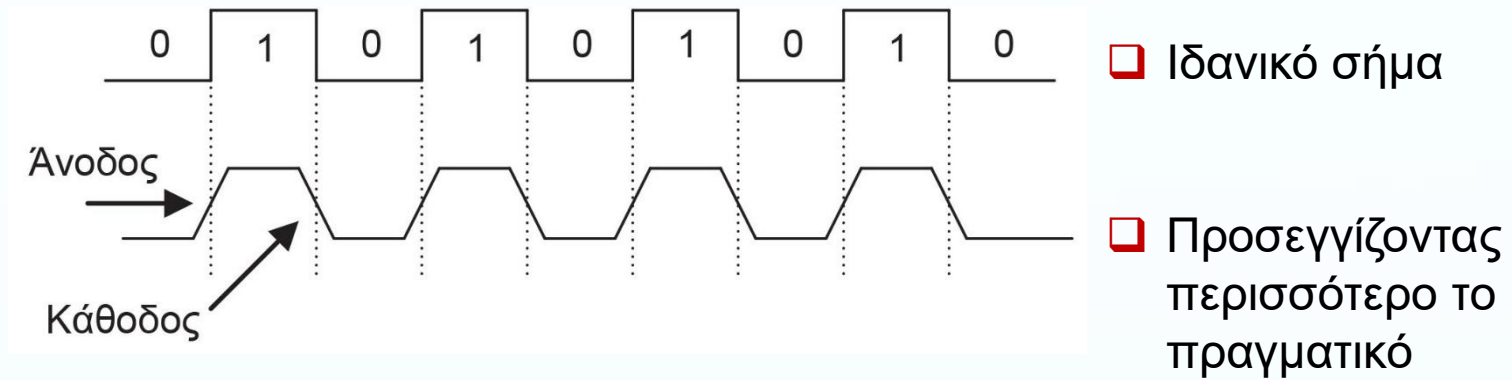
❑ Μήκος λέξης



- ❑ Μήκος εντολής
- ❑ Τρόποι διευθυνσιοδότησης και πλήθος καταχωρητών
- ❑ Χρονισμός και χρονική απόκριση (επιδόσεις σε επίπεδο εντολών)



Σήμα ρολογιού



Ένα από τα βασικά κριτήρια που καθορίζουν τις επιδόσεις του συστήματος



Το χθες και το σήμερα



1981

2015+



Φωτογραφίες Π. Παπάζογλου

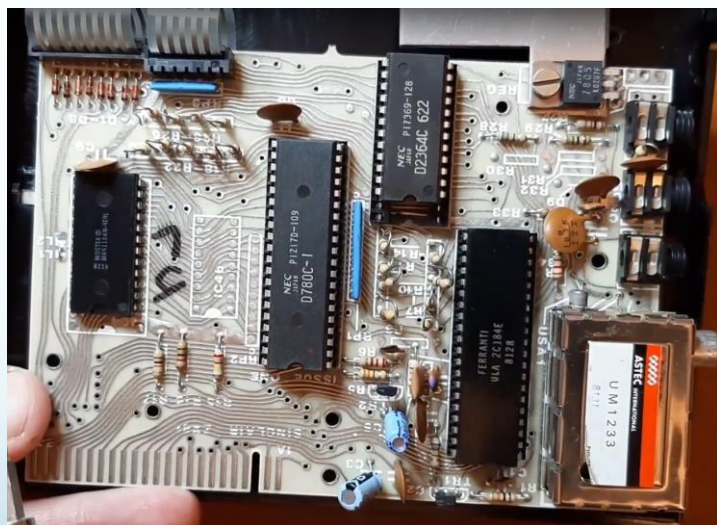
Από το 1981 στο 2015		
Στοιχείο	ZX81	Σημερινός υπολογιστής (ενδεικτικά)
Έτος	1981	2015
Μικροεπεξεργαστής	Z80	Intel® Core™ i7-4790K (4 πυρήνες)
Χρονισμός (ρολόι συστήματος)	3.25MHz	3.00-4.40GHz
Μνήμη RAM	1K (επεκτάσιμη στα 16K)	4-32GB
Μήκος λέξης	8bit	64bit
Σύστημα απεικόνισης	Σε μονόχρωμη τηλεόραση (UHF)	Σε οθόνη (ο μικροεπεξεργαστής περιέχει και υποεπεξεργαστή απεικόνισης)
Ανάλυση κειμένου	24 γραμμές των 32 χαρακτήρων	Μεγαλύτερο από 80X100
Ανάλυση γραφικών	64 x 48 pixel	Μεγαλύτερο από 1920x1200
Τροφοδοσία	9V	Πολλαπλή +/-
Εξωτερική αποθήκευση	Όχι	Σκληρός δίσκος 1-5TB



1980



Z80



Board ZX81

Φωτογραφία Π. Παπάζογλου

Το χθες και το σήμερα

2015+



INTEL i7

Board για INTEL

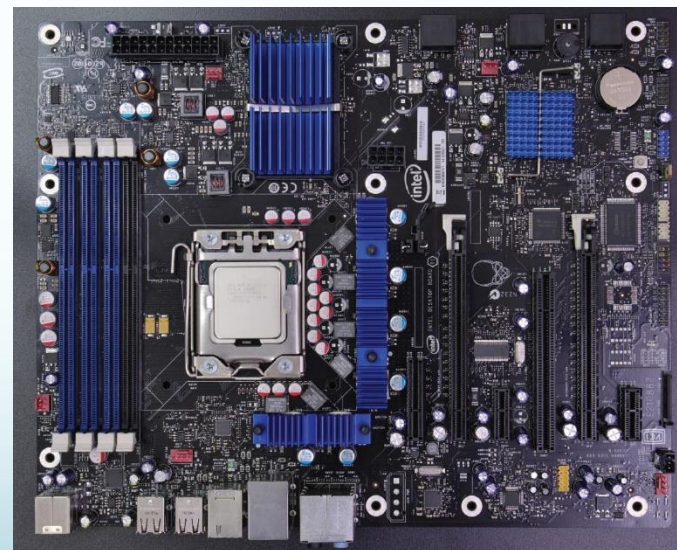


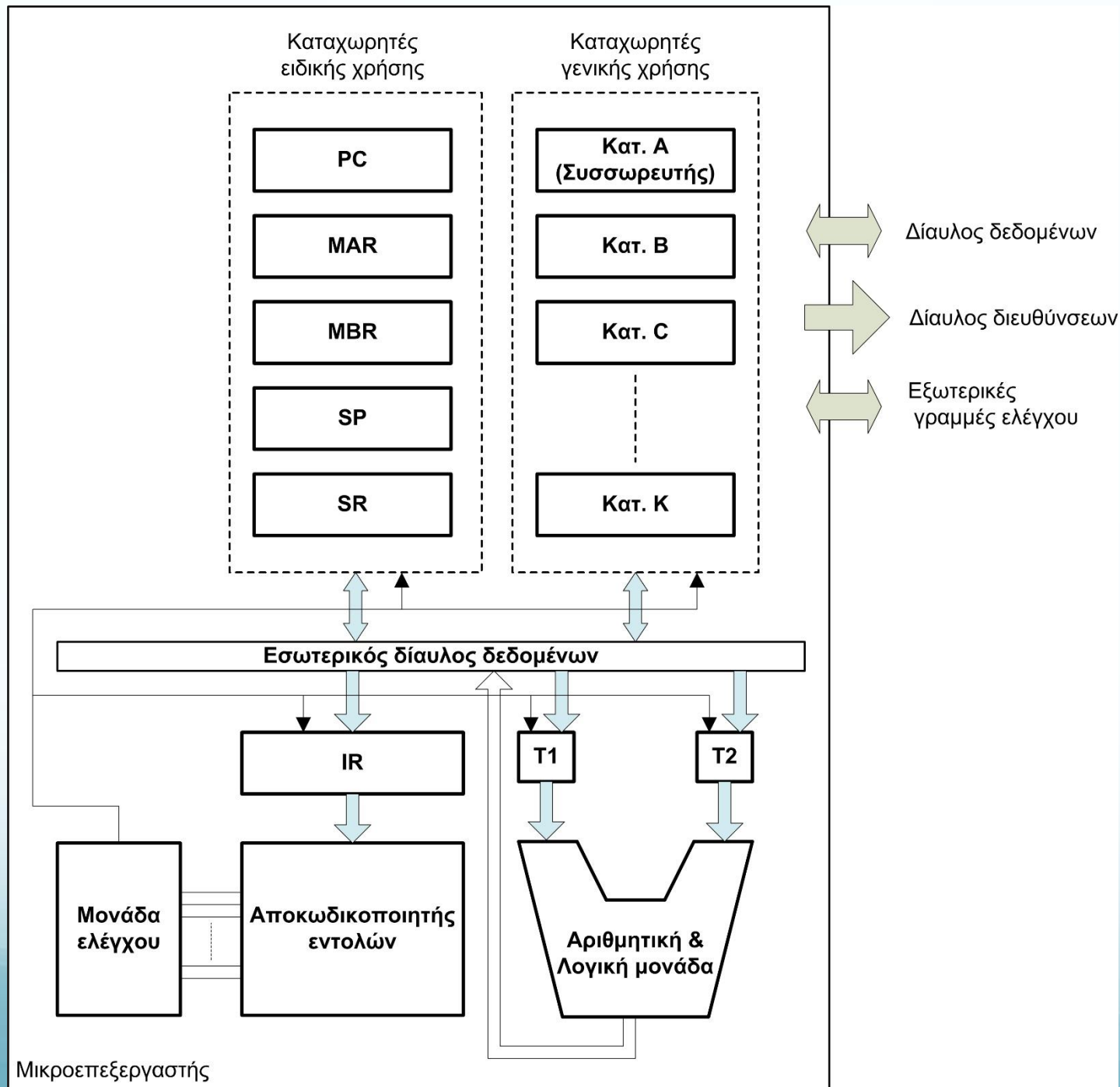
Photo: Rainer Knäpper, Free Art License
(<http://artlibre.org/licence/lal/en/>)



Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας – ΚΜΕ

- ❑ Υλοποιείται σε ένα Chip που ονομάζεται **μικροεπεξεργαστής**
- ❑ Εκτελεί τις εντολές του προγράμματος
- ❑ Εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις
- ❑ Αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος
- ❑ Συνήθως όλη η υπολογιστική ισχύς προέρχεται από τον μικροεπεξεργαστή
- ❑ Στα πιο σύγχρονα συστήματα πολλές συμπληρωματικές λειτουργίες υλοποιούνται εντός του μικροεπεξεργαστή





Γενικό μοντέλο εσωτερικής δομής μικροεπεξεργαστή



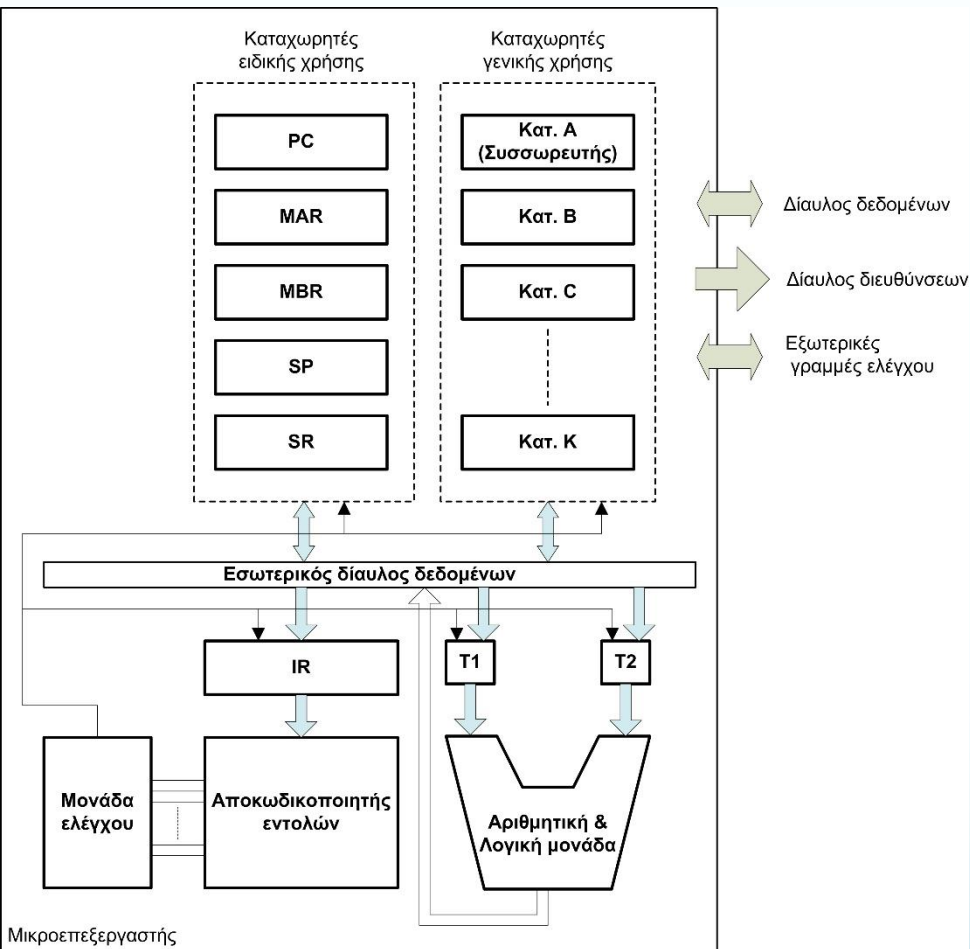
Καταχωρητές. Πρόκειται για συγκεκριμένες περιοχές αποθήκευσης μέσα στον μικροεπεξεργαστή. Κάθε καταχωρητής, έχει συγκεκριμένο όνομα, υποστηρίζει ένα σύνολο από λειτουργίες, ενώ έχει και περιορισμένη χωρητικότητα που είναι συνήθως πολλαπλάσιο των 8bit.

