



**ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ**

**ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Τομέας Ηλεκτρονικής και Υπολογιστών

Παρουσίαση στα πλαίσια του μαθήματος Μικροεπεξεργαστές και Περιφερειακά του...

# ADC Analog to Digital Converter

8ο Εξάμηνο

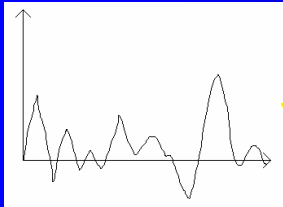
Τσαρδούλιας Εμμανουήλ Α.Ε.Μ. 5174

Αβραάμ Ιωάννης Α.Ε.Μ. 4980

## Περιεχόμενα...

1. Γενικά για τον ADC
2. Ο ADC στον Mega 128
3. Εφαρμογή του ADC σε συνεργασία με επιταχυνσιόμετρο
4. Εφαρμογή του ADC σε συνεργασία με αισθητήρα υπέρυθρων (infrared)

## ADC Analog to digital converter



011101001011001  
010111011001011  
100010100110101

### Χρησιμότητα ADC:

- Μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά.

### Πλεονεκτήματα:

- Ευκολότερη ανάλυση σημάτων
- Επεξεργασία σημάτων σε διάφορες εφαρμογές
- Ευκολότερη μετάδοση της πληροφορίας μέσω διαφόρων τεχνικών

### Μειονεκτήματα:

- Διάφορα σφάλματα (μη γραμμικότητας, κβάντισης, κτλ)

### Αποτελείται από :

- Το ρολόι (clock)
- Τα κυκλώματα ελέγχου
- Τον κυρίως μετατροπέα
- Τις πηγές αναφοράς

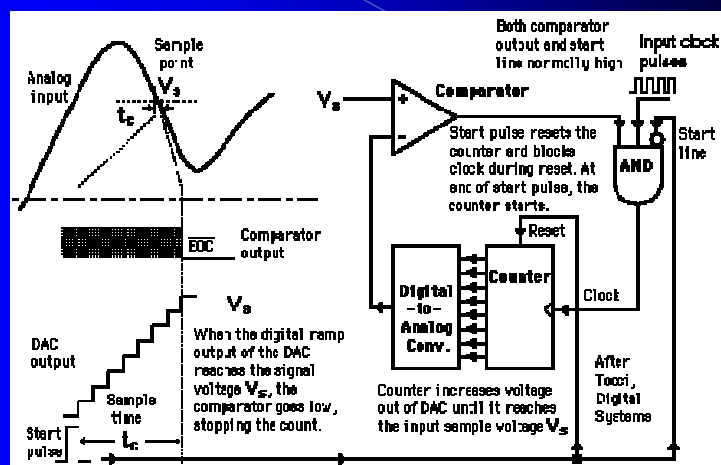
Το ρολόι καθορίζει τον χρόνο μετατροπής. Καλοί χρόνοι θεωρούνται αυτοί της τάξης του 1μs-10μs. Αργοί χρόνοι θεωρούνται οι μεγαλύτεροι των 100 μs.

Η τάση της πηγής αναφοράς θέτει το μέγιστο όριο του σήματος υπό μετατροπή, καθώς επίσης και το βήμα της μετατροπής δηλαδή τη διακριτική ικανότητα του μετατροπέα.

Υπάρχουν δύο είδη ADC. Οι μονοπολικοί και οι διπολικοί μετατροπείς. Οι μονοπολικοί μπορούν να μετατρέψουν από 0 έως  $A_{ref}$  ενώ οι διπολικοί από  $-A_{ref}$  έως και  $A_{ref}$ . Δηλαδή οι διπολικοί μετατροπείς έχουν διπλάσιο εύρος μετατροπής. Επίσης είναι απαραίτητοι για μετατροπή αρνητικών σημάτων.

