

Ιόνιο Πανεπιστήμιο – Τμήμα Πληροφορικής
Αρχιτεκτονική Υπολογιστών
2023-24

Εισαγωγή στην Αρχιτεκτονική Η/Υ

(θεμελιώδεις αρχές λειτουργίας των υπολογιστών)

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

Μ.Στεφανιδάκης



Το μάθημα συνοπτικά

- Το μάθημα

- **Θεωρητικό μέρος**
 - Αρχιτεκτονική οργάνωση
 - Επεξεργαστή
 - Κύριας και κρυφής μνήμης
 - Διαύλων και συσκευών E/E
 - Θέματα απόδοσης σε ένα υπολογιστικό σύστημα
 - Προηγμένες αρχιτεκτονικές Η/Υ (εισαγωγή)
- **Βαθμολόγηση: γραπτές εξετάσεις**

Το μάθημα συνοπτικά (2)

- Το μάθημα

- **Εργαστήριο**
 - Σχεδίαση απλής κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και προσομοίωση (έλεγχος ορθής λειτουργίας)
 - Σταδιακά, κάθε εβδομάδα
 - Γλώσσα περιγραφής υλικού: **Chisel**
 - On-line περιβάλλον ανάπτυξης
- **Βαθμολόγηση: με τη μορφή bonus**
 - **Προϋπόθεση:** έγκαιρη παράδοση ασκήσεων (checkpoints)

Το μάθημα συνοπτικά (3)

- Το μάθημα

- **Προτεινόμενα Βιβλία**

- D.A.Patterson & J.L.Hennessy, “Οργάνωση και Σχεδίαση Υπολογιστών (Τόμος Α΄)”, Κλειδάριθμος, 2010.
- W. Stallings, “Οργάνωση και αρχιτεκτονική υπολογιστών”, ΤΖΙΟΛΑ, 2020.

Τι είναι ένα «υπολογιστικό σύστημα»;

- Υπολογιστικά Συστήματα

- **Οι κλασικοί υπολογιστές...**
 - Τύπου Desktop, Laptop, Notebook
 - Υπερυπολογιστές
- **Ο «απομακρυσμένος υπολογιστής»**
 - Data Centers (Cloud Computing)
- **Αλλά επίσης και...**
 - Tablets και Smartphones
 - E-book readers
- **Ο κατάλογος δεν σταματά εδώ**
 - Ενσωματωμένα συστήματα: συσκευές που **δεν είναι** αλλά **περιέχουν** υπολογιστές

Ενσωματωμένα συστήματα

- Υπολογιστικά Συστήματα

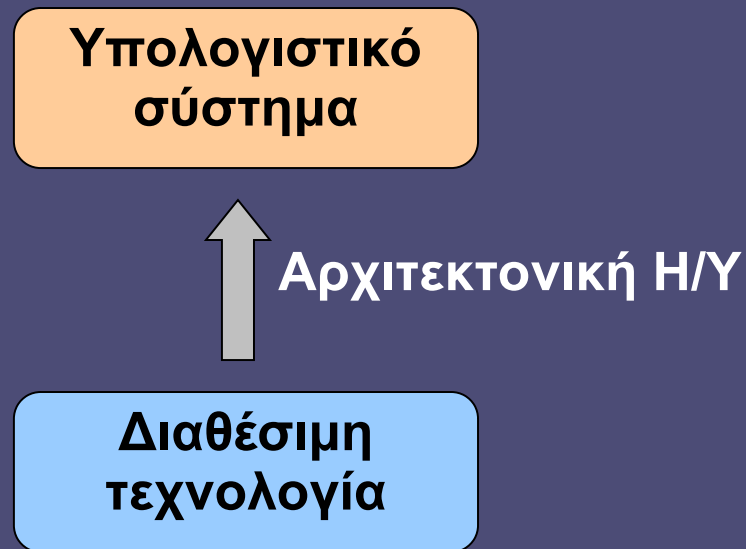


Ποια είναι η αρχιτεκτονική του μικροεπεξεργαστή που παράγεται σε μεγαλύτερο αριθμό ανά έτος;

