



# **«Κατανάλωση Ενέργειας στα Ψηφιακά Ολοκληρωμένα Κυκλώματα»**

Παρασκευάς Κίτσος  
Επίκουρος Καθηγητής  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ  
ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας

6ο Forum Ενέργειας

Ξενοδοχείο «ΑΣΤΗΡ»,  
Πάτρα 04/02/2017

# Ποιοι είμαστε

- Ομάδα Σχεδίασης Ψηφιακών Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων και Συστημάτων  
([diceslab.cied.teiwest.gr](http://diceslab.cied.teiwest.gr))



- Στο τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής ΤΕ



- Του ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ  
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ

# Status

- Είμαστε νέοι: Δημιουργηθήκαμε πριν 1 ½ χρόνο
  - Έχουμε πολύ όρεξη για δημιουργία
  - Αλλά και εμπειρία έχουμε
- Οκτώ μέλη
- Διαθέτουμε εξοπλισμό:
  - FPGAs / Πλακέτες γενικού σκοπού (Xilinx, Altera, Lattice)
  - FPGAs / Πλακέτες ειδικού σκοπού π.χ. κρυπτογραφία (SASEBO, SAKURA)
  - DSPs, Embedded processors
  - Παλμογράφους, Analyzers, γεννήτριες σημάτων, ...
  - Ειδικό λογισμικό (ISE, VIVADO, QUARTUS, QUESTA, MATLAB, LABVIEW, MATLAB-SIMULINK κ.α.)
- Έχουμε προλάβει και έχουμε συμμετάσχει σε δύο ερευνητικά προγράμματα

# Ερευνητικά ενδιαφέροντα

- Η ομάδα δραστηριοποιείται στον αποδοτικό σχεδιασμό υλικού με εφαρμογές στην ασφάλεια συστημάτων και στην επεξεργασία σήματος.
  - Σχεδιασμός ψηφιακών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για συστήματα ασφάλειας
  - Αποδοτικές υλοποιήσεις σε ολοκληρωμένα κυκλώματα συστημάτων επεξεργασίας ήχου και βίντεο
  - Υλικό ενσωματωμένων συστημάτων
  - Υλοποιήσεις ολοκληρωμένων κυκλωμάτων χαμηλής κατανάλωσης
  - Σχεδιασμός αποδοτικών αρχιτεκτονικών σε ολοκληρωμένα κυκλώματα FPGAs και ASICs

Από τα πολύ μεγάλα....



...στα πολύ μικρά



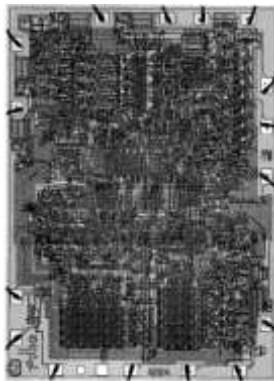
...της τάξης του  $\mu\text{m}$  και του  $\text{nm}$

# Ψηφιακό ολοκληρωμένο κύκλωμα

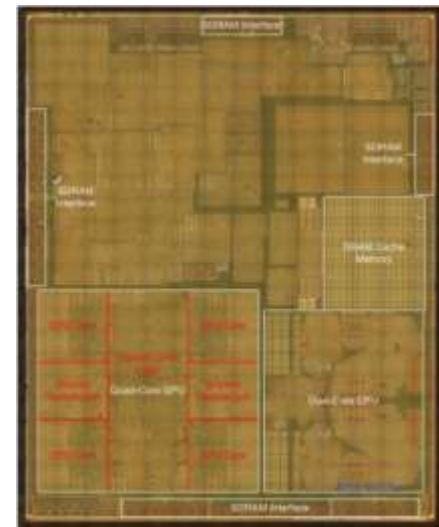
- Ψηφιακό Ολοκληρωμένο κύκλωμα ονομάζεται ένα κύκλωμα λογικών πυλών (τρανζίστορες), δημιουργημένο πάνω σε ένα φύλλο πυριτίου
- Το φύλλο πυριτίου είναι μεγέθους κάποιων μm ή και nm



Το πρώτο ολοκληρωμένο  
(Texas Instruments, 1958 (Kilby))



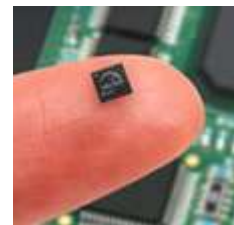
4004 Μικροεπεξεργαστής  
(INTEL 1971, 1000 τρανζίστορ)



