

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**1442**

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ  
ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΕΤΡΗΣΗ  
ΤΑΣΗΣ, ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗΣ**

**ΚΑΠΟΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ**

**ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΛΑΝΤΖΟΠΟΥΛΟΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ**

**ΠΑΤΡΑ 2016**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και ανάπτυξη συστήματος για την μέτρηση και απεικόνιση μεγεθών όπως η τάση τροφοδοσίας του συστήματος, η θερμοκρασία ενός σημείου είτε η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και η κλίση που υπόκειται το όχημα υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας του. Η συγκεκριμένη ιδέα προέρχεται από τον μηχανοκίνητο αθλητισμό αλλά και από την εξέλιξη των οχημάτων τελευταίας γενιάς που διαθέτουν στο βασικό τους εξοπλισμό πληθώρα συστημάτων ενεργητικής και παθητικής ασφάλειας.

Στο πρώτο κεφάλαιο της πτυχιακής πραγματοποιείται μια αναφορά σε παρόμοια συστήματα με αυτό της εφαρμογής μας. Πραγματοποιείται εκτενής περιγραφή του συστήματος ABS (antilock braking system) και παρατίθενται παραδείγματα υλοποίησης του συστήματος από εταιρείες. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται εκτενώς η δομή του μικροελεγκτή που αξιοποιήθηκε για την ανάπτυξη του συγκεκριμένου συστήματος καθώς και των χρησιμοποιούμενων αισθητήρων. Τέλος στο τρίτο κεφάλαιο παρατίθεται και αναλύεται ο χρησιμοποιούμενος κώδικας της εφαρμογής καθώς και το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξή του.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Αθανάσιο Καλαντζόπουλο για την καθοδήγηση που μου προσέφερε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τους μηχανικούς της εταιρείας Thyatron S.A. για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση όσον αφορά το πρακτικό μέρος της πτυχιακής μου εργασίας.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως σκοπό την μελέτη και ανάπτυξη συστήματος για την μέτρηση και απεικόνιση μεγεθών όπως η τάση τροφοδοσίας του συστήματος, η θερμοκρασία ενός σημείου είτε η εξωτερική θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και την κλίση που λαμβάνει το όχημα υπό διάφορες συνθήκες λειτουργίας του. Η συγκεκριμένη ιδέα προέρχεται από τον μηχανοκίνητο αθλητισμό αλλά και από την εξέλιξη των οχημάτων τελευταίας γενιάς που διαθέτουν στο βασικό τους εξοπλισμό πληθώρα συστημάτων ενεργητικής ασφάλειας αλλά και παθητικής, τα οποία συστήματα έχουν παρόμοια αρχή λειτουργίας με το σύστημα που κατασκευάστηκε για τις ανάγκες της πτυχιακής, όπου είναι απαραίτητη η καταγραφή διαφόρων στοιχείων και παραμέτρων τα οποία είναι χρήσιμα είτε για την εύρυθμη λειτουργία ενός οχήματος είτε για την εξέλιξη του, είτε για την ενεργητική ασφάλεια ενός οχήματος. Η ασφάλεια των αυτοκινήτων, ενεργητική και παθητική, βασίζεται πλέον ως επί το πλείστον σε ηλεκτρονικά συστήματα που υπόσχονται αποτελεσματική πρόληψη και προστασία από τα ατυχήματα. Η όλο και μεγαλύτερη ανάγκη για μείωση των ατυχημάτων, τα οποία προκαλούνται από την αυξανόμενη πυκνότητα της κυκλοφορίας και τις υψηλότερες ταχύτητες και τα οποία έχουν ως συνέπεια μεγάλους αριθμούς νεκρών και τραυματιών, οδήγησε την παγκόσμια αυτοκινητοβιομηχανία σε εντατικές προσπάθειες για βελτίωση τόσο της ενεργητικής όσο και της παθητικής ασφάλειας των οχημάτων. Ως "ενεργητική ασφάλεια" ορίζεται το σύνολο των τεχνολογιών και των μερών που επιτρέπει στο όχημα και στον οδηγό να αποφύγει ένα ατύχημα (τιμόνι, φρένα, αναρτήσεις, ελαστικά, κ.τ.λ.), ενώ στον όρο "παθητική ασφάλεια" συμπεριλαμβάνεται κάθε σύστημα που στοχεύει στην προστασία των επιβατών στην περίπτωση που συμβεί ατύχημα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	<b>i</b>
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	<b>ii</b>
<b>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</b> .....	<b>iii</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1, ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>1</b>
1.1 Παρόμοια συστήματα .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2, ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ</b> .....	<b>9</b>
2.1 Ο Μικροελεγκτής .....	9
2.1.1 Ακροδέκτες και συνδέσεις του μικροελεγκτή.....	10
2.1.2 Διάφορα mode λειτουργίας.....	12
2.2 Χάρτης μνήμης.....	13
2.2.1 Μνήμη RAM.....	14
2.2.2 Μνήμη FLASH.....	14
2.3 Επαναφορά, διακοπές και διαμόρφωση συστήματος.....	15
2.3.1 Χαρακτηριστικά .....	15
2.3.2 Επαναφορά των MCU.....	15
2.3.3 Μονάδα Watchdog ελέγχου ορθής λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή .....	16
2.3.4 Διακοπές.....	16
2.4 Παράλληλη είσοδος/έξοδος.....	17
2.4.1 Χαρακτηριστικά .....	18
2.5 Μονάδα εσωτερικής γεννήτριας ρολογιού .....	19
2.5.1 Χαρακτηριστικά .....	21
2.6 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (HCS08 CPU) .....	21
2.6.1 Χαρακτηριστικά .....	21
2.6.2 Το μοντέλο του προγραμματιστή και οι καταχωρητές της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας .....	22
2.6.3 Ο συσσωρευτής A .....	23
2.6.4 Ο καταχωρητής ευρετηρίου (H:X).....	23
2.6.5 Ο δείκτης στοίβας (SP) .....	23
2.6.6 Απαριθμητής προγράμματος (PC) .....	24
2.6.7 Ο καταχωρητής κατάστασης κώδικα (CCR) .....	24
2.7 Μονάδα διακοπών από πληκτρολόγιο (KBI) .....	24
2.7.1 Η θύρα A και οι ακίδες διακοπής του πληκτρολογίου.....	24