## Είδη υλοποιήσεων ADC

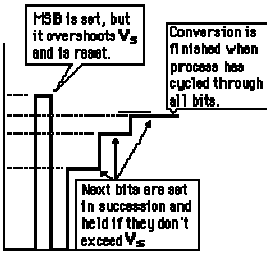
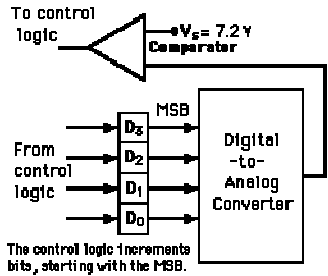
### 1.Κλιμακωτής ανόδου (Digital Ramp ADC)



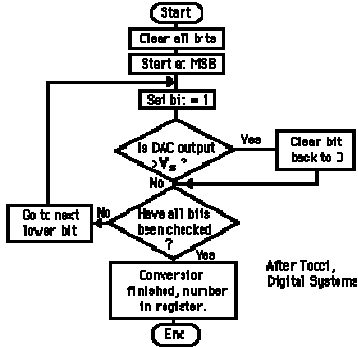
•Πλεονέκτημα: Επιλογή συστήματος αρίθμησης, ανάλογα με το σύστημα που χρησιμοποιεί ο απαριθμητής (δυαδικό, BCD κτλ).

•Μειονέκτημα: Μεγάλος χρόνος μετατροπής.

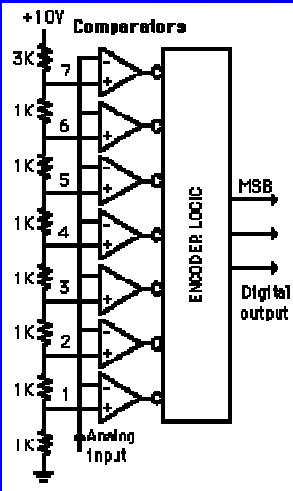
## 2. Διαδοχικών προσεγγίσεων. (Successive Approximation ADC)



- Μικρός χρόνος μετατροπής.
- Απαιτεί τόσες προσεγγίσεις όσα τα bits του αποτελέσματος.



### 3.Μετατροπέας A/D με παράλληλη τεχνική μετατροπής. (Flash ADC)



- Δημιουργείται ένας διαιρέτης τάσης με τόσα επίπεδα όσα και τα bits της ανάλυσης.
- Τα επίπεδα συγκρίνονται μέσω N συγκριτών με την τάση εισόδου.
- Έτσι κάθε έξοδος συγκριτή δείχνει αν η τάση εισόδου είναι μεγαλύτερη ή μικρότερη από το αντίστοιχο επίπεδο τάσης αναφοράς.
- Αν η έξοδος του μετατροπέα έχει N bits απαιτούνται  $2^N - 1$  συγκριτές. Πάρα πολλοί για μεγάλα N!
- Τέτοιοι μετατροπείς κατορθώνουν να αγγίξουν υψηλές ταχύτητες. (Για N=4 χρόνος περίπου 20ns)

## Σχετικά με την διακριτική ικανότητα...

Όσα περισσότερα bits χρησιμοποιούμε για την μετατροπή, τόσο μεγαλύτερη είναι και η ακρίβεια της αναπαράστασης.

Για αναπαράσταση N bits, η διακριτικότητα της μέτρησης είναι (για μονοπολικό ADC)  $\frac{A_{ref}}{2^N}$

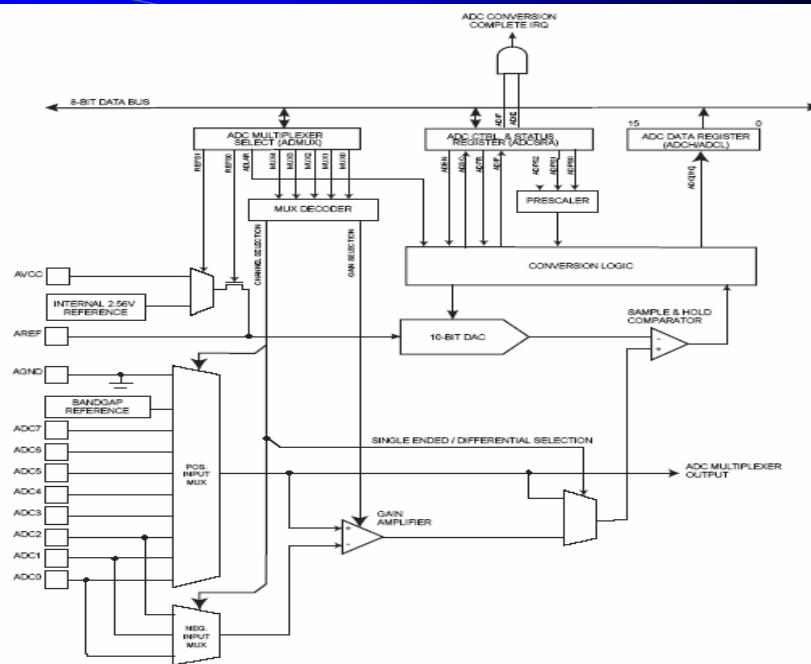
Δηλαδή για  $A_{ref}=5V$  και  $N=8bits$ , ο ADC μπορεί να ανιχνεύσει μεταβολές της εισόδου μεγαλύτερες από  $\frac{5}{2^8} = 0.0195V$