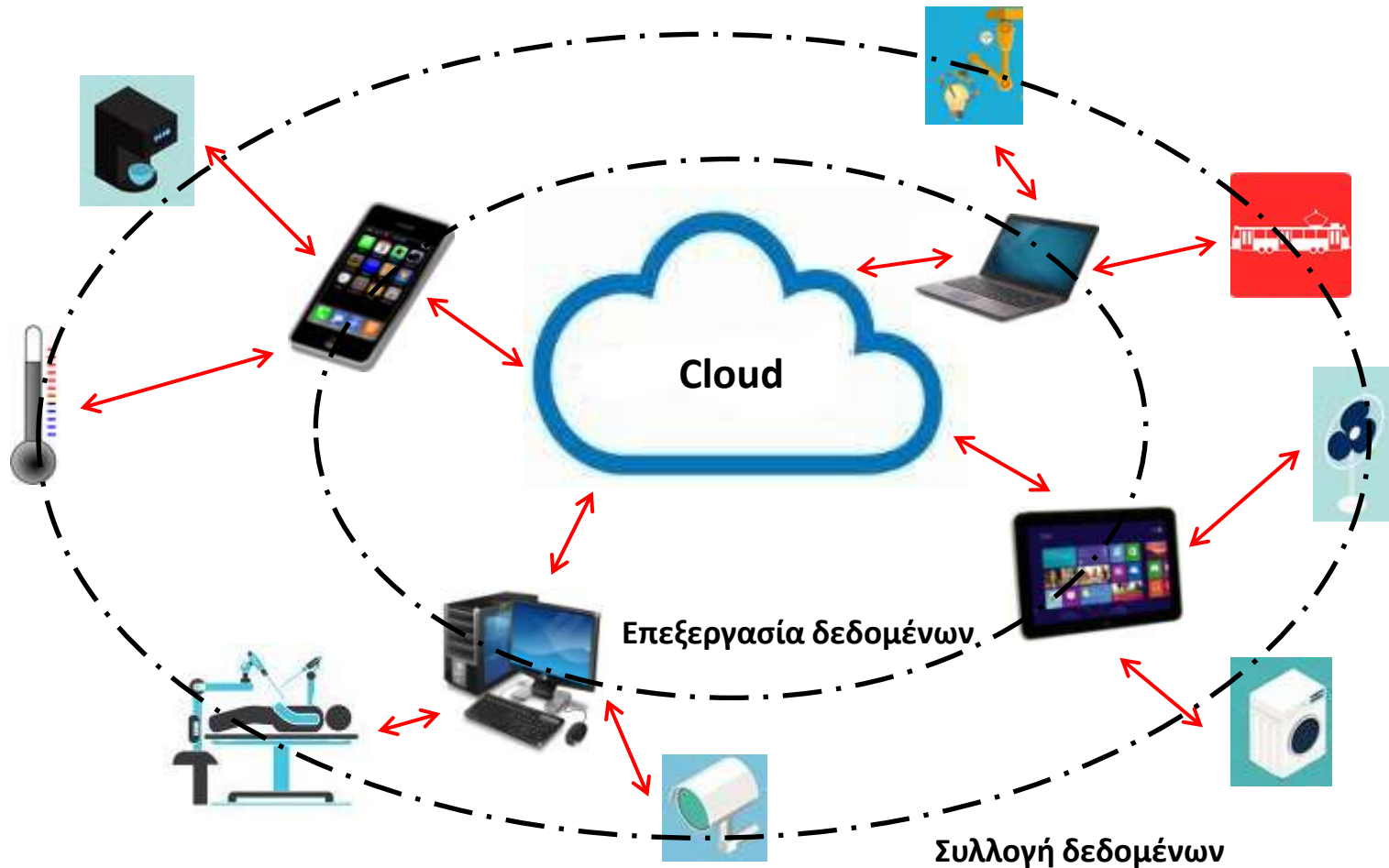
iPhone 6: TSMC, 20 nm  
2 δισεκατομμύρια τρανζίστορ

# Συστοιχία επιτόπια προγραμματιζόμενων πυλών (FPGA)

- Είναι τύπος ολοκληρωμένου κυκλώματος γενικής χρήσης που μπορεί να προγραμματιστεί και επαναπρογραμματιστεί σε άλλη λειτουργία
- Διαθέτει πολύ μεγάλο αριθμό προγραμματιζόμενων ψηφιακών λειτουργιών που μπορούν να εκτελέσουν λογικά κυκλώματα πυλών όπως αθροιστές/αφαιρέτες, απαριθμητές, πολυπλέκτες, μνήμες κ.α.





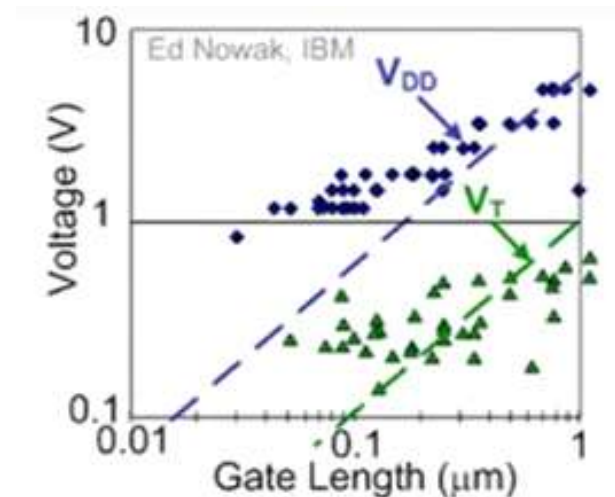
# Τάση στις σύγχρονες τεχνολογίες





# Κατανάλωση ενέργειας

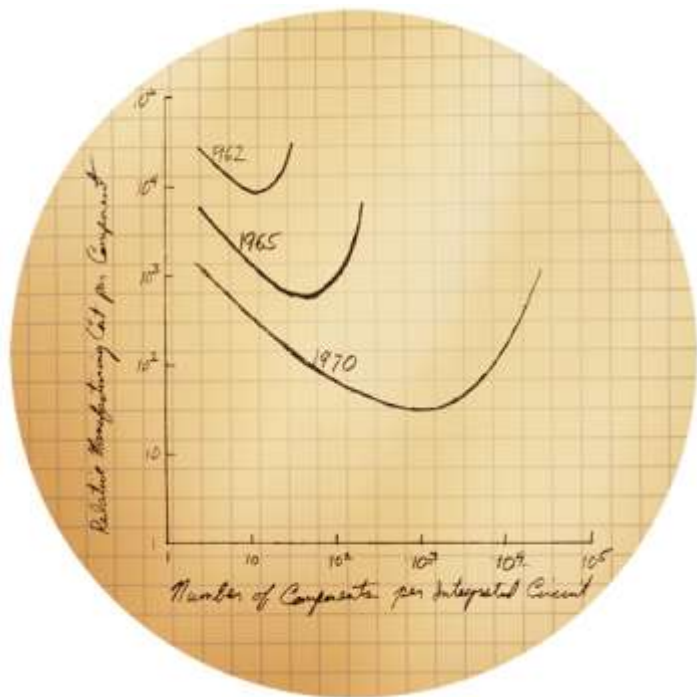
- Κινητές συσκευές / αισθητήρες: Οι μπαταρίες είναι όλο και μικρότερες
- Cloud: Τα ηλεκτρονικά του καταναλώνουν τεράστια ενέργεια
- Η κλιμάκωση της τεχνολογίας αρκεί?? 
  - Μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας σχεδιαστικά!! 