- **“Embedded Systems”**
 - Μια πολύ μεγάλη αγορά
 - 95% των μικροεπεξεργαστών που πωλούνται ανά έτος καταλήγει σε ένα ενσωματωμένο σύστημα
 - **Συστήματα ειδικών απαιτήσεων**
 - Ιατρικά, συγκοινωνίες, εργοστάσια, συλλογή πληροφοριών, δικτυακές συσκευές...
 - **Καταναλωτικά προϊόντα**
 - Smartphones
 - Αυτοκίνητα
 - Το σύνολο σχεδόν των σύγχρονων οικιακών συσκευών
 - **Internet of Things (IoT)**
 - Ενσωματωμένα συστήματα με σύνδεση στο διαδίκτυο

Τι είναι η «Αρχιτεκτονική Η/Υ»;

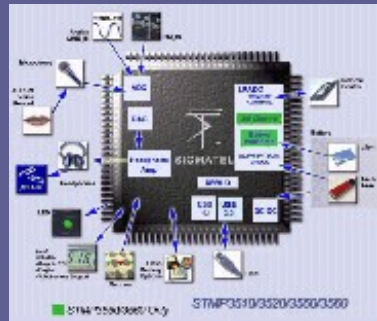
- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



- Η αρχιτεκτονική Η/Υ συγκροτεί **υπολογιστικά συστήματα** χρησιμοποιώντας την **υπάρχουσα τεχνολογία**
 - και προδιαγράφει (**ωθεί**) τη μελλοντική τεχνολογία

Τεχνολογία ή Αρχιτεκτονική Η/Υ;

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



σύστημα σε chip

...

σύνθετο τμήμα

λογική πύλη

κύκλωμα

φυσικό επίπεδο

Πού είναι τα όρια
μεταξύ
«τεχνολογίας» και
«αρχιτεκτονικής»;

Αρχιτεκτονική Η/Υ: ο στόχος

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



Ποια η διαφορά
μεταξύ γρήγορης
εκτέλεσης και
αξιόπιστης
εκτέλεσης;

- Η αξιοποίηση με τον καλύτερο δυνατό τρόπο του υλικού και λογισμικού για τη σχεδίαση και ανάπτυξη
 - **Αποδοτικών συστημάτων**
 - **Γρήγορη εκτέλεση** προγραμμάτων γενικού σκοπού
 - Υπερυπολογιστές, προσωπικοί υπολογιστές
 - Data centers
 - **Αξιόπιστων συστημάτων**
 - **Ασφαλής εκτέλεση** προγραμμάτων ειδικού σκοπού
 - Συστήματα πραγματικού χρόνου
 - Data centers
 - **Προσιτών συστημάτων**
 - **Ικανοποιητική εκτέλεση** με μικρό κόστος-ενέργεια
 - Καταναλωτικές συσκευές (κυρίως με μπαταρία)

Αρχιτεκτονική: υλικό μόνο ή και λογισμικό;

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



Σε ποια συστήματα έχει ιδιαίτερη σημασία η αρχιτεκτονική του λογισμικού;

- Το λογισμικό είναι **σημαντικό** μέρος ενός υπολογιστικού συστήματος
 - Ορίζει τον **τρόπο χρήσης** του υλικού
 - Συνεπώς (συν-)διαμορφώνει
 - την απόδοση
 - την κατανάλωση ενέργειας
 - την αξιοπιστία
- «Η αρχιτεκτονική ασχολείται με το υλικό»
 - Η παραδοσιακή αντίληψη
- «Πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη και το λογισμικό»
 - Η σύγχρονη αντίληψη