Αριθμητική και λογική μονάδα. Είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση αριθμητικών (π.χ. $1+2$) και λογικών πράξεων (π.χ. $A \text{ AND } B$).

Αποκωδικοποιητής εντολών. Κάθε εντολή προγράμματος που φιλοξενείται στη μνήμη, έχει ένα μοναδικό όνομα. Το μοναδικό όνομα (στην πραγματικότητα αριθμός) της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί, «μεταφέρεται» αρχικά στον αποκωδικοποιητή, ο οποίος διαθέτει ένα «λεξικό», που γράφει τη λειτουργία για κάθε εντολή που υποστηρίζει ο μικροεπεξεργαστής. Βάσει της «ερμηνείας» της εντολής, «δρομολογούνται» οι κατάλληλες ενέργειες, προκειμένου αυτή να εκτελεστεί.

Μονάδα ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου παράγει τα κατάλληλα σήματα για το «συντονισμό» των ενεργειών που θα λάβουν χώρα για την εκτέλεση της τρέχουσας εντολής.

Εσωτερικός δίαυλος δεδομένων. Όλα τα δεδομένα στο εσωτερικό του μικροεπεξεργαστή διακινούνται από τον εσωτερικό δίαυλο δεδομένων

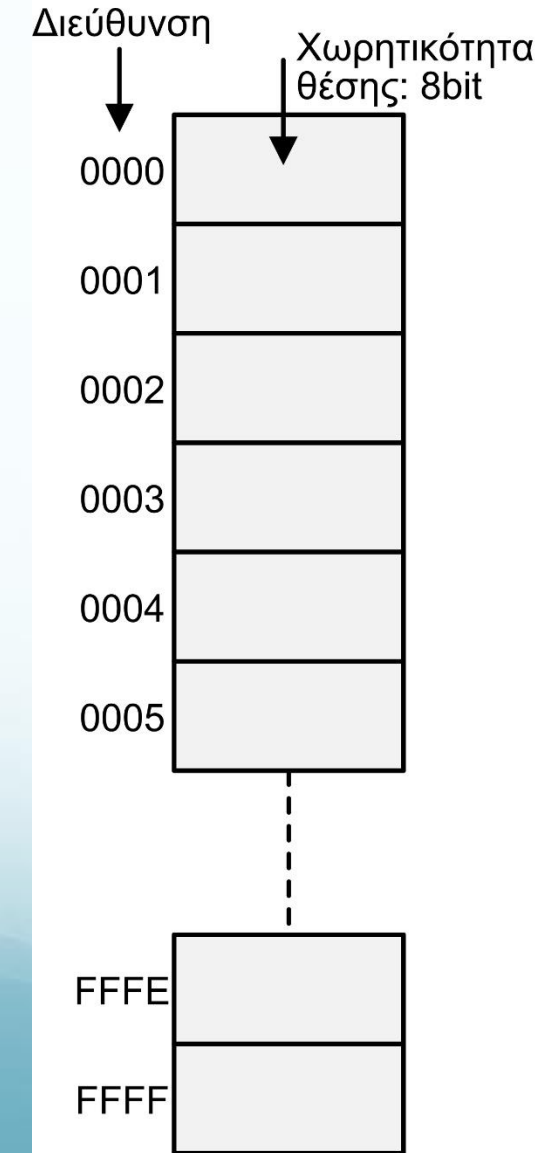


Μνήμη

- Υπάρχουν πολλές τεχνολογίες για την αποθήκευση δεδομένων
- Σκληρός δίσκος, κύρια μνήμη (RAM, ROM/EPROM/EEPROM), κλπ
- Κύρια μνήμη (RAM)
 - Υποστηρίζει ανάγνωση/εγγραφή
 - Φιλοξενεί τις εφαρμογές που έχει ενεργοποιήσει ο χρήσης, καθώς και τα αντίστοιχα δεδομένα
 - Χάνει τα περιεχόμενά της κατά την απουσία της τροφοδοσίας



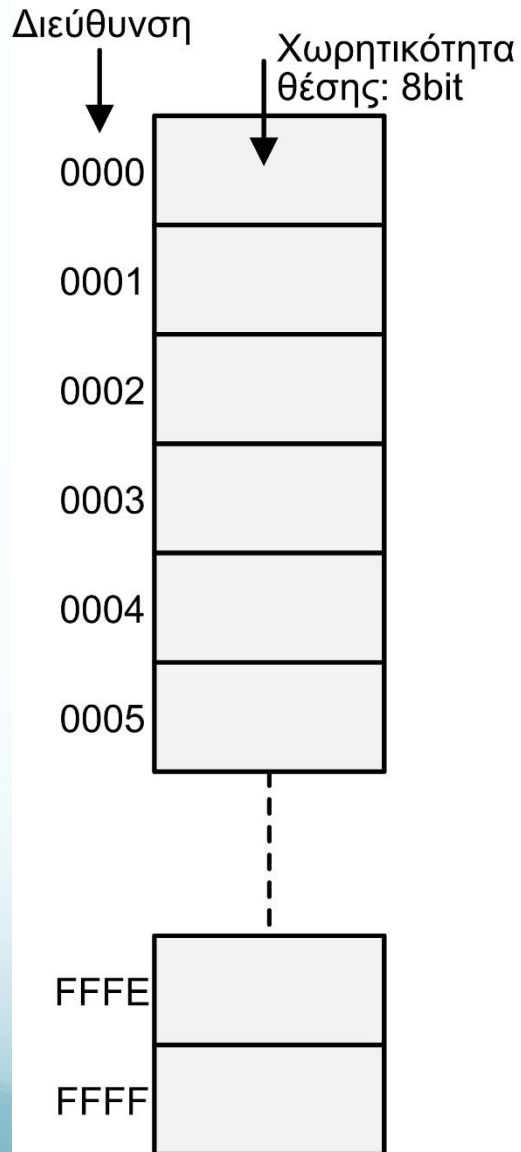
Γενικό μοντέλο μνήμης



- Μονοδιάστατος πίνακας
- Ίδια χωρητικότητα σε κάθε θέση (τυπική τιμή 8bit)
- Κάθε θέση διαθέτει μια μοναδική διεύθυνση
- Κάθε διεύθυνση εκφράζεται στο δεκαεξαδικό σύστημα
- Δεκαεξαδικό σύστημα
{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,A,B,C,D,E,F}
- Με δίαυλο διευθύνσεων 16bit, μπορούμε να έχουμε $2^{16}=65536$ θέσεις μνήμης
- Διεύθυνση πρώτης θέσης : 0
- Διεύθυνση τελευταίας θέσης : 65535 (δεκαεξαδικό FFFF)



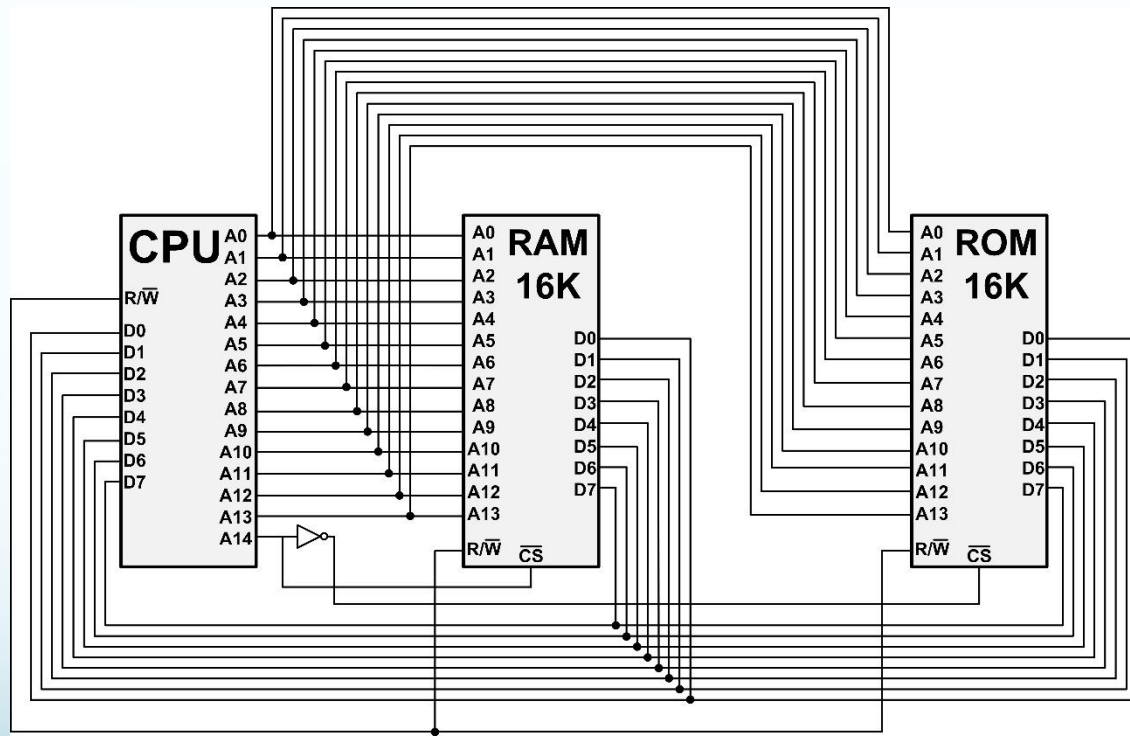
Γενικό μοντέλο μνήμης



- ❑ Κάθε θέση = ίδια χωρητικότητα
- ❑ Μοναδικό αναγνωριστικό κάθε θέσης = μοναδική διεύθυνση
- ❑ Μνήμη K θέσεων απαιτεί N bit διεύθυνσης για κάθε θέση ($2^N \geq K$)
- ❑ Συνηθισμένο μοντέλο = Μια θέση μνήμης έχει χωρητικότητα 8bit (1 byte)



