



Αλεξάνδρειο Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Θεσ/νίκης

Τμήμα Ηλεκτρονικής

Πτυχιακή Εργασία

**Μελέτη και κατασκευή μετρητή κλίσεως με μικροελεγκτή
PIC18F1320 και σειριακή διασύνδεση με συσκευή
απεικόνισης LCD**

Φοιτητής:

Κατεμίδης Ιάκωβος

Επιβλέπων καθηγητής:

Σαραφίδης Χαράλαμπος

**Κωδικός πτυχιακής : 08194ΕΣ
Κ.Α.Σ. Φοιτητή : 503105**

Πρόλογος

Στον ‘κόσμο’ των ηλεκτρονικών υπάρχουν πολλές εφαρμογές όπου απαιτείται να μετρηθεί ένα φυσικό μέγεθος. Φυσικά μεγέθη όπως η απόσταση, η θερμοκρασία, η υγρασία. Οι απαιτήσεις για καλύτερες μετρήσεις ώθησαν στην δημιουργία των MEMS (MicroElectroMechanical Systems) με την οποία είναι δυνατή η ταυτόχρονη και ακριβέστερη μέτρηση των φυσικών μεγεθών αλλά και η απλούστερη μετατροπή των δεδομένων από τον χρήστη.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται η μελέτη και η κατασκευή ενός μετρητή κλίσεως. Πρόκειται για μια αυτόνομη κατασκευή η οποία μετράει την κλίση με χρήση ειδικού αισθητηρίου τεχνολογίας MEMS και απεικονίζει το αποτέλεσμα σε LCD οθόνη. Αποτελείται από δύο βαθμίδες (κουτιά) οι οποίες επικοινωνούν μεταξύ τους με σειριακή συνδεσμολογία.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....σελ.4

Κεφάλαιο 1

- 1.1 Μπλοκ διάγραμμα κατασκευής.....σελ.6
- 1.2 Αισθητήρας ADIS 16201.....σελ.7
- 1.3 Μικροελεγκτής PIC18F1320.....σελ.8
- 1.4 MAX232.....σελ.9
- 1.5 Οθόνη LCD 2x16 χαρακτήρων.....σελ.10

Κεφάλαιο 2

- 2.1 Σχέδιο Κατασκευής.....σελ.12

Κεφάλαιο 3

- 3.1 Βαθμίδα αισθητηρίου ADIS16201.....σελ.16
- 3.2 Βαθμίδα οθόνης LCD.....σελ.17
- 3.3 Συμπλήρωμα ως προς δύο (“Two’s complement”)σελ.19

Κεφάλαιο 4

- 4.1 Διάγραμμα Ροής Κώδικα Βαθμίδας Αισθητηρίου.....σελ.22
- 4.2 Ανάλυση Υπορουτίνας “Ανάγνωση και Μετατροπή Δεδομένων Κλίσης Από Τον Αισθητήρα “.....σελ.23
- 4.3 Ανάλυση Υπορουτίνας “Αποστολή Δεδομένων Κλίσης Στην Σειριακή Θύρα”.....σελ.24
- 4.4 Διάγραμμα Ροής Κώδικα Βαθμίδας Οθόνης LCD.....σελ.25
- 4.5 Ανάλυση Υπορουτίνας “Λήψη Δεδομένων Κλίσης από την Σειριακή Θύρα”.....σελ.26
- 4.6 Ανάλυση Υπορουτίνας ‘Διαχωρισμός Θετικών - Αρνητικών Αριθμών / Δημιουργία Δεκάδων–Μονάδων–Δεκάτων ‘σελ. 27
- 4.7 Ανάλυση Υπορουτίνας ‘Απεικόνιση των Αριθμών στην LCD’σελ.28
- 4.8 Ανάλυση Υπορουτίνας ‘Αντιστοίχιση Αριθμών / Συμβόλων < και > / Απεικόνιση στην LCD’.....σελ.29

Κεφάλαιο 5

- 5.1 Λήψη μετρήσεων για διάφορα επίπεδα κλίσης.....σελ.30
- 5.2 Λήψη μετρήσεων στον άξονα X-pitch αριστερόστροφασελ.31
- 5.3 Λήψη μετρήσεων στον άξονα X-pitch δεξιόστροφασελ.37
- 5.4 Λήψη μετρήσεων στον άξονα Y-roll αριστερόστροφασελ.39
- 5.6 Λήψη μετρήσεων στον άξονα Y-roll δεξιόστροφασελ.41

Κεφάλαιο 6

- 6.1 Σχεδίαση Γραφημάτων.....σελ.43
- 6.2 Κατανομή Gauss.....σελ.44
- 6.3 Y – roll άξονα στις 45 μοίρες αριστερόστροφα.....σελ.48

Κεφάλαιο 7

- 7.1 Τεχνολογία MEMS.....σελ.52
- 7.2 Επιταχυνσιόμετρα / Κλισιόμετρα τεχνολογίας MEMS.....σελ.57

Επίλογος.....σελ.58

Βιβλιογραφία.....σελ.59

Παράρτημα Α-Προγράμματα βαθμίδων (Γλώσσα C).....σελ.60

Παράρτημα Β-Φύλλα δεδομένων.....σελ.78

Περίληψη

Η κατασκευή κάνει μέτρηση της κλίσης στους άξονες X και Y (pitch-roll ή πρόνευση-διατοιχισμός) και στην συνέχεια το αποτέλεσμα της μέτρησης απεικονίζεται σε μορφή μοιρών με ακρίβεια ενός δεκαδικού ψηφίου, στην οθόνη LCD. Επί πρόσθετα, έχουν οριστεί τα σύμβολα '<' και '>' για την απεικόνιση σε αριστερόστροφη και δεξιόστροφη κλίση αντίστοιχα, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει διάκριση των δύο διαφορετικών ενδείξεων.

Η κατασκευή περιλαμβάνει δύο βαθμίδες:

- Την βαθμίδα του αισθητηρίου, η οποία αποτελείται από το αισθητήριο ADIS16201 (Analog Devices), τον PIC18LF1320 (Microchip - 3.3 Volt) και το MAX3232 (Texas Instruments - 3.3 Volt).
- Την βαθμίδα της οθόνης LCD, η οποία αποτελείται από το MAX232, τον PIC18F1320 και την οθόνη LCD 2x16 (Powertip) .

Βαθμίδα αισθητηρίου:

Ο μικροελεγκτής (PIC18LF1320) δέχεται σειριακά τα δεδομένα από τον αισθητήρα (ADIS16201) και αφού εφαρμόσει Φίλτρο Πεπερασμένης Κρουστικής Απόκρισης (FIR) τα αποστέλλει μέσω του MAX3232 στην βαθμίδα της οθόνης LCD.

Βαθμίδα οθόνης LCD :

Τα ληφθέντα δεδομένα οδηγούνται από τον MAX232 στον PIC18F1320, γίνεται η μετατροπή σε ψηφία και κατάλληλα σύμβολα ('<', '>') και αποστέλλονται στην οθόνη μέσω 4-bit διασύνδεσης.

Abstract

This structure measures X and Y's axis angle (pitch and roll) while the outcome of that measure is depicted into degrees with one decimal digit accuracy, in LCD screen. Moreover, '<' and '>' symbols have been used in order to depict the leftwise or rightwise angle, so as the two different measures can be discerned. The structure contains two gradations:

- The sensor gradation, which consists of the ADIS16201 sensor (Analog Devices) the PIC18LF1320 (Microchip - 3.3 Volt) and the MAX3232 (Texas Instruments - 3.3. Volt).
- The LCD screen gradation, which consists of the MAX232, the PIC18F1320 and the LCD 2x16 screen (Powertip).

Sensor Gradation:

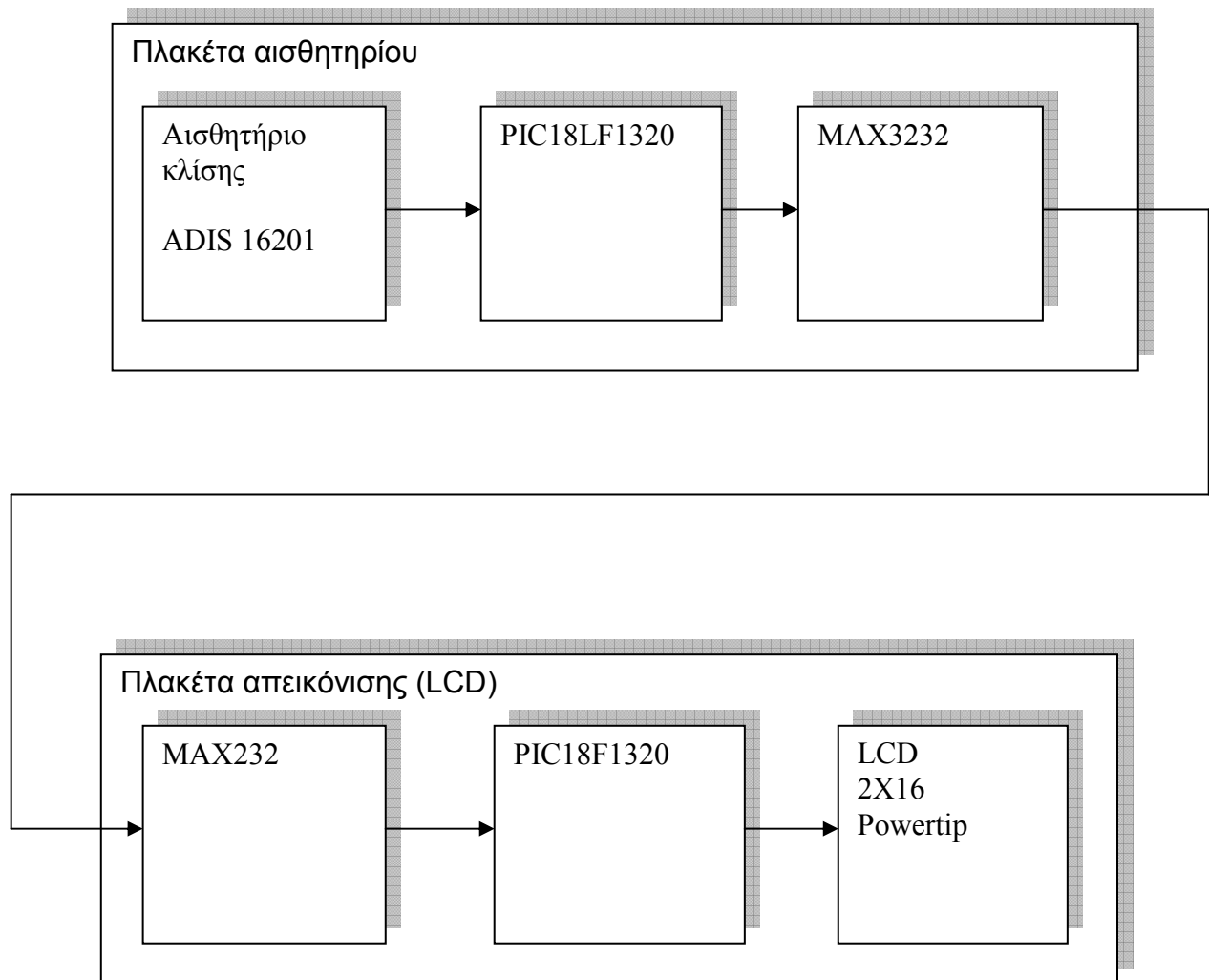
The microcontroller (PIC18LF1320) accepts the data in serial form from the sensor (ADIS16201) and after it applies the Finite Impulse Response (FIR), it sends it via the MAX3232 to the LCD screen gradation.

LCD screen gradation:

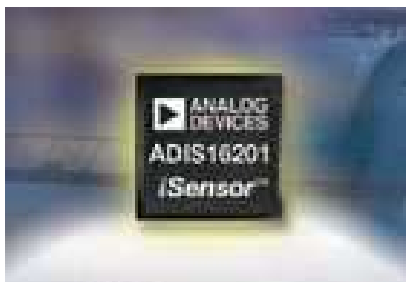
The received data are driven from the MAX232 to the PIC18F1320, where the conversion into digits and proper symbols takes place ('<', '>') and they are sent to the screen via a 4-bit link.

Κεφάλαιο 1

1.1 Μπλοκ διάγραμμα κατασκευής



1.2 Αισθητήρας ADIS 16201



Ανήκει στην οικογένεια αισθητήρων iSensor της Analog Devices βασισμένο στην τεχνολογία iMEMS®. Πραγματοποιεί μετρήσεις επιτάχυνσης και κλίσεως σε δύο άξονες X (πρόνευση ή pitch) - Y (διατοιχισμός ή roll) με δυνατότητα μέτρησης της θερμοκρασίας και της τάσης τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου.

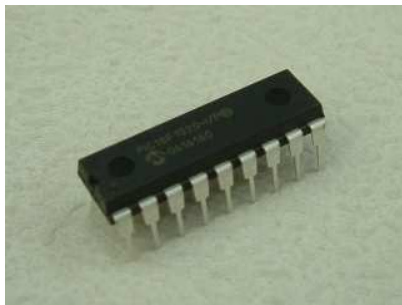
Χαρακτηριστικά:

- 12 bit έξοδος αισθητήρα κλίσης και 14 bit αισθητήρα επιτάχυνσης
- +/- 1.7 g μέτρηση επιτάχυνσης
- +/-90 μοίρες μέτρηση κλίσης
- 12 bit έξοδος αισθητήρα θερμοκρασίας
- Ψηφιακά ελεγχόμενη ευαισθησία, ρυθμός δειγματοληψίας και απόκριση συχνότητας.
- Ψηφιακά ελεγχόμενη κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης.
- Auxiliary 12 bit ADC input - 12 bit DAC output
- Τροφοδοσία 3.0 V ως 3.6 V
- 3500 g μέγιστη αντικραδασμική προστασία

Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε η αναπτυξιακή πλακέτα (evaluation board) η οποία περιλαμβάνει το smd ADIS16201 και pins για άμεση χρήση σε πλακέτα pcb.



1.3 Μικροελεγκτής PIC18F1320



Προγραμματιζόμενο ολοκληρωμένο της Microchip με μνήμη 8Kb και συχνότητα λειτουργίας έως και 40Mhz. Οι δύο πόρτες των 8 bits (PORTA και PORTB) προσφέρουν αμφίδρομη επικοινωνία εκτός του RA5 (PORTA) το οποίο λειτουργεί μόνο ως είσοδος.

Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή γίνεται on-board με χρήση των pins VPP, PGD και PGC (διασύνδεση ISP – In System Programming). Υπάρχει έτσι η δυνατότητα βελτίωσης και εισαγωγής τροποποιήσεων στο πρόγραμμα της εφαρμογής κατά βούληση.

Για την πλακέτα του αισθητηρίου έχει χρησιμοποιηθεί ο PIC18LF1320 ο οποίος λειτουργεί στα 3.3 V και έχει τα ίδια χαρακτηριστικά με τον PIC18F1320.

1.4 MAX232



Γενικής χρήσης ολοκληρωμένο για σειριακή μετάδοση ψηφιακών σημάτων. Λειτουργεί με +5V και μπορεί να μεταδώσει δεδομένα σε ταχύτητα έως 120kb/s. Περιέχει 2 drivers ('πομπούς') και 2 receivers ('δέκτες'). Το κυριότερο πλεονέκτημα του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου είναι ότι η μέγιστη επιτρεπτή τάση στην κάθε είσοδο μπορεί να φτάσει την τιμή των 30 Volt.

Αυτό το κάνει ικανό να συνεργαστεί με κυκλώματα μεγαλύτερης τάσης, όπως και στην παρούσα κατασκευή όπου συνδέουμε τον MAX3232 της βαθμίδας αισθητηρίου (λειτουργεί στα 3.3 Volt) με τον MAX232 της βαθμίδας οθόνης (λειτουργεί στα 5 Volt).

1.5 Οθόνη LCD 2x16 χαρακτήρων



Οθόνη της εταιρίας Powertip με αριθμό PC1602 – WB, απεικονίζει χαρακτήρες σε 2 γραμμές και 16 στήλες. Η μεταφορά των δεδομένων από τον μικροελεγκτή γίνεται με 4 bit σύνδεση.

Στην πρώτη γραμμή έχουμε επιλέξει να εμφανίζεται η κλίση κατά τον άξονα Y σε μοίρες (5 ψηφία: σύμβολα '+' ή '-', δεκάδες, μονάδες, τελεία και πλέον σημαντικό δεκαδικό ψηφίο). Ακόμη, 10 ψηφία για την απεικόνιση των συμβόλων (5 για δεξιόστροφη και 5 για αριστερόστροφη κλίση)

Στην δεύτερη γραμμή εμφανίζεται αντίστοιχα η κλίση στον άξονα X της πρόνευσης σε μοίρες (5 ψηφία: σύμβολα '+' ή '-', δεκάδες, μονάδες, τελεία και πλέον σημαντικό δεκαδικό ψηφίο). Ακόμη, 10 ψηφία για την απεικόνιση των συμβόλων (5 για δεξιόστροφη και 5 για αριστερόστροφη κλίση).

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται ο πλήρης χάρτης συμβόλων που περιέχει η οθόνη. Έχουν χρησιμοποιηθεί οι θέσεις hex 0xbb ☒ για αριστερόστροφη και 0xbc ☒ για δεξιόστροφη κλίση και οι θέσεις hex 0xf7 ☒ και 0xf6 ☒ στην θέση των προηγούμενων για κάθε συμπλήρωση 18 μοιρών.

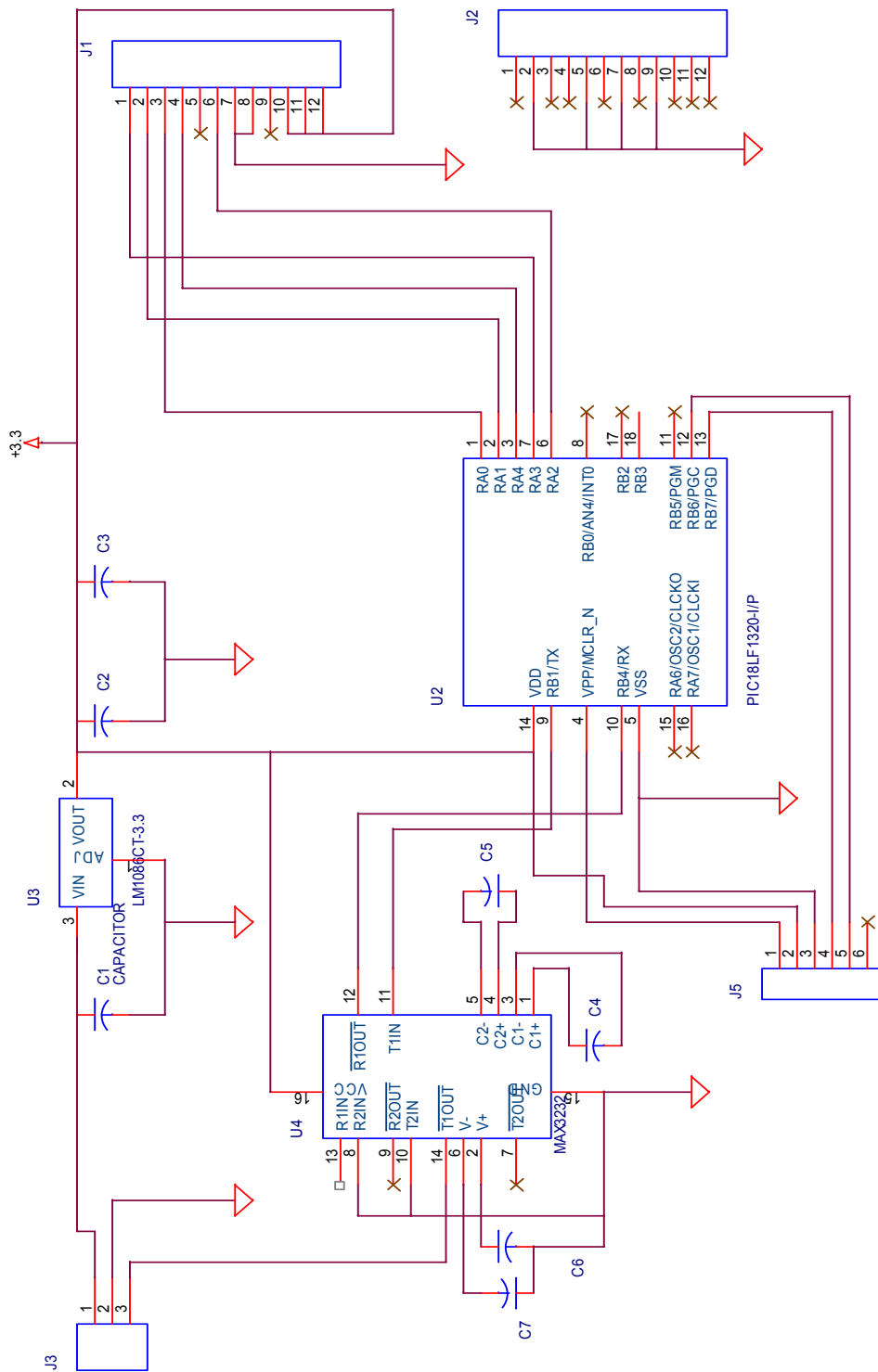
17-04 13-00	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111
0000	CG RAM (1)	±		0	0	P	'	P	9	E	Δ	'	Γ	Β	τ	
0001	(2)	≡	!	1	A	Q	a	q	ü	æ	í	"	J	+	γ	υ
0010	(3)	7	"	2	B	R	b	r	é	É	ó	°	ø	≡	8	ζ
0011	(4)	¿	#	3	C	S	c	s	á	à	ú	'	Ɔ	η	ε	ψ
0100	(5)	Ɔ	\$	4	D	T	d	t	ä	ö	φ	'	Ϸ	Γ	ζ	ω
0101	(6)	Ɔ	%	5	E	U	e	u	á	ò	É	'	h	↑	Δ	η
0110	(7)	Ɔ	&	6	F	V	f	v	á	ú	¶	'	4	↓	θ	θ
0111	(8)	Ɔ	'	7	G	W	g	w	á	ú	℞	×	→	Δ	ι	→
1000	(1)	Ɔ	(8	H	X	h	x	é	é	÷	'	÷	ε	κ	℞
1001	(2)	Ɔ)	9	I	Y	i	y	ë	ö	í	≤	Γ	Π	λ	4
1010	(3)	×	*	=	J	Z	j	z	è	ó	≥	Γ	Σ	μ	F	
1011	(4)	Ɔ	+	:	K	C	k	c	í	á	≥	×	Ɔ	Γ	υ	*
1100	(5)	=	,	<	L	\	l	ı	ı	á	8	*	Ɔ	φ	ξ	0
1101	(6)	ω	-	=	M	J	m	j	ı	á	≥	≠	.	ψ	π	-
1110	(7)	Ɔ	.	>	N	^	n	ˆ	á	ó	θ	√	θ	Ω	ρ	θ
1111	(8)	Ɔ	/	?	O	_	o	Δ	á	á	á	á	á	á	σ	θ

Χάρτης συμβόλων οθόνης Powertip PC-1602

Κεφάλαιο 2

2.1 Σχέδιο Κατασκευής

Θεωρητικό κύκλωμα βαθμίδα αισθητηρίου



Λίστα υλικών

Πυκνωτές

C1=100 μ F / 16 V

C2,C3=10 μ F / 16V

C4,C5,C6,C7 = 0.1 μ f / 16 V τανταλίου

Ολοκληρωμένα

PIC18LF1320

MAX3232

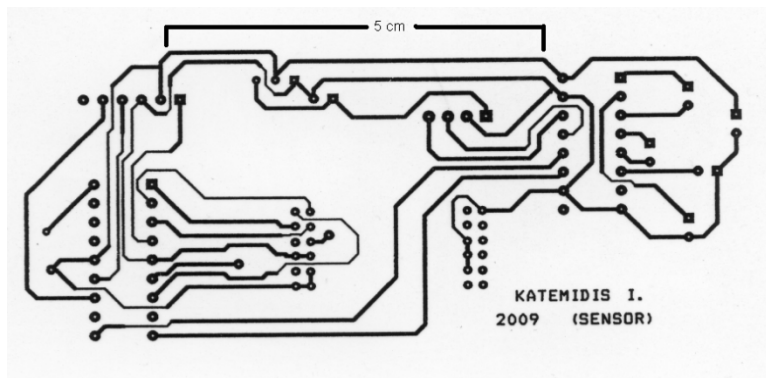
LM1086

ADIS16201 : Η πινοσειρά J1 του ολοκληρωμένου, συνδέεται στην πινοσειρά J1 της πλακέτας. Αντίστοιχα και για την J2.