## ΣΦΑΛΜΑΤΑ

- 1) Σφάλμα διακεκριμενοποίησης ή (σφάλμα κβαντισμού). Παρουσιάζεται διότι προσεγγίζεται μια συνεχής ποσότητα με διακριτό τρόπο. Το σφάλμα αυτό είναι  $\pm 1/2$  LSB.
- 2) Σφάλμα γραμμικότητας. Συμβαίνει όταν οι αποστάσεις μεταξύ των τιμών της εισόδου για τις οποίες μεταβάλλεται η έξοδος κατά ένα LSB δεν είναι ίσες μεταξύ τους. Συνήθως απαιτείται σφάλμα  $\pm 1/2$  LSB, αλλά συχνά χρησιμοποιείται και  $\pm 1/4$  ή  $\pm 1/8$  LSB.
- 3) Σφάλμα πόλωσης. Παρουσιάζεται αν η μετατροπή της εξόδου από 00..00 σε 00..01 δεν γίνει στην τιμή της εισόδου που αντιπροσωπεύεται από  $\pm 1/2$  LSB.
- 4) Σφάλμα κλίμακας. Παρουσιάζεται όταν η μέγιστη έξοδος δεν εμφανίζεται για την αντίστοιχη μέγιστη είσοδο.

# Ο ADC στον AVR

## Mega 128

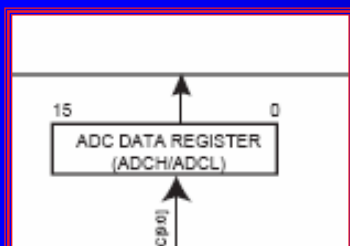


## Επεξήγηση λειτουργίας:

### Γενικά Χαρακτηριστικά:

- Τύπος μετατροπέα: Διαδοχικών προσεγγίσεων
- Ανάλυση μετατροπής 10 bit.
- Χρόνος μετατροπής από 13 έως 260  $\mu$ s.
- Μέγιστη συχνότητα δειγματοληψίας (με μέγιστη ανάλυση) ίση με 15kSPS.
- 8 κανάλια εισόδου απλής μετατροπής.
- 7 κανάλια εισόδου διαφορικής μετατροπής.
- 2 διαφορικά κανάλια εισόδου με δυνατότητα κέρδους 10x και 200x.
- Εύρος σήματος εισόδου από 0 έως και  $V_{cc}$  volts.
- Εσωτερική πηγή αναφοράς 2.56V DC.
- Δύο λειτουργίες: Απλής μετατροπής και συνεχόμενων μετατροπών (free running mode).
- Δυνατότητα στοίχισης των bits του αποτελέσματος της μετατροπής αριστερά ή δεξιά στους καταχωρητές
- Δυνατότητα interrupt στο τέλος κάθε μετατροπής.
- Απόλυτη ακρίβεια  $\pm 2\text{LSB}$ .
- Μέγιστο σφάλμα γραμμικότητας  $\pm 1/2\text{LSB}$ .
- Οι εισοδοί είναι τα 8 pins της port F

## Καταχωρητές ADCH και ADCL.



Στους καταχωρητές αυτούς αποθηκεύονται τα αποτελέσματα των μετατροπών.