Τυπικό κύκλωμα υπολογιστή από τα '80s

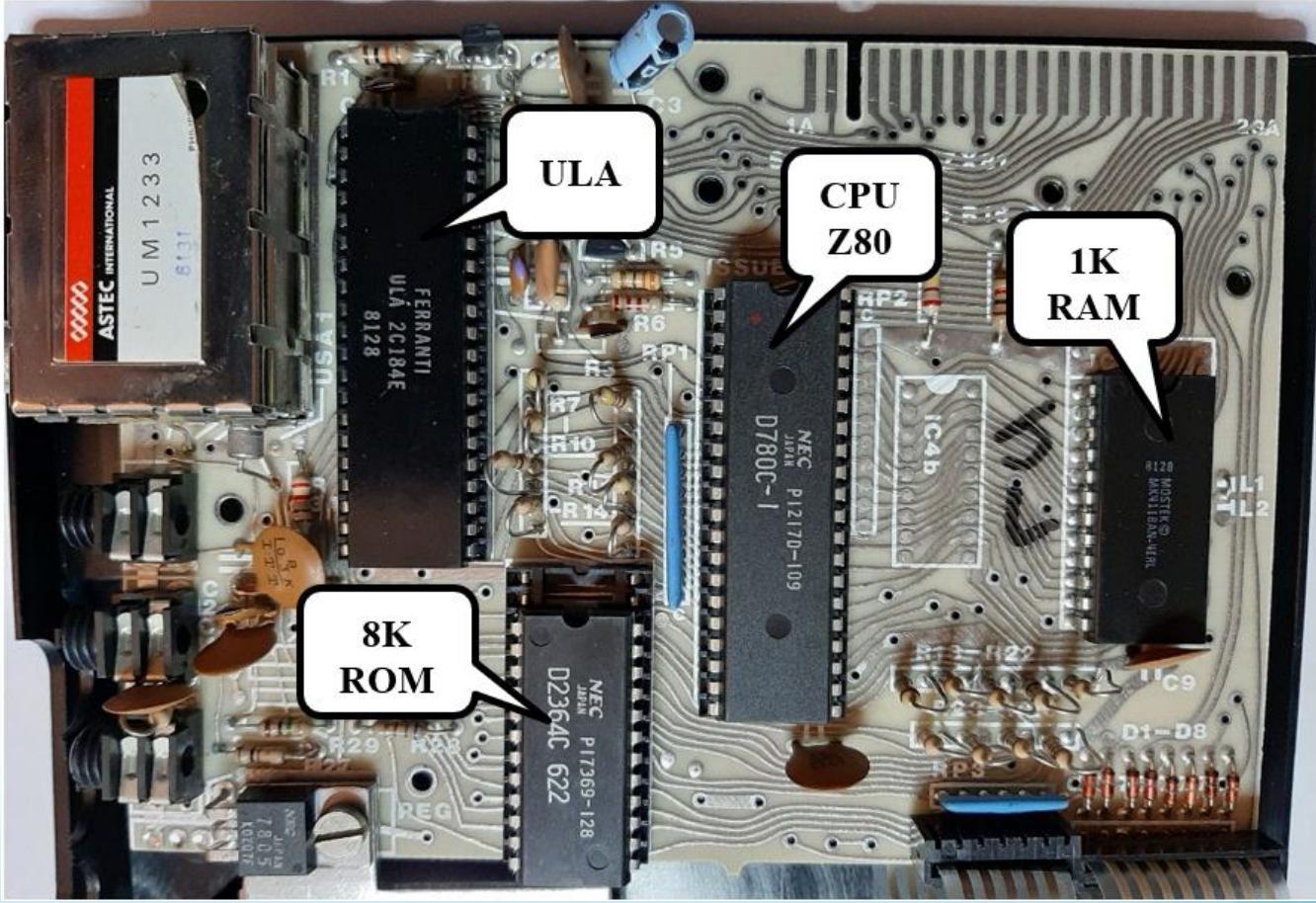
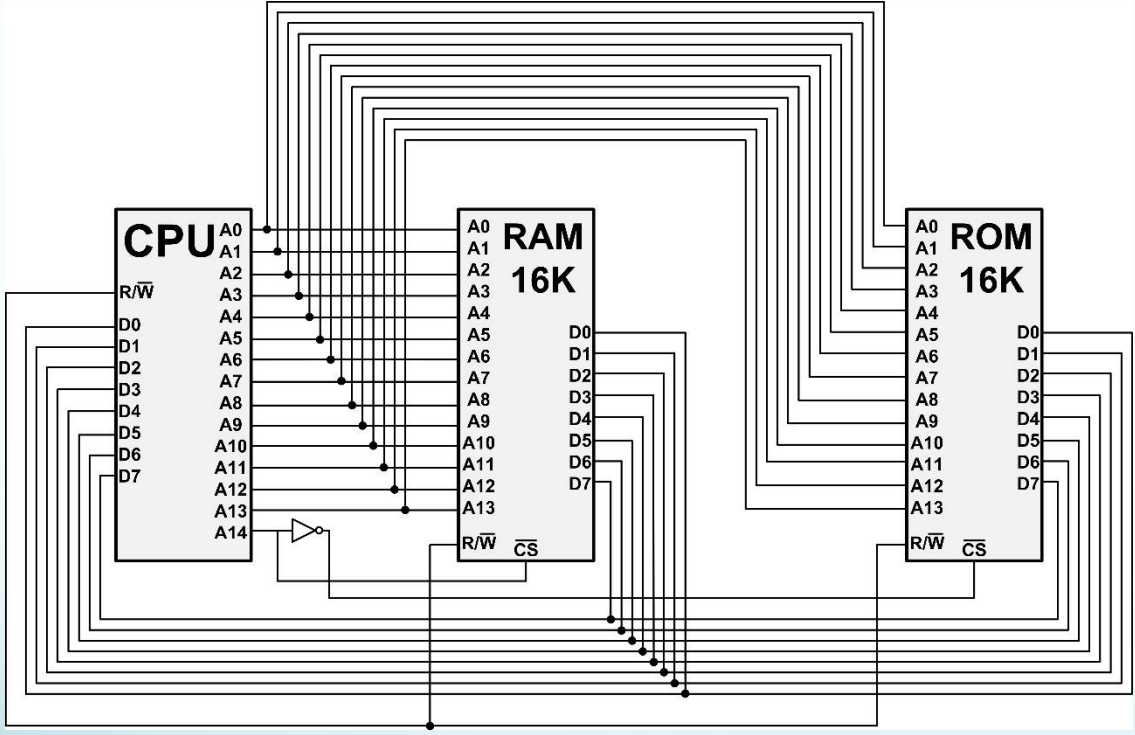


Δραστηριότητα

- Πόσες θέσεις μνήμης αντιστοιχούν σε μια μνήμη 16Kbyte;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος διευθύνσεων;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος δεδομένων;
- Τι χωρητικότητα έχει κάθε θέση μνήμης;
- Με ποιο τρόπο καθορίζεται το ολοκληρωμένο κύκλωμα από το οποίο θα γίνει η ανάγνωση;



Τυπικό κύκλωμα υπολογιστή από τα '80s



Board ZX81

Φωτογραφία Π. Παπάζογλου



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (1)

Καταχωρητές

Μικροεπεξεργαστής

Αριθμητική &
Λογική μονάδα

A



B



C



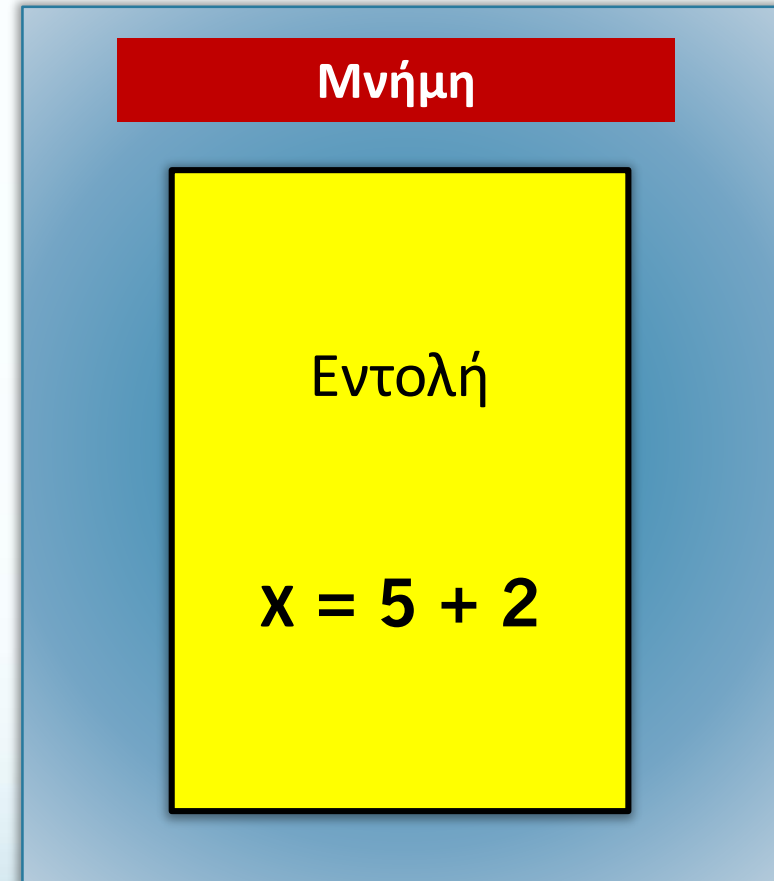
- ❑ Καταχωρητές = συγκεκριμένες περιοχές αποθήκευσης με συγκεκριμένο όνομα, εντός του μικροεπεξεργαστή, περιορισμένης χωρητικότητας
- ❑ Αριθμητική και λογική μονάδα = εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις
- ❑ Θεωρούμε υποθετικό μικροεπεξεργαστή με καταχωρητές A, B, C
- ❑ Εκτέλεση προγράμματος = υποχρεωτική χρήση καταχωρητών



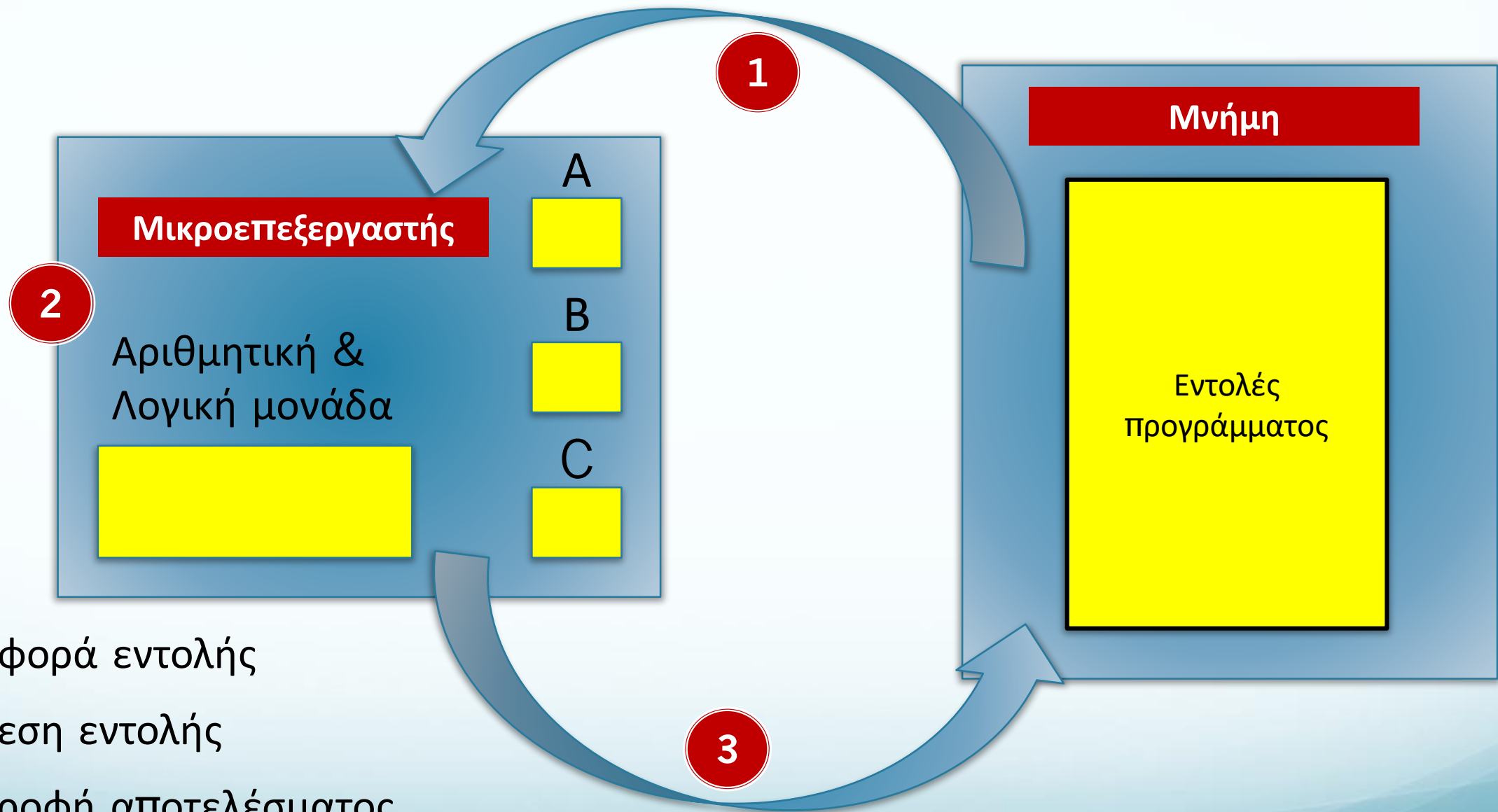
Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (2)

Εκτέλεση προγράμματος \leftrightarrow Αλληλεπίδραση μνήμης-μικροεπεξεργαστή

- Έστω ότι πρόκειται να εκτελεστεί μια εντολή πρόσθεσης της μορφής $X=5+2$.
- Η εντολή βρίσκεται αποθηκευμένη στη μνήμη, ενώ η εκτέλεσή της θα γίνει από τον μικροεπεξεργαστή.
- Επομένως, απαιτείται η αλληλεπίδραση μνήμης-μικροεπεξεργαστή.