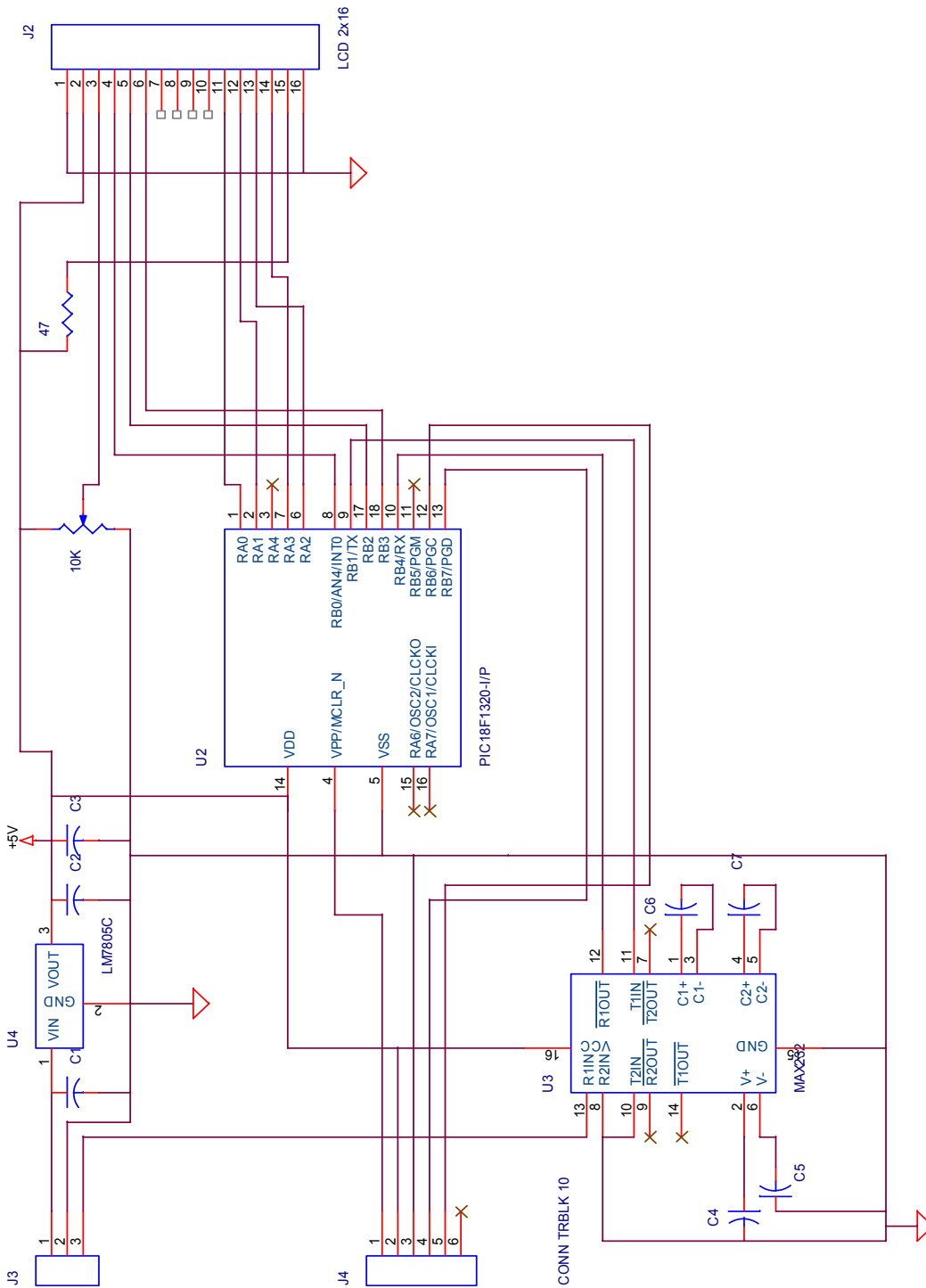
J3= mini jack θηλυκό 3 επαφών

J5= πινοσειρά αρσενική 6 pins

Τυπωμένο κύκλωμα βαθμίδας αισθητηρίου.



Θεωρητικό κύκλωμα βαθμίδας οθόνης LCD



Λίστα υλικών

Πυκνωτές

C1=100 μ F / 16 V

C2,C3=10 μ F / 16V

C4,C5,C6,C7 = 0.1 μ f / 16 V τανταλίου

Αντιστάσεις

47 Ohm- καθορίζει την ένταση του οπίσθιου φωτισμού

10 Kohm trimer – ρυθμίζει το contrast

Ολοκληρωμένα

PIC18F1320

MAX232

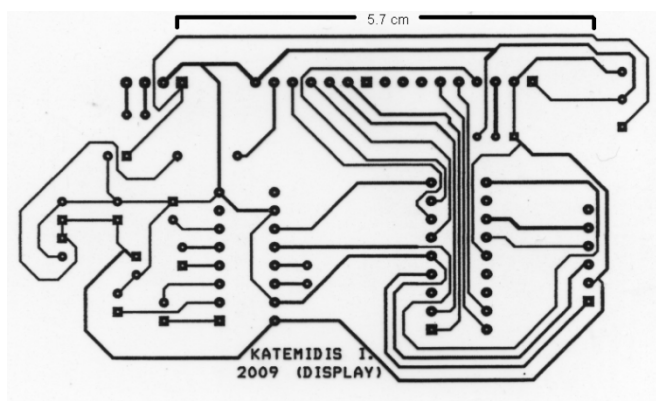
LM7805

Powertip 2x16 LCD PC-1602 (στο σχέδιο βλ.J2)

J3= mini jack θηλυκό 3 επαφών

J4= πινοσειρά αρσενική 6 pins

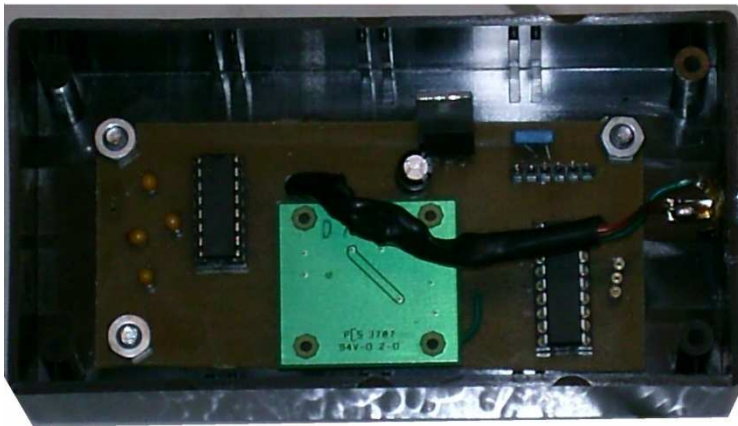
Τυπωμένο κύκλωμα βαθμίδας οθόνης lcd



Κεφάλαιο 3

3.1 Βαθμίδα αισθητηρίου ADIS16201

Το κύκλωμα λειτουργεί με +3.3 Volt τα οποία παρέχονται από τον σταθεροποιητή τάσης LM1086. Το πρόγραμμα του μικροελεγκτή PIC18LF1320 έχει γραφεί σε γλώσσα C (MPLAB) και η μετατροπή του σε αρχείο .hex (αρχείο το οποίο αποστέλλεται στον μικροελεγκτή) έγινε με τον Compiler C18.



Το εσωτερικό της βαθμίδας αισθητηρίου

Κατά την έναρξη του προγράμματος ορίζεται η λειτουργία του εσωτερικού ταλαντωτή με ρύθμιση στα 8 Mhz και δίνονται οι απαραίτητες ονομασίες στα bit εισόδων-εξόδων που θα χρησιμοποιηθούν. Χρησιμοποιείται η εντολή `Delay10KTCYx(a/5)`, όπου στην παράμετρο `a` δίνουμε οποιαδήποτε τιμή χρειαστεί κατά την ροή του προγράμματος.

Έπειτα καθορίζεται ο ρυθμός δειγματοληψίας του ADC (Analog to Digital Converter) στο 1ms με την εντολή `WriteRegister (0x36, 0x08)` και ξεκινά η ανάγνωση της τιμής κλίσης X-Y από τον αισθητήρα.

Αρχικά η έξοδος του αισθητήρα για θετικές τιμές κυμαίνεται από 0x0000 ως και 0x0384 και για αρνητικές από 0x0FFF ως και 0x0C7C.

Μέσα από τις εντολές `if (xinc & 0x800)` και `xinc != 0xF000` γίνεται ο διαχωρισμός της αρνητικής (αριστερόστροφης) κλίσης από την θετική (δεξιόστροφη) και επεξεργάζεται από το Ψηφιακό Φίλτρο Πεπερασμένης Κρουστικής Απόκρισης (FIR Filter- Finite Impulse Response Filter). Στον κώδικα υπολογίζεται από τους τύπους $xinc = (-x3 + 9*x2 + 9*x1 - x0) >> 4$ και $yinc = (-x3 + 9*x2 + 9*x1 - x0) >> 4$. Κάθε τιμή `xinc` και `yinc` αντιστοιχίζεται σε αριθμούς στο δεκαεξαδικό σύστημα, το οποίο γίνεται με την εντολή `putchar (tohex[(xinc >> 8) & 0xf])`, όπου η λίστα με τα σύμβολα έχει γραφεί στην αρχή του προγράμματος `static rom char tohex[17] = "0123456789ABCDEF";`. Έτσι στέλνουμε 4 bit (1 nibble) κάθε φορά με την μορφή δεκαεξαδικού αριθμού.

Στην συνέχεια καθορίζεται η ταχύτητα μετάδοσης από τον μικροελεγκτή στα 9600bps και τα δεδομένα αποστέλλονται μέσω του MAX3232 στην βαθμίδα οθόνης – LCD.

3.2 Βαθμίδα οθόνης LCD



Στην πρώτη γραμμή απεικονίζεται η κλίση στον άξονα Y-roll και στην δεύτερη γραμμή η κλίση στον άξονα X-pitch.

Το κύκλωμα λειτουργεί με +5V τα οποία προέρχονται από την έξοδο του σταθεροποιητή τάσεως LM7805. Δεν χρησιμοποιήθηκαν 3.3 volt , όπως προηγουμένως, διότι το κόστος της οθόνης και των ολοκληρωμένων σε αυτή την τάση λειτουργίας είναι αρκετά μεγαλύτερο σε σχέση με των συμβατών. Ο μικροελεγκτής PIC18F1320 χρησιμοποιεί για την λειτουργία του τον εσωτερικό ταλαντωτή στα 8 Mhz και γίνεται η αρχικοποίηση του μικροελεγκτή. Η χρήση του εσωτερικού ταλαντωτή μειώνει το κόστος της όλης κατασκευής και κρίθηκε επαρκής για τις ανάγκες της εφαρμογής.

Καθορίζεται η ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων στον MAX232 στα 9600 bps, μία τιμή επαρκή για την περίπτωση μας και η λειτουργία της οθόνης σε 4-bit mode. Για να γίνει το τελευταίο πρέπει αρχικά να λειτουργήσει στα 8 bit και ύστερα να μεταβεί σε λειτουργία των 4-bit, όπου χρησιμοποιούμε μόνο τα 4 τελευταία bits της lcd.



Αν και υπήρχαν ελεύθερα bits στις πόρτες του μικροελεγκτή για σύνδεση 8-bit, επιλέχθηκε η σύνδεση 4-bit για λόγους απλοποίησης του κυκλώματος και ευκολότερης εύρεσης σφαλμάτων στο κατασκευαστικό μέρος.

Αφού ολοκληρωθεί η αρχικοποίηση ξεκινάει η λήψη των τιμών κλίσης X – Y. Εκτελείται διαδικασία συγχρονισμού (βλ. στον κώδικα '\$INC,') και η ληφθείσα πληροφορία 'φιλτράρεται' από τις εντολές incx & 0x800 και incx |= 0xF000 του κώδικα. Μετά το 'φιλτράρισμα' οι θετικές τιμές παραμένουν όπως έχουν, δηλαδή από 0x0000 ως και 0x0384, ενώ οι αρνητικές έχουν μαρκαριστεί με τον δεκαεξαδικό F και έχουν πλέον τιμές από 0xFFFF ως και 0xFC7C (βλ. κεφάλαιο "Συμπλήρωμα ως προς δύο").

Αν μετατρέψουμε αυτούς τους αριθμούς στο δεκαδικό σύστημα θα δούμε ότι:

- Για θετική κλίση έχουμε xinc και yinc από 0 ως 900
- Για αρνητική κλίση έχουμε xinc και yinc= από -1 ως -900

Ακολουθεί ο διαχωρισμός της πληροφορίας σε δεκάδες, μονάδες και δέκατα όπως και ο κατάλληλος συμβολισμός '+' ή '-' για δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη κλίση αντίστοιχα. Στον κώδικα ο υπολογισμός των δεκάδων γίνεται από τον τύπο $x_tens = tmp / 100$ όπου tmp η πληροφορία χίνε και απλά διαιρείται με τον αριθμό 100. Έτσι, όπως είπαμε παραπάνω, εάν $chnc = 900$ (μέγιστη τιμή) τότε $x_tens = 9$. Ομοίως λειτουργούν και οι επόμενες εντολές στον κώδικα x_ones και x_tenths .

Καθορίζονται οι περιοχές στην οθόνη όπου θα γίνει η απεικόνιση των συμβόλων (χρήση 10 ψηφίων σε κάθε γραμμή της οθόνης) και οι διευθύνσεις των συμβόλων προς χρήση από τον πίνακα της μνήμης ROM της LCD. Συγκεκριμένα χρησιμοποιείται η διεύθυνση 0x30 ως 0x38 για τους αριθμούς (0...9), τα σύμβολα  για αριστερόστροφη και δεξιόστροφη κλίση, και τα σύμβολα  στην θέση των προηγούμενων, μετά από κάθε συμπλήρωση ορισμένων μοιρών.

Η σχεδίαση του ηλεκτρονικού κυκλώματος έγινε στο πρόγραμμα Orcad Capture. Κάποια από τα υλικά χρειάστηκε να υποστούν επεξεργασία σε σχέση με τα αποθηκευμένα στις βιβλιοθήκες του προγράμματος (λειτουργία edit του προγράμματος) όπως για παράδειγμα το σχηματικό του μικροελεγκτή PIC18F1320 και των πινοσειρών (βλ. J3 και στα δύο σχέδια).

Οι δύο βαθμίδες συνδέονται μεταξύ τους με καλώδιο mini jack 3.5mm τριών επαφών (στερεοφωνικό). Δύο επαφές χρησιμοποιούνται για μεταφορά τροφοδοσίας από την βαθμίδα LCD στην βαθμίδα αισθητηρίου (+9V) και η τρίτη για την σειριακή μετάφορά δεδομένων.

3.3 Συμπλήρωμα ως προς δύο ("Two's complement")

Η ονομασία "συμπλήρωμα ως προς δύο" αναφέρεται σε αρνητικούς δυαδικούς αριθμούς. Σε αυτήν την περίπτωση, το MSB ενός δυαδικού αριθμού χρησιμοποιείται ως 'σημαία' και καθορίζει εάν ο αριθμός είναι ή όχι αρνητικός. Για να μετατρέψουμε έναν θετικό δυαδικό αριθμό σε αρνητικό, αντιστρέφουμε την τιμή του κάθε bit (λογική πράξη NOT) και προσθέτουμε λογικό '1' στο LSB. Πράττουμε τα

παραπάνω, γνωρίζοντας πως πλέον ο δυαδικός αριθμός των X bits, αποτελείται πλέον από X-1 bits, λόγω της δέσμευσης του MSB ως σημαία αρνητικού προθέματος.

Στο παράδειγμα παρουσιάζεται δυαδικός αριθμός των 8 bits και η μετατροπή του σε αρνητικό.

								DECIMAL
0	1	1	1	1	1	1	1	= 127
0	0	0	0	0	0	1	0	= 2
0	0	0	0	0	0	0	1	= 1
0	0	0	0	0	0	0	0	= 0
1	1	1	1	1	1	1	1	= -1
1	1	1	1	1	1	1	0	= -2
1	0	0	0	0	0	0	1	= -127
1	0	0	0	0	0	0	0	= -128

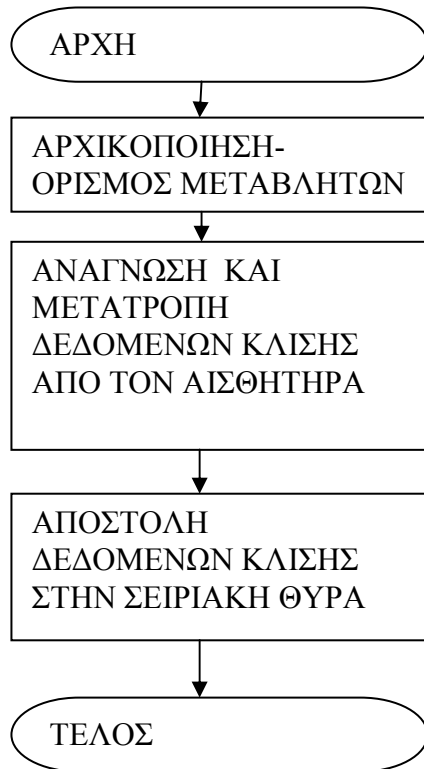
Με την ίδια λογική έγινε η επεξεργασία των δεδομένων από τον αισθητήρα. Οι αρνητικοί δυαδικοί αριθμοί προερχόμενοι από τον αισθητήρα, μετατράπηκαν σε θετικοί και έπειτα γίνεται η αποστολή τους στην οθόνη..

Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ελάχιστη και οι μέγιστη τιμή για θετική και αρνητική κλίση, όπου με κυανή σκίαση είναι το sign bit (bit – σημαία αρνητικού αριθμού).

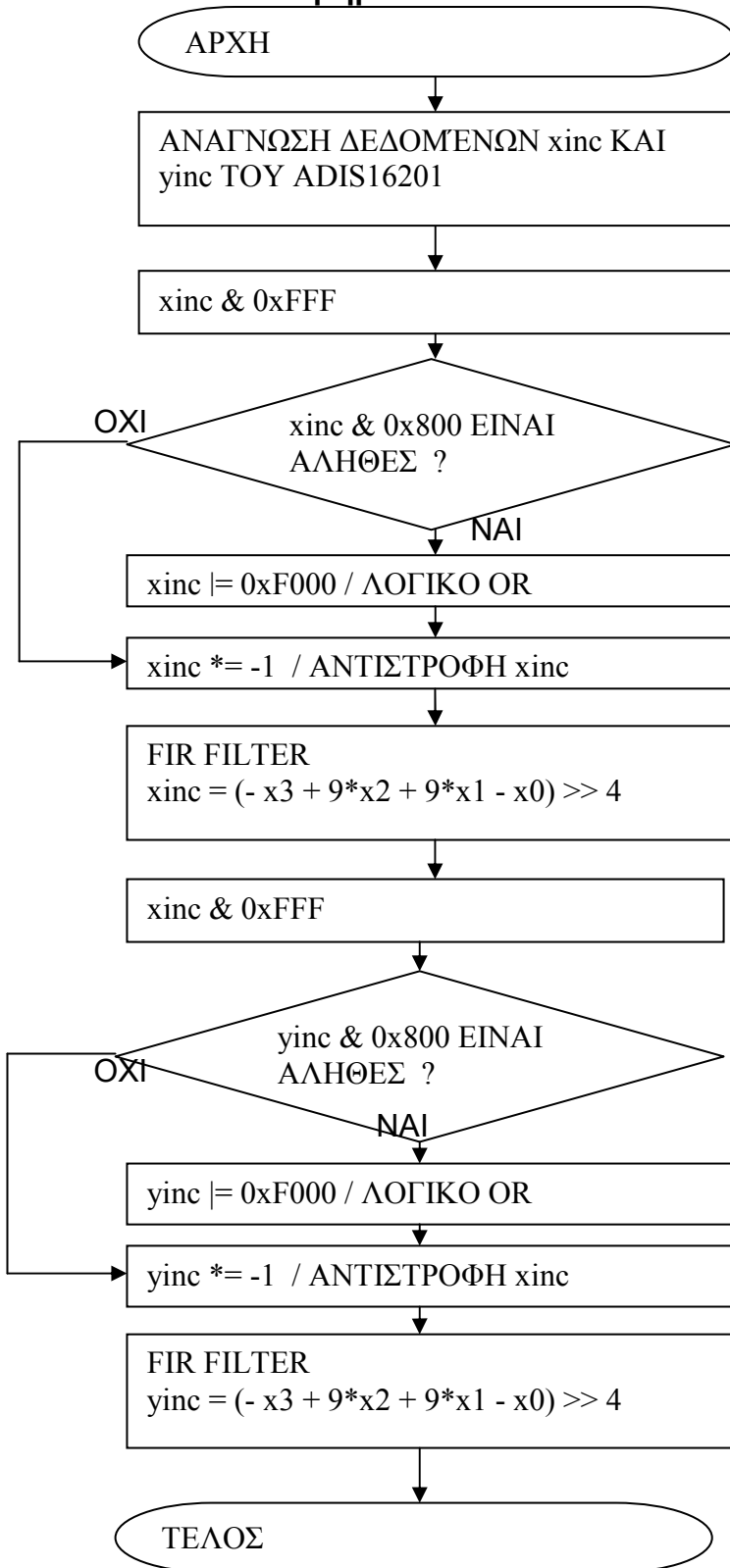
															HEX	DEC	
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0x0384	900
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0x01FF	511
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0x0000	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0xFFFF	-1
1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0xFE01	-511
1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0xFC7C	-900