# Ο Νόμος του Moore...

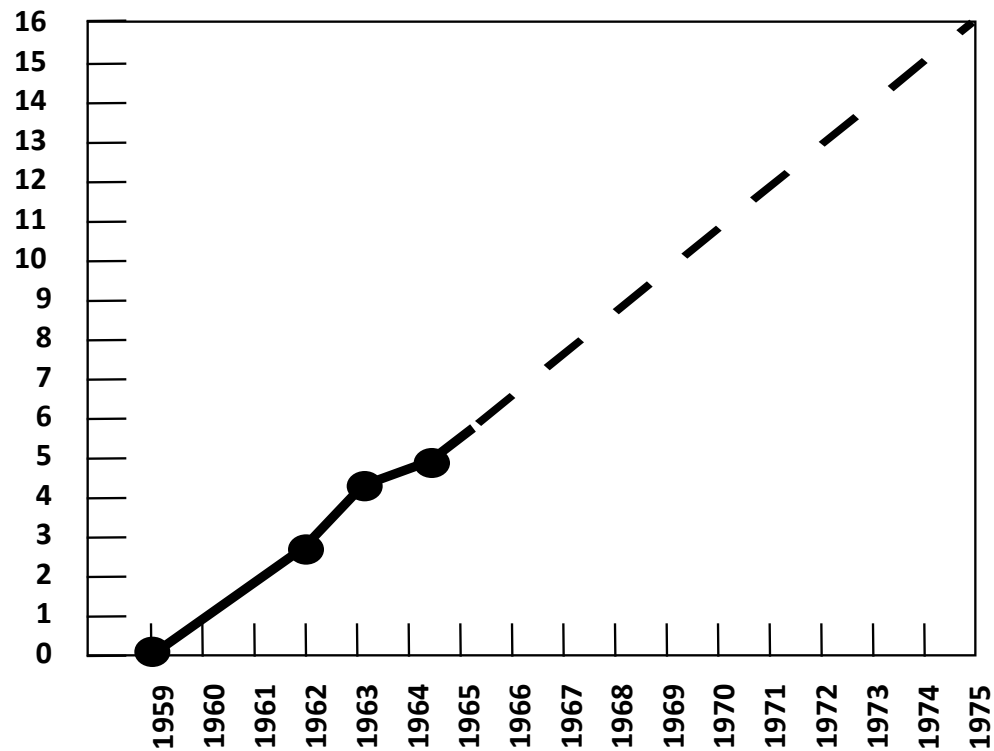
- Το 1965, ο Gordon Moore προέβλεψε ότι ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα ολοκληρωμένο θα διπλασιάζεται κάθε 18 με 24 μήνες.
- Έκανε την πρόβλεψη ότι η τεχνολογία ημιαγωγών θα διπλασιάζει την δυνατότητα ολοκλήρωσης κάθε 18 μήνες

# ...Ο Νόμος του Moore



*Electronics*, Απρίλιος 19, 1965

LOG<sub>2</sub> ΤΟΥ ΑΡΙΘΜΟΥ ΤΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ  
ΑΝΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΗ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ



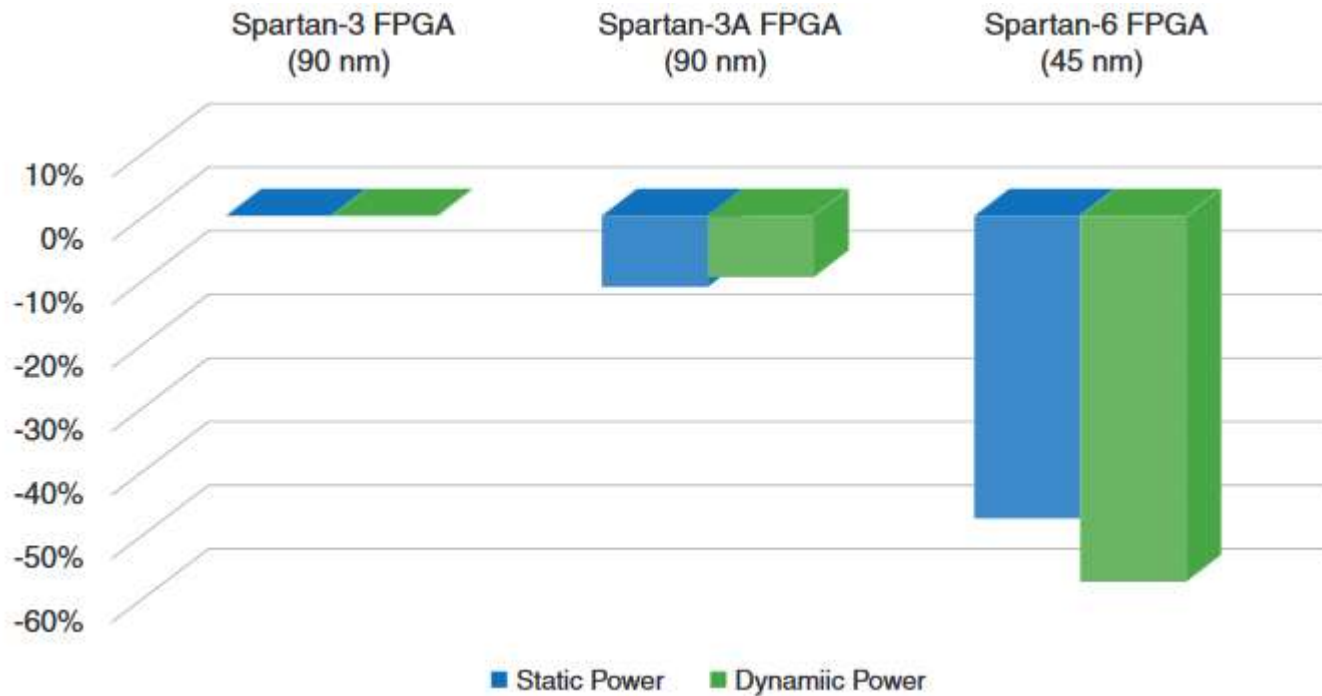
In 1965, Gordon Moore sketched out his prediction of the pace of silicon technology. Decades later, Moore's Law remains true, driven largely by Intel's unparalleled silicon expertise.