2.7.2	Χαρακτηριστικά .....	26
2.8	Η μονάδα του χρονιστή/PWM (TPM).....	26
2.8.1	Χαρακτηριστικά .....	26
2.9	Μονάδα Σειριακής Επικοινωνίας (SCI) .....	27
2.9.1	Χαρακτηριστικά .....	28
2.10	Μονάδα Σειριακής Διασύνδεσης Περιφερειακών Συσκευών (SPI).....	29
2.10.1	Χαρακτηριστικά .....	30
2.10.2	Δομικό διάγραμμα του συστήματος SPI.....	30
2.10.3	Δομικό διάγραμμα της μονάδας SPI.....	31
2.11	Μονάδα Inter-Integrated Circuit (IIC).....	31
2.11.1	Χαρακτηριστικά .....	32
2.11.2	Τρόποι Λειτουργίας.....	33
2.12	Μονάδα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ATD).....	34
2.12.1	Χαρακτηριστικά.....	35
2.12.2	Τρόποι λειτουργίας.....	35
2.12.3	Δομικό διάγραμμα και περιγραφή σημάτων .....	36
2.12.4	Περιγραφή Λειτουργίας .....	36
2.12.5	Μονάδα ελέγχου λειτουργίας.....	37
2.12.6	Δειγματοληψία και συγκράτηση .....	37
2.13	Υποστήριξη ανάπτυξης .....	39
2.13.1	Χαρακτηριστικά .....	39
2.14	Οι αισθητήρες.....	40
2.14.1	Χαρακτηριστικά των αισθητήρων.....	40
2.14.2	Ο χρησιμοποιούμενος αισθητήρας θερμοκρασίας.....	42
2.14.3	Το Επιταχυνσιόμετρο .....	43
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ</b>		
<b>ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ .....</b>		<b>47</b>
3.1	Το περιβάλλον ανάπτυξης CodeWarrior .....	47
3.1.1	Δημιουργία Project.....	47
3.2	Ο κώδικας της εφαρμογής .....	50
3.2.1	Η αρχικοποίηση του μικροεπεξεργαστή .....	51
3.2.2	Η συνάρτηση επιλογής αναλογικού καναλιού εισόδου .....	52
3.2.3	Η απεικόνιση των μετρήσεων .....	52
3.2.4	Απεικόνιση Θερμοκρασίας και τάσης.....	55

3.2.5	Η επιλογή της γραμμής του display .....	56
3.2.6	Μέτρηση, μετατροπή και απεικόνιση της γωνίας .....	57
3.2.7	Μέτρηση, μετατροπή και απεικόνιση της θερμοκρασίας και της τάσης στην πρώτη σειρά της οθόνης .....	60
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4, ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>		<b>62</b>
4.1	Το σύστημα εν λειτουργία .....	62
4.2	Συμπεράσματα .....	64
4.3	Μελλοντικές Προτάσεις .....	64
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>		<b>65</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Ο ΚΩΔΙΚΑΣ.....</b>		<b>67</b>

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Βασικό χαρακτηριστικό της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η εισαγωγή στον κόσμο των αισθητήρων, των μικροελεγκτών και οθονών LCD (Liquid Crystal Display) display, των τρόπων λειτουργίας τους αλλά και της συνεργασίας τους. Ένας από τους πιο βασικούς σκοπούς είναι η ανάπτυξη και μελέτη γλώσσας προγραμματισμού C για την εύρυθμη λειτουργία του συστήματος, το οποίο έχει την δυνατότητα να απεικονίζει στο LCD display δεδομένα όπως η εξωτερική θερμοκρασία ή η θερμοκρασία ενός σημείου, καθώς και η τάση τροφοδοσίας της πηγής ή του συστήματος στο οποίο έχει ενσωματωθεί. Επίσης έχει την δυνατότητα να καταγράφει και να εμφανίζει την κλίση όπου υπόκειται σε μοίρες καθώς και ανάλογα την θέση όπου υπόκειται η κλίση, δηλαδή σε δεξιά ή αριστερά. Το συγκεκριμένο σύστημα δίνει πληροφορίες του οχήματος που τοποθετείται οι οποίες αξιοποιούνται. Είναι χρήσιμες είτε για την εύρυθμη λειτουργία του είτε για την εξέλιξη του σε επίπεδα ασφαλείας, είτε μηχανοκίνητου αθλητισμού.