Κεφάλαιο 4

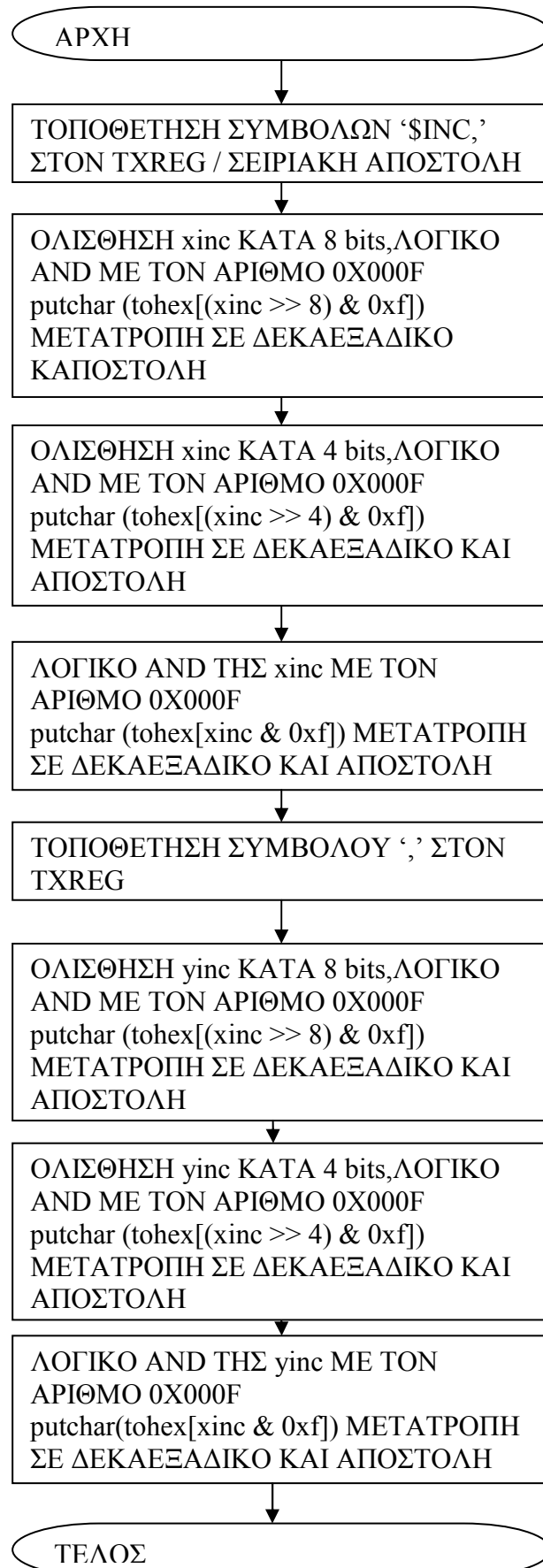
4.1 Διάγραμμα Ροής Κώδικα Βαθμίδας Αισθητηρίου



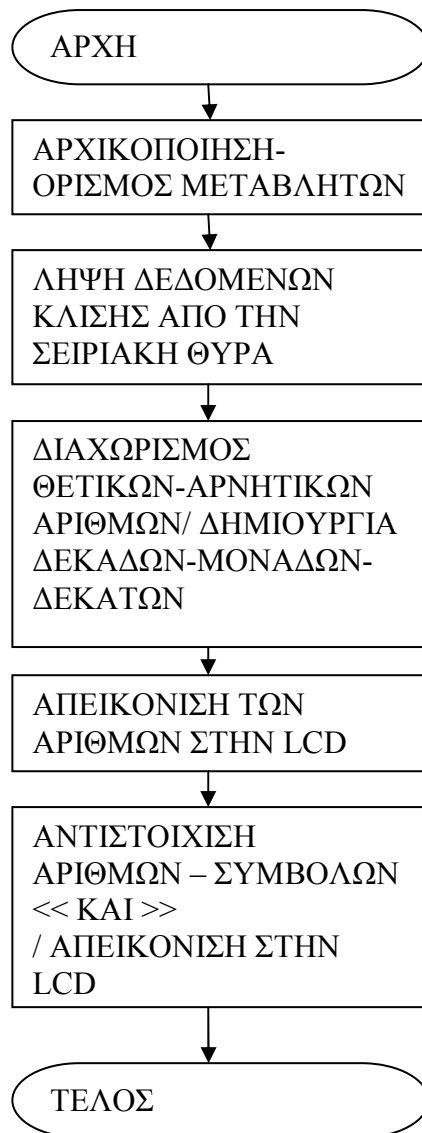
4.2 Ανάλυση Υπορουτίνας “Ανάγνωση και Μετατροπή Δεδομένων Κλίσης Από Τον Αισθητήρα “



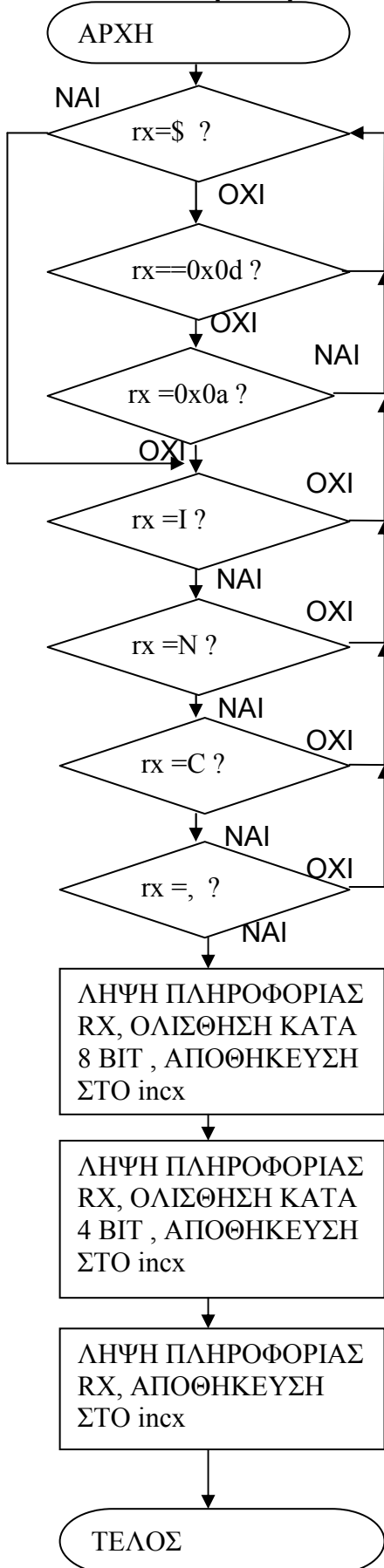
4.3 Ανάλυση Υπορουτίνας 'Αποστολή Δεδομένων Κλίσης Στην Σειριακή Θύρα'



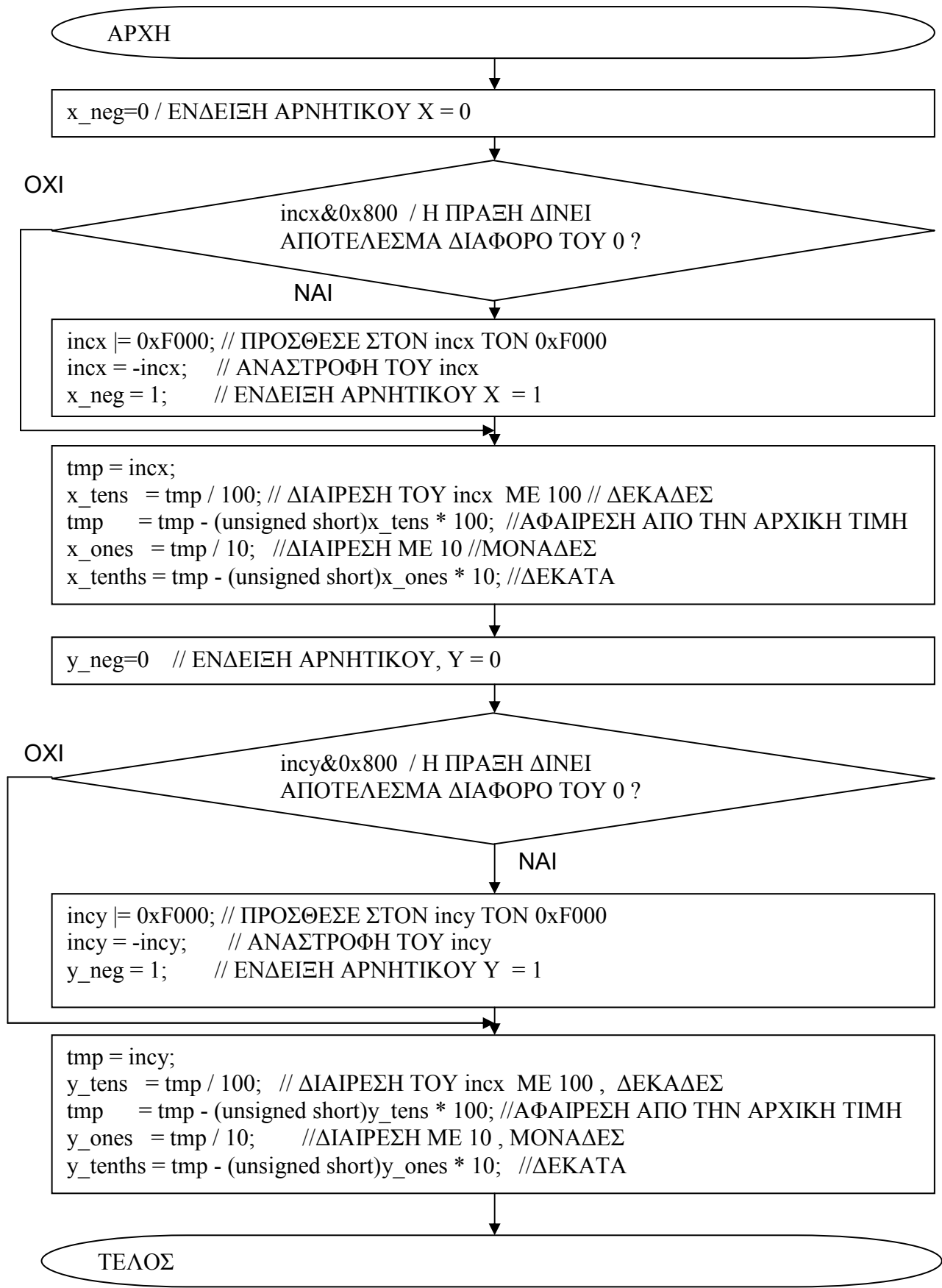
4.4 Διάγραμμα Ροής Κώδικα Βαθμίδας Οθόνης LCD



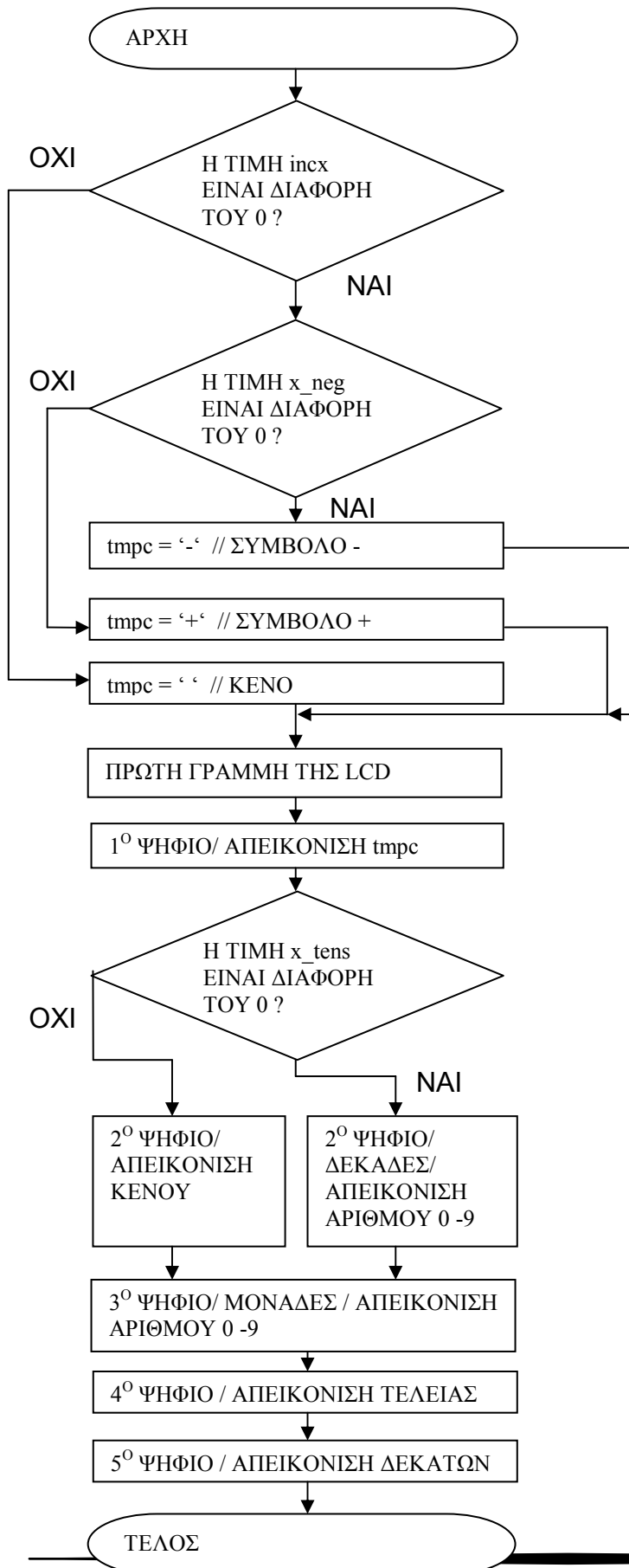
4.5 Ανάλυση Υπορουτίνας “Λήψη Δεδομένων Κλίσης από την Σειριακή Θύρα”



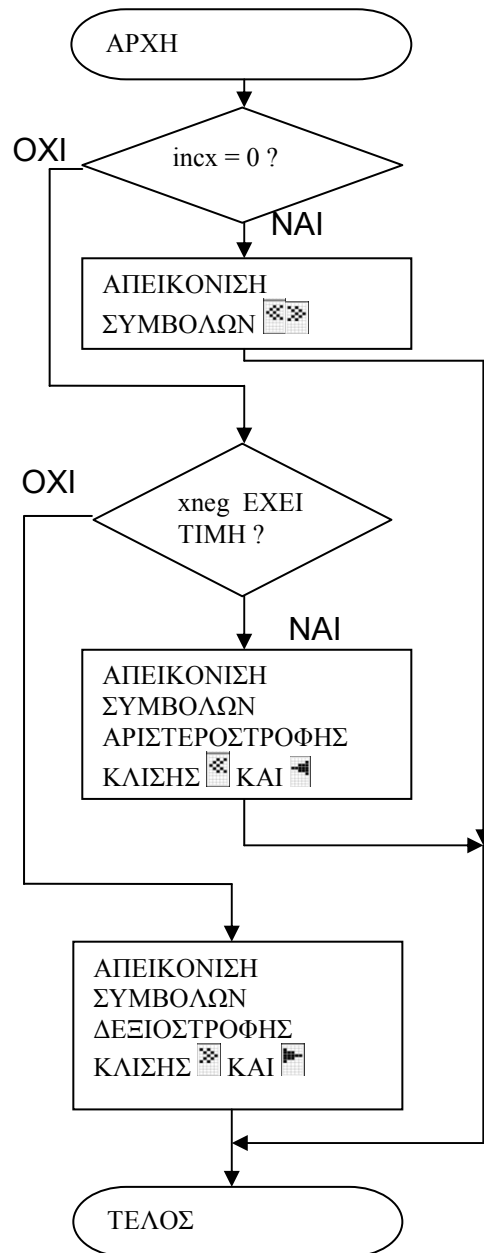
4.6 Ανάλυση Υπορουτίνας ‘Διαχωρισμός Θετικών - Αρνητικών Αριθμών / Δημιουργία Δεκάδων – Μονάδων – Δεκάτων ‘



4.7 Ανάλυση Υπορουτίνας 'Απεικόνιση των Αριθμών στην LCD'



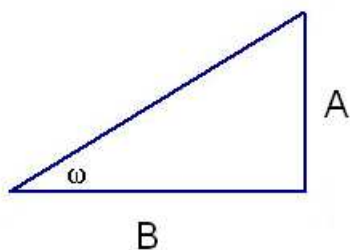
4.8 Ανάλυση Υπορουτίνας ‘Αντιστοίχιση Αριθμών / Συμβόλων < και > / Απεικόνιση στην LCD’



Κεφάλαιο 5

5.1 Λήψη μετρήσεων για διάφορα επίπεδα κλίσης

Για την επίτευξη των μετρήσεων χρησιμοποιήθηκε βιβλίο με σταθερό εξώφυλλο, στο οποίο είχε προσαρμοσθεί η βαθμίδα του αισθητήρα. Αρχικά ορίσαμε την τιμή των μοιρών προς μέτρηση και δώσαμε την κατάλληλη κλίση (άνοιγμα) στο εξώφυλλο. Αυτή η κλίση είναι υπολογισμένη με βάση τον τριγωνομετρικό τύπο $\omega = \arctan(A/B)$ (δηλ. τόξο εφαπτομένης (ύψος / μήκος βάσης)) που διέπει κάθε ορθογώνιο τρίγωνο.



Πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις για 0,10,20,30,45 και 90 μοίρες, τόσο στον άξονα X-pitch όσο και στον άξονα Y-roll. Η κάθε μέτρηση αποτελείται από 5 λήψεις τιμών, ώστε ο μέσος όρος αυτών να συγκριθεί με την πραγματική κλίση.

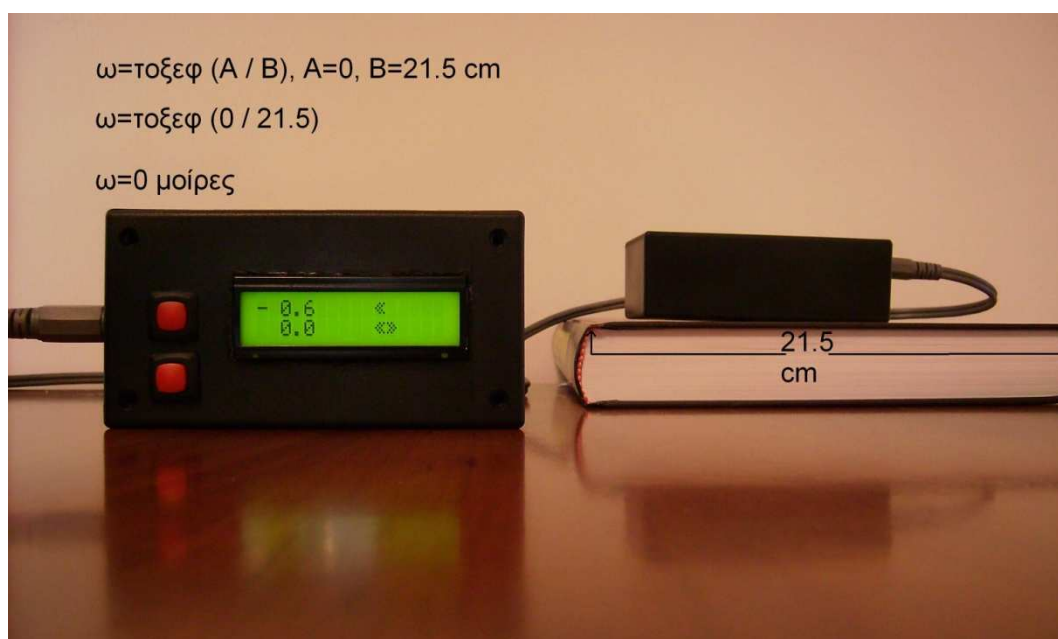
Ακολουθούν εικόνες από τις μετρήσεις κλίσεως στον άξονα Χ αριστερόστροφα, η οποία απεικονίζεται ως αρνητική κλίση, όπως και οι υπόλοιπες μετρήσεις.

5.2 Λήψη μετρήσεων στον άξονα X-pitch αριστερόστροφα (αρνητικές τιμές)

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 0 μοίρες

Μετρήσεις
+0.6 °
0.0
+0.9 °
-0.7 °
-0.8 °
M.O.= (0.6 + 0.0 + 0.9 – 0.7 – 0.8) / 5 = 0

Υπολογισμός γωνίας ω
Ύψος = 0 , μήκος βάσης = 21.5 cm
$\omega = \text{τοξεφ}(0/21.5) = \text{τοξεφ}(0)$
$\omega = 0$



Μετρήσεις και υπολογισμοί για 10 μοίρες

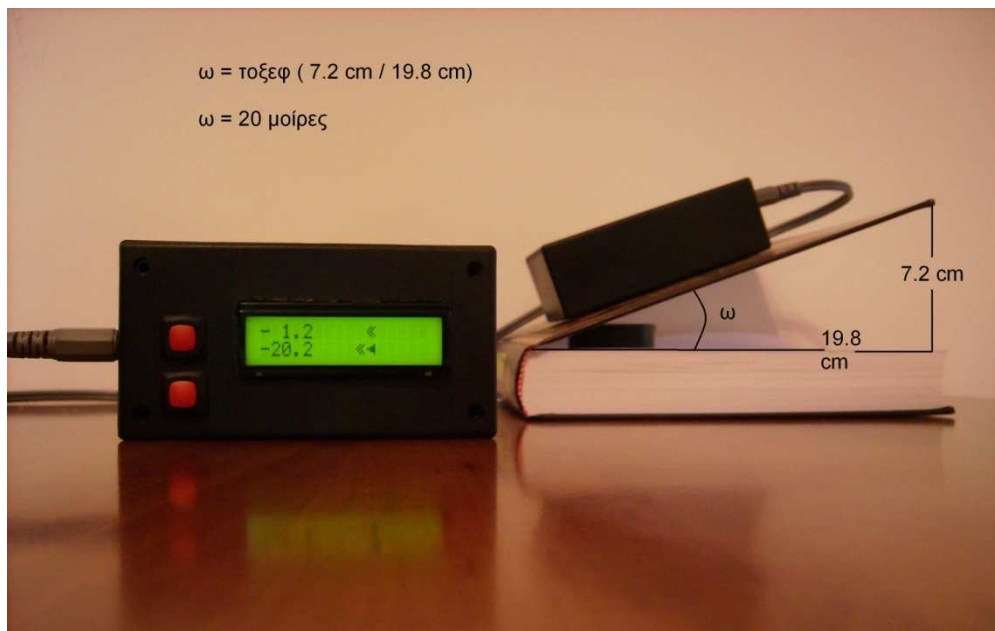
Μετρήσεις
-9.1 °
-10.9 °
-10.1 °
-10.8 °
-9.2 °
M.O.=10.02 °

Υπολογισμός γωνίας ω
Ύψος = 3.8 cm, μήκος βάσης = 21.1 cm
$\omega = \text{τοξεφ} (3.8 \text{ cm} / 21.1 \text{ cm})$
$\omega = 10^\circ$