# Η κλιμάκωση της CMOS τεχνολογίας αρκεί??

Parameters	Scaling effects	
	Scaled Vdd	Constant Vdd
Device size	$1/k$	$1/k$
Gate thickness $t_{ox}$	$1/k$	$1/k$
Substrate doping	$k$	$k^2$
Supply voltage $V$	$1/k$	$1$
Electric field $E$	$1$	$k$
Current $I$ <b>Ρεύμα</b>	$1/k$	$k$
Area $A$	$1/k^2$	$1/k^2$
Capacitance $C = \epsilon A / t_{ox}$	$1/k$	$1/k$
Gate delay $VC/I$	$1/k$	$1/k^2$
Power dissipation $VI$ <b>Ισχύς</b>	$1/k^2$	$k$
Power density $VI/A$	$1$	$k^3$

- Κατανάλωση ισχύος
  - Δυναμική κατανάλωση
  - Στατική κατανάλωση
  - Κατανάλωση λόγω ρευμάτων διαρροής

# Κατανάλωση σε FPGAs



# Παράμετροι σχεδίασης ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

- Παράμετροι σχεδίασης
  - Συχνότητα
  - Μέγεθος Κυκλώματος
  - Απόδοση

Αντικείμενο είναι η χρυσή τομή των παραπάνω παραμέτρων, δηλαδή μέγιστη συχνότητα και απόδοση με το ελάχιστο μέγεθος του κυκλώματος καθώς και ο τρόπος που επιτυγχάνεται αυτό για κάθε περίπτωση

# Μείωση της κατανάλωσης της ενέργειας σχεδιαστικά

- Η κατανάλωση ισχύος ενός ολοκληρωμένου είναι το άθροισμα τριών συνιστωσών
  - Της δυναμικής κατανάλωσης
  - Της κατανάλωσης λόγω των ρευμάτων διαρροής
  - Της στατικής κατανάλωσης

$$P_{tot} = P_{dyn} + P_{dp} + P_{stat} = (C_L V_{DD}^2 + V_{DD} I_{peak} t_s) f_{0 \rightarrow 1} + V_{DD} I_{leak}$$

- Η στατική κατανάλωση εξαρτάται από τη τεχνολογία
- Η δυναμική κατανάλωση όμως μπορεί να καθοριστεί από τον τρόπο σχεδιασμού του κυκλώματος του ολοκληρωμένου

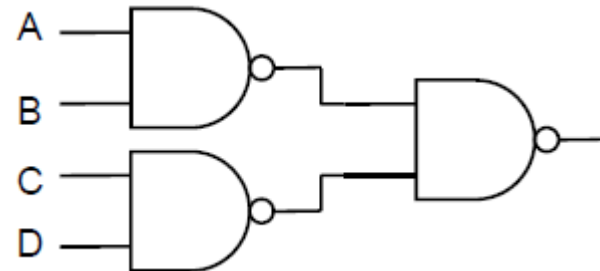
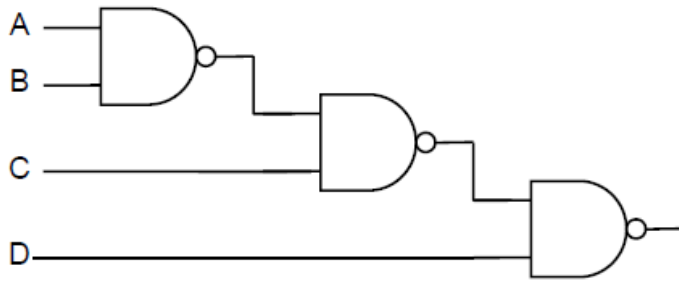
# Τρόποι μείωσης δυναμικής κατανάλωσης

- Μείωση ανεπιθύμητων μεταβολών (glitches)
- Απενεργοποίηση τμημάτων του κυκλώματος (input gating)
- Παράλληλη επεξεργασία των δεδομένων
- Διοχέτευση (Pipelining)



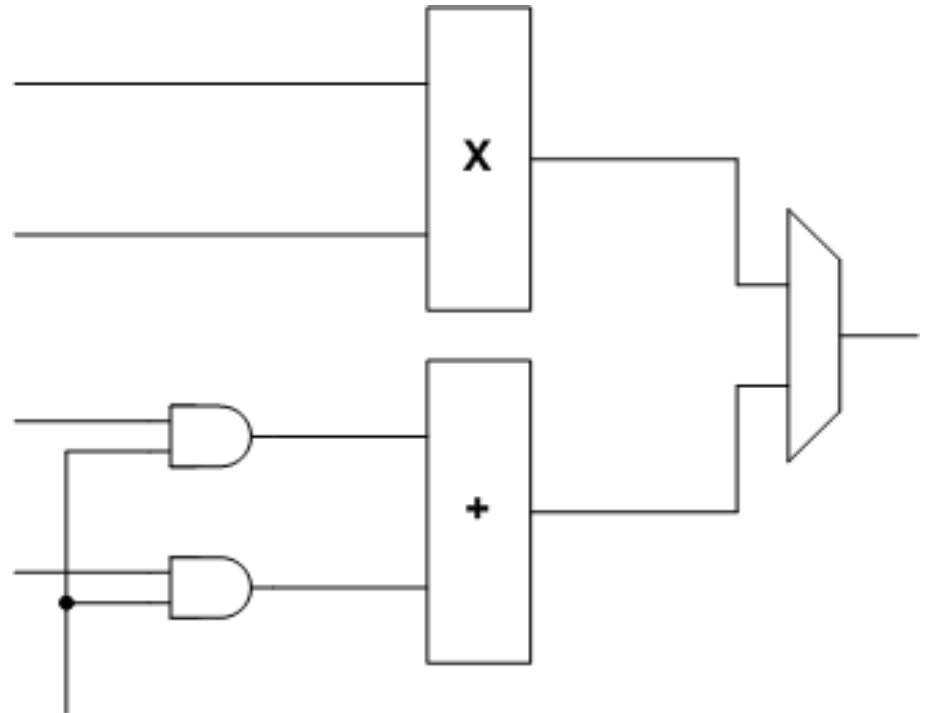
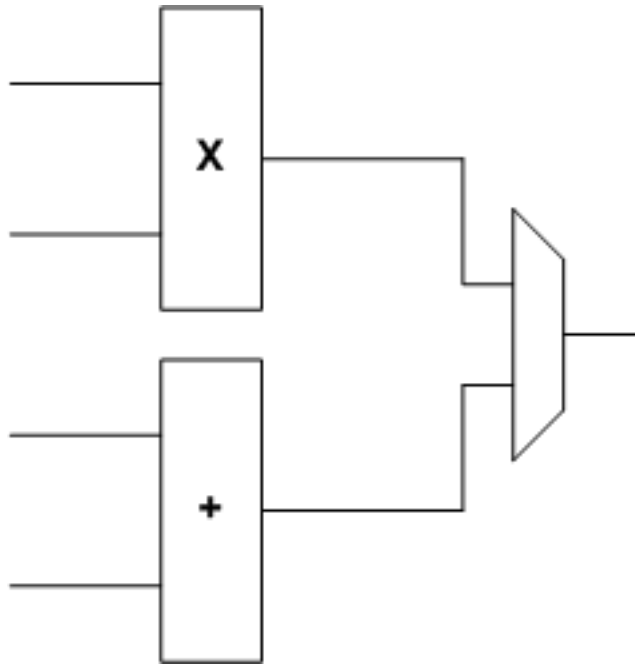
# Μείωση ανεπιθύμητων μεταβολών (glitches)