### 1.1 Παρόμοια συστήματα

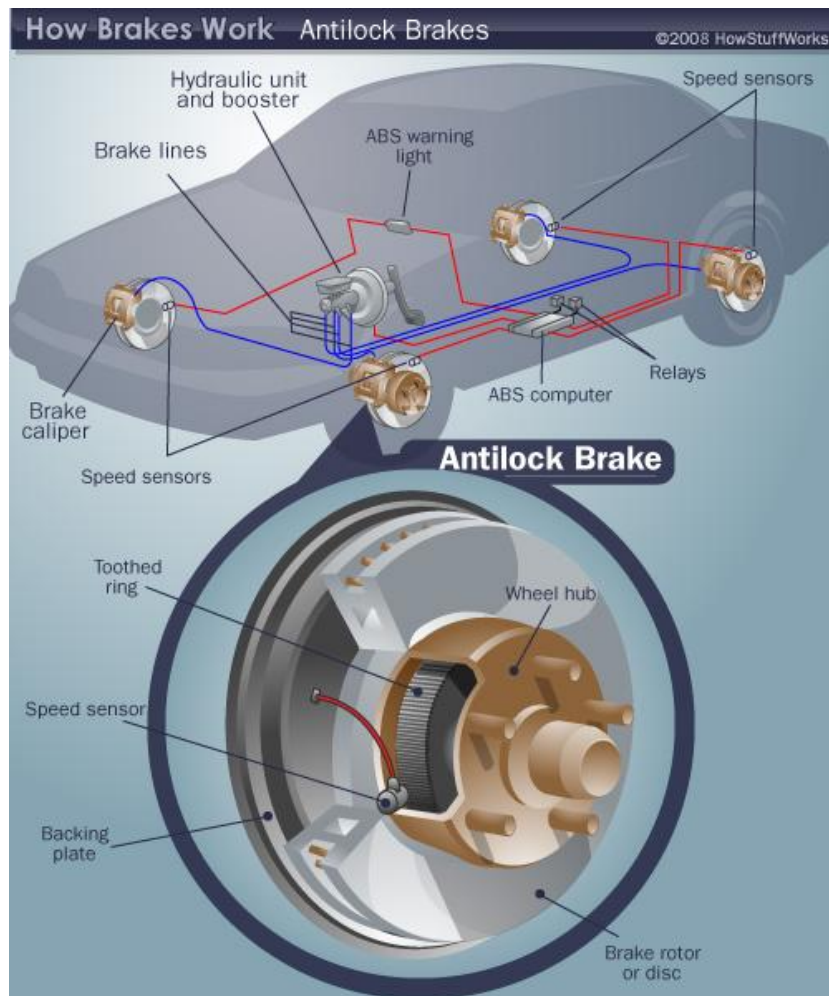
Παρόμοια συστήματα που έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται είναι το σύστημα της Dorna το οποίο τοποθετείται πάνω σε κάμερα στο κέντρο της ουράς των μοτοσυκλετών Moto GP και καταγράφει μέσω επιταχυνσιόμετρου και μικροελεγκτή τις κλίσεις σε όλη την διάρκεια του αγώνα. Επίσης το 2014 η ιταλική εταιρία μοτοσυκλετών Aprilia παρουσίασε μια τεχνολογική πλατφόρμα που υπερτερεί έναντι όλων των άλλων συστημάτων που διατίθενται στην αγορά, η οποία δεν είναι ακόμη διαθέσιμη σε όλες τις αγωνιστικές μοτοσυκλέτες. Η μεταφορά τεχνογνωσίας από τους αγώνες στην παραγωγή δημιούργησε ένα εξαιρετικά εξελιγμένο ηλεκτρονικό σύστημα διαχείρισης που είναι λειτουργικό και εύκολο στη χρήση από όλους. Το σύστημα APRC (Aprilia Performance Ride Control) όπως το ονομάζουν χρησιμοποιεί μια αυτόματη αδρανειακή πλατφόρμα με δύο γυροσκοπικούς μετρητές και δύο μετρητές επιτάχυνσης που επιτρέπουν στην ECU (Electronic Control Unit – Ηλεκτρονική Μονάδα Ελέγχου) να παρακολουθεί τις δυναμικές συνθήκες και να προσαρμόζει διαρκώς τον έλεγχο του κινητήρα. Ο αναβάτης μπορεί ελεύθερα να ρυθμίσει ανεξάρτητα κάθε συνιστώσα του συστήματος APRC. Πρόκειται για ένα πλήρως πρωτοποριακό σύστημα ελέγχου πρόσφυσης που αναπτύχθηκε από μια πατέντα της Aprilia, εστιάζοντας κυρίως στο να βοηθήσει τον αναβάτη τόσο σε πνευματική ασφάλεια όσο και να βελτιώσει τους χρόνους του σε πίστα. Χάρη στην αδρανειακή πλατφόρμα και το σύστημα Ride By Wire (στην ανάπτυξη των οποίων υπήρξε πρωτοπόρος η Aprilia) το ATC όχι μόνο μειώνει την ροπή όταν ο πίσω τροχός γλιστρά, αλλά αφήνει στον αναβάτη τον έλεγχο της ολίσθησης του πίσω τμήματος της μοτοσυκλέτας κατά την έξοδο από μια στροφή, δίνοντάς του καλύτερη αίσθηση για τον έλεγχο του γκαζιού, ανάλογα με τη γωνία κλίσης. Το APRC γρήγορα και εύκολα ενεργοποιείται από το μενού του πίνακα οργάνων και προσφέρει 8 ρυθμίσεις. Όταν το APRC είναι ενεργοποιημένο, ο αναβάτης μπορεί να αλλάξει γρήγορα ρύθμιση, ανά πάσα στιγμή, χρησιμοποιώντας ένα μπουτόν στα αριστερά του τιμονιού, για να προσαρμόσει το επίπεδο ελέγχου πρόσφυσης ανάλογα με τις συνθήκες της πίστας, της ασφάλτου και των ελαστικών, χωρίς κλείσιμο του γκαζιού και κρατώντας τα χέρια του στο τιμόνι. Με αυτό τον τρόπο, το σύστημα μπορεί να προσαρμοστεί στην κάθε στροφή οποιασδήποτε πίστας, έτσι ώστε να ανταποκρίνεται στις ειδικές απαιτήσεις του κάθε αναβάτη, συμπεριλαμβανομένων και των πιο έμπειρων.