Μετρήσεις και υπολογισμοί για 20 μοίρες

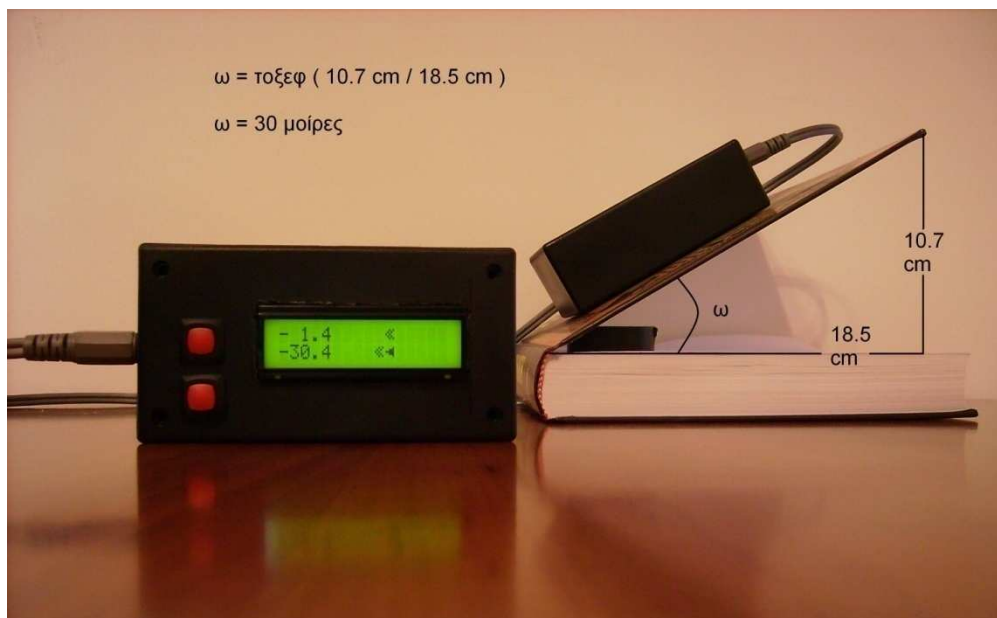
Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-20.2 °	Ύψος = 7.2 cm, μήκος βάσης = 19.8 cm
-18.9 °	$\omega = \text{τοξεφ} (7.2 \text{ cm} / 19.8 \text{ cm})$
-20.7 °	
-19.5 °	
-19.9 °	$\omega = 20^\circ$
M.O. = 19.84 °	



Μετρήσεις και υπολογισμοί για 30 μοίρες

Μετρήσεις
-31.2 °
-30.3 °
-30.4 °
-30.7 °
-30.1 °
M.O.=30.54 °

Υπολογισμός γωνίας ω
Ύψος = 10.7 cm, μήκος βάσης = 18.5 cm
$\omega = \text{τοξεφ} (10.7 \text{ cm} / 18.5 \text{ cm})$
$\omega = 30^\circ$



Μετρήσεις και υπολογισμοί για 45 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-45.3 °	Ύψος = 15 cm, μήκος βάσης = 15 cm $\omega = \text{τοξεφ} (15 \text{ cm} / 15 \text{ cm})$ $\omega = 45^\circ$
-43.6 °	
-44.7 °	
-45.1 °	
-45.0 °	
M.O. = 44.74°	

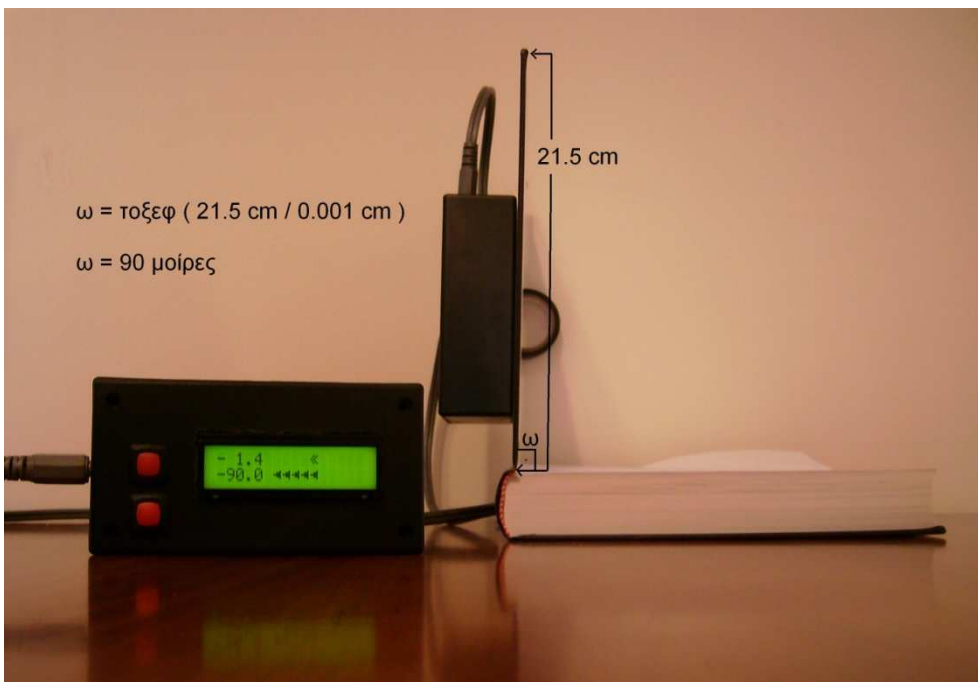


Μετρήσεις και υπολογισμοί για 90 μοίρες

Σε αυτήν την θέση, το μήκος της βάσης θεωρητικά είναι μηδενικό. Επειδή όμως η διαίρεση με το '0' είναι αδύνατη, θεωρήσαμε ότι είναι ίσο με $B=0.001 \text{ cm}$.

Μετρήσεις
-89.5 °
-90.0 °
-87.6 °
-89.8 °
-89.3 °
M.O.= 89.24 °

Υπολογισμός γωνίας ω
Ύψος = 21.5 cm, μήκος βάσης = 0.001 cm
$\omega = \text{τοξεφ} (21.5 \text{ cm} / 0.001 \text{ cm})$
$\omega = 90^\circ$



5.3 Λήψη μετρήσεων στον άξονα X-pitch δεξιόστροφα (θετικές τιμές)

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 0 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-0.3 °	Ύψος = 0 cm, μήκος βάσης = 21.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (0 \text{ cm} / 21.5 \text{ cm})$ $\omega = 0^\circ$
+0.8 °	
+0.2 °	
-1.1 °	
+0.1 °	
M.O. = 0.06 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 10 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+10.0 °	Ύψος = 3.8 cm, μήκος βάσης = 21.1 cm $\omega = \text{τοξεφ} (3.8 \text{ cm} / 21.1 \text{ cm})$ $\omega = 10^\circ$
+10.8 °	
+9.3 °	
+10.4 °	
+10.2 °	
M.O. = 10.14 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 20 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+18.8 °	Ύψος = 7.2 cm, μήκος βάσης = 19.8 cm $\omega = \text{τοξεφ} (7.2 \text{ cm} / 19.8 \text{ cm})$ $\omega = 20^\circ$
+20.9 °	
+20.2 °	
+20.1 °	
+19.7 °	
M.O. = 19.94 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 30 μοίρες.

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+29.3 °	Ύψος = 10.7 cm, μήκος βάσης = 18.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (10.7 \text{ cm} / 18.5 \text{ cm})$ $\omega = 30^\circ$
+30.0 °	
+28.9 °	
+30.4 °	
+29.7 °	
M.O. = 29.66 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 45 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+43.9 °	Ύψος = 15 cm, μήκος βάσης = 15 cm $\omega = \text{τοξεφ} (15 \text{ cm} / 15 \text{ cm})$ $\omega = 45^\circ$
+45.8 °	
+45.7 °	
+44.8 °	
+45.0 °	
M.O. = 45.04 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 90 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+89.3 °	Ύψος = 21.5 cm, μήκος βάσης = 0.001 cm $\omega = \text{τοξεφ} (21.5 \text{ cm} / 0.001 \text{ cm})$ $\omega = 90^\circ$
+88.9 °	
+89.6 °	
+90.0 °	
+89.5 °	
M.O. = 89.46 °	

5.4 Λήψη μετρήσεων στον άξονα Y-roll αριστερόστροφα (αρνητικές τιμές)

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 0 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
0.0 °	Ύψος = 0 cm, μήκος βάσης = 21.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (0 \text{ cm} / 21.5 \text{ cm})$ $\omega = 0^\circ$
+0.6 °	
+0.9 °	
+0.1 °	
-0.8 °	
M.O. = 1.6 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 10 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-9.1 °	Ύψος = 3.8 cm, μήκος βάσης = 21.1 cm $\omega = \text{τοξεφ} (3.8 \text{ cm} / 21.1 \text{ cm})$ $\omega = 10^\circ$
-9.8 °	
-10.0 °	
-10.3 °	
-9.5 °	
M.O. = 9.74 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 20 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-20.0 °	Ύψος = 7.2 cm, μήκος βάσης = 19.8 cm $\omega = \text{τοξεφ} (7.2 \text{ cm} / 19.8 \text{ cm})$ $\omega = 20^\circ$
-21.2 °	
-20.9 °	
-20.3 °	
-20.6 °	
M.O. = 20.6 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 30 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-30.1 °	Ύψος = 10.7 cm, μήκος βάσης = 18.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (10.7 \text{ cm} / 18.5 \text{ cm})$ $\omega = 30^\circ$
-31.0 °	
-30.9 °	
-30.0 °	
-30.2 °	
M.O. = 30.44 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 45 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-43.3 °	Ύψος = 15 cm, μήκος βάσης = 15 cm $\omega = \text{τοξεφ} (15 \text{ cm} / 15 \text{ cm})$ $\omega = 45^\circ$
-44.8 °	
-45.9 °	
-45.1 °	
-45.2 °	
M.O. = 44.86 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 90 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
-88.8 °	Ύψος = 21.5 cm, μήκος βάσης = 0.001 cm $\omega = \text{τοξεφ} (21.5 \text{ cm} / 0.001 \text{ cm})$ $\omega = 90^\circ$
-89.4 °	
-90.0 °	
-89.2 °	
-89.8 °	
M.O. = 89.44 °	

5.6 Λήψη μετρήσεων στον άξονα Y-roll δεξιόστροφα (θετικές τιμές)

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 0 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
0.0 °	Ύψος = 0 cm, μήκος βάσης = 21.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (0 \text{ cm} / 21.5 \text{ cm})$ $\omega = 0^\circ$
+0.4 °	
-0.7 °	
-0.2 °	
+0.8 °	
M.O. = 0.06 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 10 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+8.9 °	Ύψος = 3.8 cm, μήκος βάσης = 21.1 cm $\omega = \text{τοξεφ} (2.8 \text{ cm} / 21.1 \text{ cm})$ $\omega = 10^\circ$
+9.4 °	
+10.0 °	
+9.2 °	
+9.8 °	
M.O. = 9.46 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 20 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+19.8 °	Ύψος = 7.2 cm, μήκος βάσης = 19.8 cm $\omega = \text{τοξεφ} (7.2 \text{ cm} / 19.8 \text{ cm})$ $\omega = 20^\circ$
+19.4 °	
+20.0 °	
+19.2 °	
+20.2 °	
M.O. = 19.72 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 30 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+30.8 °	Ύψος = 10.7 cm, μήκος βάσης = 18.5 cm $\omega = \text{τοξεφ} (10.7 \text{ cm} / 18.5 \text{ cm})$ $\omega = 30^\circ$
+30.4 °	
+30.5 °	
+30.1 °	
+31.0 °	
M.O. = 30.56 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 45 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+43.9 °	Ύψος = 15 cm, μήκος βάσης = 15 cm $\omega = \text{τοξεφ} (15 \text{ cm} / 15 \text{ cm})$ $\omega = 45^\circ$
+44.8 °	
+44.7 °	
+45.9 °	
+45.0 °	
M.O. = 44.86 °	

Μετρήσεις και υπολογισμοί για 90 μοίρες

Μετρήσεις	Υπολογισμός γωνίας ω
+89.8 °	Ύψος = 21.5 cm, μήκος βάσης = 0.001 cm $\omega = \text{τοξεφ} (21.5 \text{ cm} / 0.001 \text{ cm})$ $\omega = 90^\circ$
+90.2 °	
+88.9 °	
+89.2 °	
+88.4 °	
M.O. = 89.3 °	

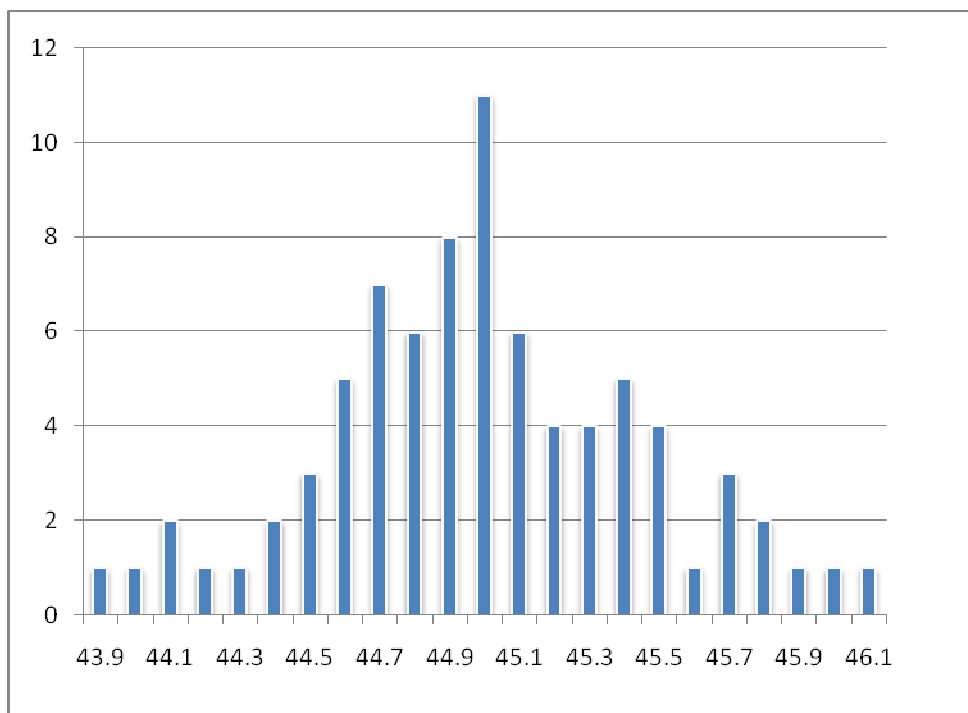
Κεφάλαιο 6

6.1 Σχεδίαση Γραφημάτων

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γραφήματα προερχόμενα από την σχέση μετρούμενης τιμής – συχνότητας εμφάνισης. Λήφθηκαν 80 μετρήσεις για την θέση 45 μοιρών δεξιόστροφα στον άξονα X – pitch και έπειτα για την θέση 45 μοιρών αριστερόστροφα στον άξονα Y – roll.

Πίνακας μετρήσεων X – pitch άξονα

Θεωρητική Γωνία (°)	Μέτρηση (°)	Απόκλιση (°)	Αριθμός Μετρήσεων
45	43.6	-1.4	1
45	43.7	-1.3	1
45	43.8	-1.2	2
45	43.9	-1.1	2
45	44	-1	1
45	44.1	-0.9	2
45	44.2	-0.8	2
45	44.3	-0.7	3
45	44.4	-0.6	2
45	44.5	-0.5	5
45	44.6	-0.4	3
45	44.7	-0.3	5
45	44.8	-0.2	5
45	44.9	-0.1	7
45	45	0	10
45	45.1	0.1	6
45	45.2	0.2	4
45	45.3	0.3	5
45	45.4	0.4	3
45	45.5	0.5	4
45	45.6	0.6	3
45	45.7	0.7	3
45	45.8	0.8	1

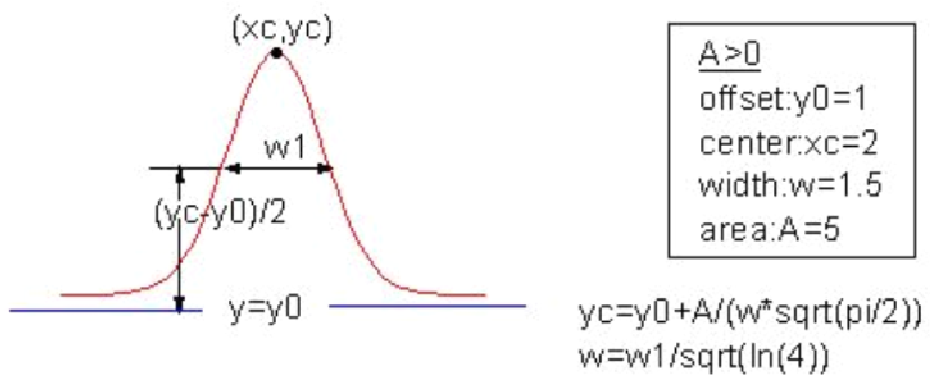
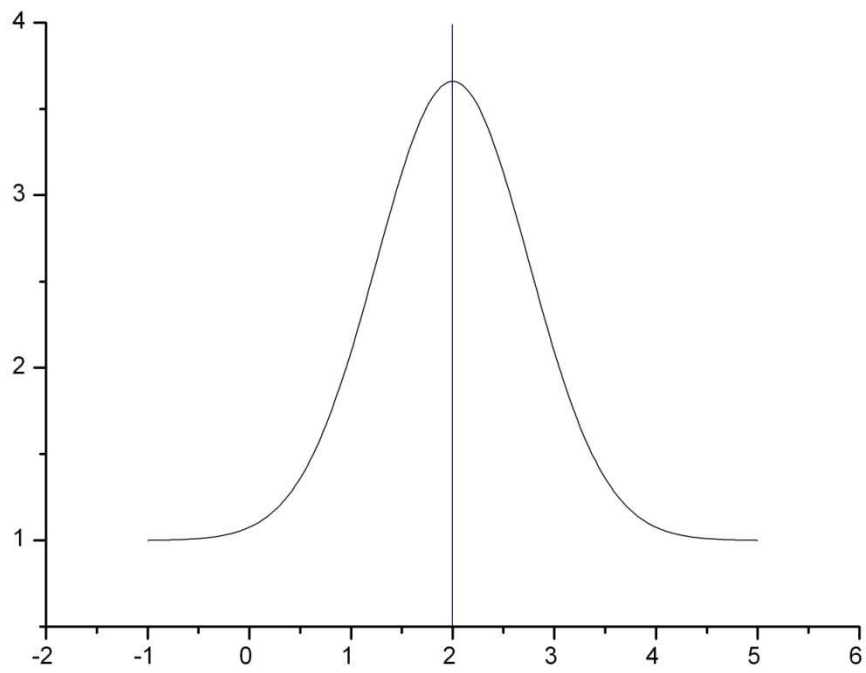


6.2 Κατανομή Gauss

Τα δεδομένα των μετρήσεων του παραπάνω πίνακα ομαδοποιήθηκαν ώστε να μελετηθεί η κατανομή Gauss. Πρόκειται για μία συμμετρική καμπύλη, με εκθετική απόσβεση, η κορυφή της οποίας είναι η τιμή κλίσης με τη μέγιστη συχνότητα εμφάνισης.

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η συνάρτηση και η ιδανική κατανομή Gauss.

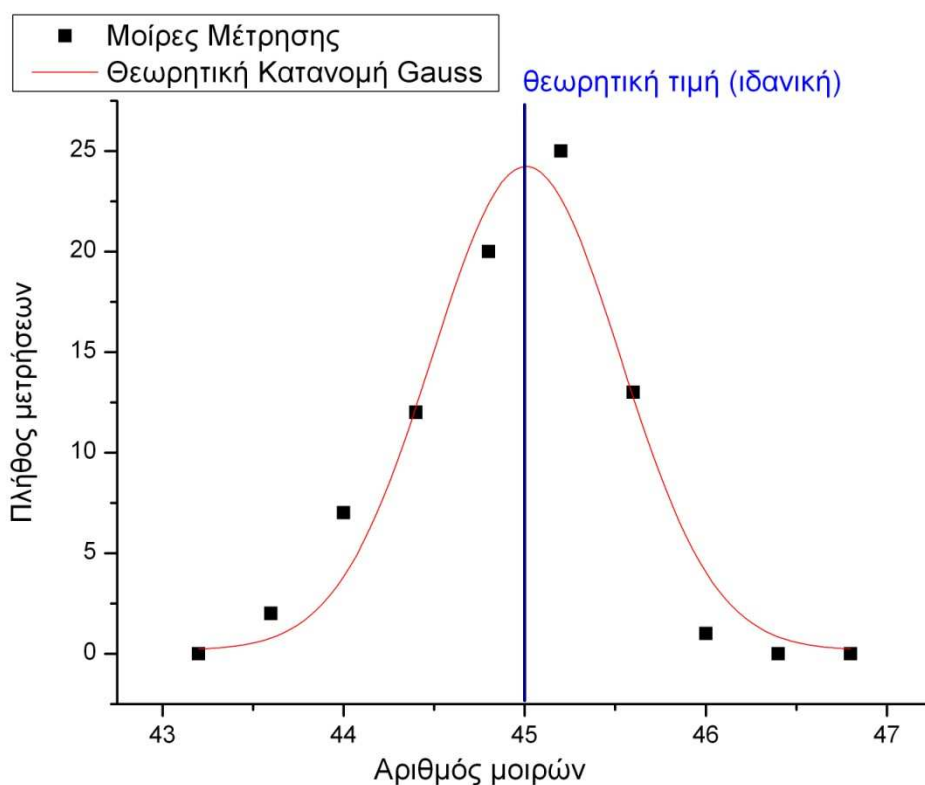
$$y = y_0 + \frac{A}{w \sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-2 \frac{(x-x_c)^2}{w^2}}$$



Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η ομαδοποίηση που έγινε στα δεδομένα. Ξεκινά από τις 43.2° με αύξηση κατά 0.4° ως και τις 46.8° και σε κάθε ομάδα συμπεριλαμβάνονται οι τιμές που απέχουν $\pm 0.2^\circ$ από αυτήν.

Ομαδοποιημένες Τιμές (μοίρες)	Συχνότητα εμφάνισης
43.2 ± 0.2	0
43.6 ± 0.2	2
44 ± 0.2	7
44.4 ± 0.2	12
44.8 ± 0.2	20
45.2 ± 0.2	25
45.6 ± 0.2	13
46 ± 0.2	1
46.4 ± 0.2	0
46.8 ± 0.2	0

Με βάση τον παραπάνω πίνακα δημιουργήθηκε η κατανομή Gauss (μαύρες κουκκίδες) σε σύγκριση με την ιδανική καμπύλη (κόκκινη γραμμή). Παρατηρούμε πως ακολουθεί σε ικανοποιητικό βαθμό την ιδανική καμπύλη.