- Οι ανεπιθύμητες μεταβολές είναι στην ουσία ψευδείς μεταβολές των σημάτων εξαιτίας της ανισορροπίας στη καθυστέρηση των σημάτων



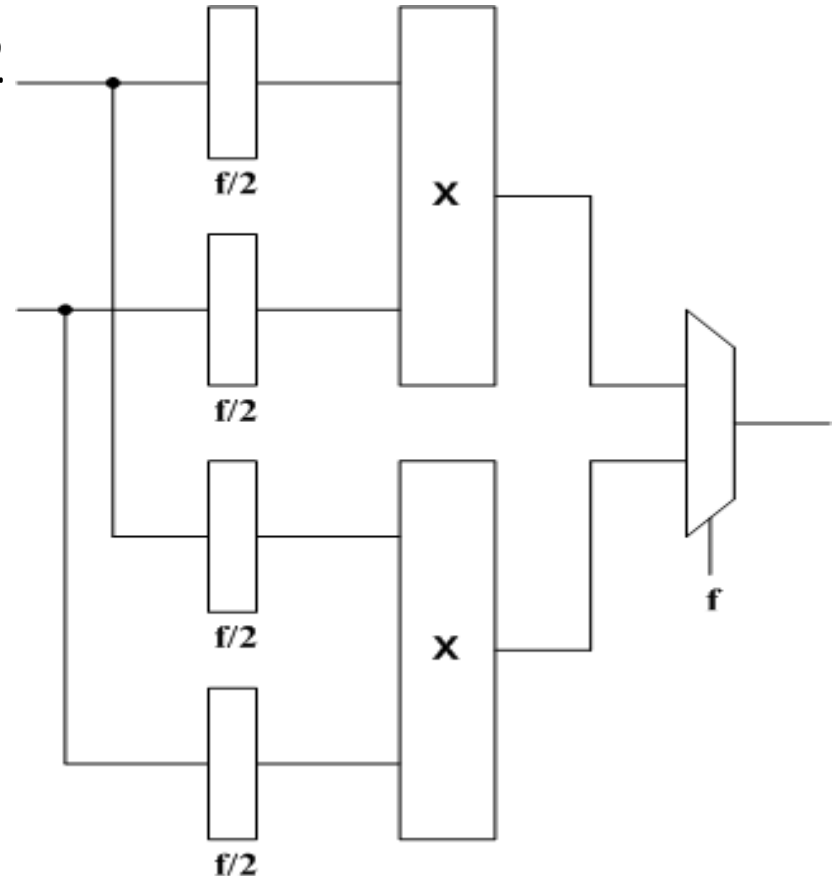
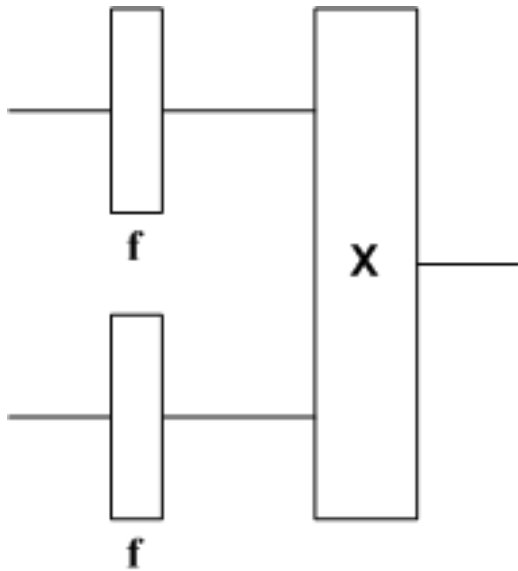
# Τμηματική απενεργοποίηση του κυκλώματος

- Ένας επεξεργαστής εκτελεί πράξεις πολλαπλασιασμού και πρόσθεσης



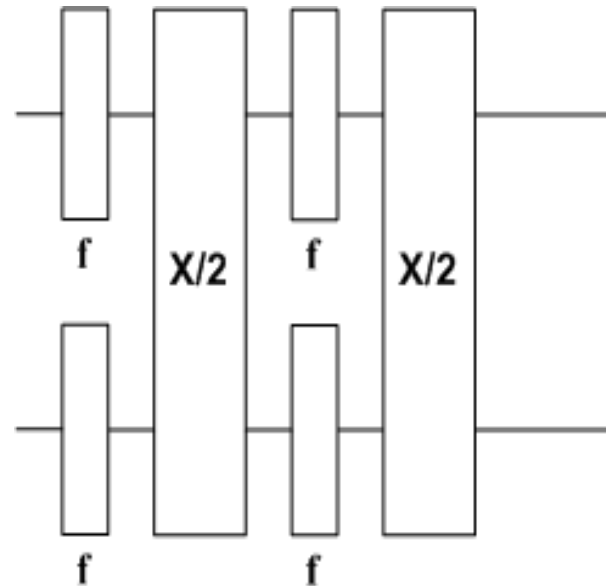
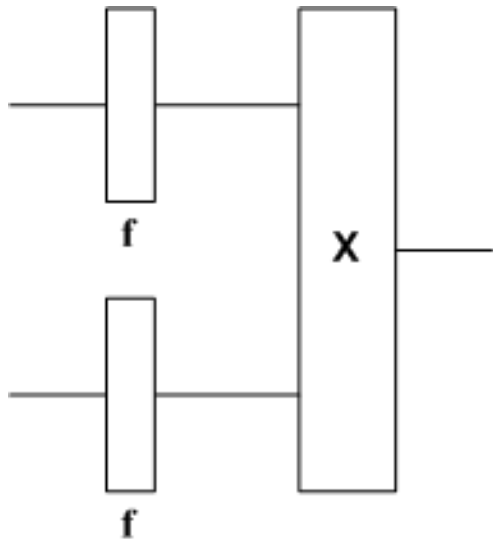
# Παράλληλη επεξεργασία των δεδομένων