Αρχιτεκτονική Η/Υ

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

- Παραδοσιακά η Αρχιτεκτονική Η/Υ ασχολείται με τη **σχεδίαση του συνόλου εντολών** ενός επεξεργαστή
 - Instruction Set Architecture (ISA)
- Η σύγχρονη ματιά στην Αρχιτεκτονική Η/Υ περιλαμβάνει επίσης
 - Την οργάνωση και διασύνδεση των υποσυστημάτων ενός υπολογιστή
 - Την οργάνωση των τμημάτων ενός επεξεργαστή
 - Τη λογική σχεδίαση των τμημάτων ενός υπολογιστή ή επεξεργαστή
 - Στα όρια αρχιτεκτονικής και τεχνολογίας

Ο υπολογιστής ως ιεραρχία επιπέδων

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ

;

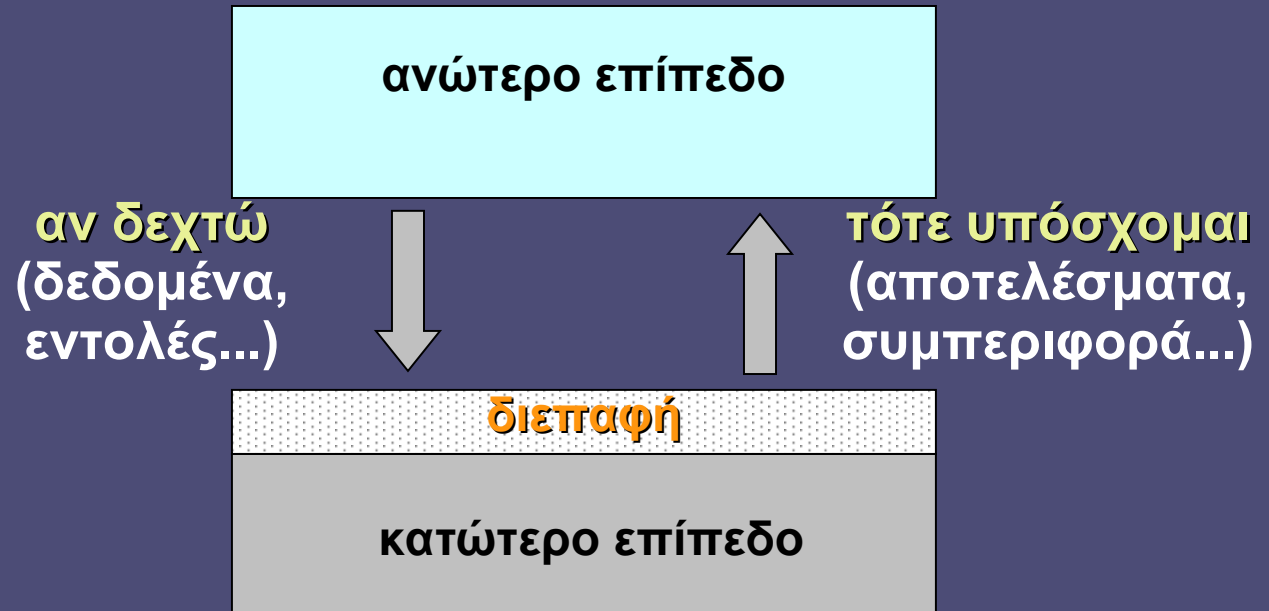
Τι ακριβώς είναι μια διεπαφή (interface); Γιατί είναι τόσο σημαντική έννοια;



- Αρχιτεκτονική Συνόλου Εντολών
 - Instruction Set Architecture (ISA)
 - Η διεπαφή υλικού-λογισμικού