Από την επεξεργασία της συνάρτησης της κατανομής Gauss, στο πρόγραμμα OriginPro, προκύπτουν οι τιμές στους παρακάτω συντελεστές:

$$\begin{aligned}x_c &= 45.00182 \pm 0.04721 \\y_0 &= 0.17456 \pm 1.3298 \\R^2 &= 0.93412\end{aligned}$$

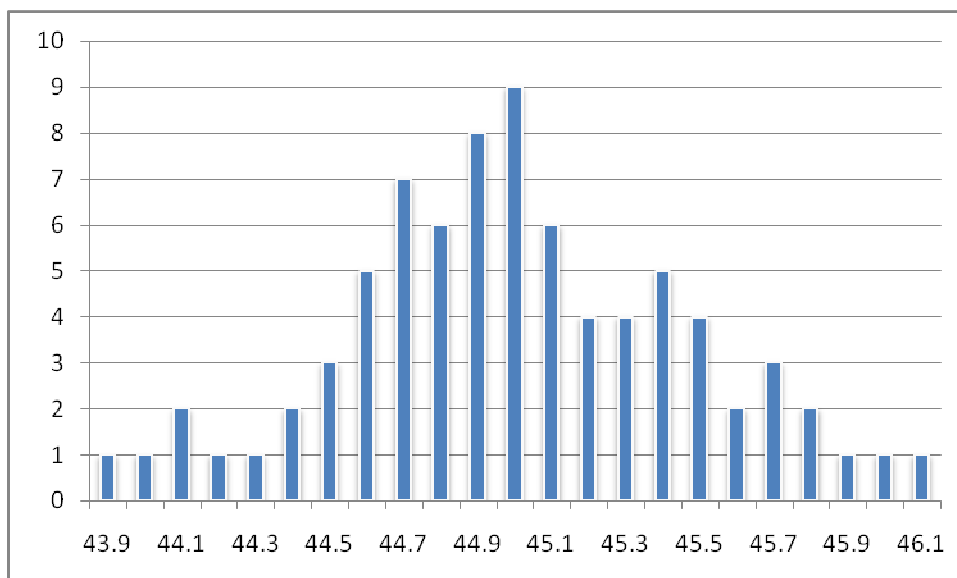
R^2 :Είναι η παράμετρος ποιότητας και η ιδανική τιμή είναι η μονάδα. Εξαρτάται από το πλήθος των μετρήσεων. Η τιμή $R^2 = 0.93412$ είναι αρκετά ικανοποιητική.

y_0 : Είναι το λεγόμενο 'υπόβαθρο' της κατανομής δηλαδή από πού ξεκινάει στα άκρα η καμπύλη. Όσο πιο κοντά στο μηδέν , τόσο καλύτερη είναι η κατανομή. Η τιμή $y_0=0.17456$ βρίσκεται σχεδόν στο μηδέν, επομένως δεν υπάρχει μετατόπιση των μετρήσεων, σε σχέση με την θεωρητική κατανομή.

x_c : Είναι το κέντρο της κατανομής, πρέπει να συμπίπτει κατά το δυνατόν με την ιδανική τιμή. Η τιμή $x_c= 45.00182$ βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο.

6.3 Υ – roll άξονα στις 45 μοίρες αριστερόστροφα

Θεωρητική Γωνία (°)	Μέτρηση (°)	Απόκλιση (°)	Αριθμός Μετρήσεων
45	43.9	-1.1	1
45	44	-1	1
45	44.1	-0.9	2
45	44.2	-0.8	1
45	44.3	-0.7	1
45	44.4	-0.6	2
45	44.5	-0.5	3
45	44.6	-0.4	5
45	44.7	-0.3	7
45	44.8	-0.2	6
45	44.9	-0.1	8
45	45	0	9
45	45.1	0.1	6
45	45.2	0.2	4
45	45.3	0.3	5
45	45.4	0.4	5
45	45.5	0.5	4
45	45.6	0.6	2
45	45.7	0.7	3
45	45.8	0.8	2
45	45.9	0.9	1
45	46	1	1
45	46.1	1.1	1

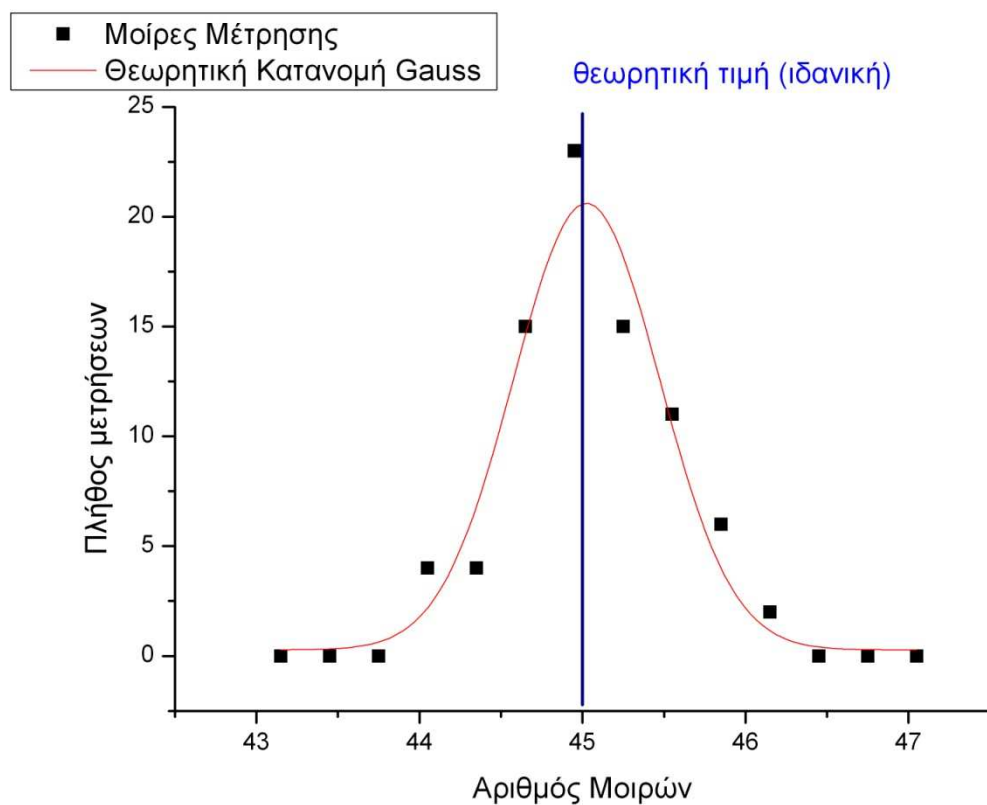


6.4 Κατανομή Gauss

Τα δεδομένα των μετρήσεων του παραπάνω πίνακα ομαδοποιήθηκαν ώστε να μελετηθεί η κατανομή Gauss. Ξεκινά από τις 43.15° με βήμα 0.3° ως και τις 47.05° και σε κάθε ομάδα συμπεριλαμβάνονται οι τιμές που απέχουν $\pm 0.15^\circ$ από αυτήν.

Ομαδοποιημένες Τιμές (μοίρες)	Συχνότητα εμφάνισης
43.15	0
43.45	0
43.75	0
44.05	4
44.35	4
44.65	15
44.95	23
45.25	15
45.55	11
45.85	6
46.15	2
46.45	0
46.75	0
47.05	0

Με βάση τον προηγούμενο πίνακα δημιουργήθηκε η κατανομή Gauss (μαύρες κουκκίδες) σε σύγκριση με την ιδανική καμπύλη (κόκκινη γραμμή).



Από την επεξεργασία της συνάρτησης της κατανομής Gauss, στο πρόγραμμα OriginPro, προκύπτουν οι τιμές στους παρακάτω συντελεστές:

$$\begin{aligned}x_c &= 45.0245 \pm 0.03562 \\y_0 &= 0.28189 \pm 0.75535 \\R^2 &= 0.93706\end{aligned}$$

R^2 :Είναι η παράμετρος ποιότητας και η ιδανική τιμή είναι η μονάδα. Εξαρτάται από το πλήθος των μετρήσεων. Η τιμή $R^2 = 0.93706$ είναι αρκετά ικανοποιητική.

γ_0 : Είναι το λεγόμενο 'υπόβαθρο' της κατανομής δηλαδή από πού ξεκινάει στα άκρα η καμπύλη. Όσο πιο κοντά στο μηδέν , τόσο καλύτερη είναι η κατανομή. Η τιμή $\gamma_0=0.28189$ βρίσκεται σχεδόν στο μηδέν, επομένως δεν υπάρχει μετατόπιση των μετρήσεων, σε σχέση με την θεωρητική κατανομή.

χ_c : Είναι το κέντρο της κατανομής, πρέπει να συμπίπτει κατά το δυνατόν με την ιδανική τιμή. Η τιμή $\chi_c= 45.0245$ βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο.

Οι παραπάνω υπολογισμοί μας δείχνουν πως, αν και υπάρχει μικρή τυχαία απόκλιση από την πραγματική κλίση, λαμβάνοντας πολλές μετρήσεις, καταφέρνουμε την αξιόπιστη μέτρηση αυτής. Τα παραπάνω στατιστικά στοιχεία μας δείχνουν πώς ο μετρητής λειτουργεί σωστά.

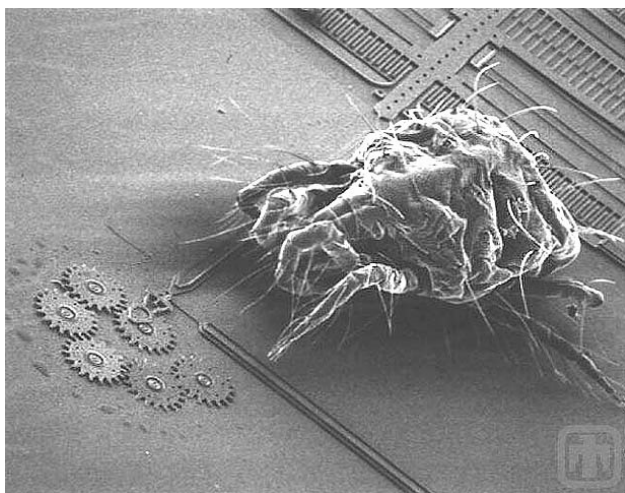
Κεφάλαιο 7

7.1 Τεχνολογία MEMS

Τα Μικρο-Ηλεκτρο-Μηχανικά Συστήματα (Micro-Electro-Mechanical Systems - MEMS) είναι η ενσωμάτωση των μηχανικών στοιχείων, αισθητηρίων, ενεργοποιητών και ηλεκτρονικών σε ένα κοινό υπόστρωμα πυριτίου με την βοήθεια της νανοτεχνολογίας. Μία συσκευή, της οποίας το μέγεθος δεν ξεπερνάει αυτό ενός κόκκου άμμου, τείνει να καταστεί ευφυής, καθώς επιτρέπει την ενσωμάτωση των ηλεκτρονικών και μηχανικών συστημάτων σε ένα chip.

Η τεχνολογία MEMS αναπτύχθηκε τη δεκαετία του 1970 και στη συνέχεια προωθήθηκε στο εμπόριο κατά τη δεκαετία του 1990, κάνοντας τα συστήματα μικρότερα, πιο γρήγορα, πιο αποδοτικά ως προς την ενέργεια και λιγότερο δαπανηρά.

Τα MEMS αποτελούνται από υλικά που το μέγεθός τους κυμαίνεται από 1 έως 100 μm (μικρόμετρα) και μία συσκευή MEMS αντίστοιχα έχει μέγεθος από 20 μm ως 1mm. Σε αυτήν την κλίμακα δεν ισχύουν πάντα οι κανόνες της κλασικής φυσικής, καθώς τα ηλεκτροστατικά φαινόμενα και η υγρασία υπερέχουν έναντι της αδράνειας.

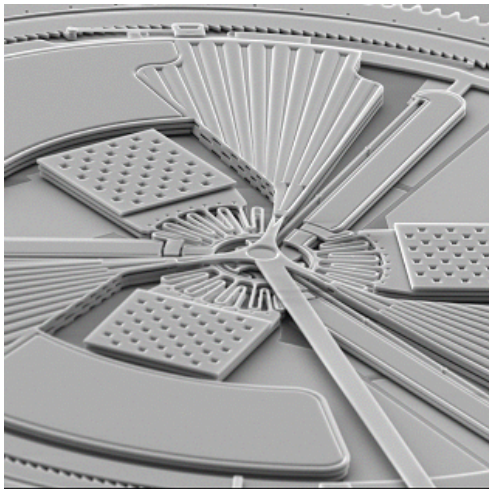


Στην φωτογραφία απεικονίζεται

μικροοργανισμός (ακάρι) πάνω σε μία συσκευή MEMS

Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Μικροαισθητήρες (microsensors) --- Εντοπίζουν πληροφορίες θερμότητας, χημικής, βιολογικής, οπτική και κίνησης.
- Ενεργοποιητές (actuators) --- Ανταποκρίνονται στις παραπάνω πληροφορίες και εκτελούν κατάλληλες ενέργειες.



Θερμικός ενεργοποιητής

Η τεχνολογία MEMS βασίζεται σε μια σειρά εργαλείων και μεθοδολογιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν μικρές δομές με διαστάσεις στην κλίμακα μικρόμετρο (ένα εκατομμυριοστό του μέτρου). Αρκετά στοιχεία έχουν υιοθετηθεί από την τεχνολογία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (IC's).

Για παράδειγμα, σχεδόν όλες οι συσκευές βασίζονται σε πλάκες πυριτίου, οι δομές τους αποτελούνται από λεπτές στρώσεις υλικών μέσω της φωτολιθογραφικής μεθόδου. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετές διαδικασίες, οι οποίες δεν προέρχονται από την τεχνολογία των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Υπάρχουν τρία βασικά στάδια, η εναπόθεση λεπτών ταινιών υλικού στο υπόστρωμα, η εφαρμογή διαμορφωμένης μάσκας στο πάνω μέρος των ταινιών μέσω της φωτολιθογραφικής απεικόνισης και η χάραξη των ταινιών επιλεκτικά από

την μάσκα. Μία τέτοια διαδικασία είναι συνήθως μια δομημένη ακολουθία των πράξεων αυτών ώστε να αποτελέσουν πραγματικές συσκευές.

Ένα από τα βασικά στάδια στην επεξεργασία των MEMS είναι η δυνατότητα εναπόθεσης λεπτών ταινιών υλικού. Μια λεπτή ταινία με πάχος λίγων νανόμετρων ως περίπου 100 μικρόμετρα, χαράσσεται σε τοπικό επίπεδο, χρησιμοποιώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται στην φωτολιθογραφική και στην χάραξη.

Το στάδιο της εναπόθεσης ταινιών μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο ομάδες:

1. Εναποθέσεις που συμβαίνουν μέσω χημικής αντίδρασης:

- * Χημική εναπόθεση ατμών (CVD)
- * Ηλεκτροαπόθεση
- * Epitaxy
- * Η θερμική οξειδωση

Οι διαδικασίες αυτές εκμεταλλεύονται τη δημιουργία των στερεών υλικών απευθείας από τις χημικές αντιδράσεις μεταξύ αερίων ή / και υγρών με το υλικό υπόστρωμα. Το στερεό υλικό συνήθως δεν είναι το μόνο προϊόν που σχηματίζεται από την αντίδραση καθώς υποπροϊόντα μπορεί να περιλαμβάνουν αέρια, υγρά και στερεά.

2. Εναποθέσεις που συμβαίνουν λόγω φυσικής αντίδρασης:

- * Φυσική εναπόθεση ατμών (PVD)
- * Χύτευση

Δεν υπάρχει χημική αντίδραση που τροποποιεί το υλικό στο υπόστρωμα. Αν και φαίνεται απλούστερος αυτός ο τρόπος, δεν έχει ικανοποιητικά αποτελέσματα όπως στις εναποθέσεις μέσω χημικής αντίδρασης.

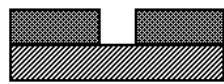
Φωτολιθογραφία

Στην λιθογραφία των μικρομηχανών, χρησιμοποιείται φωτοευαίσθητο υλικό το οποίο ονομάζεται resist. Όταν εκτεθεί σε πηγή ακτινοβολίας συγκεκριμένης έντασης, αντιδρά ανάλογα με τις επιλογές του δημιουργού - κατασκευαστή.

Όταν το resist τοποθετηθεί από τον δημιουργό σε σημείο που θα εκτίθεται σε ακτινοβολία, θα χαράξει μία από τις δύο επιφάνειες του αντικειμένου (την εκτεθειμένη προς αυτό ή την άλλη). Αν χρησιμοποιηθεί θετικό resist, θα χαραχθεί η επιφάνεια που δεν είναι καλυμμένη από αυτό, ενώ για αρνητικό resist, χαράσσεται η επιφάνεια καλυμμένη με resist.

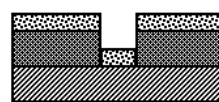
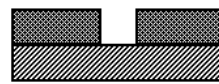
Έτσι υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας ανάγλυφων 3D δομών στο κατασκεύασμα.

Subtractive Process



Pattern transfer
by etching

Additive Process



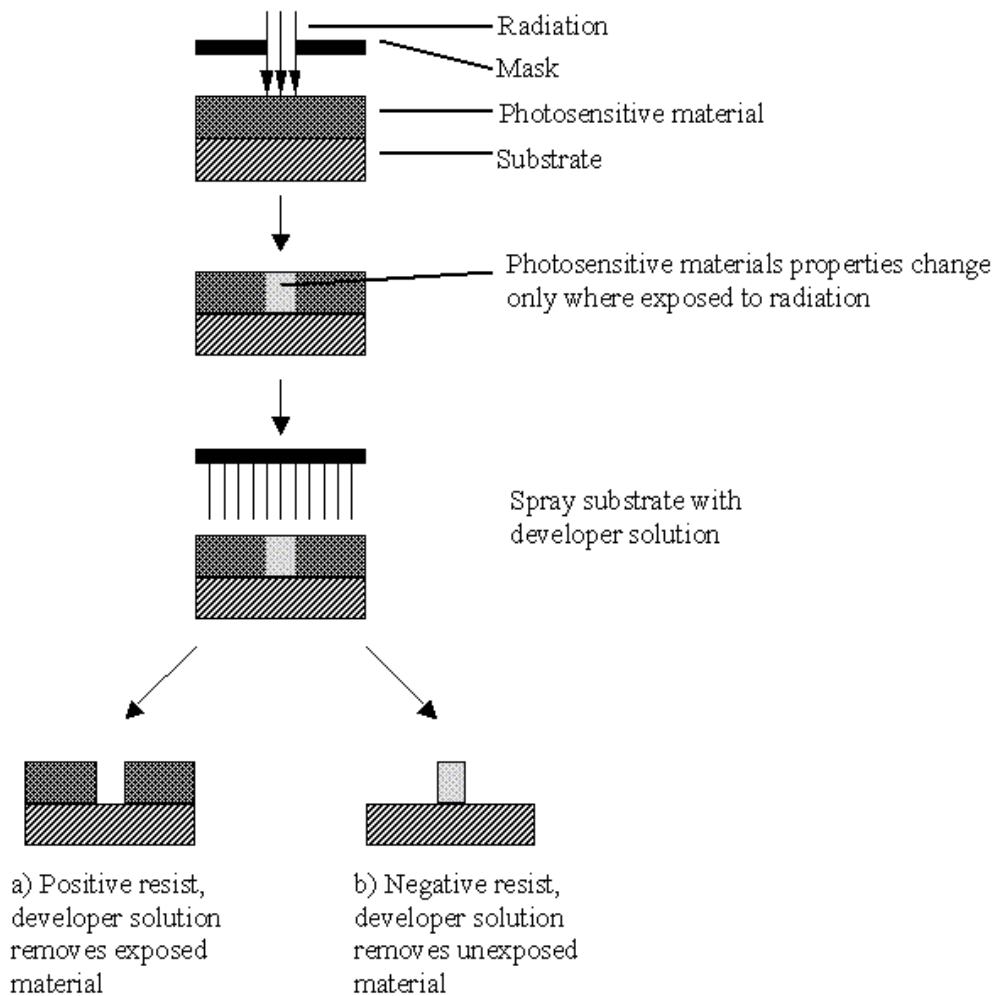
Pattern transfer
by lift off

Photolithography

Etch

Deposit

Strip Resist



Διαδικασία Χάραξης

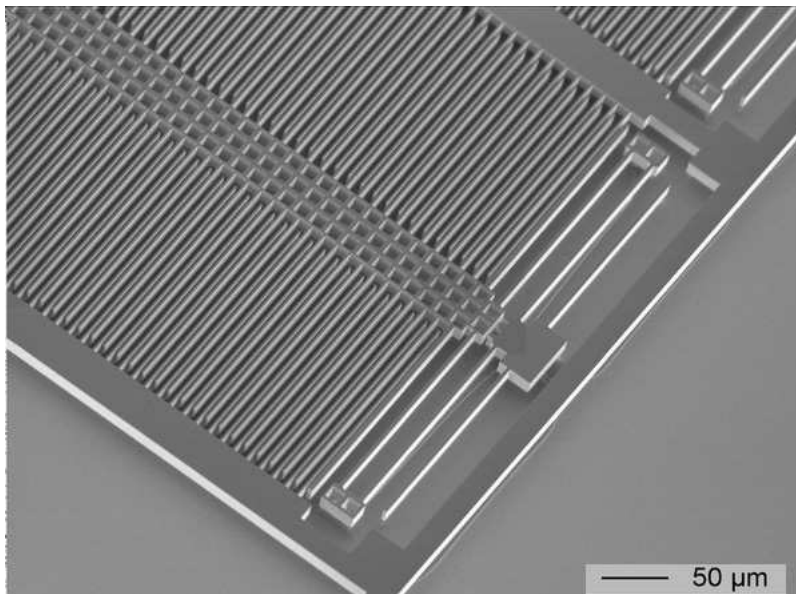
Για να σχηματιστεί μια λειτουργική δομή πάνω στο υπόστρωμα, είναι απαραίτητο να χαράξουμε τις λεπτές ταινίες. Σε γενικές γραμμές, υπάρχουν δύο κλάσεις αυτής της διαδικασίας:

1. Υγρή χάραξη κατά την οποία το υλικό διαλύεται όταν βυθίζεται σε ένα χημικό διάλυμα.
2. Ξερή χάραξη κατά την οποία το υλικό επεξεργάζεται χρησιμοποιώντας αντενεργή ιόντα.

7.2 Επιταχυνσιόμετρα / Κλισιόμετρα τεχνολογίας MEMS

Στην εν λόγω εργασία, χρησιμοποιήθηκε ο αισθητήρας επιτάχυνσης / κλίσης ADIS16201, κατασκευασμένο με τεχνολογία MEMS. Ενώ οι συμβατικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν συνήθως υδράργυρο για την ανίχνευση κλίσης, στα MEMS εκμεταλλευόμαστε την μεταβολή της χωρητικότητας που εμφανίζεται καθώς 2 επιφάνειες, χωρίς ηλεκτρική σύνδεση μεταξύ τους, αυξομειώνουν την απόσταση τους λόγω της κίνησης.

Η παρακάτω φωτογραφία δείχνει το εσωτερικό ενός επιταχυνσιομέτρου. Παρατηρούμε ότι λόγω των μικρών διαστάσεων (τάξεως μm) υπάρχουν αρκετά ζεύγη επιφανειών, ώστε να αυξηθεί η συνολική χωρητικότητα. Η απόσταση μεταξύ των δύο πλακών ενός ζεύγους, δεν υπερβαίνει τα 10 μm , λαμβάνοντας υπ'όψη την κλίμακα.



Επίλογος

Η χρήση ενός ψηφιακού μετρητή κλίσεως, βρίσκει εφαρμογή σε συνθήκες όπου χρειαζόμαστε ακρίβεια στην μέτρηση κλίσεως. Η τεχνολογία MEMS, ήδη χρησιμοποιείται στην μέτρηση κλίσης των πλοίων και αεροσκαφών. Σε οχήματα που χρησιμοποιούνται για ανάβαση βουνών, είναι υποχρεωτική η παρακολούθηση της κλίσης του οχήματος ώστε να μην αναποδογυρίσει. Αλλά και στην ιατρική, όπου υπάρχουν ρομποτικοί βραχίονες. Επίσης σε απλές εφαρμογές, όπως η ευθυγράμμιση αντικειμένων (π.χ. στην κατασκευή οικοδομής, εγκατάσταση σκεπής).