Επίσης, η εταιρία Bosch παρουσίασε το δικό της σύστημα ενεργητικής ασφάλειας με το όνομα 5DMSC. Καρδιά του 5DMSC της Bosch είναι ένας νέος αισθητήρας κλίσης, ο οποίος συνεργάζεται με συστήματα όπως το traction control, το ABS κλπ. Πρώτες μοτοσυκλέτες παραγωγής που φορούν το νέο σύστημα είναι οι νέες KTM 1190 Adventure. Ο αισθητήρας κλίσης μετρά και καταγράφει μια σειρά φυσικών παραμέτρων ταχύτερα από 100 φορές το δευτερόλεπτο. Οι παράμετροι αυτές είναι: η διαμήκης, η εγκάρσια και η κάθετη επιτάχυνση, καθώς και οι τιμές περιστροφής κατά τον κάθετο και τον διαμήκη άξονα. Οι τιμές αυτές δημιουργούν μια μήτρα πέντε διαστάσεων, την οποία χρησιμοποιεί κατόπιν ένας νέος αλγόριθμος τον οποίο ανέπτυξαν οι επιστήμονες της Bosch. Για να είναι εφικτή η εκτίμηση των τιμών της βύθισης και της κλίσης της μοτοσυκλέτας οι τιμές που συλλέγονται αποστέλλονται μέσω του δίαυλου CAN στην ECU. Έτσι περιγράφει με έναν απλό τρόπο τη λειτουργία του νέου αισθητήρα ο Matthias Morbe, που διευθύνει τον τομέα αισθητήρων και συστημάτων στη Bosch Engineering. Ο συγκεκριμένος αισθητήρας στο μέλλον θα χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει το ABS όταν ενεργοποιείται σε στροφές, για να διακρίνει τον κίνδυνο πτώσης. Στην εφαρμογή του ο αισθητήρας συνεργάζεται με το σύστημα ελέγχου πρόσφυσης, προκειμένου να διαπιστώνεται ανά πάσα στιγμή η ακριβής τιμή ιπποδύναμης που μπορεί να αξιοποιήσει η μοτοσυκλέτα ενώ γέρνει, ώστε να μη χαθεί η πρόσφυση.

Επίσης ευρύ εφαρμογή βρίσκουν και παρόμοια συστήματα παθητικής ασφάλειας σε οχήματα όπως το ABS (Antilock Braking System). Σκοπός του ABS είναι η στιγμιαία αποτροπή του μπλοκαρίσματος των τροχών, στην περίπτωση που υπάρξει απότομο φρενάρισμα, έτσι ώστε να μειωθεί η απόσταση ακινητοποίησης. Ειδικοί αισθητήρες «διαβάζουν» την περιστροφική ταχύτητα του κάθε τροχού και όταν ανιχνευτεί το μπλοκάρισμα ενός από αυτούς δίνεται εντολή από την ECU ώστε να ελαττωθεί μέσα σε εκατοστά του δευτερολέπτου η πίεση πέδησης για να απελευθερώσει η δαγκάνα τον δίσκο. Σύστημα αναγκαίο καθώς επιτρέπει τον έλεγχο του οχήματος κατά το φρενάρισμα σε ολισθηρές επιφάνειες ή ακόμα και σε φρεναρίσματα πανικού κατά την διάρκεια στροφής. Το ABS τοποθετείται πλέον υποχρεωτικά σε όλα τα αυτοκίνητα βάση των κανονισμών της ευρωπαϊκής ένωσης.

Όσο και αν φανεί παράξενο οι πρώτες εφαρμογές στοιχειωδών συστημάτων ABS εμφανίστηκαν την δεκαετία του '60 σε μικρά αεροσκάφη προκειμένου να μειωθεί η απόσταση επιβράδυνσης σε περιορισμένους σε μήκος αεροδιάδρομους ενώ το καινοτομικό Jensen FF του 1966 ήταν το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με ABS (αλλά και το πρώτο τετρακίνητο με μόνιμη κίνηση στους τροχούς). Σήμερα σχεδόν όλα τα αυτοκίνητα παραγωγής εξοπλίζονται από την βασική τους έκδοση με το σύστημα ABS εκτός από ελάχιστες εξαιρέσεις. Η αναγκαιότητα του ABS κρίνεται μεγάλη καθ' ότι όταν ένας, όχι πολύ έμπειρος, οδηγός αυτοκινήτου βρίσκεται μπροστά σε κίνδυνο, έχει την τάση να πατάει το πεντάλ του φρένου ως το τέλος της διαδρομής του. Με αυτόν τον τρόπο, όμως, προκαλείται το μπλοκάρισμα των τροχών με αποτέλεσμα το αυτοκίνητο να μην ελέγχεται. Σε τέτοιες ακριβώς περιπτώσεις, που ο οδηγός δε μπορεί εύκολα να ελέγξει τις αντιδράσεις του, επεμβαίνει το σύστημα ABS. Το ABS όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 1.1 ελέγχει την πίεση των υγρών των φρένων που εφαρμόζεται στον κύλινδρο του φρένου κάθε τροχού από την αντλία των φρένων, ώστε να μη μπλοκάρει κανένας τροχός, ακόμη και όταν το πεντάλ έχει πατηθεί με μεγάλη δύναμη. Εξασφαλίζει έτσι την ικανότητα πλήρους ελέγχου του αυτοκινήτου και την ευστάθεια πορείας κατά το φρενάρισμα. Η πορεία που θα ακολουθήσει ένα αυτοκίνητο εάν μπλοκάρουν οι τροχοί κατά το φρενάρισμα πανικού, διαφέρει ανάλογα με την ύπαρξη ή μη συστήματος ABS. Το αυτοκίνητο χωρίς ABS θα στρίψει με κατεύθυνση τη στροφή αλλά και ταυτόχρονα θα ακολουθήσει περιστροφή του αυτοκινήτου γύρω από τον άξονά του, με αποτέλεσμα να εκτραπεί από την πορεία του. Αντίθετα, το αυτοκίνητο με ABS θα παραμείνει στη διεύθυνση κίνησης επάνω στη στροφή χωρίς ιδιαίτερο πρόβλημα. Το ABS