15	14	13	12	11	10	9	8	
—	—	—	—	—	—	ADC9	ADC8	ADCH
ADC7	ADC6	ADC5	ADC4	ADC3	ADC2	ADC1	ADC0	ADCL
7	6	5	4	3	2	1	0	

### Καταχωρητής ADMUX

#### ADC Multiplexer Selection Register

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Bits Refs1 & 0: Τα bits αυτά επιλέγουν την τάση αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί. Μπορούμε να επιλέξουμε εξωτερική Aref, την τροφοδοσία Vcc ή την εσωτερική τάση αναφοράς των 2.56 V.
- Bit ADLAR: Με το bit αυτό επιλέγουμε την δεξιά ή την αριστερή στοίχιση των δεδομένων. Έτσι, εάν δεν θέλουμε να κρατήσουμε και τα 10 bits, κάνουμε αριστερή στοίχιση και χρησιμοποιούμε τα 8MSB.
- Στο τέλος κάθε μέτρησης πρέπει απαραίτητα να διαβάσουμε τον ADCH. Αν έχουμε επιλέξει αριστερή στοίχιση τότε πρέπει να διαβάσουμε πρώτα τον ADCL και μετά τον ADCH. Αν δεν τηρήσουμε αυτές τις προϋποθέσεις δεν θα ανανεωθούν ξανά.
- Bits MUX4 to 1: Με τα bits αυτά επιλέγουμε τόσο την είσοδο του ADC όσο και τον τύπο της . Μπορούμε να επιλέξουμε τα 8 pins του port F είτε ως απλές εισόδους, είτε ως διαφορικές, είτε με κέρδος.

### Καταχωρητής ADCSRA

#### ADC Control and Status Register A

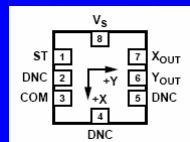
Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADFR	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

- Bit ADEN (ADC Enable): Ενεργοποίηση ADC
- Bit ADSC (ADC Start Conversion): Εκκίνηση μετατροπής.
- Bit ADFR (ADC Free Running Select): Επιλογή συνεχόμενων μετρήσεων.
- Bit ADIF (ADC Interrupt Flag): Ενεργοποιείται στο τέλος της μετατροπής.
- Bit ADIE (ADC Interrupt Enable): Αν είναι ενεργοποιημένο (και ταυτόχρονα το I-bit του SREG είναι 1), τότε γίνεται εξυπηρέτηση της ρουτίνας που αφορά το interrupt.
- Bits ADPS2 to 0: Επιλέγεται ο λόγος του clock του ADC σε σχέση με το clock του AVR.



# ADC και επιταχυνσιόμετρο

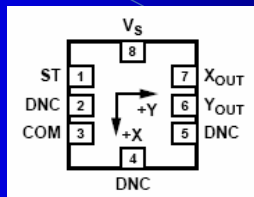
## ADXL204E



ADC

AVR Mega 128

## Γενικές πληροφορίες



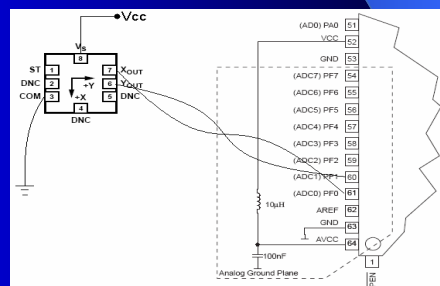
- Το επιταχυνσιόμετρο έχει ως εξόδους τα pins Xout και Yout που φαίνονται στο σχήμα
- Δίνει αναλογικές εξόδους ανάλογες της επιτάχυνσης.
- Μπορεί να μετρήσει και στατική και δυναμική επιτάχυνση.
- Μπορεί να μετρήσει από  $-1,7$  μέχρι και  $1,7g$ .
- Παρ' όλα αυτά αντέχει σε επιταχύνσεις της τάξης των  $3500g$

Εφ' όσον θέλουμε να επεξεργαστούμε αναλογικά μεγέθη χρησιμοποιούμε τον ...ADC!

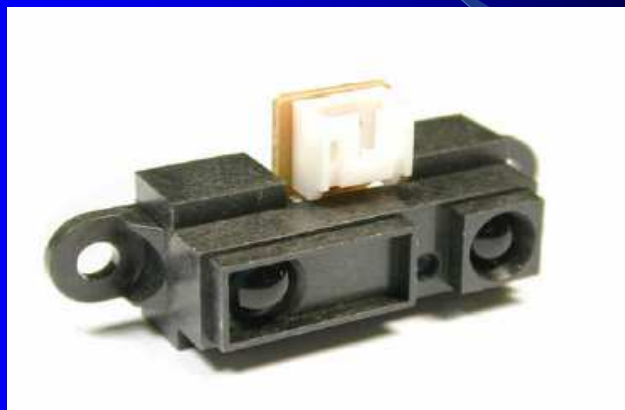
## Γενικές Πληροφορίες..