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (3)



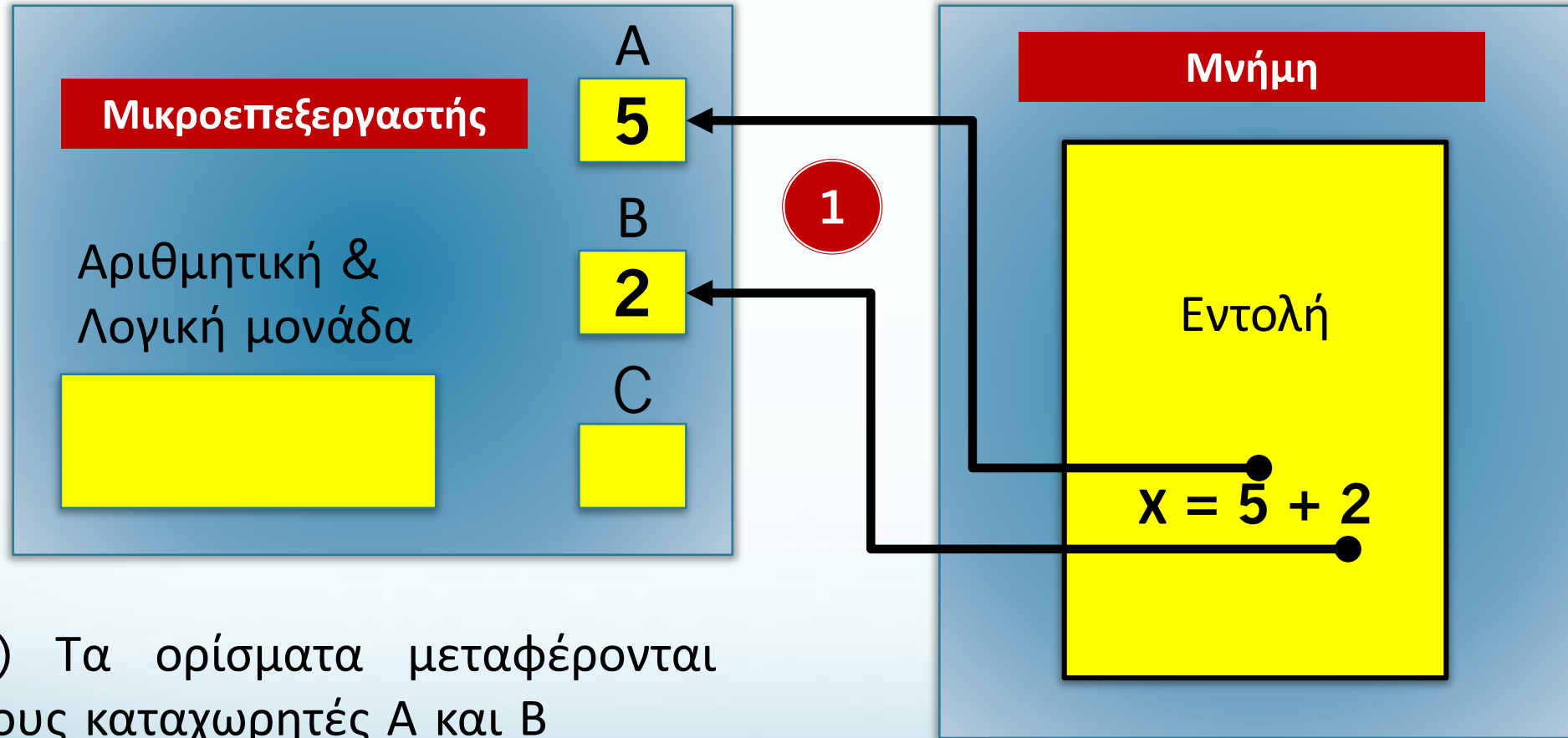
(1) Μεταφορά εντολής

(2) Εκτέλεση εντολής

(3) Επιστροφή αποτελέσματος



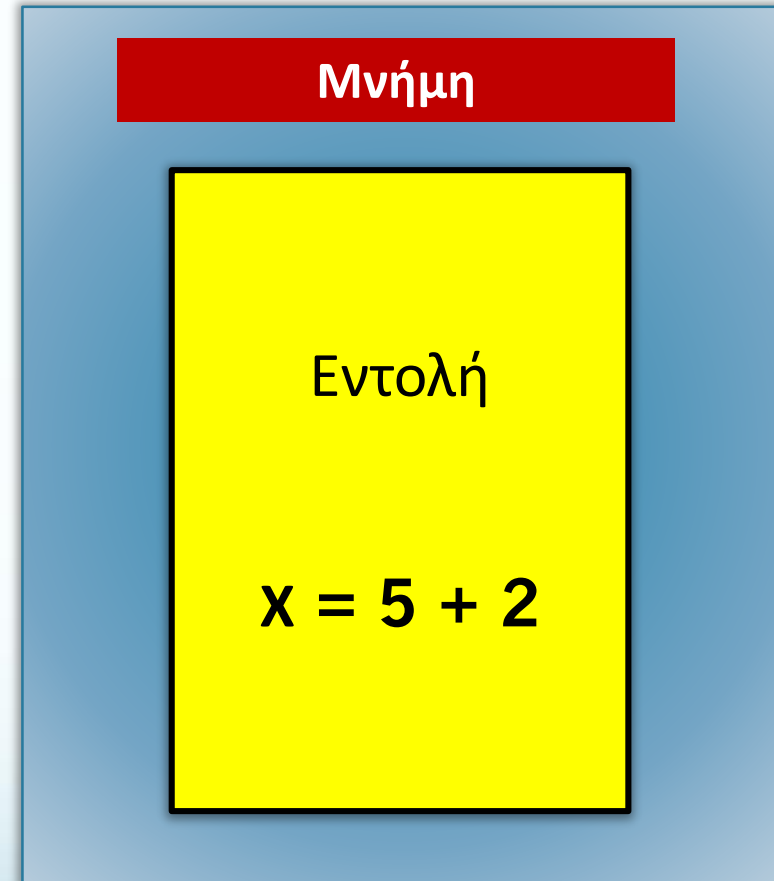
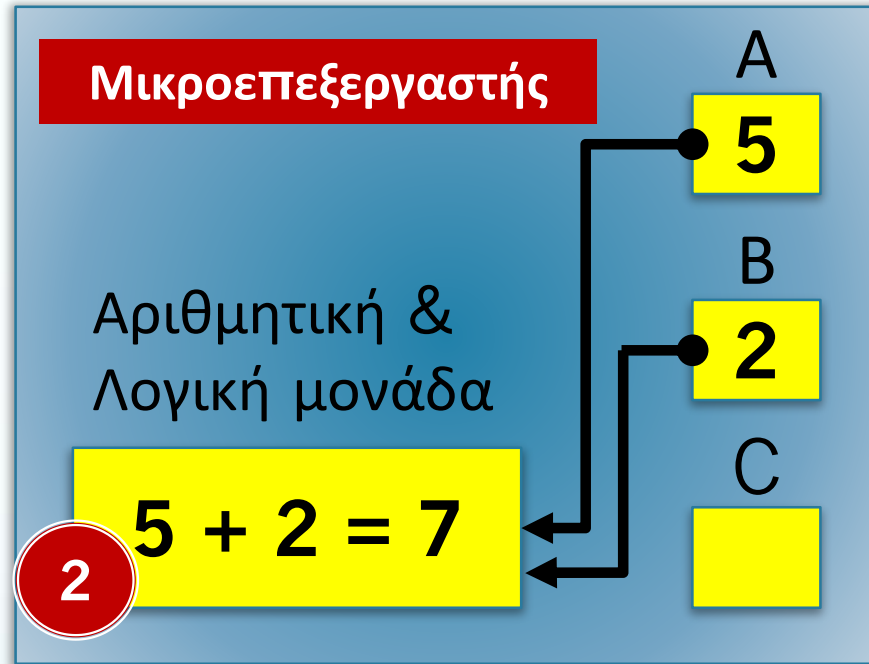
Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (4)



(1) Τα ορίσματα μεταφέρονται στους καταχωρητές A και B



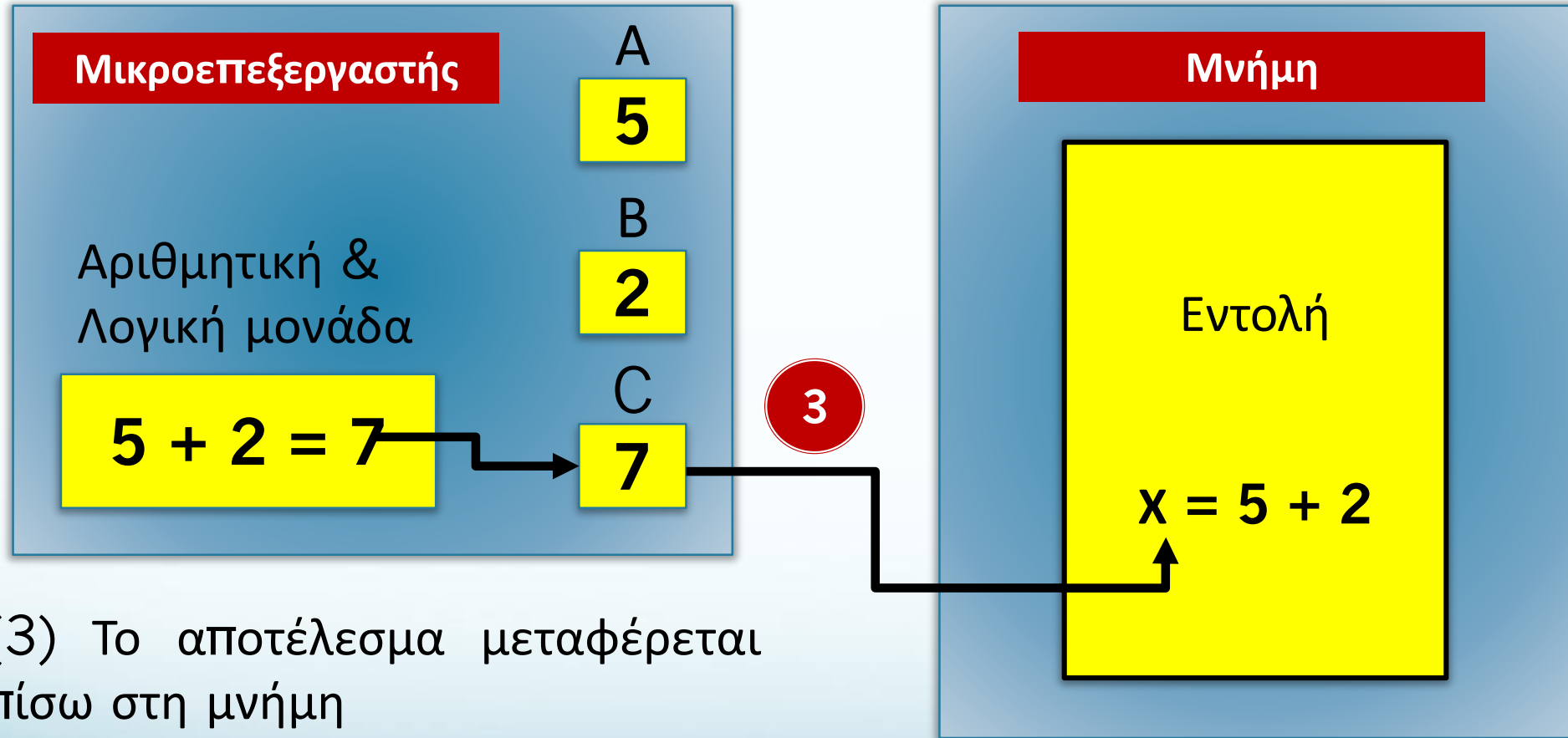
Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (5)



(2) Τα ορίσματα μεταφέρονται από τους καταχωρητές στην ΑΛΜ και εκτελείται η πράξη



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (6)



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (7)

Σενάριο (ανάλυση εκτέλεσης με περισσότερες λεπτομέρειες):

Ένας υποθετικός υπολογιστής υποστηρίζει τις ακόλουθες εντολές:

- Add (πρόσθεση)
- Sub (αφαίρεση)
- Print (εμφάνιση μηνύματος)

Το σύστημα αναγνωρίζει κάθε εντολή με ένα μοναδικό αριθμό:

- 01 Add (πρόσθεση)
- 02 Sub (αφαίρεση)
- 03 Print (εμφάνιση μηνύματος)



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (8)

Κεντρική μνήμη

- Είναι ένας μονοδιάστατος πίνακας
- Κάθε θέση έχει ίδια χωρητικότητα
- Φιλοξενεί δυαδικά ψηφία
- Τα δυαδικά ψηφία αντιπροσωπεύουν εντολές και δεδομένα



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (9)

Κεντρική μνήμη

Διεύθυνση

Θέση
μνήμης

00	
01	
02	
03	
04	
05	
06	
07	
08	
09	

- Όλες οι θέσεις είναι ίδιες
- Για να ξεχωρίζουν μεταξύ τους (επιλογή για ανάγνωση ή εγγραφή) δίνουμε σε κάθε θέση ένα μοναδικό αριθμό που ονομάζεται διεύθυνση



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (10)

Πρόγραμμα

Ο προγραμματιστής ανέπτυξε το ακόλουθο πρόγραμμα:

X=Add 5,3

Y=Sub 4,2

Ας θυμηθούμε ότι η εντολή Add αντιστοιχεί στον αριθμό 01 και η εντολή Sub στον αριθμό 02.