**Εικόνα 1.1:** Η λειτουργία του ABS

προσφέρει στον οδηγό, εκτός από τη διατήρηση της σταθερότητας και του ελέγχου του αυτοκινήτου κατά το φρενάρισμα τόσο στην ευθεία όσο και στις στροφές, και τις παρακάτω λειτουργίες: Ενώ εφαρμόζεται δύναμη φρεναρίσματος και πριν ενεργοποιηθεί ο μηχανισμός του ABS, η δύναμη κατανέμεται μεταξύ των μπροστινών και πίσω τροχών, έτσι ώστε να μη μπλοκάρουν οι οπίσθιοι τροχοί πολύ νωρίτερα από τους πρόσθιους και να εξασφαλιστεί η σταθερή πορεία του αυτοκινήτου. Επιτυγχάνεται συχνά το ιδανικό διάστημα πέδησης. Το ABS εκμεταλλεύεται σχεδόν πλήρως τα όρια που παρέχουν οι φυσικές ιδιότητες των ελαστικών και του οδοστρώματος.

Ας γίνει μια πιο αναλυτική περιγραφή στην λειτουργία του ABS. Η απόδοση ενός συστήματος πέδησης εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, που έχουν άμεση ή έμμεση σχέση με το σύστημα και επηρεάζουν τη συνολική επιβράδυνση του αυτοκινήτου. Οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η συνολική απόδοση του συστήματος πέδησης είναι:

- § Η λειτουργική κατάσταση του συστήματος πέδησης και ιδιαίτερα ο συντελεστής τριβής που αναπτύσσεται ανάμεσα σε τύμπανο – σιαγόνες ή ανάμεσα σε δίσκους – τακάκια.
- § Η κατάσταση των ελαστικών και του οδοστρώματος και ο συντελεστής τριβής μεταξύ ελαστικών και οδοστρώματος.

Κατά το φρενάρισμα αναπτύσσεται μία δύναμη τριβής μεταξύ ελαστικού και οδοστρώματος. Ταυτόχρονα δημιουργείται ολίσθηση ανάμεσα στο ελαστικό και την επιφάνεια του οδοστρώματος. Όσο πιο μεγάλος είναι ο συντελεστής τριβής και όσο πιο μικρό

το ποσοστό της ολίσθησης κάθε τροχού, τόσο καλύτερη είναι και η απόσταση φρεναρίσματος. Όταν μπλοκάρει ένας τροχός, έχει ολίσθηση 100% και η δύναμη τριβής είναι κατά κανόνα μικρότερη από εκείνη που εμφανίζεται σε τροχό που κυλάει ακόμα. Το σύστημα ABS δημιουργεί τέτοιες συνθήκες δυνάμεων πέδησης στον τροχό έτσι, ώστε να εξασφαλίζεται η μέγιστη δύναμη τριβής. Ταυτόχρονα απομένει μία αρκετά μεγάλη δύναμη πλάγιας ευστάθειας για να υπάρχει ικανότητα εκτέλεσης ελιγμών και να εξασφαλίζεται η ευστάθεια της πορείας. Για να επιτύχει τις παραπάνω ιδανικές συνθήκες πέδησης, το σύστημα ABS ελέγχει την πίεση των υγρών των φρένων. Ο έλεγχος της πίεσης των υγρών των φρένων περιλαμβάνει τρία βασικά στάδια λειτουργίας του συστήματος:

- 1) Την αύξηση της πίεσης.
- 2) Την συγκράτηση της πίεσης σε σταθερή τιμή.
- 3) Την μείωση της πίεσης.

Η αρχική αύξηση της πίεσης προέρχεται από τη δύναμη που ασκεί ο οδηγός στο πεντάλ του φρένου. Στη συνέχεια η συγκράτηση, η μείωση και η αύξηση πάλι της πίεσης γίνεται από το ίδιο το σύστημα. Με τον τρόπο αυτό, το μπλοκάρισμα των τροχών καθίσταται αδύνατο ενώ η πέδηση πραγματοποιείται στο σημείο της μέγιστης δυνατής τριβής, επιτυγχάνοντας το βέλτιστο δυνατό φρενάρισμα του οχήματος. Σημειώνεται ότι τα οχήματα που διαθέτουν ABS, ακριβώς εξαιτίας του γεγονότος ότι οι τροχοί δεν μπλοκάρουν δεν δημιουργούν ίχνη πέδησης των ελαστικών στο οδόστρωμα.

Στα κύρια εξαρτήματα του ABS μπορεί κάποιος να διακρίνει τα εξής στοιχεία:

- § Τους αισθητήρες στροφών.
- § Την ECU του ABS
- § Την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα

Οι αισθητήρες στροφών των τροχών ανιχνεύουν την ταχύτητα περιστροφής καθενός τροχού και παράγουν σήματα εξόδου. Τα σήματα αυτά πληροφορούν την ECU για την ολίσθηση ή μη των τροχών. Ο αισθητήρας στροφών είναι αισθητήρας επαγωγικού τύπου. Αποτελείται από ένα πηνίο τυλιγμένο γύρω από έναν μόνιμο μαγνήτη. Μπροστά από τον αισθητήρα περιστρέφεται ένας οδοντωτός τροχός. Κατά την περιστροφή του οδοντωτού τροχού μπροστά από τον αισθητήρα παράγεται μία εναλλασσόμενη τάση. Η συχνότητα της παραγόμενης τάσης είναι ανάλογη με την περιστροφή του τροχού. Το σήμα της παραγόμενης τάσης πληροφορεί την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου για την περιστροφή τροχών. Ο οδοντωτός τροχός τοποθετείται στο ημιαξόνιο του τροχού, στην πλήμνη, στο διαφορικό ή στον κεντρικό άξονα. Ο αισθητήρας στροφών τοποθετείται σε σταθερή θέση, σε απόσταση 1 - 1,5 mm από τον οδοντωτό τροχό.