Η σπουδαιότητα των διεπαφών

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ



i

Αντίστοιχες έννοιες συναντάμε στις γλώσσες προγραμματισμού

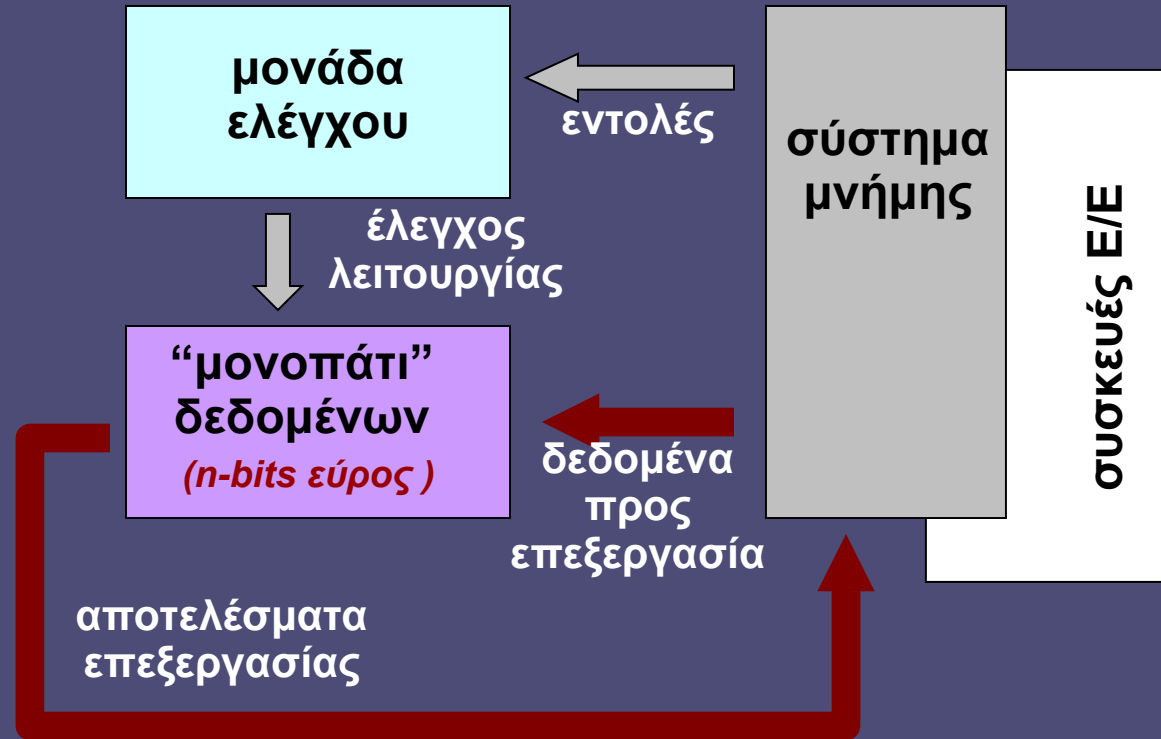
- Αντιμετώπιση πολυπλοκότητας σχεδιασμού
- Επαναχρησιμοποίηση τμημάτων
- Αξιόπιστος σχεδιασμός

Οι βασικές μονάδες κάθε υπολογιστή

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες



Η διπλανή εικόνα είναι απλοποιημένη!