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (11)

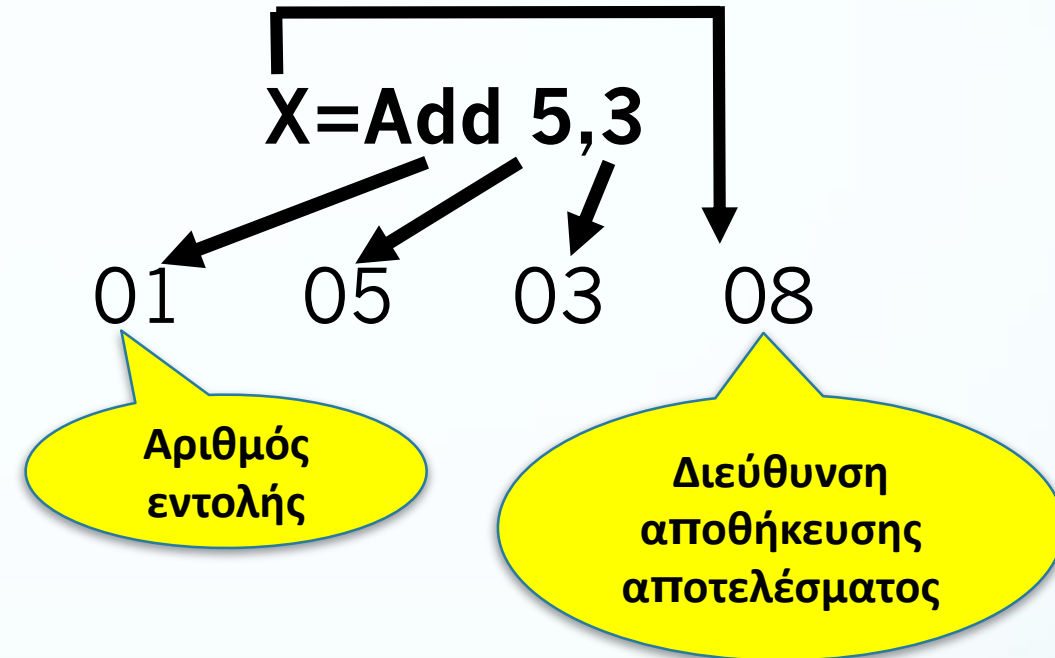
Πρόγραμμα

X=Add 5,3

Y=Sub 4,2

Αυτή η μορφή προγράμματος είναι κατανοητή μόνο από τον Προγραμματιστή

Το πρόγραμμα φιλοξενείται στη μνήμη και αντιπροσωπεύεται με αριθμούς



Y=Sub 4,2

02 04 02 09



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (12)

Μορφή προγράμματος στη μνήμη

Διεύθυνση	Περιεχόμενο	
00	01	X=Add 5,3
01	05	
02	03	
03	08	
04	02	Y=Sub 4,2
05	04	
06	02	
07	09	
08		X
09		Y



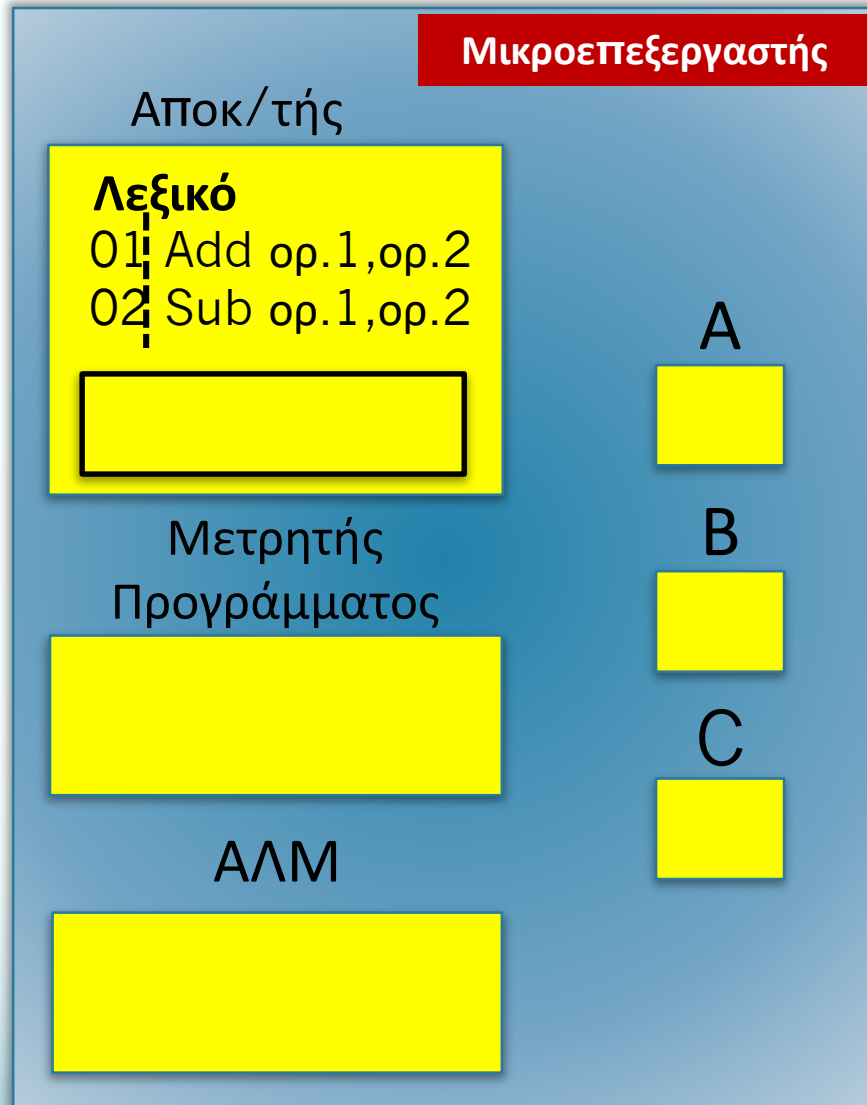
Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (13)

Μνήμη

	Διεύθυνση	Περιεχόμενο	
Αρχική διεύθυνση 1ης εντολής	00	01	X=Add 5,3
	01	05	
	02	03	
	03	08	
Αρχική διεύθυνση 2ης εντολής	04	02	Y=Sub 4,2
	05	04	
	06	02	
	07	09	
	08		X
	09		Y



Μικροεπεξεργαστής, μνήμη & εκτέλεση προγράμματος (14)

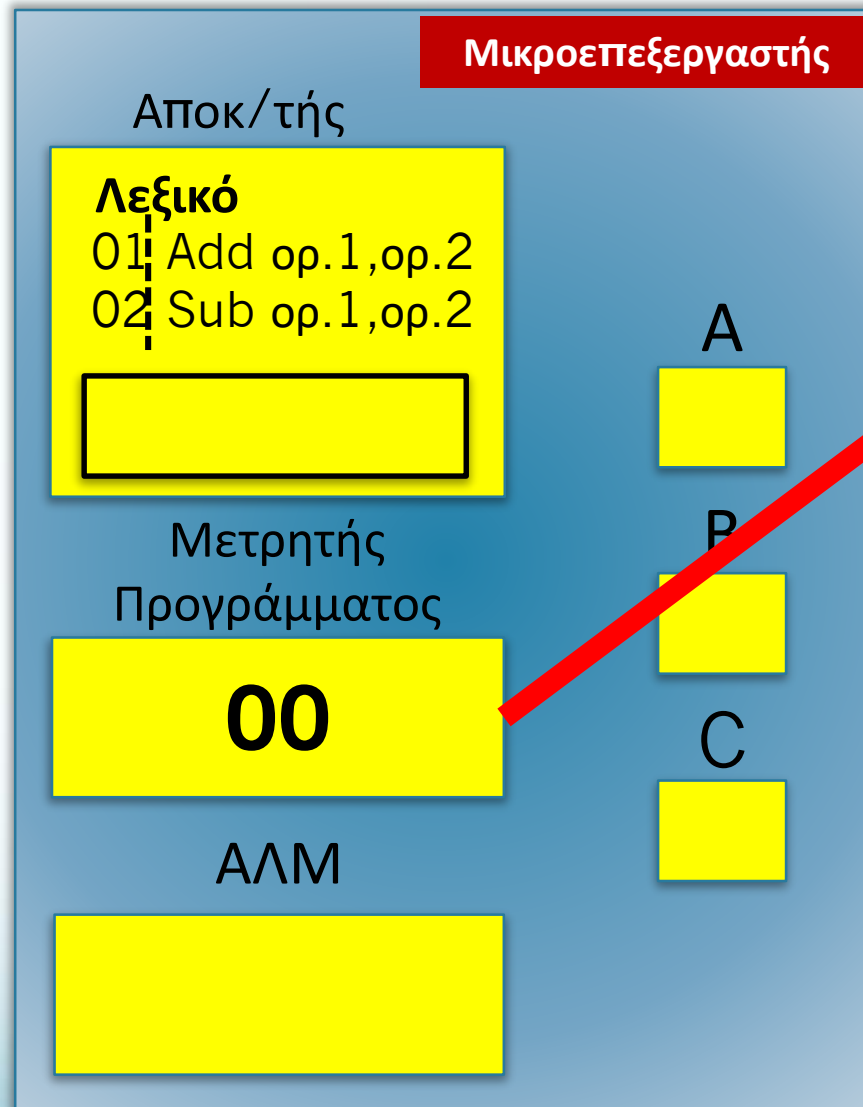


Μνήμη

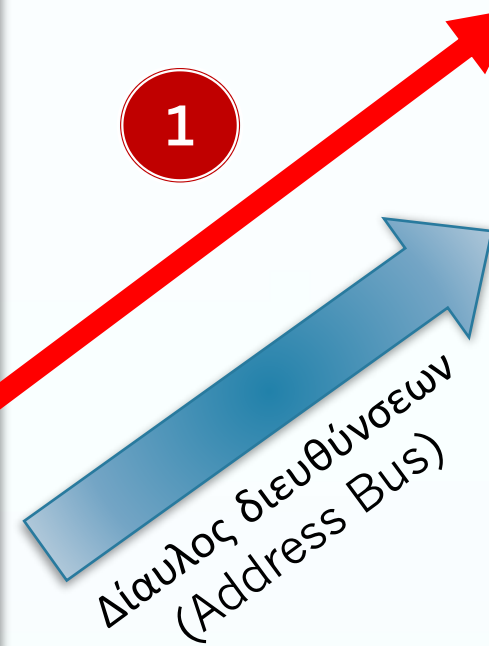
Διεύθυνση	Περιεχόμενο
00	01
01	05
02	03
03	08
04	02
05	04
06	02
07	09
08	
09	



Μνήμη



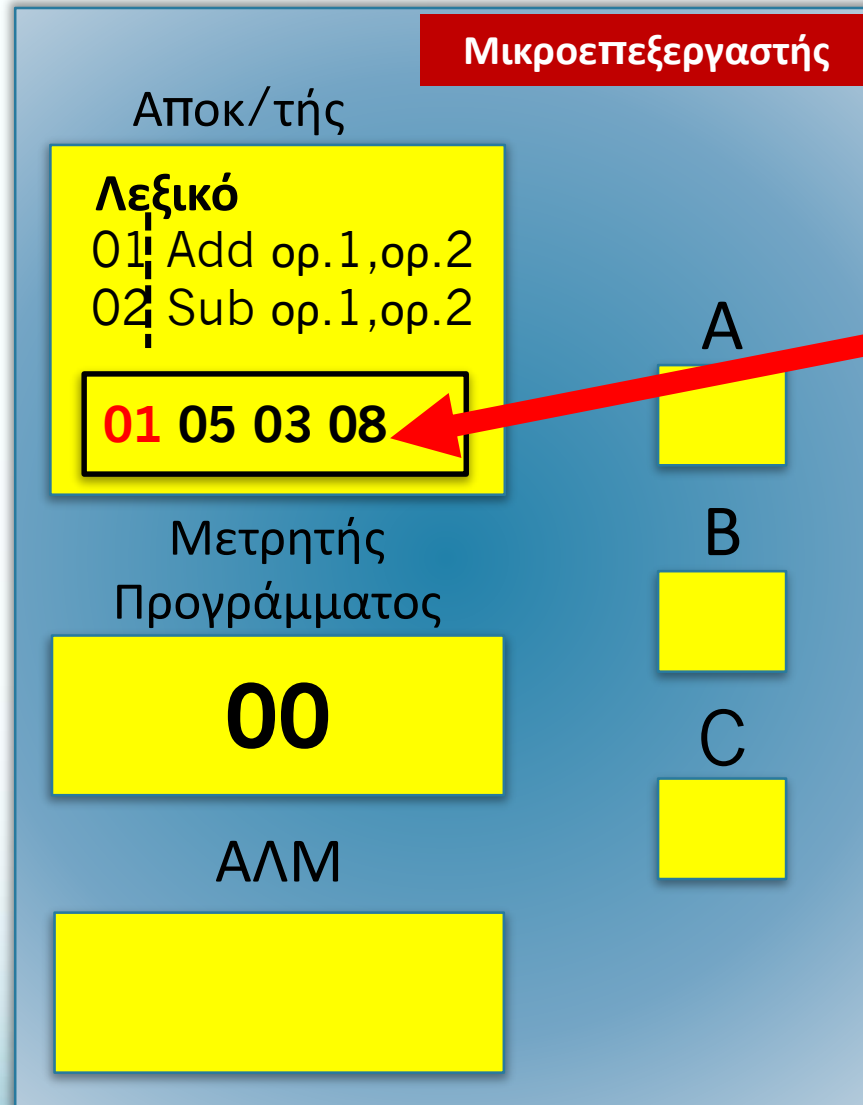
Διεύθυνση	Περιεχόμενο
00	01
01	05
02	03
03	08
04	02
05	04
06	02
07	09
08	
09	



1 Ο Μετρητής Προγράμματος δείχνει τη διεύθυνση της εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί



Μνήμη



Διεύθυνση	Περιεχόμενο
00	01
01	05
02	03
03	08
04	02
05	04
06	02
07	09
08	
09	

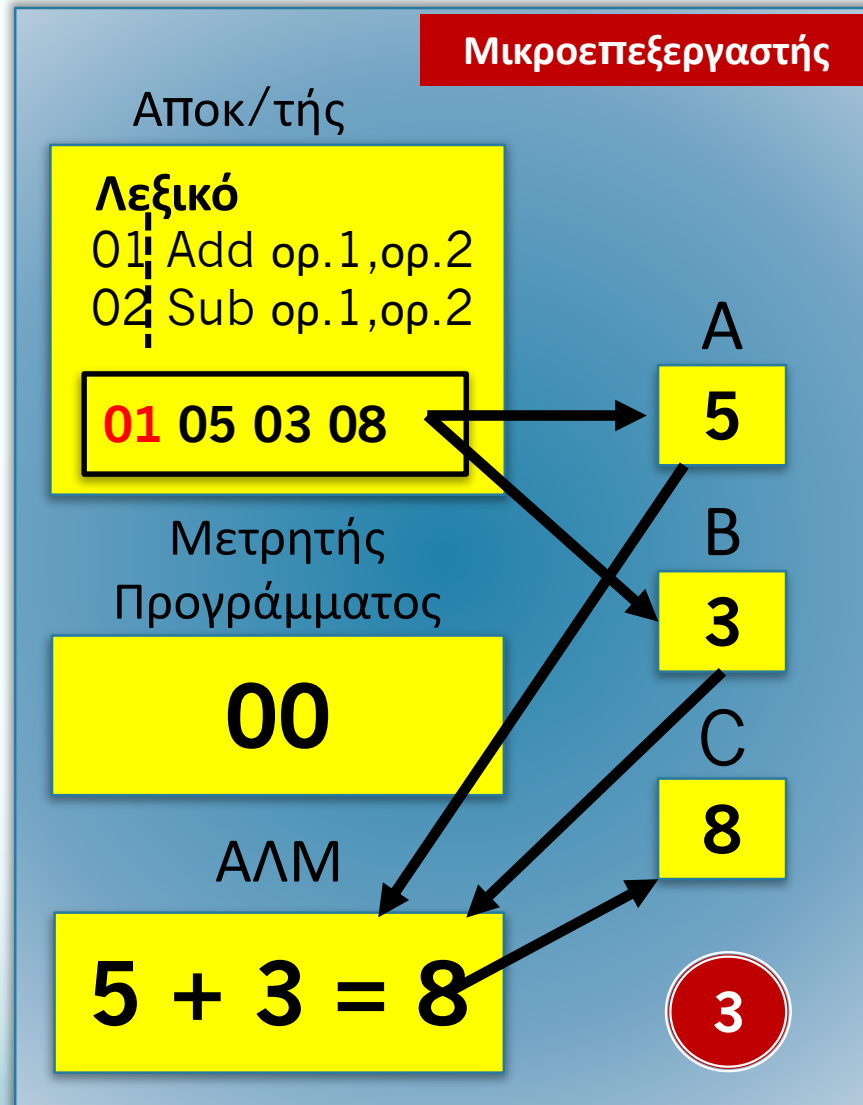
2

Δίαυλος δεδομένων
(Data Bus)

2

Ο Αποκωδικοποιητής αναλύει τον τύπο της εντολής ώστε να αποφασιστούν οι υπόλοιπες ενέργειες





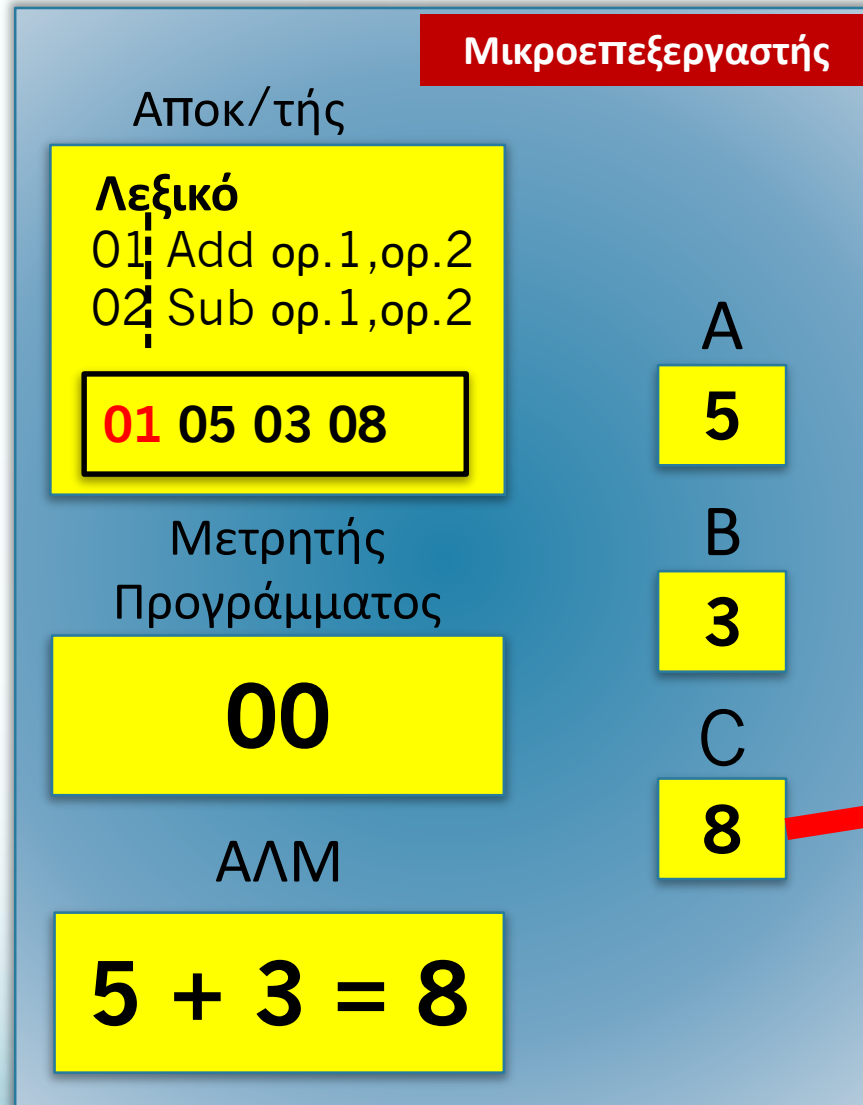
Μνήμη

Διεύθυνση	Περιεχόμενο
00	01
01	05
02	03
03	08
04	02
05	04
06	02
07	09
08	
09	

3 Η εντολή εκτελείται στον μικροεπεξεργαστή



Μνήμη



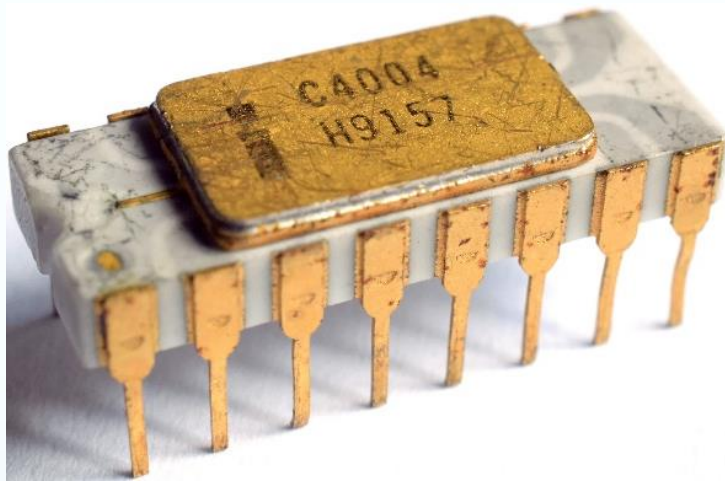
Διεύθυνση	Περιεχόμενο
00	01
01	05
02	03
03	08
04	02
05	04
06	02
07	09
08	08
09	



3 Το αποτέλεσμα επιστρέφει στη μνήμη (πρόγραμμα)



Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής στον κόσμο - 1971



Ο μικροεπεξεργαστής 4004

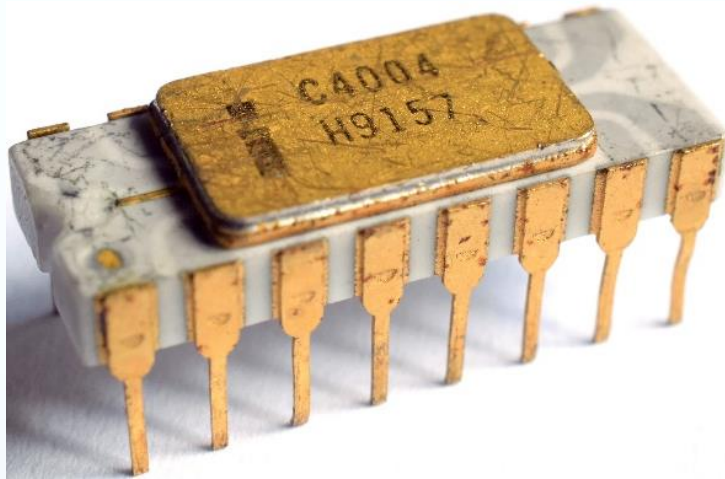
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_C4004.jpg)



Η αριθμομηχανή που βασίζεται στον 4004
(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Unicom_141P_Calculator_3.jpg, Public Domain)

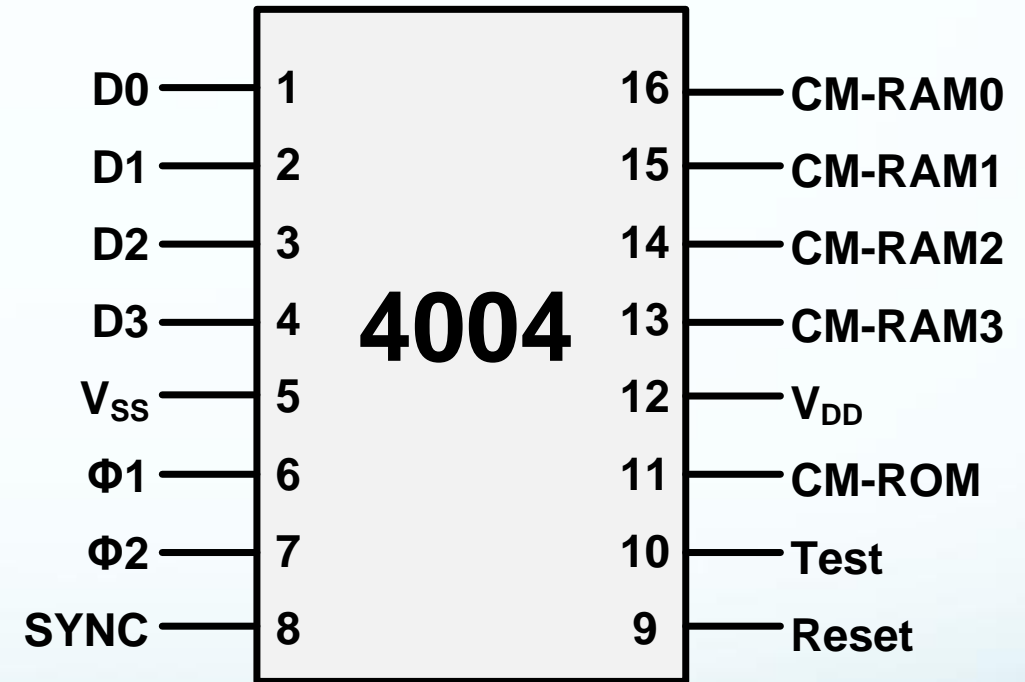


Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής στον κόσμο - 1971

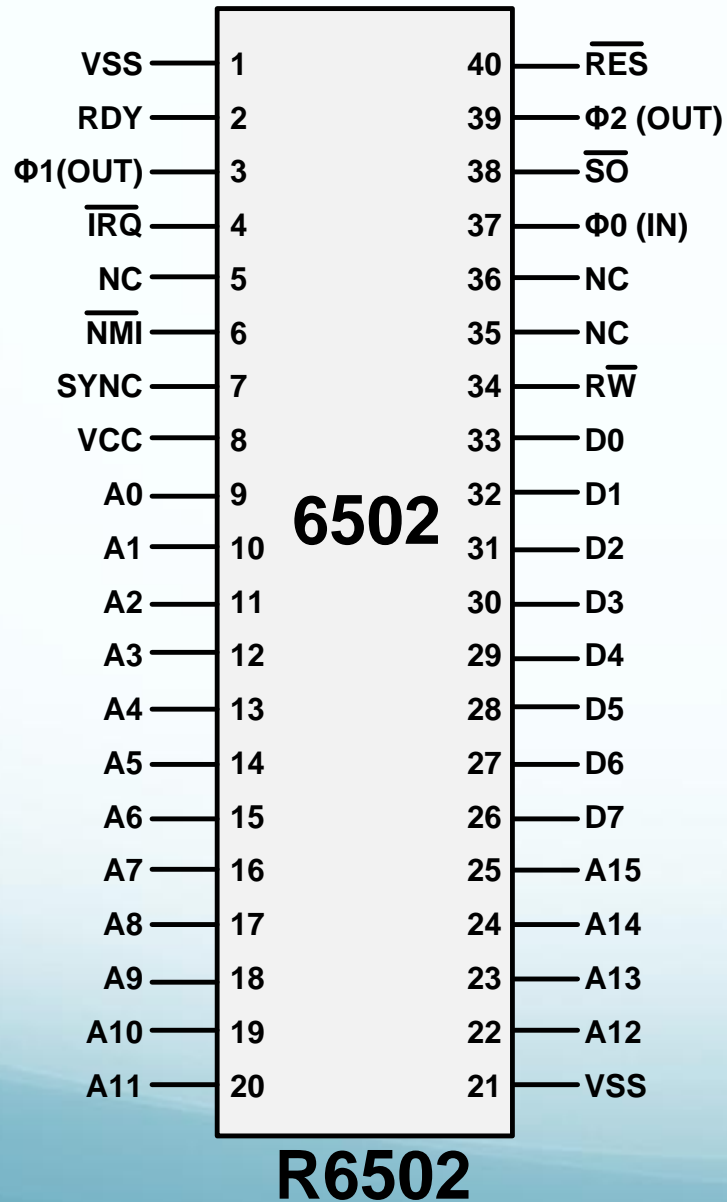


Ο μικροεπεξεργαστής 4004

(https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Intel_C4004.jpg)