Ένα άλλο εξάρτημα είναι η ECU του ABS. Η ECU αξιοποιώντας τα σήματα από τους αισθητήρες στροφών των τροχών, στέλνει σήματα λειτουργίας προς την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα του ABS, για τον έλεγχο της πίεσης των υγρών που εφαρμόζεται στον μικρό κύλινδρο του φρένου κάθε τροχού, ώστε να αποτραπεί το μπλοκάρισμά του. Επομένως η ECU είναι ένας μικρός ηλεκτρονικός υπολογιστής, που δέχεται από τους αισθητήρες των στροφών τα ηλεκτρικά σήματα τα οποία είναι ανάλογα προς την ταχύτητα των τροχών και αναφέρονται στην επιτάχυνση, την επιβράδυνση και την ολίσθηση. Με βάση τα σήματα που δέχεται η ECU υπολογίζει την ταχύτητα επιβράδυνσης των τροχών και δίνει εντολή στην ηλεκτροϋδραυλική μονάδα και τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες του συστήματος για τη μείωση, τη συγκράτηση ή την αύξηση της πίεσης του κυκλώματος. Συνήθως δυο ξεχωριστά ηλεκτρονικά κυκλώματα στην ECU εξασφαλίζουν την ομαλή λειτουργία του συστήματος. Ένα σύστημα αυτοδιάγνωσης, ανάλογο με αυτό που υπάρχει στα ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού, ελέγχει την κατάσταση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, καθώς και των καλωδιώσεων. Εάν υπάρχει κάποιο πρόβλημα στο σύστημα, τότε ανάβει η αντίστοιχη

ενδεικτική λυχνία που υπάρχει στον πίνακα των οργάνων. Έτσι, ενημερώνεται ο οδηγός ότι υπάρχει βλάβη στο σύστημα και πρέπει να το ελέγξει στο ειδικό συνεργείο. Το ίδιο το σύστημα μπορεί να τεθεί εκτός λειτουργίας, εάν υπάρχει σοβαρό πρόβλημα. Όταν υπάρχει κάποια δυσλειτουργία και έχει ανιχνευθεί κάποια βλάβη, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του ABS διακόπτει την τάση τροφοδοσίας του ηλεκτρονόμου (ρελέ) που τροφοδοτεί την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα. Τότε το σύστημα ABS δεν λειτουργεί και το σύστημα πέδησης λειτουργεί όπως ένα συμβατικό σύστημα. Η ECU του συστήματος ABS μπορεί να είναι τοποθετημένη στον χώρο του κινητήρα, στο εσωτερικό του χώρου των επιβατών ή να είναι ενσωματωμένη μαζί με την ηλεκτροϋδραυλική μονάδα.

Η ηλεκτροϋδραυλική μονάδα του ABS αναλαμβάνει τον έλεγχο της πίεσης των υγρών που εφαρμόζεται στα κυλινδράκια των 4 τροχών. Η ηλεκτροϋδραυλική μονάδα είναι αυτή που ενεργοποιείται από το σύστημα και περιλαμβάνει:

- 1) Τον ηλεκτροκινητήρα και την αντλία, που διοχετεύουν το υγρό των φρένων, το οποίο αφαιρέθηκε κατά τη μείωση της πίεσης από το κυλινδράκι του τροχού, πάλι πίσω στο αντίστοιχο κύκλωμα των φρένων.
- 2) Τον συσσωρευτή της πίεσης του κυκλώματος, που διατηρεί την πίεση του συστήματος σταθερή
- 3) Τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, για τη ρύθμιση της πίεσης του κυκλώματος
- 4) Τον αποσβεστήρα παλμών: Με τη λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων παρουσιάζεται αυξομείωση της πίεσης των υγρών των φρένων. Αυτό δημιουργεί παλμικές κινήσεις στο σύστημα, οι οποίες φθάνουν μέχρι το πεντάλ φρένων του οδηγού. Οι παλμικές αυτές κινήσεις αποσβεννύονται από τον αποσβεστήρα παλμών που υπάρχει στην διάταξη της ηλεκτροϋδραυλικής μονάδας.
- 5) Τους ποικίλους ηλεκτρονόμους (ρελέ), όπως το ρελέ της αντλίας, το ρελέ λειτουργίας έκτακτης ανάγκης κτλ.