- Συνδέθηκαν οι δύο άξονες X και Y με τα pins 0 και 1 της port F
- Αρχικά γίνονταν η μέτρηση για τον άξονα X, και με αλλαγή του ADMUX ακολουθούσε η μέτρηση στον άξονα Y.
- Στο αποτέλεσμα έγινε αριστερή στοίχιση διότι αφ' ενός δεν ήταν αναγκαία μεγάλη ακρίβεια, και αφ' ετέρου τα δύο τελευταία bits επηρεάζονταν πολύ από το θόρυβο.
- Τα αποτελέσματα της μέτρησης επεξεργάστηκαν ώστε να έρθουν σε καταληπτή μορφή (π.χ. σε g) και οδηγήθηκαν σε leds 7 τμημάτων.
- Το επιταχυνσιόμετρο, όπως και άλλοι αισθητήρες, θα συνδεθεί σε ένα μικρό ρομπότ και σκοπός του θα είναι να μετράει την στατική επιτάχυνση (κλίση δαπέδου), να δίνει την πληροφορία στον μικροελεγκτή και αυτός να την λαμβάνει υπ' όψιν του για τον καθορισμό της κίνησής του.

Συνδεσμολογία...

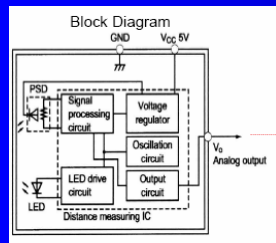


## Σύνδεση του ADC με αισθητήρα υπέρυθρων



## Πιο συγκεκριμένα....

Sharp GP2D12



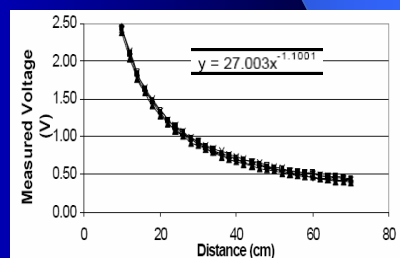
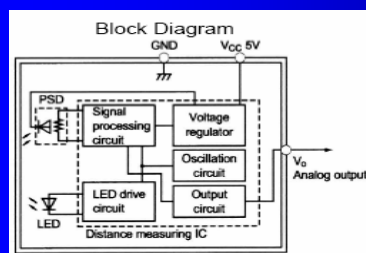
ADC

AVR Mega 128

Σκοπός του project είναι η χρησιμοποίηση του αισθητήρα των υπέρυθρων σε συνεργασία με τον AVR Mega 128 για την μέτρηση της απόστασης στην οποία βρίσκεται κάποιο αντικείμενο (εμπόδιο). Η πληροφορία αυτή (απόσταση από εμπόδιο) μπορεί εν συνεχεία να αξιοποιηθεί από κατάλληλους αλγορίθμους για την πλοήγηση οχήματος (robot) σε επίπεδη επιφάνεια.

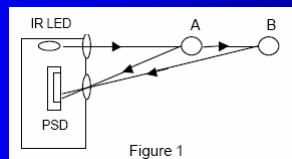
## Γενικές πληροφορίες...

- Ο αισθητήρας υπέρυθρων που χρησιμοποιήθηκε στο project είναι ο Sharp GP2D12.
- Έχει τη δυνατότητα μέτρησης αποστάσεων από 10 – 80 cm.
- Η έξοδος του αισθητήρα είναι τάση που κυμαίνεται από 0-2.5V
- Διαθέτει 3 εξωτερικούς ακροδέκτες (pin1: +5V, pin2: GND, pin3: Vout)
- Η σχέση ανάμεσα στην τάση εξόδου και στην απόσταση που μετράει ο αισθητήρας είναι μη γραμμική.
- Η γωνία ανίχνευσης είναι περίπου 10°.



## Γενικές πληροφορίες συνέχεια

- Ο αισθητήρας περιλαμβάνει μια σειρά από φωτοδιόδους που λειτουργούν σαν ανιχνευτές θέσης (PSD), πομπό και δέκτη (υπέρυθρων ακτίνων) καθώς επίσης και συνδεσμολογίες για το φιλτράρισμα και την ενίσχυση της τάσης εξόδου.
- Η αρχή λειτουργίας φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Ως κοντινότερο εμπόδιο ανιχνεύεται από το PSD αυτό που επιστρέφει την ανακλώμενη ακτίνα με την μεγαλύτερη γωνία ανάκλασης !!!