Ο μικροπεξεργαστής 6502 - 1975

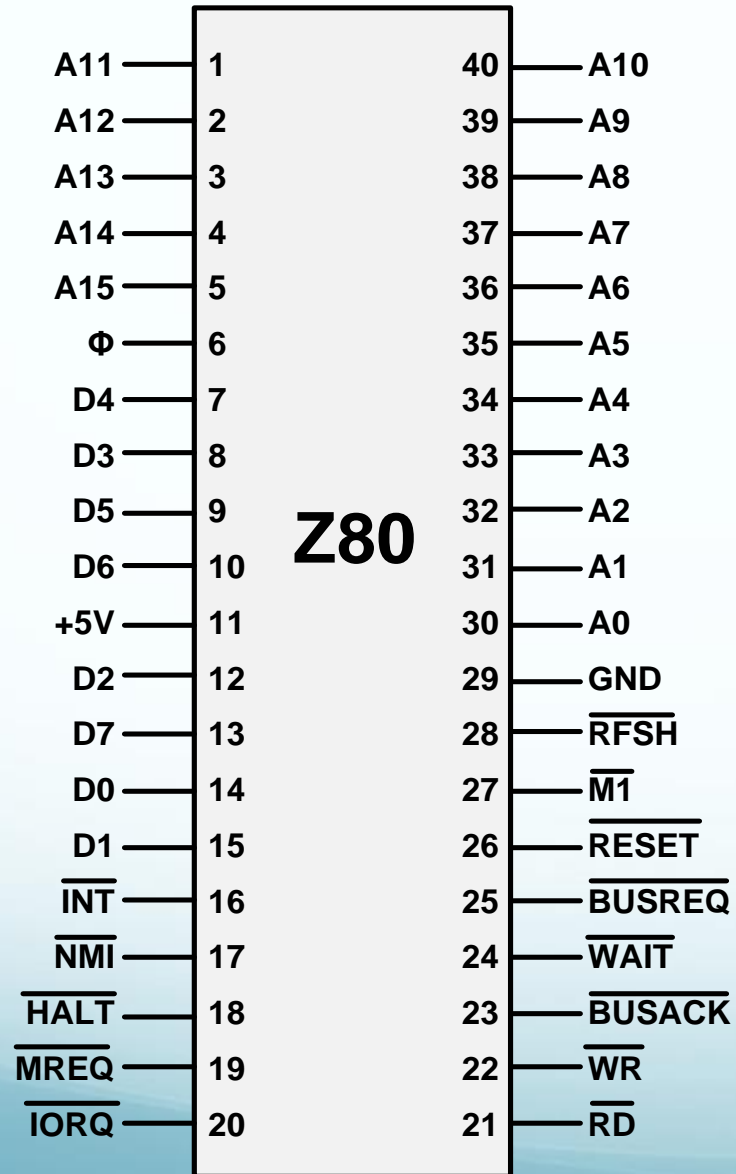


Δραστηριότητα

- Πόσες θέσεις μνήμης μπορεί να προσπελάσει;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος διευθύνσεων;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος δεδομένων;
- Τι χωρητικότητα έχει κάθε θέση μνήμης;
- Πόσα Kbyte είναι η χωρητικότητα της μνήμης που μπορεί να προσπελάσει;



Ο μικροεπεξεργαστής Z80 - 1976



Δραστηριότητα

- Πόσες θέσεις μνήμης μπορεί να προσπελάσει;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος διευθύνσεων;
- Πόσα bit διαθέτει ο δίαυλος δεδομένων;
- Τι χωρητικότητα έχει κάθε θέση μνήμης;
- Πόσα Kbyte είναι η χωρητικότητα της μνήμης που μπορεί να προσπελάσει;

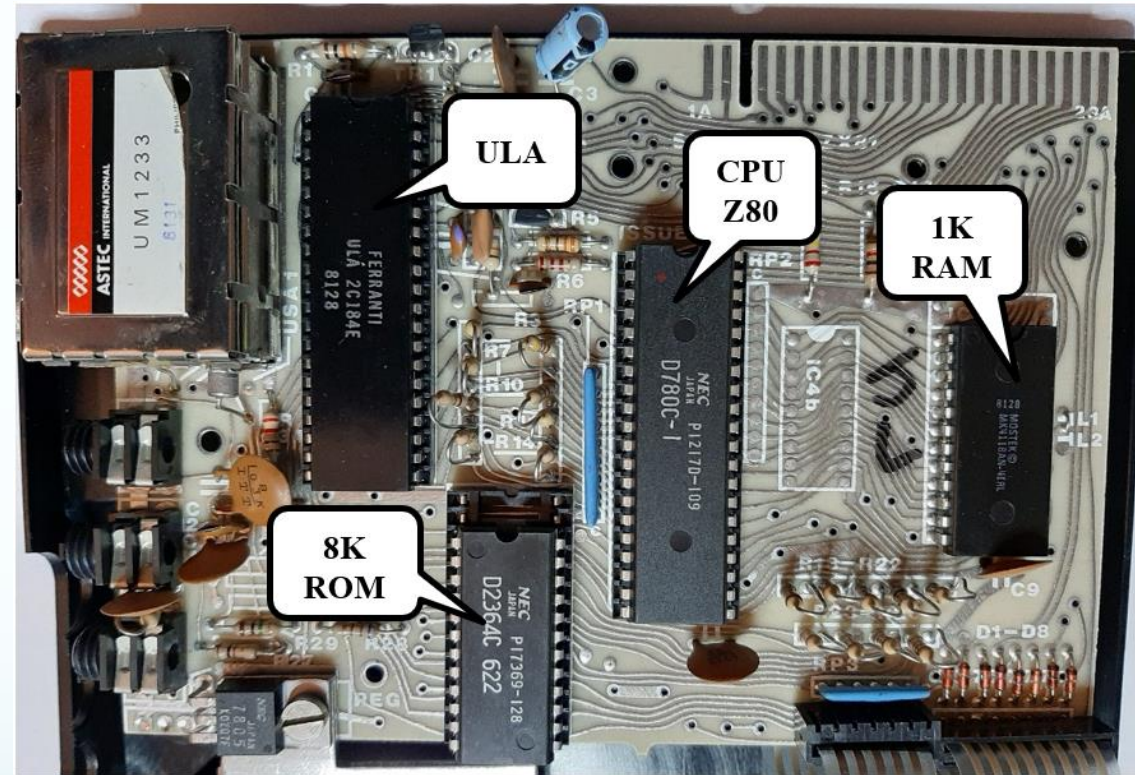
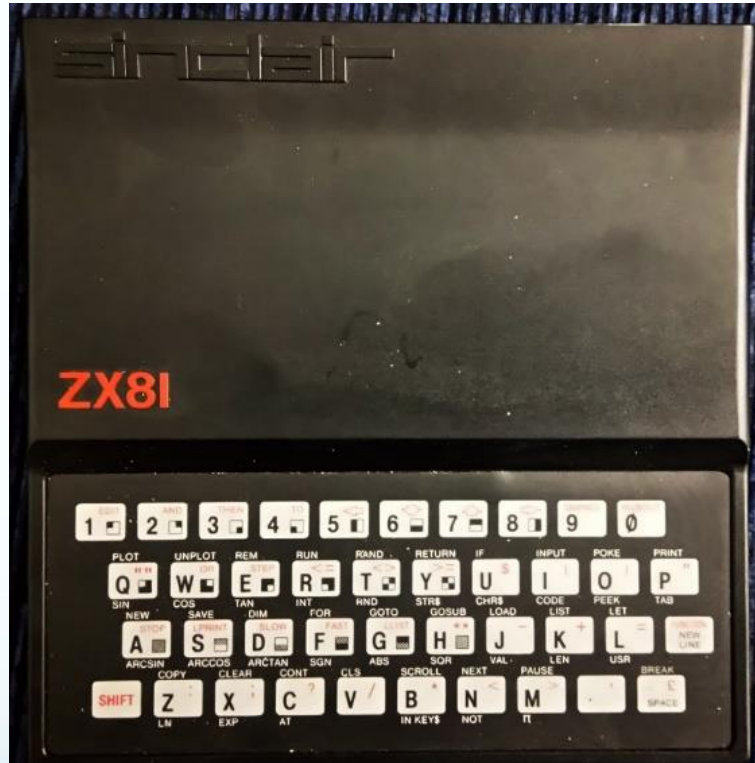


Δραστηριότητα

- Περιγράψτε τη μορφή των μικροεπεξεργαστών 8088/8086
- Ποια χρονιά κυκλοφόρησαν;
- Να κάνετε τη σύγκριση των μικροεπεξεργαστών 8088/8086 με τους 6502 και Z80. Ποιες ομοιότητες και διαφορές εντοπίζετε;
- Ποια μοντέλα υπολογιστών βασίστηκαν στους μικροεπεξεργαστές 8088/8086 τη δεκαετία του 1980; (εστιάστε την προσοχή σας στην αρχή και στα μέσα της δεκαετίας)



Υπολογιστής βασισμένος στον Z80 - 1981

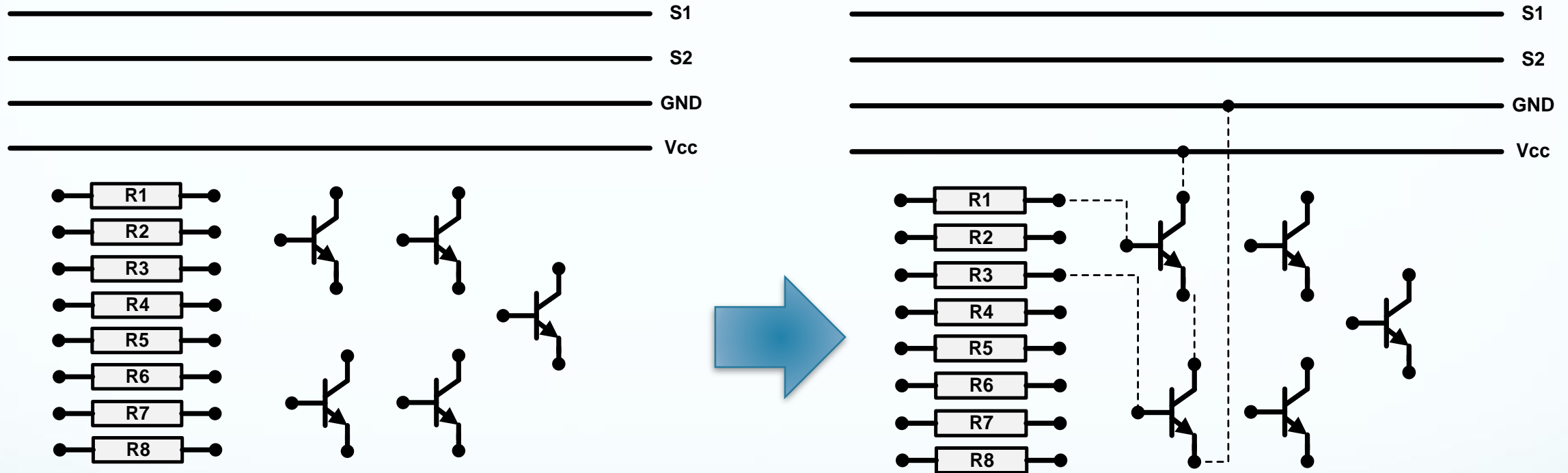


Φωτογραφίες Π. Παπάζογλου



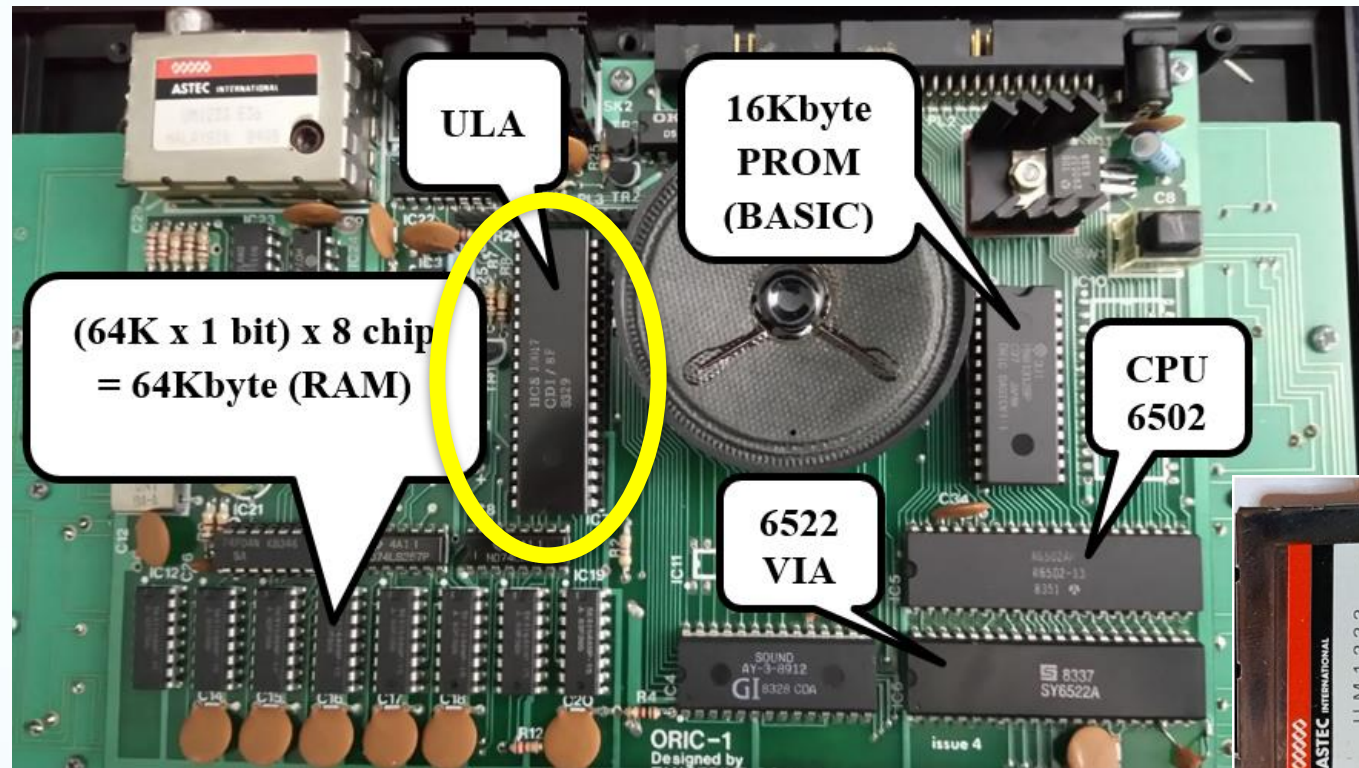
Το ψηφιακό «θαύμα» των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ULA