- Αντί για ένα κύκλωμα πολλαπλασιασμού με καταχωρητές συχνότητας  $f$
- Χρησιμοποιούνται δύο κυκλώματα πολλαπλασιαστών με καταχωρητές συχνότητας  $f/2$



# Διοχέτευση

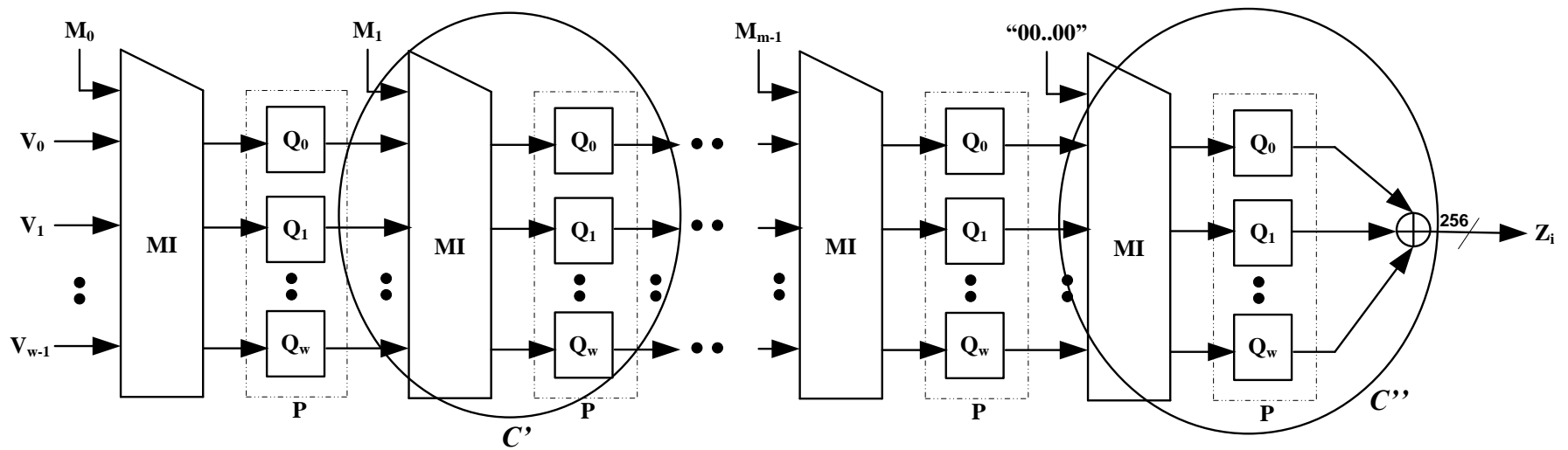
- «Σπάσιμο» του κυκλώματος του πολλαπλασιαστή σε δύο μικρότερα κυκλώματα και χρήση καταχωρητών διοχέτευσης
- Για την ίδια συχνότητα λειτουργίας  $f$  η τάση λειτουργίας μειώνεται



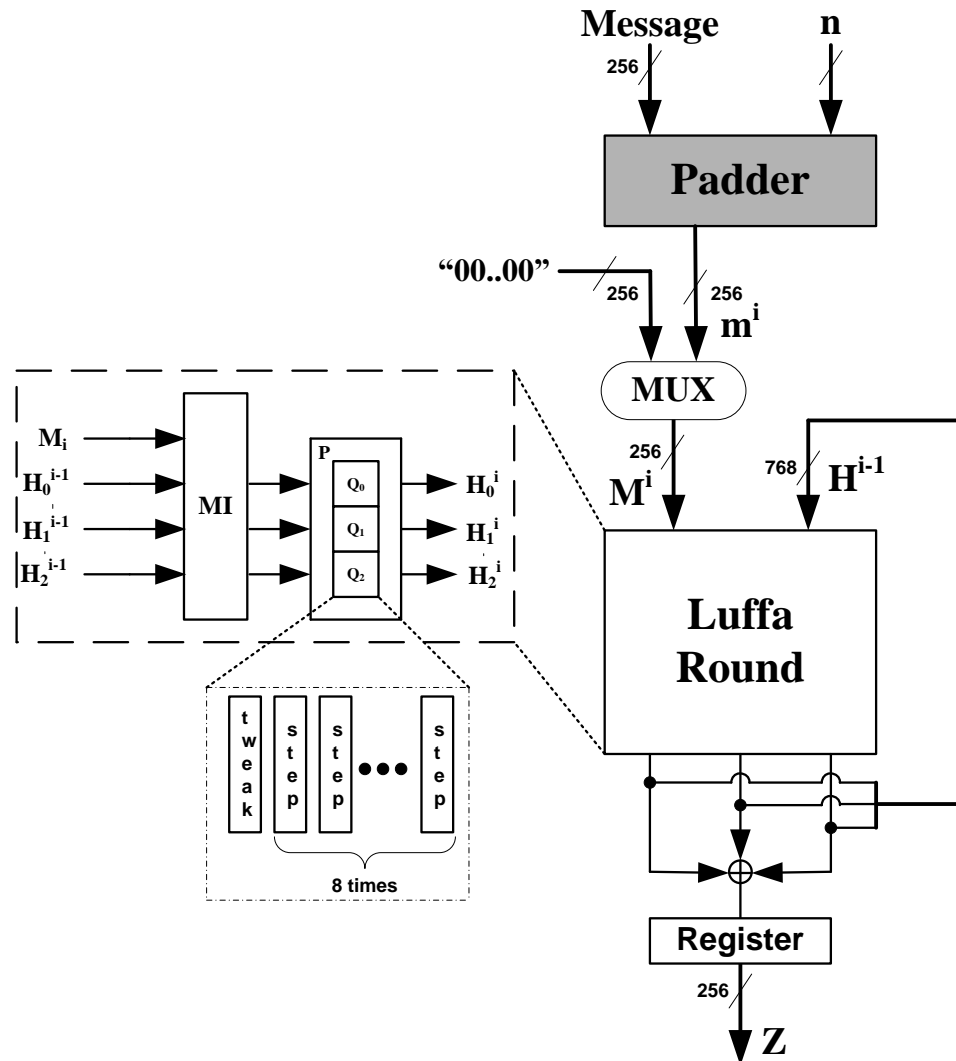
# Παράδειγμα σχεδιασμού χαμηλής κατανάλωσης ισχύος (ενέργειας)