Τα παραπάνω αποτελούν ένα μικρό παράδειγμα εφαρμογών. Οι δυνατότητες του συγκεκριμένου ολοκληρωμένου, επεκτείνονται και σε πιο σύνθετες εφαρμογές, λόγω της ικανότητάς του να μετράει κλίση, επιτάχυνση, θερμοκρασία και τάση τροφοδοσίας. Με τον κατάλληλο κώδικα είναι δυνατή η χρήση του και ως alarm ειδοποίησης ή κινδύνου.

Βιβλιογραφία

Ιστοσελίδες

Τεχνολογία Mems:

1) www.allaboutmems.com

2) www.memx.com

Datasheets:

3) <http://www.analog.com>

4) <http://www.analog.com/en/mems-and-sensors/products/index.html>

5) <http://www.analog.com/en/other/multi-chip/adis16201/products/product.html>

6) <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010265>

7) <http://focus.ti.com/lit/ds/symlink/max232.pdf>

8) www.powertip.com

Παράρτημα Α

Προγράμματα των 2 βαθμίδων (Γλώσσα C)

Πρόγραμμα βαθμίδας αισθητηρίου

```
#include <P18cxxx.H>
#include <delays.h>
#include <stdio.h>

#pragma config WDT = OFF
#pragma config OSC = INTIO2
#pragma config MCLRE = OFF

#define SET_CS_n(a)          LATAbits.LATA0 = a
#define SET_SCLK(a)         LATAbits.LATA1 = a
#define SET_DOUT(a)         LATAbits.LATA2 = a
#define SET_RST_n(a)        LATAbits.LATA3 = a

#define GET_DIN              PORTAbits.RA4

void Init (void);
void putchar (unsigned char ch);
void putstring (const rom char *s);
void putstringcrLf (const rom char *s);

static rom char tohex[17] = "0123456789ABCDEF";

unsigned short ReadRegister (unsigned char address);
void WriteRegister (unsigned char address, unsigned char data);

#define DelayMS(a) Delay10KTCYx(a/5)

signed short xinc, x0,x1,x2,x3;
signed short yinc, y0,y1,y2,y3;
signed short xacc, yacc;
unsigned short vcc;
```

```
signed short temp;  
signed long temp2;
```

```
void main (void)
```

```
{
```

```
    unsigned char i;
```

```
    Init ();
```

```
    DelayMS (100);
```

```
    SET_RST_n (0);
```

```
    SET_CS_n (1);
```

```
    SET_SCLK (1);
```

```
    SET_DOUT (0);
```

```
    DelayMS (10);
```

```
    SET_RST_n (1);
```

```
    DelayMS (10);
```

```
    WriteRegister (0x36, 0x08);
```

```
    WriteRegister (0x38, 0x07);
```

```
    i = 0;
```

```
    while (1) {
```

```
        TMR1H = 0x9e;
```

```
        TMR1L = 0x58;
```

```

PIR1bits.TMR1IF = 0;

xinc = ReadRegister (0x0C);
yinc = ReadRegister (0x0E);

xinc &= 0xFFF;
if (xinc & 0x800) {
    xinc |= 0xF000;
}
xinc *= -1;
x3 = x2;
x2 = x1;
x1 = x0;
x0 = xinc;
xinc = (- x3 + 9*x2 + 9*x1 - x0) >> 4;

yinc &= 0xFFF;
if (yinc & 0x800) {
    yinc |= 0xF000;
}

y3 = y2;
y2 = y1;
y1 = y0;
y0 = yinc;

yinc = (- y3 + 9*y2 + 9*y1 - y0) >> 4;

putstring ("INC,");
putchar (tohex[(xinc >> 8) & 0xf]);
putchar (tohex[(xinc >> 4) & 0xf]);
putchar (tohex[xinc & 0xf]);
putchar (',');
putchar (tohex[(yinc >> 8) & 0xf]);
putchar (tohex[(yinc >> 4) & 0xf]);
putchar (tohex[yinc & 0xf]);

```



```
        putstringcrLf ("");

        while (PIR1bits.TMR1IF == 0) {
        }

        i++;
    }
}
```

```
void Init (void)
{
    OSCCON = 0x70;
    T1CON = 0xA1;
    ADCON1 = 0x7f;

    LATA = 0x00;
    TRISA = 0x10;
    LATB = 0x00;
    TRISB = 0x16;
    RCSTA = 0x90;
    TXSTA = 0x20;
    BAUDCTL = 0x00;
    SPBRGH = 0x00;
    SPBRG = 0x0C;
}
```

```
void putchar (unsigned char ch)
{
    while (!PIR1bits.TXIF) {
    }
    TXREG = ch;
}
```

```
}
```

```
void putstringcrLf (const rom char *s) // carriage return, line feed.
```

```
{  
    while (*s) {  
        putchar (*s++);  
    }  
    putchar (0x0d);  
    putchar (0x0a);  
}
```

```
void putstring (const rom char *s)
```

```
{  
    while (*s) {  
        putchar (*s++);  
    }  
}
```

```
unsigned short ReadRegister (unsigned char address)
```

```
{  
    unsigned char i;  
    unsigned short dout;  
    unsigned char bitout;  
    unsigned short nibble;  
  
    SET_SCLK (1);  
    SET_DOUT (0);  
    SET_CS_n (0);  
  
    dout = (unsigned short)address << 8;  
    dout = dout & 0x3f00;  
  
    for (i = 0; i < 16; i++) {
```

```

    SET_SCLK (0);
    bitout = (dout & 0x8000) ? 1 : 0;
    dout = dout << 1;
    SET_DOUT (bitout);
    SET_SCLK (1);      edge of sclk
}

```

```

    SET_CS_n (1);
    SET_SCLK (1);
    SET_DOUT (0);

```

```

Delay10KTCYx(5);

```

```

    SET_SCLK (1);
    SET_DOUT (0);
    SET_CS_n (0);

```

```

for (i = 0; i < 16; i++) {
    SET_SCLK (0);
    SET_SCLK (1);
    dout <<= 1;
    dout |= (GET_DIN ? 1 : 0);
}
SET_CS_n (1);
SET_SCLK (1);
SET_DOUT (0);

```

```

return dout;

```

```

}

```

```

void WriteRegister (unsigned char address, unsigned char data)

```

```

{

```

```

    unsigned char i;
    unsigned short dout;

```

```

unsigned char bitout;
unsigned short nibble;

// set clock high, data out low, chip select low
SET_SCLK (1);
SET_DOUT (0);
SET_CS_n (0);
address &= 0x3f;
dout = 0x8000 | ((unsigned short)address << 8) | data;

for (i = 0; i < 16; i++) {
    SET_SCLK (0);
    bitout = (dout & 0x8000) ? 1 : 0;
    dout = dout << 1;
    SET_DOUT (bitout);
    SET_SCLK (1);
}

    SET_CS_n (1);
SET_SCLK (1);
SET_DOUT (0);

Delay10KTCYx(5);
}

```

Πρόγραμμα βαθμίδας οθόνης lcd

```
#include <P18cxxx.H>
#include <delays.h>

#pragma config WDT = OFF
#pragma config OSC = INTIO2
#pragma config MCLRE = OFF

#define DATA_PORT    PORTA
#define TRIS_DATA_PORT TRISA
#define PIN_D7        PORTAbits.RA3
#define RW_PIN        PORTBbits.RB2
#define TRIS_RW       DDRBbits.RB2
#define RS_PIN        PORTBbits.RB0
#define TRIS_RS       DDRBbits.RB0
#define E_PIN         PORTBbits.RB3
#define TRIS_E        DDRBbits.RB3

#define TRIS_D3        DDRAbits.RA7
#define TRIS_D2        DDRAbits.RA6
#define TRIS_D1        DDRBbits.RB7
#define TRIS_D0        DDRBbits.RB6

#define DelayMS(a) Delay10KTCYx(a/5)
void Init (void);

void WriteCommand (unsigned char command);
void WriteData (unsigned char command);
void WriteNibble (unsigned char rs, unsigned char nibble);
void LCDWait (void);
void PutString (unsigned char addr, const rom char *s);

void putchar (unsigned char ch);
unsigned char getchar (void);
```

```
void parse (unsigned char rx);
unsigned char fromhex (unsigned char);
```

```
void PosGraph (unsigned char addr, unsigned char bars);
void NegGraph (unsigned char addr, unsigned char bars);
```

```
unsigned char rxstate;
short incx;
short incy;
unsigned short tmp;
unsigned char tmpc;
unsigned char x_neg, x_tens, x_ones, x_tenths;
unsigned char y_neg, y_tens, y_ones, y_tenths;
unsigned char x_bars, y_bars;
```

```
void main (void)
{
    unsigned char ch;

    Init ();

    rxstate = 0;

    while (1) {
        ch = getchar ();
        parse (ch);
    }
}
```

```
void parse (unsigned char rx)
{
    putchar (rx);

    if (rx == '$') { rxstate = 1; return; }
    if (rx == 0x0d) { rxstate = 0; return; }
```

```
if (rx == 0x0a) { rxstate = 0; return; }
```

```
switch (rxstate) {
```

```
    case 1: if (rx == 'l') rxstate = 2; else rxstate = 0; break;
```

```
    case 2: if (rx == 'N') rxstate = 3; else rxstate = 0; break;
```

```
    case 3: if (rx == 'C') rxstate = 4; else rxstate = 0; break;
```

```
    case 4: if (rx == ',') rxstate = 5; else rxstate = 0; break;
```

```
    case 5: incx = (unsigned short)fromhex(rx) << 8; rxstate = 6; break;
```

```
    case 6: incx |= (unsigned short)fromhex(rx) << 4; rxstate = 7; break
```

```
    case 7: incx |= (unsigned short)fromhex(rx); rxstate = 8; break;
```

```
    case 8: if (rx == ',') rxstate = 9; else rxstate = 0; break;
```

```
    case 9: incy = (unsigned short)fromhex(rx) << 8; rxstate = 10; break;
```

```
    case 10: incy |= (unsigned short)fromhex(rx) << 4; rxstate = 11; break;
```

```
    case 11: incy |= (unsigned short)fromhex(rx);
```

```
    x_neg = 0;
```

```
    if (incx & 0x800) {
```

```
        incx |= 0xF000;
```

```
        incx = -incx
```

```
        x_neg = 1;
```

```
    }
```

```
    tmp = incx;
```

```
    x_tens = tmp / 100;
```

```
    tmp = tmp - (unsigned short)x_tens * 100;
```

```
    x_ones = tmp / 10;
```

```
    x_tenths = tmp - (unsigned short)x_ones * 10;
```

```
    y_neg = 0;
```

```
    if (incy & 0x800) {
```

```

        incy |= 0xF000;
        incy = -incy;
        y_neg = 1;
    }
    tmp = incy;
    y_tens = tmp / 100;
    tmp = tmp - (unsigned short)y_tens * 100;
    y_ones = tmp / 10;
    y_tenths = tmp - (unsigned short)y_ones * 10;

    tmpc = incx ? (x_neg ? '-' : '+') : '';
    WriteCommand (0x80);
    WriteData (tmpc);
    WriteData (x_tens ? (0x30 + x_tens) : '');
    WriteData (0x30 + x_ones);
    WriteData ('.');
WriteData (0x30 + x_tenths);
    tmpc = incy ? (y_neg ? '-' : '+') : '';
    WriteCommand (0xC0);
    WriteData (tmpc);
WriteData (y_tens ? (0x30 + y_tens) : '');
    WriteData (0x30 + y_ones);
    WriteData ('.');
    WriteData (0x30 + y_tenths);

    x_bars = (unsigned short)(12 * incx / 450) + 1;

    if (x_bars > 25) x_bars = 25;
    y_bars = (unsigned short)(12 * incy / 450) + 1;
    if (y_bars > 25) y_bars = 25;

    if (incx == 0) {
        NegGraph (0x86, 1);
        PosGraph (0x8b, 1);
    } else if (x_neg) {
        NegGraph (0x86, x_bars);

```



```

        PosGraph (0x8b, 0);
    } else {
        NegGraph (0x86, 0);
        PosGraph (0x8b, x_bars);
    }

    if (incy == 0) {
        NegGraph (0xc6, 1);
        PosGraph (0xcb, 1);
    } else if (y_neg) {
        NegGraph (0xc6, y_bars);
        PosGraph (0xcb, 0);
    } else {
        NegGraph (0xc6, 0);
        PosGraph (0xcb, y_bars);
    }

    rxstate = 0;
    break;

default:
    rxstate = 0;
    break;
}
}

void PosGraph (unsigned char addr, unsigned char bars)           //mpara gia
thetikes times
{
    unsigned char idx;
    unsigned char ch;
    unsigned char disp[5];
    unsigned char solid;
    unsigned char partial;

    solid = bars / 5;

```

```

        partial = bars % 5;

        for (idx = 0; idx < 5; idx++) {
        if (idx < solid) {
        ch = 0xF6;
        } else if
(idx == solid) {
        if (partial == 0) {
        ch = ' ';
        } else {
        ch = 0xBC ;
        }
        } else {
        ch = ' ';
        disp[idx] = ch;
        }

        WriteCommand (addr);
        WriteData (disp[0]);
        WriteData (disp[1]);
        WriteData (disp[2]);
        WriteData (disp[3]);
        WriteData (disp[4]);
    }

```

```

void NegGraph (unsigned char addr, unsigned char bars)
{
    unsigned char idx;
    unsigned char ch;
    unsigned char disp[5];
    unsigned char solid;
    unsigned char partial;

    solid = bars / 5;
    partial = bars % 5;

    for (idx = 0; idx < 5; idx++) {
        if (idx < solid) {
            ch = 0xF7;

```

```

    } else if (idx == solid) {
        if (partial == 0) {
            ch = ' ';
        } else {
            ch = 0xBB;
        }
    } else {
        ch = ' ';
    }
    disp[idx] = ch;
}

```

```

WriteCommand (addr);
WriteData (disp[4]);
WriteData (disp[3]);
WriteData (disp[2]);
WriteData (disp[1]);
WriteData (disp[0]);

```

```

}

```

```

unsigned char fromhex (unsigned char ch)

```

```

{
    if (ch >= '0' && ch <= '9')
        return ch - '0';
    if (ch >= 'a' && ch <= 'f')
        return ch - 'a' + 10;
    if (ch >= 'A' && ch <= 'F')
        return ch - 'A' + 10;
    return 0;
}

```

```

void Init (void)

```

```

{
    OSCCON = 0x70;
    ADCON1 = 0x7f;
}

```

```

        LATA = 0x00;
        TRISA = 0x00;                                outputs

        LATB = 0x00;                                TRISB = 0x10;

        RCSTA = 0x90;
        TXSTA = 0x20;
        BAUDCTL = 0x00;
        SPBRGH = 0x00;
        SPBRG  = 0x0C;

        DelayMS (260);

        WriteNibble (0, 0x3);                        DelayMS (5);

        WriteNibble (0, 0x3);                        DelayMS (1);

        WriteNibble (0, 0x3);                        DelayMS (5);

        WriteNibble (0, 0x2);
        WriteCommand (0x0C);                          WriteCommand (0x01);

        WriteCommand (0x06);                          display data ram address
    }

void LCDWait (void)
{
    unsigned char i;

    TRIS_DATA_PORT = 0x0F;                            TRIS_D3 = 1;
    TRIS_D2 = 1;
    TRIS_D1 = 1;
    TRIS_D0 = 1;
    RS_PIN = 0;

```

```

RW_PIN = 1;

do {
    Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 1;
    Delay10TCYx(5);
    i = PIN_D7;
    Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 0;                               Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 1;
    Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 0;                               Delay10TCYx(5);
} while (i);

TRIS_DATA_PORT = 0x00;
TRIS_D3 = 0;
TRIS_D2 = 0;
TRIS_D1 = 0;
TRIS_D0 = 0;
}

```

```

void WriteCommand (unsigned char command)
{
    LCDWait ();
    WriteNibble (0, command >> 4);
    WriteNibble (0, command & 0xf);
}

```

```

void WriteData (unsigned char data)
{
    LCDWait ();
    WriteNibble (1, data >> 4);
    WriteNibble (1, data & 0xf);
}

```

```

void WriteNibble (unsigned char rs, unsigned char nibble)

```

```

{
    RS_PIN = rs;
    RW_PIN = 0;
    DATA_PORT = nibble;
    Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 1;
    Delay10TCYx(5);
    E_PIN = 0;
    Delay10TCYx(5);
}

```

```

void putchar (unsigned char ch)

```

```

{
    while (!PIR1bits.TXIF) {
    }
    TXREG = ch;
}

```

```

unsigned char getchar (void)

```

```

{
    while (!PIR1bits.RCIF) {
        if (RCSTAbits.OERR) {
            RCSTAbits.CREN = 0;
            RCSTAbits.CREN = 1;
        }
    }
    return RCREG;
}

```

```

void PutString (unsigned char addr, const rom char *s)

```

```

{
    WriteCommand (0x80 | addr);
    while (*s) {
        WriteData (*s++);
    }
}

```

Παράρτημα Β

Φύλλα δεδομένων

PIC18F1320

Σημαντικότερα αποσπάσματα από το datasheet.



PIC18F1220/1320

Data Sheet

18/20/28-Pin High-Performance,
Enhanced Flash Microcontrollers
with 10-Bit A/D and nanoWatt Technology



PIC18F1220/1320

18/20/28-Pin High-Performance, Enhanced Flash MCUs with 10-bit A/D and nanoWatt Technology

Low-Power Features:

- Power Managed modes:
 - Run: CPU on, peripherals on
 - Idle: CPU off, peripherals on
 - Sleep: CPU off, peripherals off
- Power Consumption modes:
 - PRI_RUN: 150 μ A, 1 MHz, 2V
 - PRI_IDLE: 37 μ A, 1 MHz, 2V
 - SEC_RUN: 14 μ A, 32 kHz, 2V
 - SEC_IDLE: 5.8 μ A, 32 kHz, 2V
 - RC_RUN: 110 μ A, 1 MHz, 2V
 - RC_IDLE: 52 μ A, 1 MHz, 2V
 - Sleep: 0.1 μ A, 1 MHz, 2V
- Timer1 Oscillator: 1.1 μ A, 32 kHz, 2V
- Watchdog Timer: 2.1 μ A
- Two-Speed Oscillator Start-up

Oscillators:

- Four Crystal modes:
 - LP, XT, HS: up to 25 MHz
 - HSPLL: 4-10 MHz (16-40 MHz internal)
- Two External RC modes, up to 4 MHz
- Two External Clock modes, up to 40 MHz
- Internal oscillator block:
 - 8 user-selectable frequencies: 31 kHz, 125 kHz, 250 kHz, 500 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz
 - 125 kHz to 8 MHz calibrated to 1%
 - Two modes select one or two I/O pins
 - OSCTUNE - Allows user to shift frequency
- Secondary oscillator using Timer1 @ 32 kHz
- Fail-Safe Clock Monitor
 - Allows for safe shutdown if peripheral clock stops

Peripheral Highlights:

- High current sink/source 25 mA/25 mA
- Three external interrupts
- Enhanced Capture/Compare/PWM (ECCP) module:
 - One, two or four PWM outputs
 - Selectable polarity
 - Programmable dead time
 - Auto-Shutdown and Auto-Restart
 - Capture is 16-bit, max resolution 6.25 ns ($T_{CY}/16$)
 - Compare is 16-bit, max resolution 100 ns (T_{CY})
- Compatible 10-bit, up to 13-channel Analog-to-Digital Converter module (A/D) with programmable acquisition time
- Enhanced USART module:
 - Supports RS-485, RS-232 and LIN 1.2
 - Auto-Wake-up on Start bit
 - Auto-Baud Detect

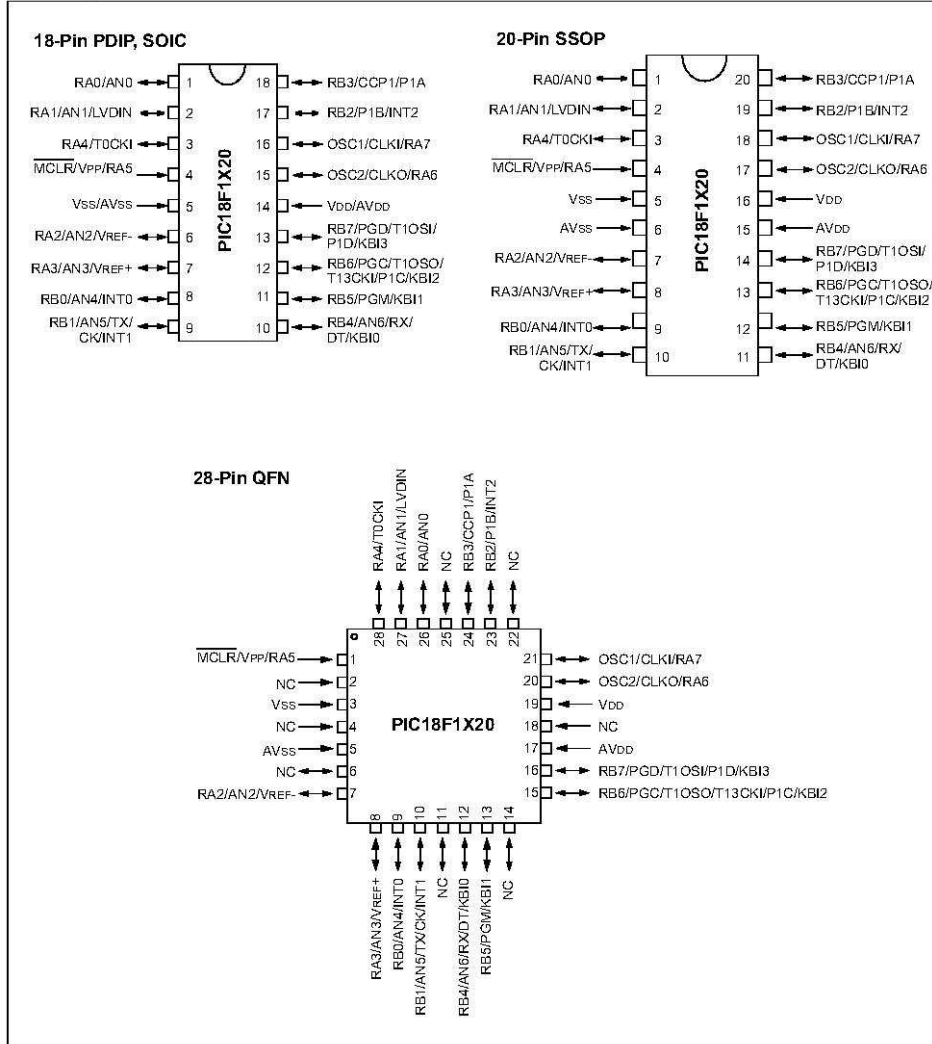
Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Flash/Data EEPROM Retention: > 40 years
- Self-programmable under software control
- Priority levels for interrupts
- 8 x 8 Single-Cycle Hardware Multiplier
- Extended Watchdog Timer (WDT):
 - Programmable period from 41 ms to 131s
 - 2% stability over VDD and Temperature
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins
- Wide operating voltage range: 2.0V to 5.5V

Device	Program Memory		Data Memory		I/O	10-bit A/D (ch)	ECCP (PWM)	EUSART	Timers 8/16-bit
	Flash (bytes)	# Single-Word Instructions	SRAM (bytes)	EEPROM (bytes)					
PIC18F1220	4K	2048	256	256	16	7	1	Y	1/3
PIC18F1320	8K	4096	256	256	16	7	1	Y	1/3

PIC18F1220/1320

Pin Diagrams



PIC18F1220/1320

1.3 Details on Individual Family Members

Devices in the PIC18F1220/1320 family are available in 18-pin, 20-pin and 28-pin packages. A block diagram for this device family is shown in Figure 1-1.