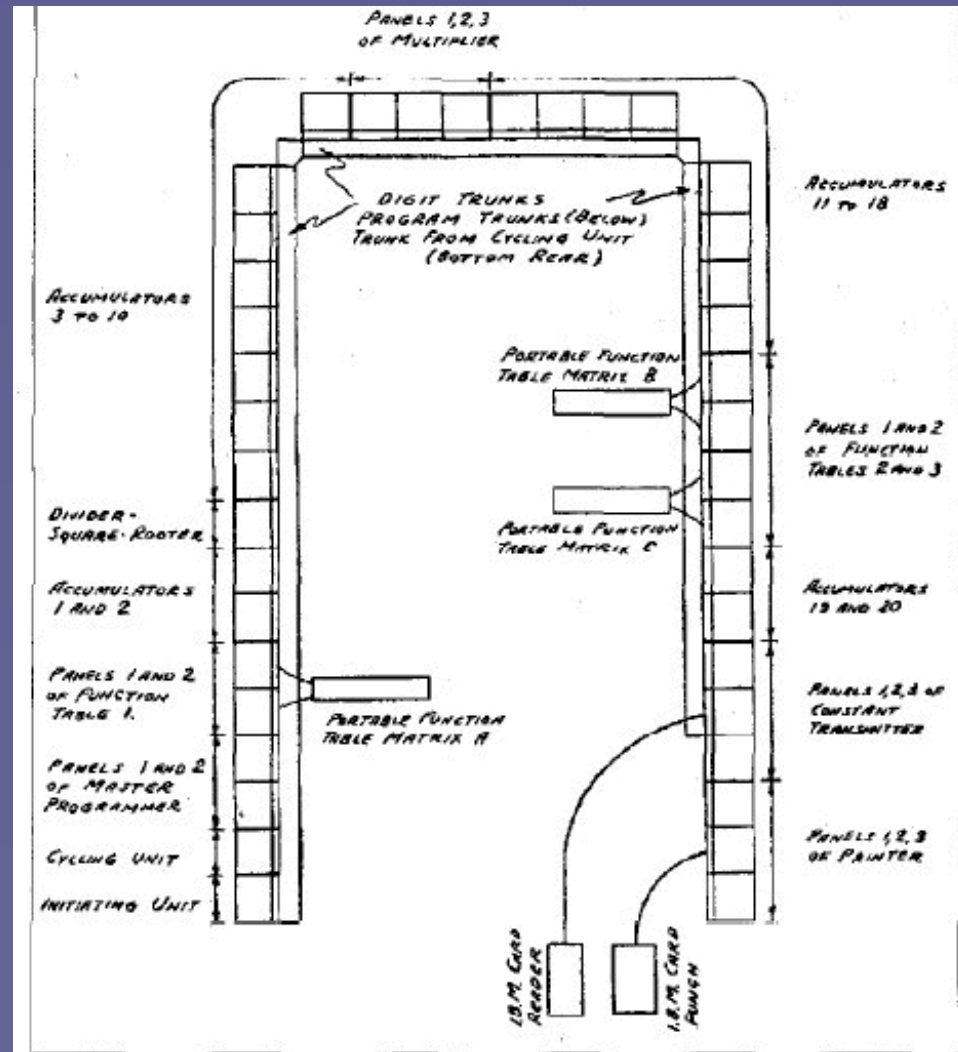
- Η μονάδα ελέγχου, το μονοπάτι δεδομένων (datapath) και μέρος του συστήματος μνήμης βρίσκονται μέσα στον επεξεργαστή (στους πυρήνες – cores)

The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) 1946

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες

i

Ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, διέθετε 18.000 λυχνίες για τα λογικά του κυκλώματα. Δεν υπήρχε μνήμη προγράμματος.