Ο ρόλος της ηλεκτροϋδραυλικής μονάδας φαίνεται να είναι απλός, όμως η ECU έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες σε τέσσερις καταστάσεις:

- 1) Αύξηση της πίεσης: Στην πρώτη κατάσταση επιλογής γίνεται απευθείας σύνδεση της κεντρικής αντλίας των φρένων με το κυλινδράκι ενεργοποίησης του φρένου του τροχού. Η πίεση των υγρών των φρένων που εξασκείται από την κεντρική αντλία των φρένων φτάνει στο κυλινδράκι και επομένως, με την πίεση των πεντάλ του φρένου από τον οδηγό αυξάνει.
- 2) Μείωση της πίεσης: Στη δεύτερη κατάσταση επιλογής, όταν ο τροχός μπλοκάρει γίνεται μείωση της πίεσης, κλείνει η μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και ανοίγει η άλλη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Έτσι απομονώνεται η γραμμή που συνδέει με την κεντρική γραμμή των φρένων και συνδέεται το κυλινδράκι των φρένων του τροχού με την γραμμή επιστροφής των υγρών των φρένων, οπότε η πίεση των υγρών στο κυλινδράκι του φρένου μειώνεται. Σε αυτή τη θέση επιλογής η ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες διαρρέονται από ρεύμα και λειτουργεί η αντλία.
- 3) Σταθεροποίηση της πίεσης: Στην τρίτη κατάσταση επιλογής, όταν σταματήσει η ολίσθηση του τροχού, γίνεται σταθεροποίηση της πίεσης. Ανοίγει η μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και κλείνει η άλλη. Έτσι, απομονώνεται το κυλινδράκι του φρένου του τροχού και από τη γραμμή που συνδέει με την κεντρική αντλία των φρένων και από την γραμμή επιστροφής των υγρών των φρένων, με αποτέλεσμα η πίεση των υγρών στο κυλινδράκι των φρένων να παραμείνει σταθερή. Σε αυτή τη θέση επιλογής η

πρώτη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα διαρρέεται από ρεύμα και κλείνει, ενώ η άλλη δεν διαρρέεται από ρεύμα, παραμένει κλειστή και λειτουργεί η αντλία

- 4) Αύξηση της πίεσης: Στην τέταρτη κατάσταση επιλογής το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Γίνεται ξανά απευθείας σύνδεση της κεντρικής αντλίας των φρένων με το κυλινδράκι ενεργοποίησης του φρένου του τροχού. Η πίεση των υγρών των φρένων που εξασκείται στην κεντρική αντλία των φρένων φτάνει στο κυλινδράκι και, επομένως, με την πίεση του πεντάλ του φρένου από τον οδηγό αυξάνει. Σε αυτή τη θέση επιλογής και οι δυο ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες βρίσκονται σε κατάσταση ηρεμίας και δε διαρρέονται από ρεύμα, ενώ η αντλία εξακολουθεί να λειτουργεί.

Μια άλλη εφαρμογή παρόμοια με αυτή του συστήματος ABS είναι το σύστημα ή TCS (Traction Control System – Σύστημα Ελέγχου Πρόσφυσης), όπου και αυτό με την σειρά του είναι ένα μέρος του εξοπλισμού της ενεργητικής ασφάλειας των σύγχρονων αυτοκινήτων. Η λειτουργία του είναι συμπληρωματική με το ABS και έχει ως σκοπό την πρόληψη του σπινάρισματος των τροχών, δηλαδή της απώλειας πρόσφυσης σε τυχόν υπερβολική ταχύτητα ή έντονη επιτάχυνση, υπό συνθήκες μειωμένης πρόσφυσης (βροχή, χιόνι, πάγος). Η λειτουργία του είναι παρεμφερής με αυτή του ABS, δηλαδή, περιλαμβάνει τα ίδια εξαρτήματα με το ABS και έναν επιπλέον αισθητήρα μέτρησης της διαφοράς ταχύτητας μεταξύ των τροχών, τα αποτελέσματα του οποίου ελέγχονται από την ίδια ECU που ελέγχει και το ABS. Η μονάδα αυτή επεξεργάζεται τα σήματα που λαμβάνει από τον επιπρόσθετο αισθητήρα και αν διαπιστώσει ότι η διαφορά ταχύτητας μεταξύ των τροχών υπερβεί κάποιο συγκεκριμένο όριο, τότε ενεργοποιεί το φρένο του συγκεκριμένου τροχού ή και τροχών και τον ή τους επιβραδύνει. Λόγω αυτής της ιδιότητάς του, συχνά αναφέρεται και ως ASR (Anti-Slip Regulation – Ρύθμιση Αντισπινάρισμού / Αντιολίσθησης). Στα σύγχρονα μοντέλα έχει τη δυνατότητα να επέμβει με έναν ή και περισσότερους από τους εξής τρόπους:

- § Προσωρινή αναστολή της ανάφλεξης σε έναν ή και περισσότερους κυλίνδρους,
- § Μείωση της παροχής καυσίμου σε έναν ή και περισσότερους κυλίνδρους,
- § Φρενάρισμα σε έναν ή και περισσότερους τροχούς,
- § Κλείσιμο της πεταλούδας του γκαζιού,
- § Μείωση της ταχύτητας του στροβιλοσυμπιεστή (turbo) σε όσα μοντέλα τον διαθέτουν, ώστε να μειώσει ακόμα περισσότερο την ταχύτητα του οχήματος και να προλάβει τον κίνδυνο προτού η κατάσταση φτάσει σε κρίσιμο σημείο.

Η εξέλιξη και των δύο αυτών συστημάτων (ABS/TCS) είναι το προηγμένο σύστημα Electronic Stability Programme ή Electronic Stability Control (ηλεκτρονικό πρόγραμμα ευστάθειας ή ηλεκτρονικός έλεγχος ευστάθειας), γνωστό συνήθως και ως ESP. Το ESP είναι ένα ηλεκτρονικό σύστημα ενεργητικής ασφάλειας των σύγχρονων αυτοκινήτων, που βελτιώνει την ευστάθειά τους κατά την οδήγηση.