- Luffa συνάρτηση κατακερματισμού
- Είναι αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στη κρυπτογραφία
- Λαμβάνει ως είσοδο τεράστια ποσότητα δεδομένων
  - Και υπολογίζει μια πεπερασμένη, πολύ μικρή έξοδο (των 256-bit)

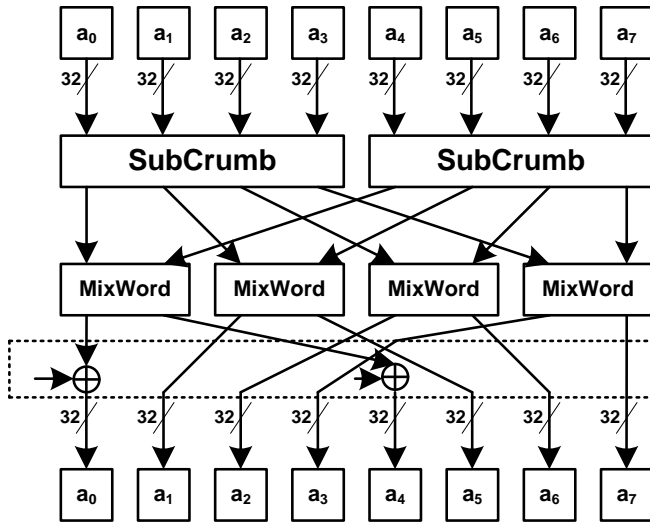
# Luffa συνάρτηση κατακερματισμού...



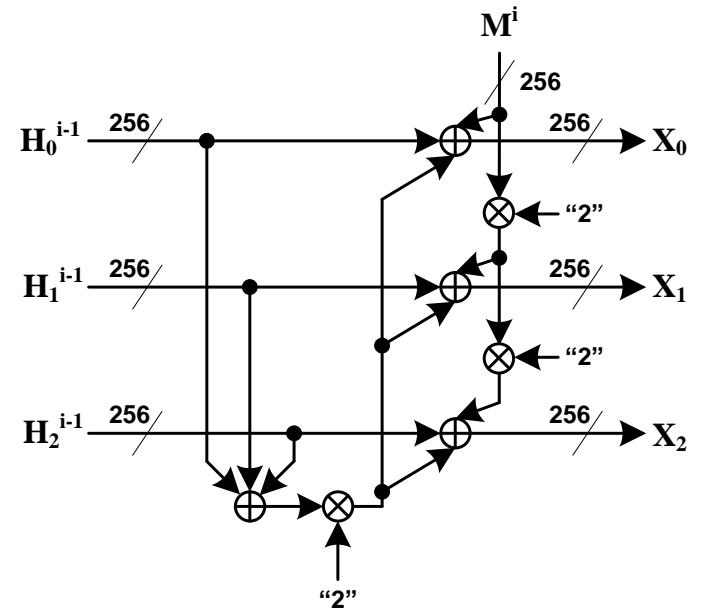
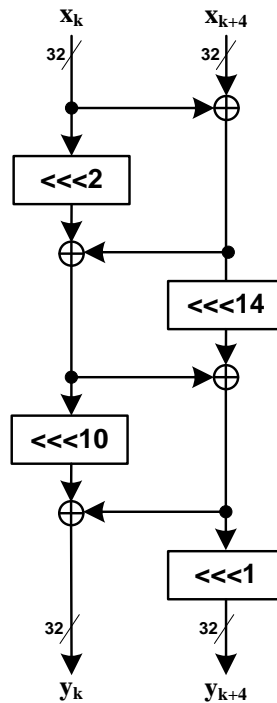
# ...Luffa συνάρτηση κατακερματισμού...