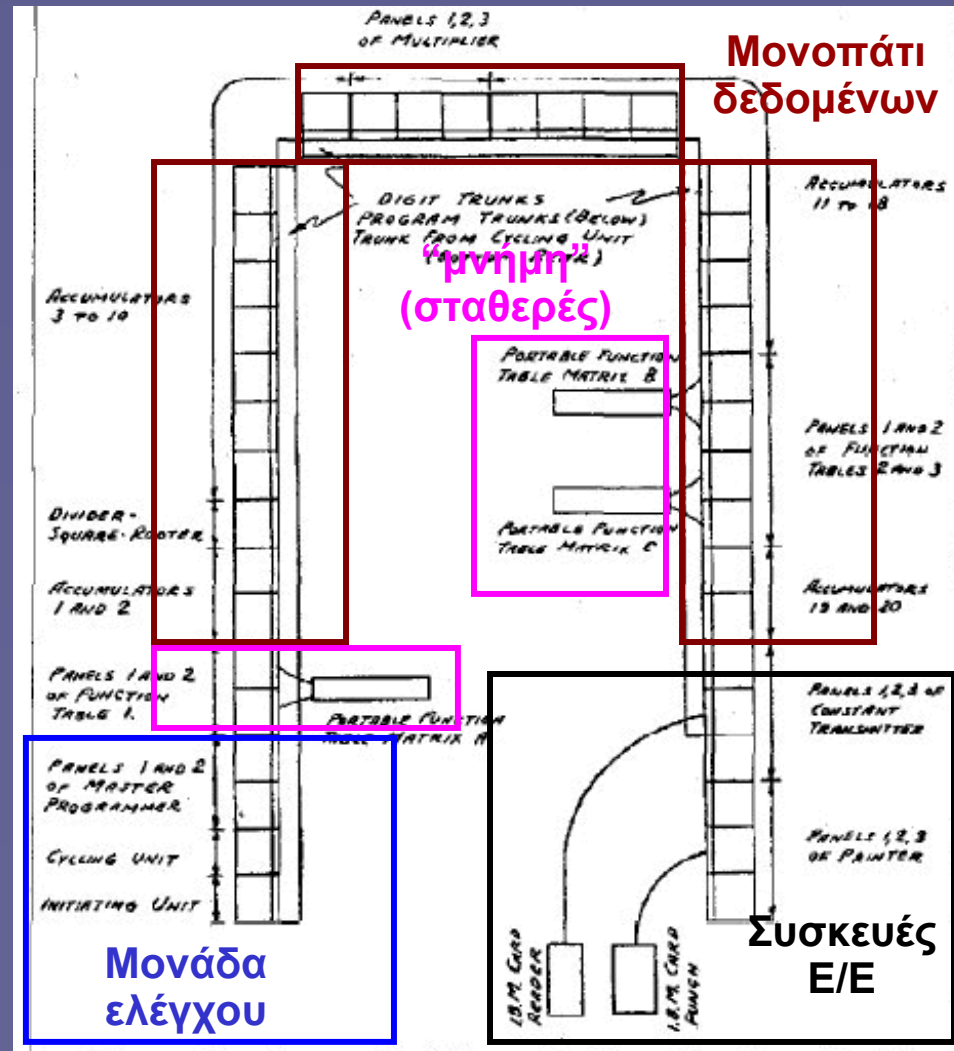


The Electronic Numerical Integrator and Computer (ENIAC) 1946

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες



Ο ENIAC, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής, διαθέτει 18.000 λυχνίες για τα λογικά του κυκλώματα. Δεν υπήρχε μνήμη προγράμματος!



Ηλεκτρονικά κυκλώματα – επανάληψη

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

- Σε κάθε υπολογιστή απαιτούνται
 - **Υπολογιστικά κυκλώματα**
 - Για την εκτέλεση πράξεων
 - Και για τη σύγκριση και λήψη αποφάσεων
 - **Κυκλώματα μνήμης**
 - Για την αποθήκευση δεδομένων
 - Και για την αποθήκευση εντολών
 - **Κυκλώματα διασύνδεσης**
 - Για τη μεταφορά δεδομένων μεταξύ των μονάδων του υπολογιστή
 - Για τη μεταφορά μεταξύ των τμημάτων ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (chip)

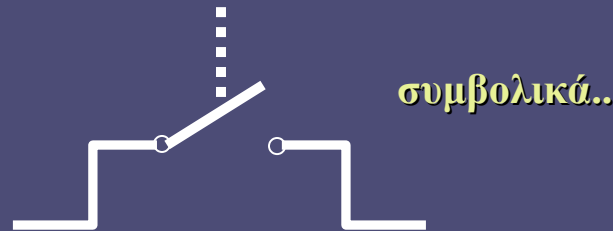
Πριν τα σύγχρονα ηλεκτρονικά

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

- Παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν...
 - Λογικά κυκλώματα
 - Μηχανικά συστήματα (γρανάζια)
 - Ηλεκτρομηχανικά (ρελέ)
 - Λυχνίες κενού
 - Κυκλώματα μνήμης
 - Τα ίδια, αλλά και...
 - Γραμμές υδραργύρου (!) – καθοδική οθόνη (!)
 - Κυκλώματα διασύνδεσης
 - Καλώδια!