The devices are differentiated from each other only in the amount of on-chip Flash program memory (4 Kbytes for the PIC18F1220 device, 8 Kbytes for the PIC18F1320 device). These and other features are summarized in Table 1-1.

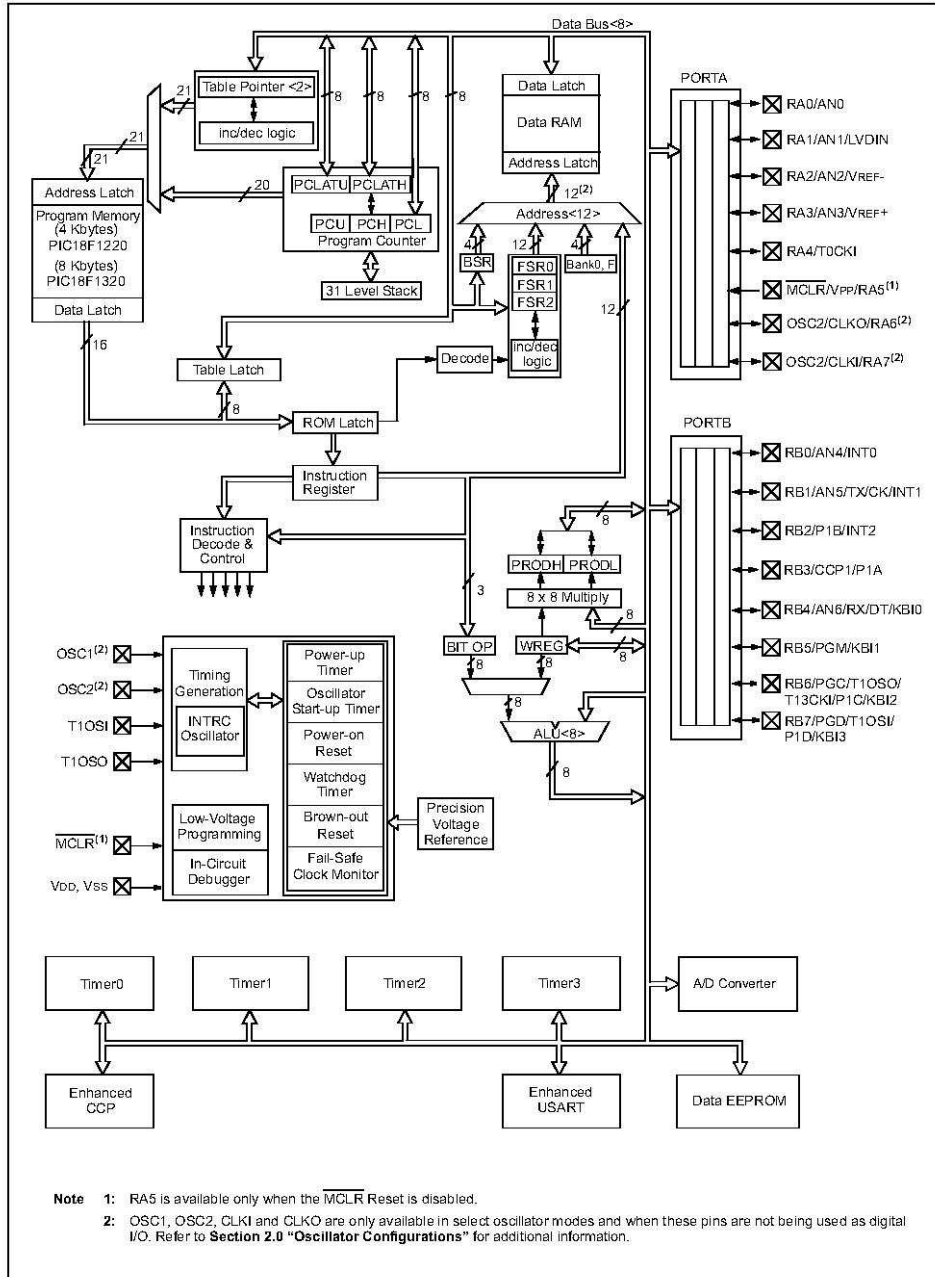
A block diagram of the PIC18F1220/1320 device architecture is provided in Figure 1-1. The pinouts for this device family are listed in Table 1-2.

TABLE 1-1: DEVICE FEATURES

Features	PIC18F1220	PIC18F1320
Operating Frequency	DC – 40 MHz	DC – 40 MHz
Program Memory (Bytes)	4096	8192
Program Memory (Instructions)	2048	4096
Data Memory (Bytes)	256	256
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256
Interrupt Sources	15	15
I/O Ports	Ports A, B	Ports A, B
Timers	4	4
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	1	1
Serial Communications	Enhanced USART	Enhanced USART
10-bit Analog-to-Digital Module	7 input channels	7 input channels
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions	75 Instructions
Packages	18-pin SDIP 18-pin SOIC 20-pin SSOP 28-pin QFN	18-pin SDIP 18-pin SOIC 20-pin SSOP 28-pin QFN

PIC18F1220/1320

FIGURE 1-1: PIC18F1220/1320 BLOCK DIAGRAM



PIC18F1220/1320

TABLE 1-2: PIC18F1220/1320 PINOUT I/O DESCRIPTIONS (CONTINUED)

Pin Name	Pin Number			Pin Type	Buffer Type	Description
	PDIP/ SOIC	SSOP	QFN			
RB0/AN4/INT0 RB0 AN4 INT0	8	9	9	I/O I I	TTL Analog ST	PORTB is a bidirectional I/O port. PORTB can be software programmed for internal weak pull-ups on all inputs. Digital I/O. Analog input 4. External interrupt 0.
RB1/AN5/TX/CK/INT1 RB1 AN5 TX CK INT1	9	10	10	I/O I O I/O I	TTL Analog — ST ST	Digital I/O. Analog input 5. EUSART asynchronous transmit. EUSART synchronous clock (see related RX/DT). External interrupt 1.
RB2/P1B/INT2 RB2 P1B INT2	17	19	23	I/O O I	TTL — ST	Digital I/O. Enhanced CCP1/PWM output. External interrupt 2.
RB3/CCP1/P1A RB3 CCP1 P1A	18	20	24	I/O I/O O	TTL ST —	Digital I/O. Capture 1 input/Compare 1 output/PWM 1 output. Enhanced CCP1/PWM output.
RB4/AN6/RX/DT/KBI0 RB4 AN6 RX DT KBI0	10	11	12	I/O I I I/O I	TTL Analog ST ST TTL	Digital I/O. Analog input 6. EUSART asynchronous receive. EUSART synchronous data (see related TX/CK). Interrupt-on-change pin.
RB5/PGM/KBI1 RB5 PGM KBI1	11	12	13	I/O I/O I	TTL ST TTL	Digital I/O. Low-Voltage ICSP Programming enable pin. Interrupt-on-change pin.
RB6/PGC/T1OSO/ T13CKI/P1C/KBI2 RB6 PGC T1OSO T13CKI P1C KBI2	12	13	15	I/O I/O O I O I	TTL ST — ST — TTL	Digital I/O. In-Circuit Debugger and ICSP programming clock pin. Timer1 oscillator output. Timer1/Timer3 external clock output. Enhanced CCP1/PWM output. Interrupt-on-change pin.
RB7/PGD/T1OSI/ P1D/KBI3 RB7 PGD T1OSI P1D KBI3	13	14	16	I/O I/O I O I	TTL ST CMOS — TTL	Digital I/O. In-Circuit Debugger and ICSP programming data pin. Timer1 oscillator input. Enhanced CCP1/PWM output. Interrupt-on-change pin.
Vss	5	5, 6	3, 5	P	—	Ground reference for logic and I/O pins.
VDD	14	15, 16	17, 19	P	—	Positive supply for logic and I/O pins.
NC	—	—	18	—	—	No connect.

Legend: TTL = TTL compatible input
 ST = Schmitt Trigger input with CMOS levels
 O = Output
 OD = Open-drain (no P diode to VDD)
 CMOS = CMOS compatible input or output
 I = Input
 P = Power

ADIS16201PCB



iSensor™ Inclinometer/Accelerometer Evaluation Board

Preliminary Technical Data

ADIS1620x/PCB

GENERAL DESCRIPTION

The ADIS1620x/PCBs are simple evaluation boards that provide convenient access to the ADIS1620x family of products, using a standard 2 mm, 2 × 6, connector interface. These connectors can be accessed using a variety of cable options, including standard 1 mm ribbon cables. The ADIS1620x/PCB is designed to be evaluated in an existing digital platform (such as MCU, DSP, FPGA, PLD) or as part of the ADISEVAL system. Four mounting holes (sized for 2-56 or 2 mm screws) have been provided to secure the board during evaluation.

CIRCUIT DESCRIPTION

The schematic, layout, and parts list for the ADIS1620x/PCB can be found in

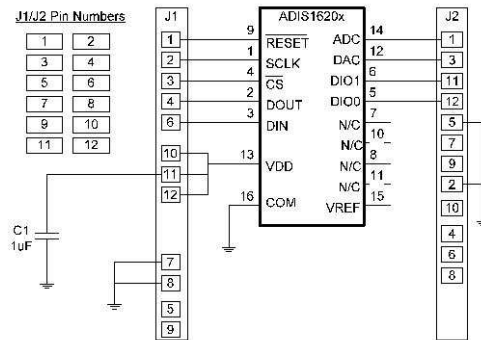


Figure 1.

Figure 1. ADIS1620x/PCB Schematic

Figure 2, and Table 1.

The ADIS1620x's digitized outputs can be accessed using the 4-wire serial port interface (SPI) signals on J1: SCLK, CS, DOUT, and DIN. For specific information on using the ADIS1620x SPI interface, refer to the ADIS16201 data sheet. Auxiliary functions, such as the 12-bit ADC input, can be accessed using J2. C1 provides additional power supply filtering but is generally not required.

Table 1. Parts List

Reference Designator	Part Description
U1	ADIS1620xyCCZ ¹
J1, J2	12-pin, dual row, 2 mm connector
C1	Power supply filtering, not installed

¹ x = 0, 1, 2, 3, 4 or 9, y = B or C

SPECIAL NOTES ON HANDLING

Note that the ADIS1620x/PCB is not reverse-polarity protected. Reversing the power supply or applying inappropriate voltages (that is, voltages outside the Absolute Maximum Ratings in the ADIS1620x data sheets) to any pin may damage the ADIS1620x/PCB.

Table 2. Power Supply Levels

Parameter	Range
V _{cc}	3.0 V to 3.6 V

Rev. PrA

Evaluation boards are only intended for device evaluation and not for production purposes. Evaluation boards are supplied "as is" and without warranties of any kind, express, implied, or statutory including, but not limited to, any implied warranty of merchantability or fitness for a particular purpose. No license is granted by implication or otherwise under any patents or other intellectual property by application or use of evaluation boards. Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Analog Devices reserves the right to change devices or specifications at any time without notice. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Evaluation boards are not authorized to be used in life support devices or systems.

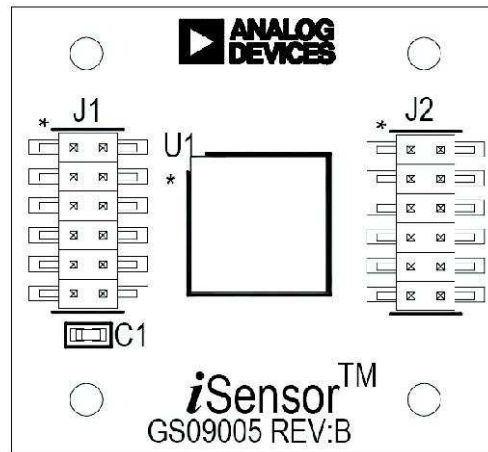


Figure 2. ADIS1620x/PCB Layout (Top View)

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2007 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

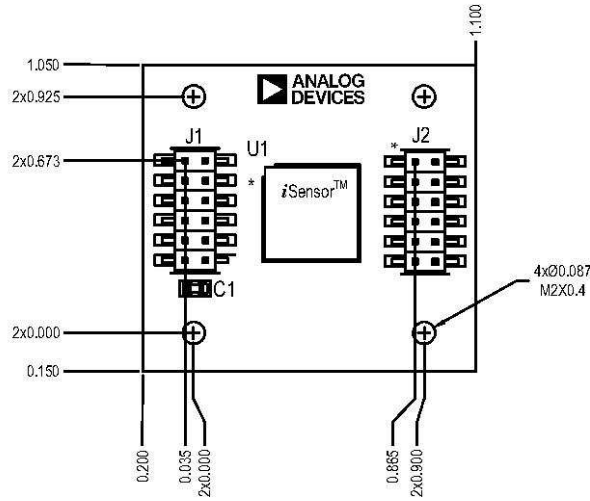


Figure 3. ADIS1620x/PCB Mechanical Drawing

ORDERING GUIDE

Model	Description
ADIS16201/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16202/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16203/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16204/PCBZ	Evaluation Board
ADIS16209/PCBZ	Evaluation Board

ESD CAUTION



ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Charged devices and circuit boards can discharge without detection. Although this product features patented or proprietary protection circuitry, damage may occur on devices subjected to high energy ESD. Therefore, proper ESD precautions should be taken to avoid performance degradation or loss of functionality.

¹ Z = RoHS Compliant Part.



Programmable Dual-Axis Inclinometer/Accelerometer

ADIS16201

FEATURES

- Dual-axis inclinometer/accelerometer measurements
- 12-, 14-bit digital inclination/acceleration sensor outputs
- $\pm 1.7 g$ accelerometer measurement range
- $\pm 90^\circ$ inclinometer measurement range, linear output
- 12-bit digital temperature sensor output
- Digitally controlled sensitivity and bias calibration
- Digitally controlled sample rate
- Digitally controlled frequency response
- Dual alarm settings with rate/threshold limits
- Auxiliary digital I/O
- Digitally activated self test
- Digitally activated low power mode
- SPI[®]-compatible serial interface
- Auxiliary 12-bit ADC input and DAC output
- Single-supply operation: 3.0 V to +3.6 V
- 3500 g powered shock survivability

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM

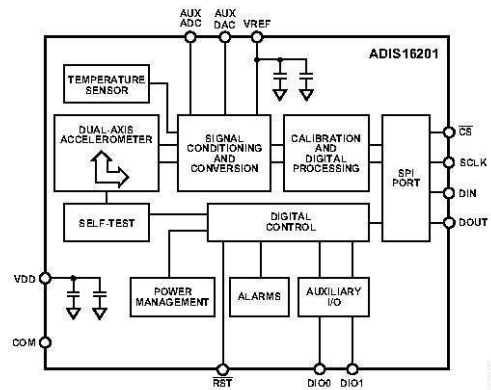


Figure 1.

APPLICATIONS

- Platform control, stabilization, and leveling
- Tilt sensing, inclinometers
- Motion/position measurement
- Monitor/alarm devices (security, medical, safety)

GENERAL DESCRIPTION

The ADIS16201 is a complete, dual-axis acceleration and inclination angle measurement system available in a single compact package enabled by the Analog Devices iSensor™ integration. By enhancing the Analog Devices iMEMS® sensor technology with an embedded signal processing solution, the ADIS16201 provides factory calibrated and tunable digital sensor data in a convenient format that can be accessed using a serial peripheral interface (SPI). The SPI interface provides access to measurements for dual-axis linear acceleration, dual-axis linear inclination angle, temperature, power supply, and one auxiliary analog input. Easy access to calibrated digital sensor data provides developers with a system-ready device, reducing development time, cost, and program risk.

Unique characteristics of the end system are accommodated easily through several built-in features, such as a single command in-system offset calibration, along with convenient sample rate and bandwidth control.

The ADIS16201 offers the following embedded features, which eliminate the need for external circuitry and provide a simplified system interface:

- Configurable alarm function
- Auxiliary 12-bit ADC
- Auxiliary 12-bit DAC
- Configurable digital I/O port
- Digital self-test function

The ADIS16201 offers two power management features for managing system-level power dissipation: low power mode and a configurable shutdown feature.

The ADIS16201 is available in a 9.2 mm × 9.2 mm × 3.9 mm laminate-based land grid array (LGA) package with a temperature range of -40°C to $+125^\circ\text{C}$.

Rev. A

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties that may result from its use. Specifications subject to change without notice. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices. Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.
Tel: 781.329.4700 www.analog.com
Fax: 781.461.3113 ©2006 Analog Devices, Inc. All rights reserved.

SPECIFICATIONS

T_A = -40°C to +125°C, V_{DD} = 3.3 V, tilt = 0°, unless otherwise noted.

Table 1.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
INCLINOMETER					
Input Range	Operable to ~±90 degrees		±70		Degrees
Relative Accuracy	±15 degrees, 25°C, max filter		±0.25		Degrees
	±30 degrees, 25°C, max filter		±0.5		Degrees
	±60 degrees, 25°C, max filter		±1.5		Degrees
	±60 degrees, 25°C	9.9	10	10.1	LSB/degrees
Sensitivity	±30 degrees		±50		ppm/°C
Offset	At 25°C	2037	2048	2059	LSB
Offset over Temperature			±0.082		LSB/°C
ACCELEROMETER					
Input Range ¹	At 25°C	±1.7			g
Nonlinearity ¹	% of full scale		±0.5	±2.5	%
Alignment Error	X sensor to Y sensor		±0.1		Degrees
Cross Axis Sensitivity			±2		%
Sensitivity	At 25°C	2.140	2.162	2.184	LSB/mg
Sensitivity over Temperature			±50		ppm/°C
Offset	At 25°C, 0 g	8151	8192	8233	LSB
Offset over Temperature			±0.33		LSB/°C
ACCELEROMETER NOISE PERFORMANCE					
Output Noise	At 25°C, no averaging		22		LSB rms
Noise Density	At 25°C, no averaging		0.37		LSB/√Hz rms
ACCELEROMETER FREQUENCY RESPONSE					
Sensor Bandwidth			2250		Hz
Sensor Resonant Frequency			5.5		kHz
ACCELEROMETER SELF-TEST STATE²					
Output Change When Active	At 25°C	372	708	1040	LSB
TEMPERATURE SENSOR					
Output at 25°C			1278		LSB
Scale Factor			-2.13		LSB/°C
ADC INPUT					
Resolution			12		Bits
Integral Nonlinearity			±2		LSB
Differential Nonlinearity			±1		LSB
Offset Error			±4		LSB
Gain Error			±2		LSB
Input Range		0		2.5	V
Input Capacitance	During acquisition		20		pF
ON-CHIP VOLTAGE REFERENCE					
Accuracy	At 25°C	-10		+10	mV
Reference Temperature Coefficient			±40		ppm/°C
Output Impedance			70		Ω

ADIS16201

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
DAC OUTPUT					
	5 k Ω /100 pF to GND				
Resolution			12		Bits
Relative Accuracy	For Code 101 to Code 4095		4		LSB
Differential Nonlinearity			1		LSB
Offset Error			± 5		mV
Gain Error			± 0.5		%
Output Range			0 to 2.5		V
Output Impedance			2		Ω
Output Settling Time			10		μ s
LOGIC INPUTS					
Input High Voltage, V_{IH}		2.0			V
Input Low Voltage, V_{IL}				0.8	V
Logic 1 Input Current, I_{IH}	$V_{IH} = V_{DD}$		± 0.2	± 1	μ A
Logic 0 Input Current, I_{IL}	$V_{IL} = 0$ V		-40	-60	μ A
Input Capacitance, C_{IN}			10		pF
DIGITAL OUTPUTS					
Output High Voltage, V_{OH}	$I_{SOURCE} = 1.6$ mA	2.4			V
Output Low Voltage, V_{OL}	$I_{SINK} = 1.6$ mA			0.4	V
SLEEP TIMER					
Timeout Period ³		0.5		128	Seconds
FLASH MEMORY					
Endurance ⁴		20,000			Cycles
Data Retention ⁵	$T_J = 85^\circ$ C	20			Years
CONVERSION RATE					
Minimum Conversion Time			244		μ s
Maximum Conversion Time			484		ms
Maximum Throughput Rate			4096		SPS
Minimum Throughput Rate			2,066		SPS
POWER SUPPLY					
Operating Voltage Range V_{DD}		3.0	3.3	3.6	V
Power Supply Current	Normal mode, $SMPL_TIME \geq 0 \times 08$ ($f_s \leq 910$ Hz), at 25° C		11	14	mA
	Fast mode, $SMPL_TIME \leq 0 \times 07$ ($f_s \geq 1024$ Hz), at 25° C		36	42	mA
	Sleep mode, at 25° C		500	750	μ A
Turn-On Time			130		ms

¹ Guaranteed by μ MEMs packaged part testing, design, and/or characterization.

² Self-test response changes as the square of V_{DD} .

³ Guaranteed by design.

⁴ Endurance is qualified as per JEDEC Standard 22 Method A117 and measured at -40° C, $+25^\circ$ C, $+85^\circ$ C, and $+125^\circ$ C.

⁵ Retention lifetime equivalent at junction temperature (T_J) 55° C as per JEDEC Standard 22 Method A117. Retention lifetime decreases with junction temperature.

TIMING SPECIFICATIONS

T_A = 25°C, V_{DD} = 3.3 V, tilt = 0°, unless otherwise noted.

Table 2.

Parameter	Description	Min ¹	Typ	Max	Unit
f _{SCLK}	Fast mode, SMPL_TIME ≤ 0x07 (f _s ≥ 1024 Hz) Normal mode, SMPL_TIME ≥ 0x08 (f _s ≤ 910 Hz)	0.01		2.5	MHz
t _{DATARATE}	Chip select period, fast mode, SMPL_TIME ≤ 0x07 (f _s ≥ 1024 Hz)	40		100	μs
t _{DATARATE}	Chip select period, normal mode, SMPL_TIME ≥ 0x08 (f _s ≤ 910 Hz)	100			μs
t _{CS}	Chip select to clock edge	48.8			ns
t _{DAV}	Data output valid after SCLK edge			100	ns
t _{DSU}	Data input setup time before SCLK rising edge	24.4			ns
t _{DHD}	Data input hold time after SCLK rising edge	48.8			ns
t _{DF}	Data output fall time		5	12.5	ns min
t _{DR}	Data output rise time		5	12.5	ns min
t _{SFS}	CS high after SCLK edge	5			ns typ

¹ Guaranteed by design, not tested.