# ...Luffa συνάρτηση κατακερματισμού...



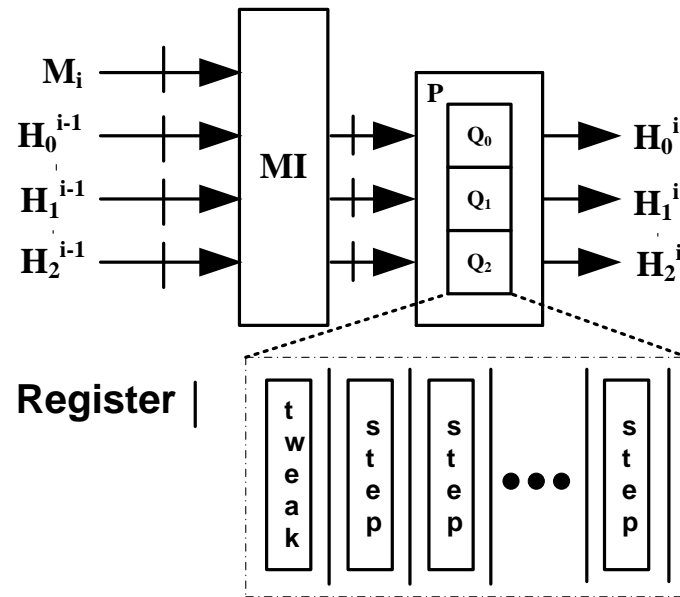
AddConstant





# ...Luffa συνάρτηση κατακερματισμού

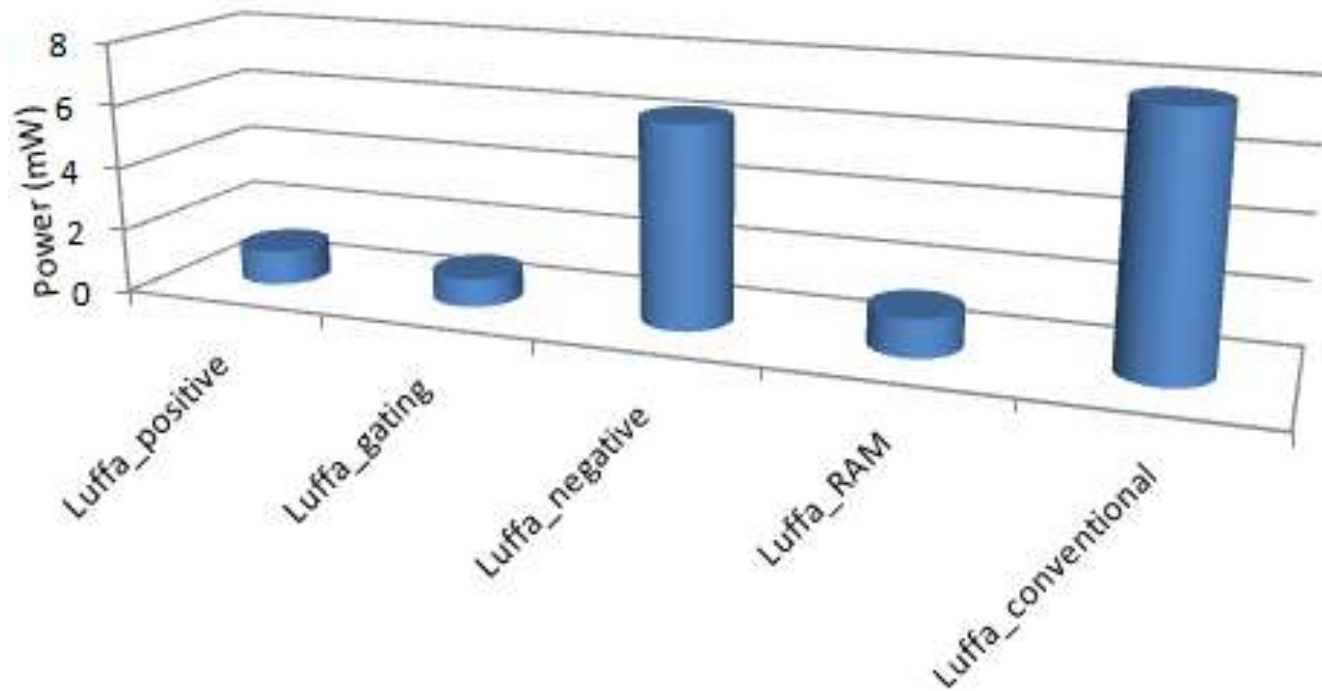
- Χρήση καταχωρητών pipeline μεταξύ όλων των στοιχείων MI, P, tweak και step του κυκλώματος



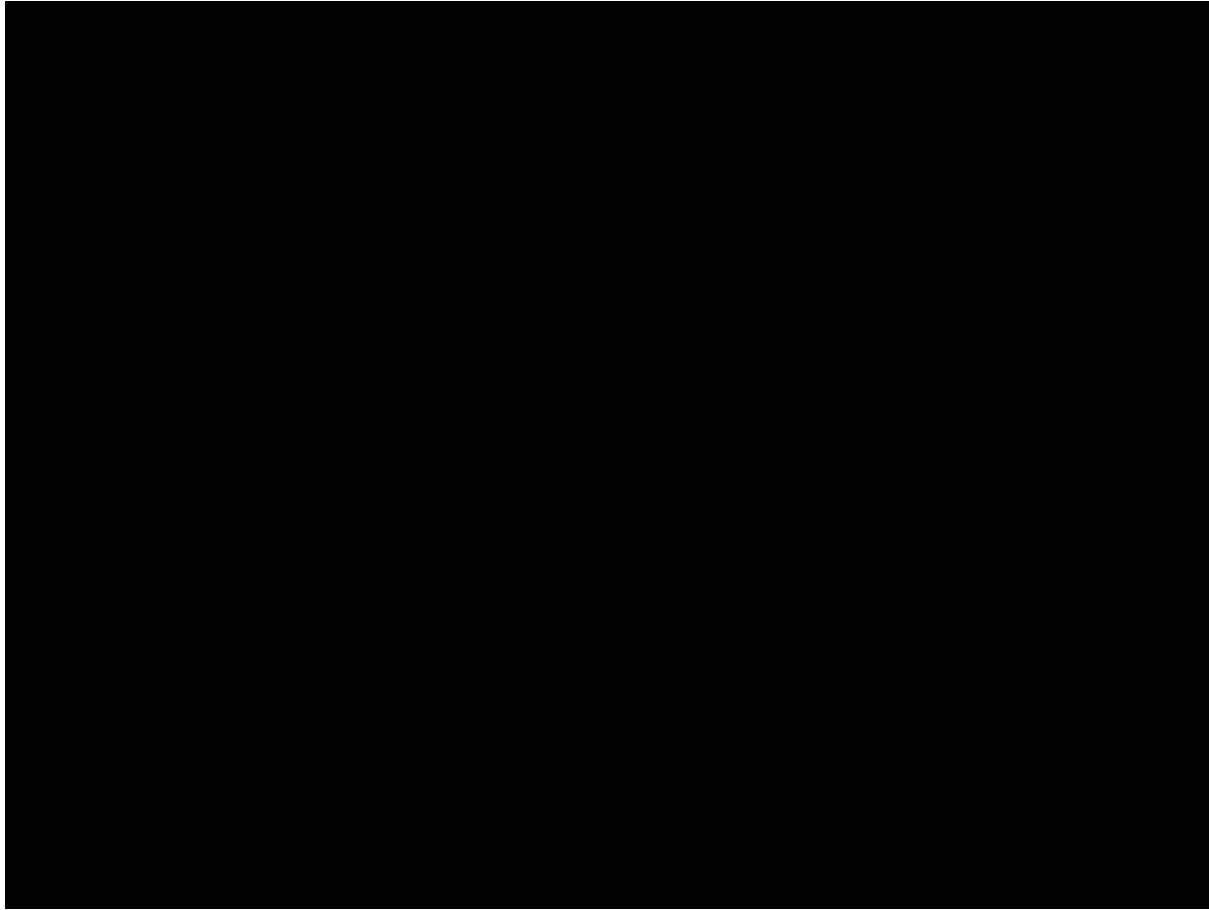
# Πειραματική διάταξη



# Μετρήσεις κατανάλωσης ισχύος



# Κατανάλωση ενέργειας vs θερμότητα



**DICES Lab.**

**[diceslab.cied.teiwest.gr](http://diceslab.cied.teiwest.gr)**



Ευχαριστώ πολύ για τη προσοχή σας!!!