(Uncommitted Logic Array)

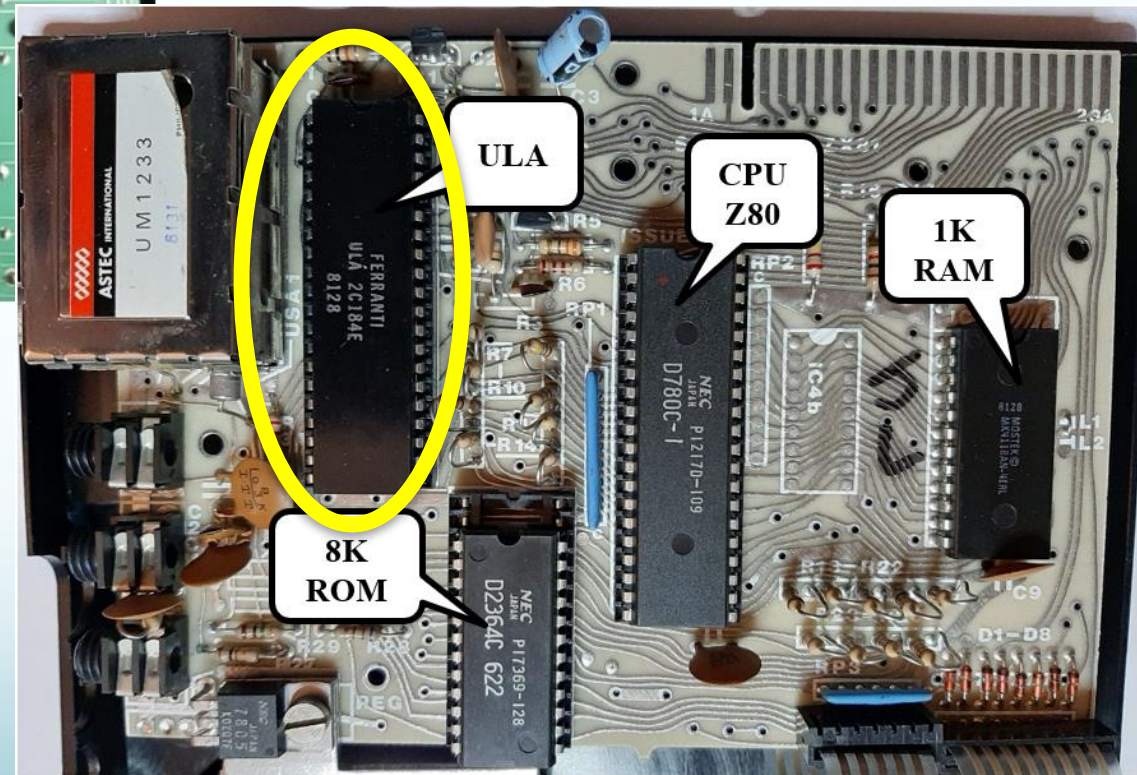


- Το ULA chip μπορεί να αντικαταστήσει πολλά ξεχωριστά ψηφιακά κυκλώματα τύπου TTL
- Ο σχεδιαστής επιλέγει τις εσωτερικές συνδέσεις και υλοποιεί το κύκλωμα που επιθυμεί
- Board με ULA chip = μικρότερος όγκος και μικρότερο κόστος
- ULA chip = ο πρόγονος της τεχνολογίας FPGA με την οποία υλοποιούνται οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές
- Άρχισε να χρησιμοποιείται στους οικιακούς υπολογιστές από το 1980





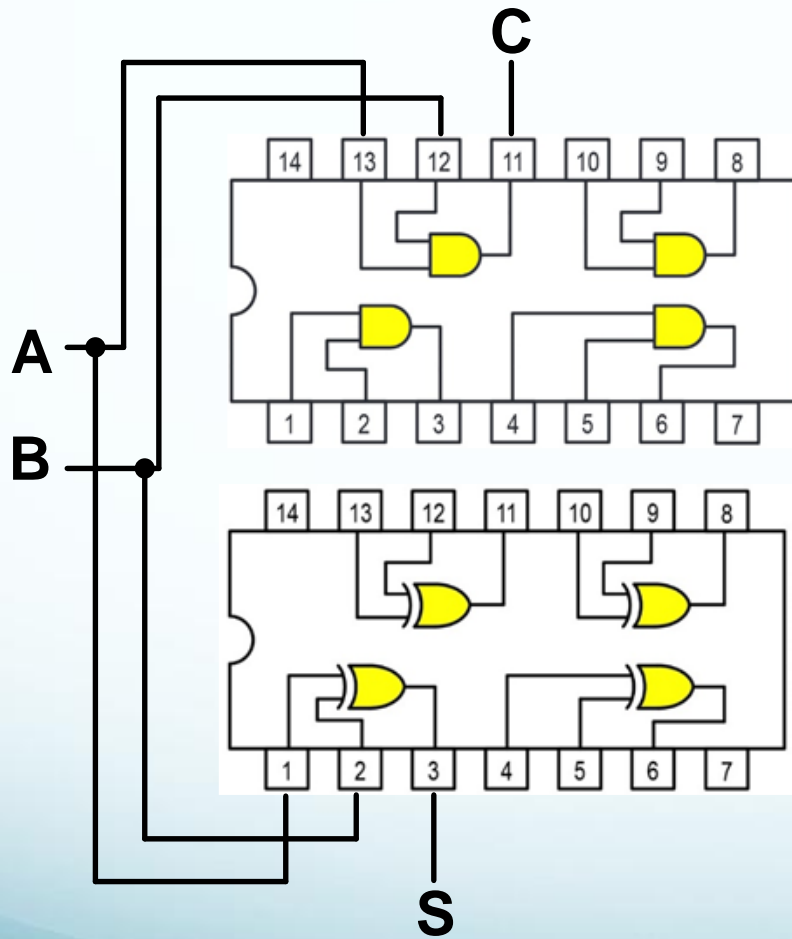
ORIC - 1984



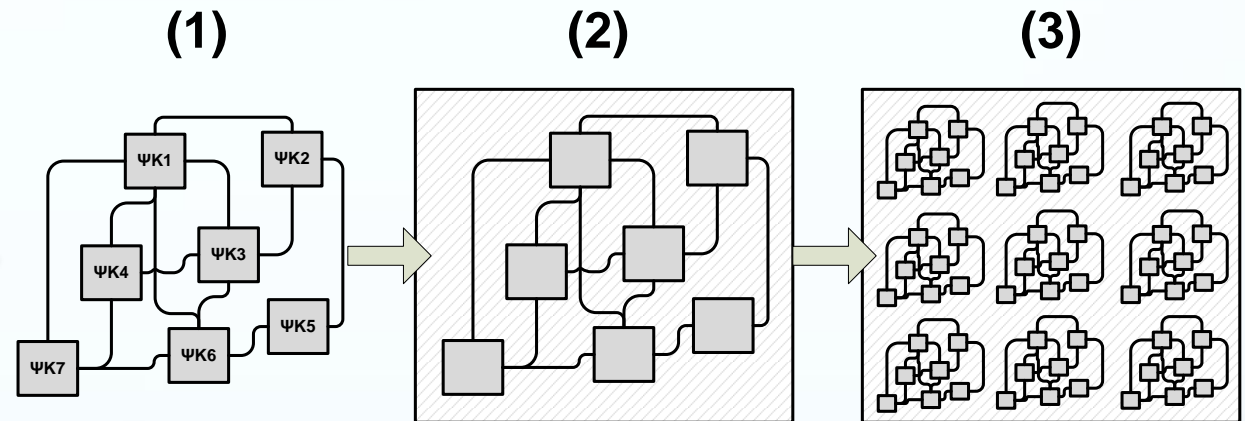
ZX81 - 1981



Από τα TTL στην τεχνολογία FPGA



Απλά TTL

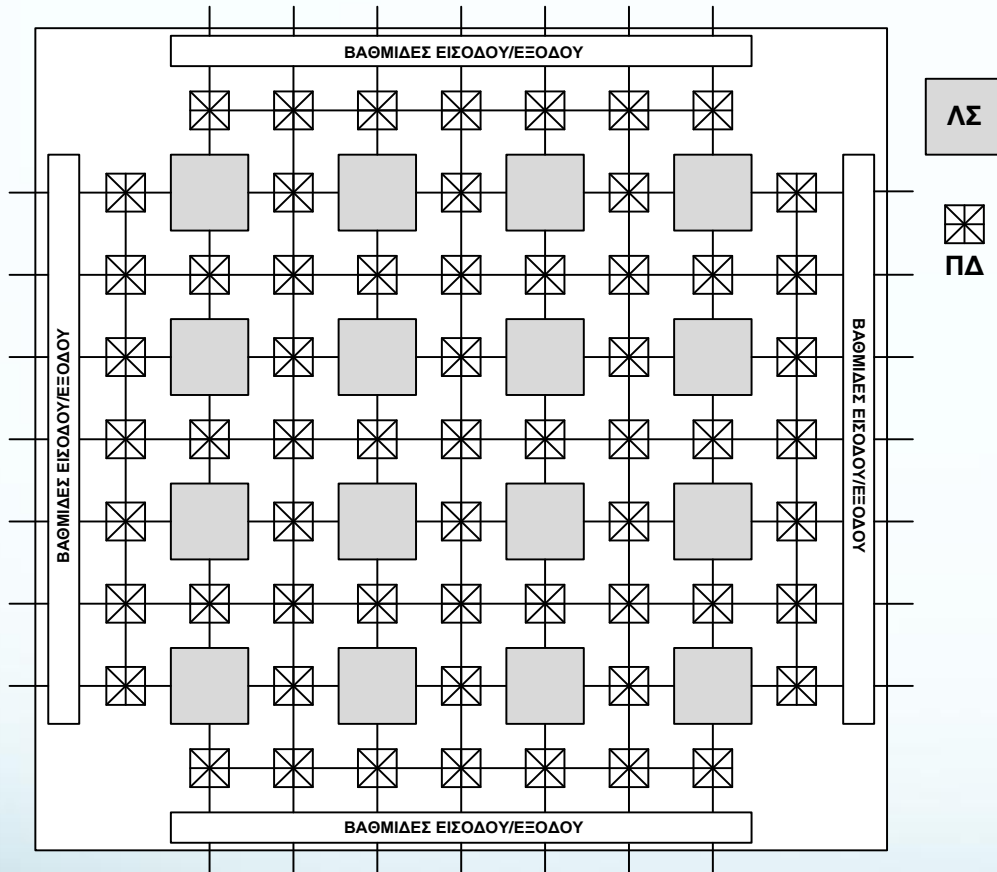


**Αύξηση κλίμακας
ολοκλήρωσης**

(μείωση φυσικών διαστάσεων
ημιαγωγών)



Από τα TTL στην τεχνολογία FPGA



- Περιέχει προγραμματιζόμενα λογικά στοιχεία
- Η περιγραφή του κυκλώματος γίνεται με κώδικα

Entity HADDER is

port (

A,B: in bit;

S,C: out bit);

End HADDER;

Architecture AHA of HADDER is

begin

S<=A xor B;

C<=A and B;

End AHA;

Περιγραφή ημιαθροιστή



Δραστηριότητα

- Με ποιες γλώσσες προγραμματισμού περιγράφονται τα κυκλώματα σε ένα FPGA;
- Τι σημαίνουν τα αρχικά FPGA;
- Τι λογισμικό απαιτείται για τον προγραμματισμό ενός FPGA;
- Παρουσιάστε ένα παράδειγμα υλοποίησης ενός απλού κυκλώματος με FPGA
- Εργασία: Αναζητήστε και παρουσιάστε τον τρόπο περιγραφής και υλοποίησης ενός απλού εκπαιδευτικού μικροεπεξεργαστή με την τεχνολογία FPGA