TIMING DIAGRAMS

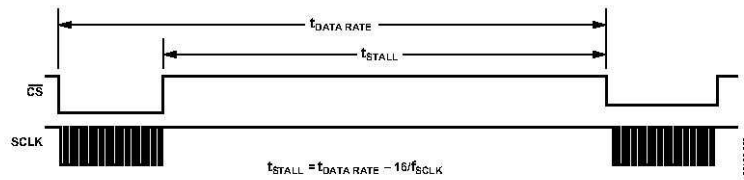


Figure 2. SPI Chip Select Timing

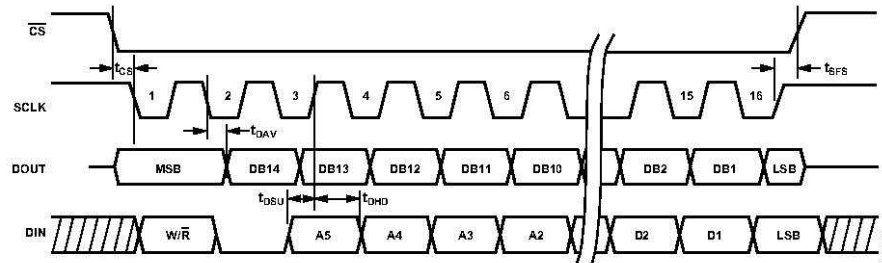


Figure 3. SPI Timing
(Utilizing SPI Settings Typically Identified as Phase = 1, Polarity = 1)

ADIS16201

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Table 3.

Parameter	Rating
Acceleration (Any Axis, Unpowered)	3500 g
Acceleration (Any Axis, Powered)	3500 g
VDD to COM	-0.3 V to +7.0 V
Digital Input/Output Voltage to COM	-0.3 V to +5.5 V
Analog Inputs to COM	-0.3 to VDD + 0.3 V
Analog Inputs to COM	-0.3 to VDD + 0.3 V
Operating Temperature Range	-40°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Table 4. Package Characteristics

Package Type	θ_{JA}	θ_{JC}	Device Weight
16-Terminal LGA	250°C/W	25°C/W	0.6 grams

ESD CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although this product features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



PIN CONFIGURATION AND FUNCTION DESCRIPTIONS

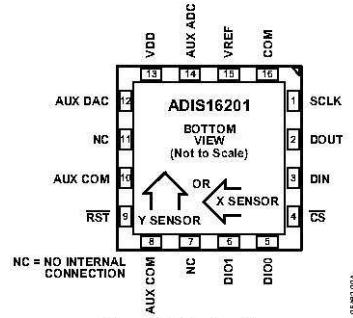


Figure 4. Pin Configuration

Table 5. Pin Function Descriptions

Pin No.	Mnemonic	Type ¹	Description
1	SCLK	I	Serial Clock. SCLK provides the serial clock for accessing data from the part and writing serial data to the control registers.
2	DOUT	O	Data Out. The data on this pin represents data being read from the control registers and is clocked out on the falling edge of the SCLK.
3	DIN	I	Data In. Data written to the control registers is provided on this input and is clocked in on the rising edge of the SCLK.
4	\overline{CS}	I	Chip Select, Active Low. This input frames the serial data transfer.
5, 6	DIO0, DIO1	I/O	Multifunction Digital I/O Pins.
7, 11	NC	-	No Connect.
8, 10	AUX COM	S	Auxiliary Grounds. Connect to GND for proper operation.
9	\overline{RST}	I	Reset, Active Low. This input resets the embedded microcontroller to a known state.
12	AUX DAC	O	Auxiliary DAC Analog Voltage Output.
13	VDD	S	+3.3 V Power Supply.
14	AUX ADC	I	Auxiliary ADC Analog Input Voltage.
15	VREF	O	Precision Reference Output.
16	COM	S	Common. Reference point for all circuitry in the ADIS16201.

¹S = Supply; O = Output; I = Input.

ADIS16201

Table 7. Data Output Register Information

Name	Function	Address	Resolution (Bits)	Data Format	Scale Factor (per LSB)
SUPPLY_OUT	Power Supply Data	0x03, 0x02	12	Binary	1.22 mV
XACCL_OUT	X-Axis Acceleration Data	0x05, 0x04	14	Twos complement	0.4625 mg
YACCL_OUT	Y-Axis Acceleration Data	0x07, 0x06	14	Twos complement	0.4625 mg
AUX_ADC	Auxiliary Analog Input Data	0x09, 0x08	12	Binary	0.61 mV
TEMP_OUT	Sensor Temperature Data	0x0B, 0x0A	12	Binary	-0.47°C
XINCL_OUT	X-Axis Inclination Data	0x0D, 0x0C	12	Twos complement	0.1°
YINCL_OUT	Y-Axis Inclination Data	0x0F, 0x0E	12	Twos complement	0.1°

Table 8. Output Coding Example, XACCL_OUT^{1, 2}

Acceleration Level	Binary Output	HEX Output	Decimal
+1.7 g	00 1110 0101 1011	0x0E5B	3675
+1 g	00 1000 0111 0010	0x0872	2162
+0.4625 g	00 0011 1110 1000	0x03E8	1000
+0.4625 mg	00 0000 0000 0001	0x0001	1
0 g	00 0000 0000 0000	0x0000	0
-0.4625 mg	11 1111 1111 1111	0x3FFF	-1
-0.4265 g	11 1100 0001 1000	0x3C18	-1000
-1 g	11 0111 1000 1110	0x378E	-2162
-1.7 g	11 0001 1010 0101	0x31A5	-3675

¹ Two MSBs have been masked off and are not considered in the coding.

² Nominal sensitivity (2.162 LSB/mg) and zero offset/null performance are assumed.

ADIS16201

Table 9. Control Register Mapping

Register Name	Type	Nonvolatile	Address	Bytes	Function
			0x00 to 0x01	2	Reserved
SUPPLY_OUT	R		0x02	2	Power supply output data
XACCL_OUT	R		0x04	2	X-axis acceleration output data
YACCL_OUT	R		0x06	2	Y-axis acceleration output data
AUX_ADC	R		0x08	2	Auxiliary ADC data
TEMP_OUT	R		0x0A	2	Temperature output data
XINCL_OUT	R		0x0C	2	X-axis inclination output data
YINCL_OUT	R		0x0E	2	Y-axis inclination output data
XACCL_OFF	R/W	X	0x10	2	X-axis acceleration offset factor
YACCL_OFF	R/W	X	0x12	2	Y-axis acceleration offset factor
XACCL_SCALE	R/W	X	0x14	2	X-axis acceleration scale factor
YACCL_SCALE	R/W	X	0x16	2	Y-axis acceleration scale factor
XINCL_OFF	R/W	X	0x18	2	X-axis inclination offset factor
YINCL_OFF	R/W	X	0x1A	2	Y-axis inclination offset factor
XINCL_SCALE	R/W	X	0x1C	2	X-axis inclination scale factor
YINCL_SCALE	R/W	X	0x1E	2	Y-axis inclination scale factor
ALM_MAG1	R/W	X	0x20	2	Alarm 1 amplitude threshold
ALM_MAG2	R/W	X	0x22	2	Alarm 2 amplitude threshold
ALM_SMPL1	R/W	X	0x24	2	Alarm 1 sample period
ALM_SMPL2	R/W	X	0x26	2	Alarm 2 sample period
ALM_CTRL	R/W	X	0x28	2	Alarm source control register
			0x2A to 0x2F	6	Reserved
AUX_DAC	R/W		0x30	2	Auxiliary DAC data
GPIO_CTRL	R/W		0x32	2	Auxiliary digital I/O control register
MSC_CTRL	R/W		0x34	2	Miscellaneous control register
SMPL_PRD	R/W	X	0x36	2	ADC sample period control
AVG_CNT	R/W	X	0x38	2	Defines number of samples used by moving average filter
PWR_MDE	R/W		0x3A	2	Counter used to determine length of power-down mode
STATUS	R		0x3C	2	System status register
COMMAND	W		0x3E	2	System command register

Table 10. Register Write Command Bit Map

DIN	W/R	0	A5	A4	A3	A2	A1	A0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
		Upper Byte								Lower Byte							

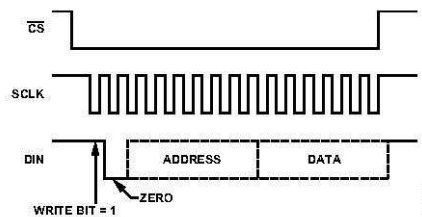


Figure 35. Control Register Write Command Sequence of SPI Signals

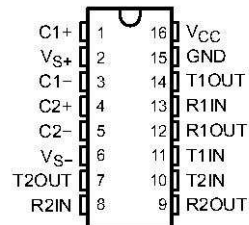
MAX232

MAX232, MAX231 DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Operates From a Single 5-V Power Supply With 1.0- μ F Charge-Pump Capacitors
- Operates Up To 120 kbit/s
- Two Drivers and Two Receivers
- \pm 30-V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- ESD Protection Exceeds JESD 22
 - 2000-V Human-Body Model (A114-A)
- Upgrade With Improved ESD (15-kV HBM) and 0.1- μ F Charge-Pump Capacitors is Available With the MAX202
- Applications
 - TIA/EIA-232-F, Battery-Powered Systems, Terminals, Modems, and Computers

MAX232 . . . D, DW, N, OR NS PACKAGE
MAX231 . . . D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



description/ordering information

The MAX232 is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply TIA/EIA-232-F voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts TIA/EIA-232-F inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V, a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept \pm 30-V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into TIA/EIA-232-F levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

ORDERING INFORMATION

T _A	PACKAGE†		ORDERABLE PART NUMBER	TOP-SIDE MARKING
	0°C to 70°C	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232N
Tube of 40			MAX232D	MAX232
SOIC (D)		Reel of 2500	MAX232DR	
		SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232DW
Reel of 2000		MAX232DWR		
-40°C to 85°C	SOP (NS)	Reel of 2000	MAX232NSR	MAX232
	PDIP (N)	Tube of 25	MAX232IN	MAX232IN
		Tube of 40	MAX232ID	MAX232I
	SOIC (D)	Reel of 2500	MAX232IDR	
		SOIC (DW)	Tube of 40	MAX232IDW
	Reel of 2000		MAX232IDWR	

† Package drawings, standard packing quantities, thermal data, symbolization, and PCB design guidelines are available at www.ti.com/sc/package.



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC is a trademark of Texas Instruments.

PRODUCTION DATA Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 2004, Texas Instruments Incorporated

1

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

Function Tables

EACH DRIVER

INPUT TIN	OUTPUT TOUT
L	H
H	L

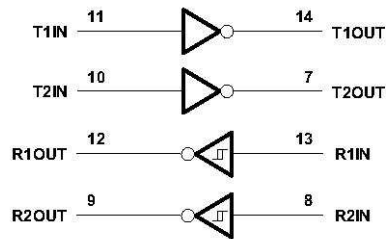
H = high level, L = low level

EACH RECEIVER

INPUT RIN	OUTPUT ROUT
L	H
H	L

H = high level, L = low level

logic diagram (positive logic)



MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	-0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	-0.3 V to -15 V
Input voltage range, V_I : Driver	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	±30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	-0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Notes 2 and 3): D package	73°C/W
DW package	57°C/W
N package	67°C/W
NS package	64°C/W
Operating virtual junction temperature, T_J	150°C
Storage temperature range, T_{stg}	-65°C to 150°C

† Stresses beyond those listed under "absolute maximum ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under "recommended operating conditions" is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTES: 1. All voltages are with respect to network GND.

2. Maximum power dissipation is a function of $T_J(\max)$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\max) - T_A)/\theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

3. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

recommended operating conditions

		MIN	NOM	MAX	UNIT
V_{CC}	Supply voltage	4.5	5	5.5	V
V_{IH}	High-level input voltage (T1IN, T2IN)	2			V
V_{IL}	Low-level input voltage (T1IN, T2IN)			0.8	V
R1IN, R2IN	Receiver input voltage			±30	V
T_A	Operating free-air temperature	MAX232	0	70	°C
		MAX232I	-40	85	

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature (unless otherwise noted) (see Note 4 and Figure 4)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP‡	MAX	UNIT
I_{CC}	Supply current		8	10	mA

‡ All typical values are at $V_{CC} = 5$ V and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at $V_{CC} = 5 \text{ V} \pm 0.5 \text{ V}$.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

3

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

DRIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND	5	7		V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	T1OUT, T2OUT R _L = 3 kΩ to GND		-7	-5	V
r _o	Output resistance	T1OUT, T2OUT V _{S+} = V _{S-} = 0, V _O = ±2 V	300			Ω
I _{OS} §	Short-circuit output current	T1OUT, T2OUT V _{CC} = 5.5 V, V _O = 0		±10		mA
I _{IS}	Short-circuit input current	T1IN, T2IN V _I = 0			200	μA

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

§ Not more than one output should be shorted at a time.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNIT
SR	Driver slew rate	R _L = 3 kΩ to 7 kΩ See Figure 2			30	V/μs
SR(t)	Driver transition region slew rate	See Figure 3		3		V/μs
	Data rate	One TOUT switching		120		kbit/s

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

RECEIVER SECTION

electrical characteristics over recommended ranges of supply voltage and operating free-air temperature range (see Note 4)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	MIN	TYP†	MAX	UNIT
V _{OH}	High-level output voltage	R1OUT, R2OUT I _{OH} = -1 mA	3.5			V
V _{OL}	Low-level output voltage‡	R1OUT, R2OUT I _{OL} = 3.2 mA			0.4	V
V _{IT+}	Receiver positive-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C		1.7	2.4	V
V _{IT-}	Receiver negative-going input threshold voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V, T _A = 25°C	0.8	1.2		V
V _{hys}	Input hysteresis voltage	R1IN, R2IN V _{CC} = 5 V	0.2	0.5	1	V
r _i	Receiver input resistance	R1IN, R2IN V _{CC} = 5, T _A = 25°C	3	5	7	kΩ

† All typical values are at V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C.

‡ The algebraic convention, in which the least-positive (most negative) value is designated minimum, is used in this data sheet for logic voltage levels only.

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.

switching characteristics, V_{CC} = 5 V, T_A = 25°C (see Note 4 and Figure 1)

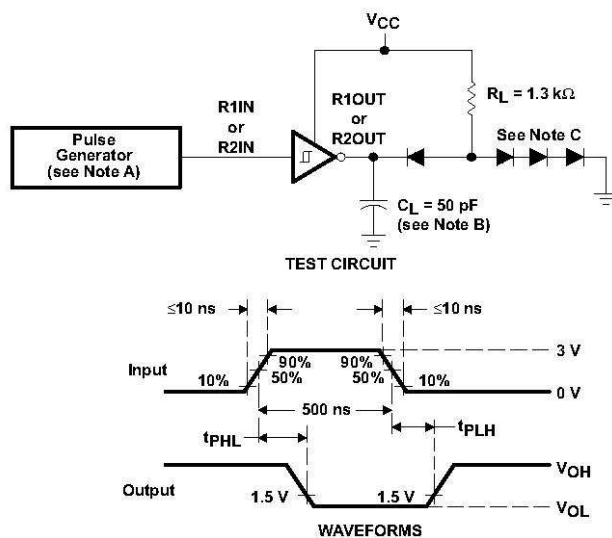
PARAMETER		TYP	UNIT
t _{PLH(R)}	Receiver propagation delay time, low- to high-level output	500	ns
t _{PHL(R)}	Receiver propagation delay time, high- to low-level output	500	ns

NOTE 4: Test conditions are C1-C4 = 1 μF at V_{CC} = 5 V ± 0.5 V.



POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



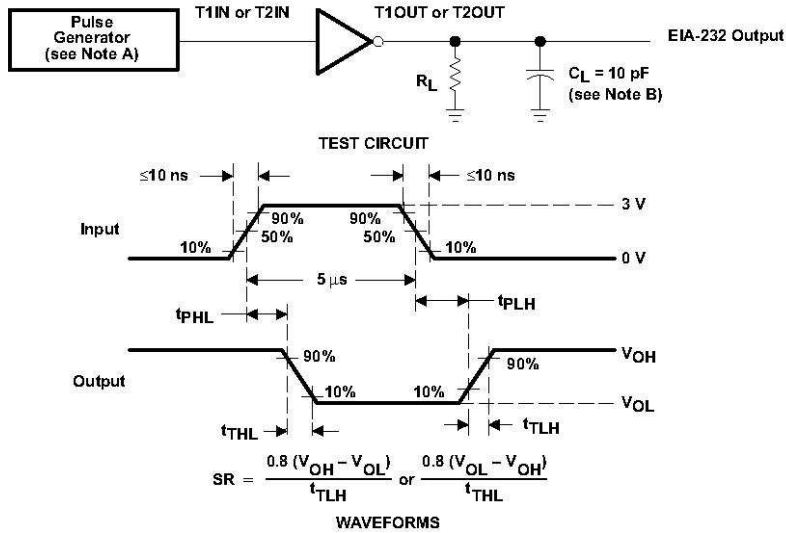
- NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
 B. C_L includes probe and jig capacitance.
 C. All diodes are 1N3064 or equivalent.

Figure 1. Receiver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

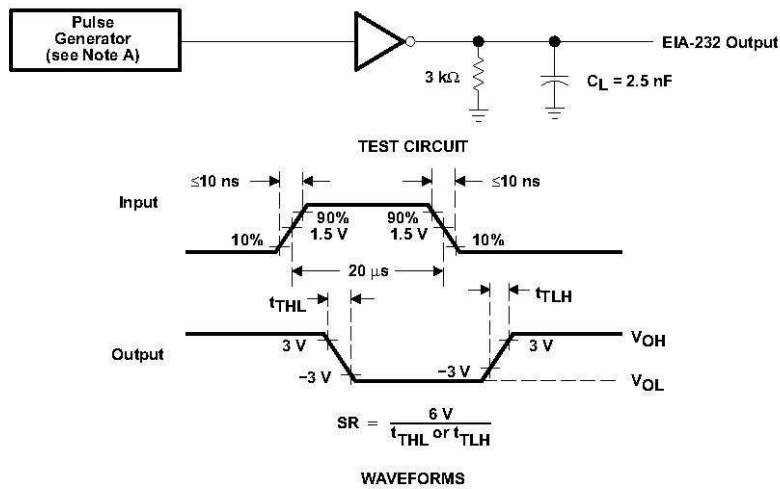
SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION



NOTES: A. The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.
B. C_L includes probe and jig capacitance.

Figure 2. Driver Test Circuit and Waveforms for t_{PHL} and t_{PLH} Measurements (5- μ s Input)



NOTE A: The pulse generator has the following characteristics: $Z_O = 50 \Omega$, duty cycle $\leq 50\%$.

Figure 3. Test Circuit and Waveforms for t_{THL} and t_{TLH} Measurements (20- μ s Input)

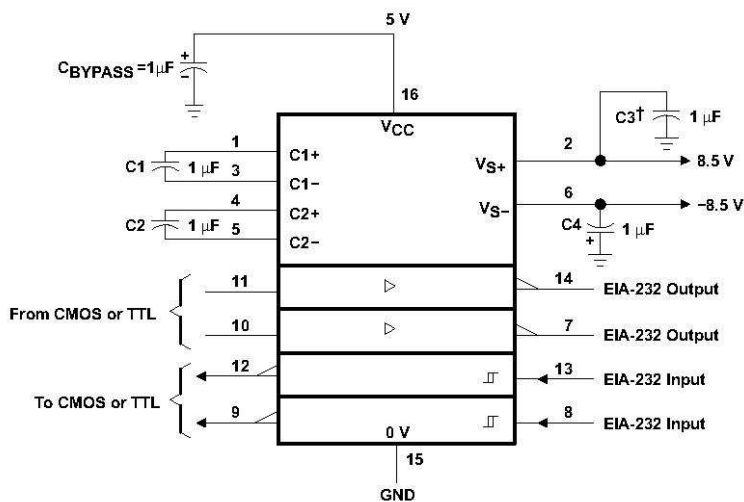


POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVERS/RECEIVERS

SLLS047L - FEBRUARY 1989 - REVISED MARCH 2004

APPLICATION INFORMATION



† C3 can be connected to V_{CC} or GND.

NOTES: A. Resistor values shown are nominal.

B. Nonpolarized ceramic capacitors are acceptable. If polarized tantalum or electrolytic capacitors are used, they should be connected as shown. In addition to the 1-μF capacitors shown, the MAX202 can operate with 0.1-μF capacitors.

Figure 4. Typical Operating Circuit



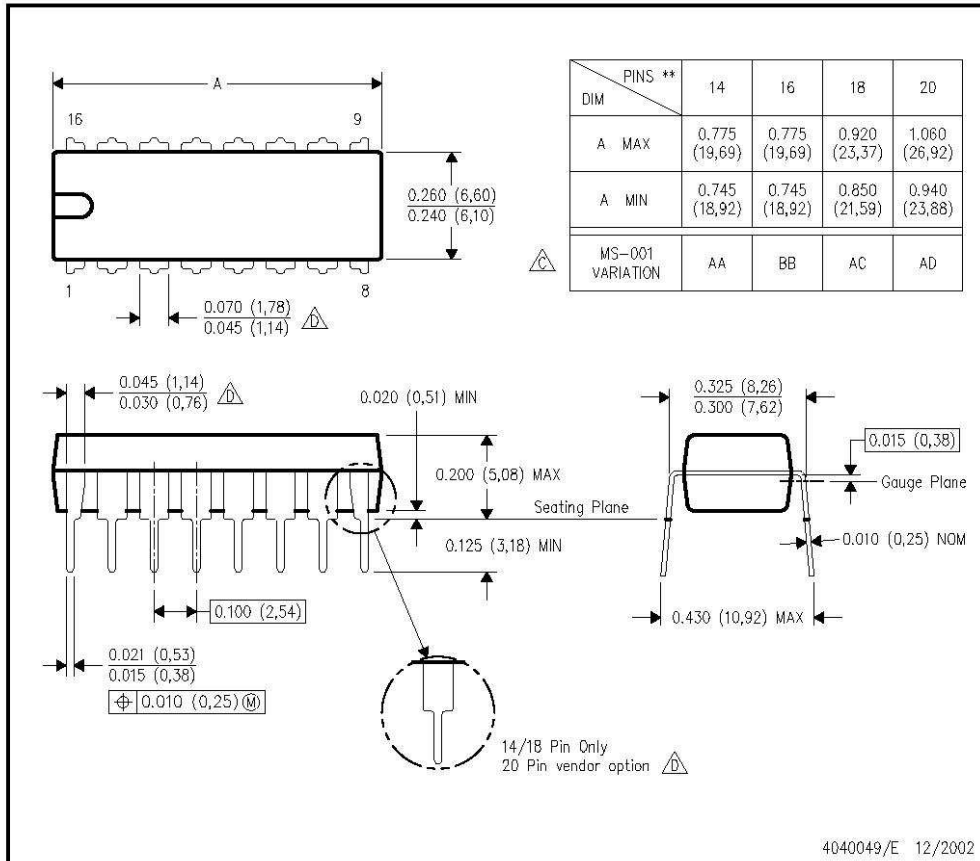
POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265

MECHANICAL DATA

N (R-PDIP-T)**

PLASTIC DUAL-IN-LINE PACKAGE

16 PINS SHOWN



- NOTES:
- A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
 - B. This drawing is subject to change without notice.
 - Falls within JEDEC MS-001, except 18 and 20 pin minimum body length (Dim A).
 - The 20 pin end lead shoulder width is a vendor option, either half or full width.