Το τρανζίστορ MOS(FET)

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα



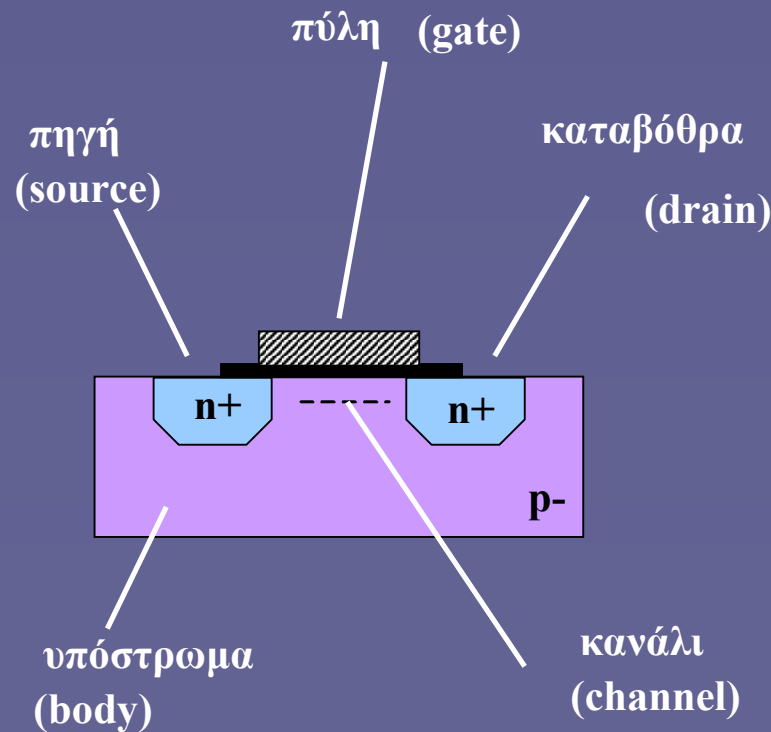
- Ο μικροσκοπικός διακόπτης των σύγχρονων κυκλωμάτων
 - Η θεωρία λειτουργίας του είναι γνωστή από το 1925...
 - ...αλλά τα πρώτα λειτουργικά τρανζίστορ MOS κατασκευάστηκαν στη δεκαετία του 60

Το τρανζίστορ MOS(FET)

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

i

Το τρανζίστορ αυτό είναι τύπου NMOS. Υπάρχει και το συμπληρωματικό PMOS.



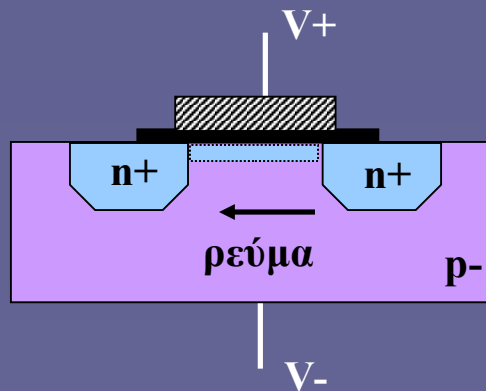
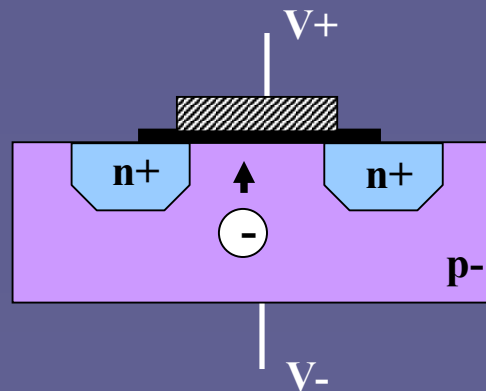
«διδασκτικό» επίπεδο σχήμα.. σήμερα τα τρανζίστορ διαθέτουν πτερύγια (fins) ως κανάλι, με την πύλη στις τρεις πλευρές τους