## Μειονεκτήματα του αισθητήρα

- Απαραίτητη η βαθμονόμηση (calibration).
- Οι μετρήσεις του αισθητήρα επηρεάζονται σημαντικά αν δέσμες φωτός οδηγηθούν κατευθείαν στον δέκτη του αισθητήρα.
- Οι μετρήσεις του αισθητήρα επηρεάζονται σημαντικά αν δέσμες laser οδηγηθούν κατευθείαν στον δέκτη του αισθητήρα.
- Η ανακλαστικότητα των υπέρυθρων ακτίνων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το χρώμα του αντικειμένου στο οποίο προσκρούουν (μικρή στα σκούρα χρώματα και μεγάλη στα ανοιχτά). Το γεγονός αυτό επηρεάζει σημαντικά την ακρίβεια των μετρήσεων του αισθητήρα.

ανακλαστικότητα:

π.χ. 90% στο άσπρο

18% στο καφέ

## Συνεργασία αισθητήρα και AVR mega 128

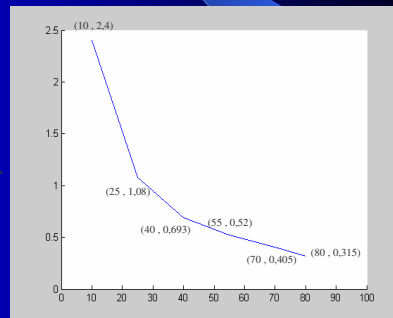
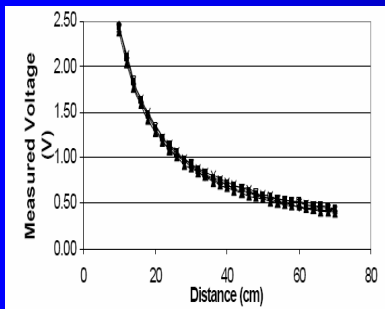
- Συνδέεται ο ακροδέκτης της τάσης εξόδου του αισθητήρα με το pin0 του port F (κανάλι εισόδου του ADC).
- Σαν τάση αναφοράς επιλέγεται  $V_{ref} = 2.56V$ . Έτσι καλύπτεται όλο το φάσμα των τιμών της τάσης εξόδου του αισθητήρα που είναι 0-2.5V (η τάση αναφοράς επιλέγεται από τα bits 6 και 7 του καταχωρητή ADMUX).
- Το βήμα μετατροπής είναι  $2.56 / 2^{10} = 2.5mV$
- Επιλέγεται κανάλι απλής μετατροπής (Single Ended)
- Συχνότητα δειγματοληψίας για Single Ended Input Channel : 50-1000 KHz
- Το αποτέλεσμα της μετατροπής (ψηφιακή λέξη) αποθηκεύεται στους καταχωρητές ADCH και ADCL (υπάρχει δυνατότητα διακοπής) και στη συνέχεια επεξεργάζεται από κατάλληλο κώδικα προκειμένου να προκύψει η μετρούμενη απόσταση σε cm.
- Η ακρίβεια του αριθμού των cm που προκύπτει είναι 8 bits για το ακέραιο μέρος και 8 bits για το δεκαδικό.

## ADPS2 – ADPS0 – A/D Prescaler Select Bits

ADPS2	ADPS1	ADPS0	Division Factor
0	0	0	2
0	0	1	2
0	1	0	4
0	1	1	8
1	0	0	16
1	0	1	32
1	1	0	64
1	1	1	128

## Προβλήματα Υλοποίησης

- Η μη γραμμική σχέση ανάμεσα στην τάση εξόδου του αισθητήρα και τη μετρούμενη απόσταση δυσκολεύει την υλοποίηση του κώδικα. Έτσι προκειμένου να διευκολυνθεί η επεξεργασία με τον assembler προσεγγίζουμε την καμπύλη με 5 ευθύγραμμα τμήματα.



## Για περισσότερες πληροφορίες...

- ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Β.ΠΕΤΡΙΔΗ

- <http://www.atmel.com>
- <http://www.acroname.com>
- <http://www.HVWTech.com>
- <http://www.national.com>