Λειτουργία του τρανζίστορ MOS(FET)

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

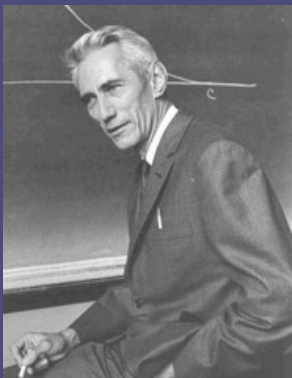
i

Στο τρανζίστορ PMOS έχουμε αγωγή ρεύματος όταν η τάση στην πύλη είναι $V^- = 0$



Ψηφιακά Ηλεκτρονικά και Δυαδική λογική

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα



C.E.Shannon

- Η δυαδική λογική ταιριάζει με την τεχνολογία του τρανζίστορ
 - 2 καταστάσεις: ON-OFF, 1-0
 - Ψηφιακά ηλεκτρονικά (2 στάθμες)
- Δυαδική άλγεβρα Boole
 - Λογική άλγεβρα
 - Συσχέτιση με διακοπτικά κυκλώματα
 - Shannon (1938)

Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

i

Λόγω της απαιτούμενης ακρίβειας, μια γραμμή παραγωγής κοστίζει δισ. \$

- Γραμμές παραγωγής
 - Φωτολιθογραφία με μάσκες
 - Μια δέσμη υπεριώδους φωτός προβάλλεται με σμίκρυνση μέσω μιας μάσκας (με διαφανή και μη διαφανή μέρη) πάνω στην επιφάνεια πυριτίου προς επεξεργασία
 - Η έκθεση επαναλαμβάνεται σε όλη την επιφάνεια του πυριτίου
 - Το πυρίτιο έχει καλυφθεί με ένα ειδικό υλικό (photoresist) το οποίο γίνεται εύπλαστο και αφαιρείται στα σημεία που εκτίθενται στο φως
 - Διεργασίες στα εκτεθειμένα μέρη
 - Οξείδωση, απόξεση, απόθεση μετάλλου, εμφύτευση ιόντων...
 - Επανάληψη βημάτων
 - Για την προσθήκη νέων επιπέδων στο πυρίτιο (μέρη τρανζίστορ ή αγωγοί μετάλλου)

Η συρρίκνωση του τρανζίστορ

- Υπολογιστικά Συστήματα
- Αρχιτεκτονική Η/Υ
- Οι βασικές μονάδες
- Ηλεκτρονικά κυκλώματα

i

Νόμος του Moore:
ο αριθμός των
τρανζίστορ ανά
ολοκληρωμένο
διπλασιάζεται
κάθε 1,5-2 χρόνια

- Πλεονεκτήματα
 - Ταχύτερη λειτουργία
 - Πιο γρήγοροι χρόνοι ON-OFF
 - Μικρότερη κατανάλωση ενέργειας
 - Για τον ίδιο αριθμό τρανζίστορ
 - Μεγαλύτερη ολοκλήρωση
 - Μείωση κόστους παραγωγής και αύξηση λειτουργικότητας
- Τρέχουσα εμπορική τεχνολογία:
 - Περίπου 100εκ. τρανζίστορ/mm²
 - Ένας σύγχρονος μικροεπεξεργαστής έχει επιφάνεια περίπου 280-400 mm² και περιέχει από 100 εκ. έως 30+ δισ. τρανζίστορ, συχνά σε πολλαπλά επίπεδα