Ιστορικά οι πρώτες μελέτες για την ανάπτυξη ενός συστήματος πλήρους ελέγχου της ευστάθειας των αυτοκινήτων ξεκίνησαν το 1987 από την Mercedes-Benz και η μαζική παραγωγή της εφαρμογής πραγματοποιήθηκε το 1992, σε συνεργασία με την Bosch. Συνολικά, πάνω από 40 μηχανικοί από την Mercedes-Benz και την Bosch εργάστηκαν εντατικά στο συγκεκριμένο project. Τελικά ενσωματώθηκε για πρώτη φορά τον Μάιο του 1995 στην Mercedes S-Class W140 με την ονομασία Elektronisches Stabilitats programm (ESP). Κατά τους πρώτους μήνες, υπήρχε μόνο στα S600, sedan και coupe, ως στάνταρ εξοπλισμός. Τον Σεπτέμβριο του 1995, το ESP έγινε πλέον διαθέσιμο σε όλες τις εκδόσεις και τους κυβισμούς των sedan και coupe, ως προαιρετικός εξοπλισμός.

Σχεδόν αμέσως μετά (τέλη του 1995) η BMW, κατόπιν συνεργασίας με τις Bosch και ITT Automotive εισήγαγε το δικό της πρόγραμμα ενεργητικής ευστάθειας με ονομασία DSC,

Dynamic Stability Control στην BMW Σειρά 7 E38, ενώ και η Toyota εισήγαγε το δικό της αντιστοιχο σύστημα που ονομάστηκε Vehicle Stability Control στο Toyota Crown Majesta.

Η General Motors εξέλιξε ένα αντίστοιχο δικό της σύστημα, σε συνεργασία με την Delphi Corporation και το 1996 και το τοποθέτησε υπό το όνομα «StabiliTrak», στα κορυφαία μοντέλα της Cadillac. Έγινε έτσι η πρώτη αμερικανική αυτοκινητοβιομηχανία που προσέφερε κάτι τέτοιο. Από το 1999, άρχισε να διαδίδεται και στις άλλες εταιρείες του ομίλου και έως το 2007 έγινε στάνταρ εξοπλισμός σε όλα τα SUV και van της General Motors που πωλούνται στις ΗΠΑ και στον Καναδά, εκτός από ορισμένες εκδόσεις για εταιρικές πωλήσεις. Αν και τα περισσότερα μοντέλα της General Motors για την αμερικανική αγορά χρησιμοποιούν το όνομα «StabiliTrak», στις αγορές των άλλων ηπείρων η GM χρησιμοποιεί την ονομασία «Electronic Stability Control», με εξαίρεση το Saab 9-7X, όπου αναφέρεται επίσημα ως «StabiliTrak». Το 2000, και η Ford εισήγαγε τη δική της εκδοχή, υπό το όνομα AdvanceTrac. Γενικότερα, αμέσως μετά την αλλαγή της χιλιετίας το ESP εξαπλώθηκε ραγδαία σε όλες τις αυτοκινητοβιομηχανίες και κατά τη δεκαετία του 2010 είναι πλέον σπάνιο να βρεθεί μοντέλο στην αγορά χωρίς αυτό, έστω ως προαιρετικός εξοπλισμός. Η λειτουργία του αποτελεί μετεξέλιξη των συστημάτων ABS και traction control system (επίσης για τον λόγο αυτό, όλα τα μοντέλα που φέρουν ESP, φέρουν πάντα και ABS και traction control system στον εξοπλισμό τους), και περιλαμβάνει τα ίδια εξαρτήματα με τα δύο αυτά συστήματα. Επιπλέον, διαθέτει έναν μεγάλο αριθμό αισθητήρων που έχουν την ικανότητα να «προβλέπουν» πιθανή απώλεια ελέγχου του οχήματος. Οι επιπρόσθετοι αυτοί αισθητήρες είναι οι εξής:

- § Αισθητήρας γωνίας στροφής τιμονιού
- § Αισθητήρας γωνίας στροφής του οχήματος. Τα στοιχεία συγκρίνονται με αυτά του προηγούμενου αισθητήρα, ώστε να ανιχνευτεί τυχόν απόκλιση μεταξύ της επιθυμητής από τον οδηγό πορείας και της πραγματικής πορείας του αυτοκινήτου,
- § Αισθητήρας ταχύτητας και επιτάχυνσης του αυτοκινήτου,
- § Αισθητήρας ταχύτητας για τον κάθε τροχό του αυτοκινήτου ξεχωριστά,
- § Αισθητήρας πλευρικής και γωνιακής επιτάχυνσης.

Όλοι οι παραπάνω αισθητήρες ελέγχονται πλήρως από μία ECU, η οποία διαρκώς επεξεργάζεται τις πληροφορίες που λαμβάνει και τις συγκρίνει με τις εντολές του οδηγού με ρυθμό 25 φορές / δευτερόλεπτο. Με βάση τον συνδυασμό όλων αυτών των πληροφοριών, μπορεί να αντιληφθεί εγκαίρως αν υπάρχει απόκλιση μεταξύ των εντολών του οδηγού και της πορείας του οχήματος. Αν διαπιστώσει κίνδυνος εκτροπής από την επιθυμητή πορεία, τότε:

- § ενεργοποιεί το φρένο του κατάλληλου τροχού ή τροχών και τον / τους φρενάρει (στην πρωταρχική του μορφή - σε κάποια μεταγενέστερα μοντέλα, η μορφή αυτή αναφερόταν ως Σύστημα Ευστάθειας στις Στροφές / Cornering Stability Control / CSC, σε αντιδιαστολή με το πλήρες ESP και είχε υπό έλεγχο το σύστημα πέδησης κατά την οδήγηση σε στροφές),
- § στα νεότερα μοντέλα μπορεί ακόμα και να μειώσει προσωρινά την ισχύ του κινητήρα, ώστε να σταθεροποιήσει το αυτοκίνητο και να βοηθήσει τον οδηγό να το επαναφέρει στην επιθυμητή πορεία του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

#### 2.1 Ο Μικροελεγκτής

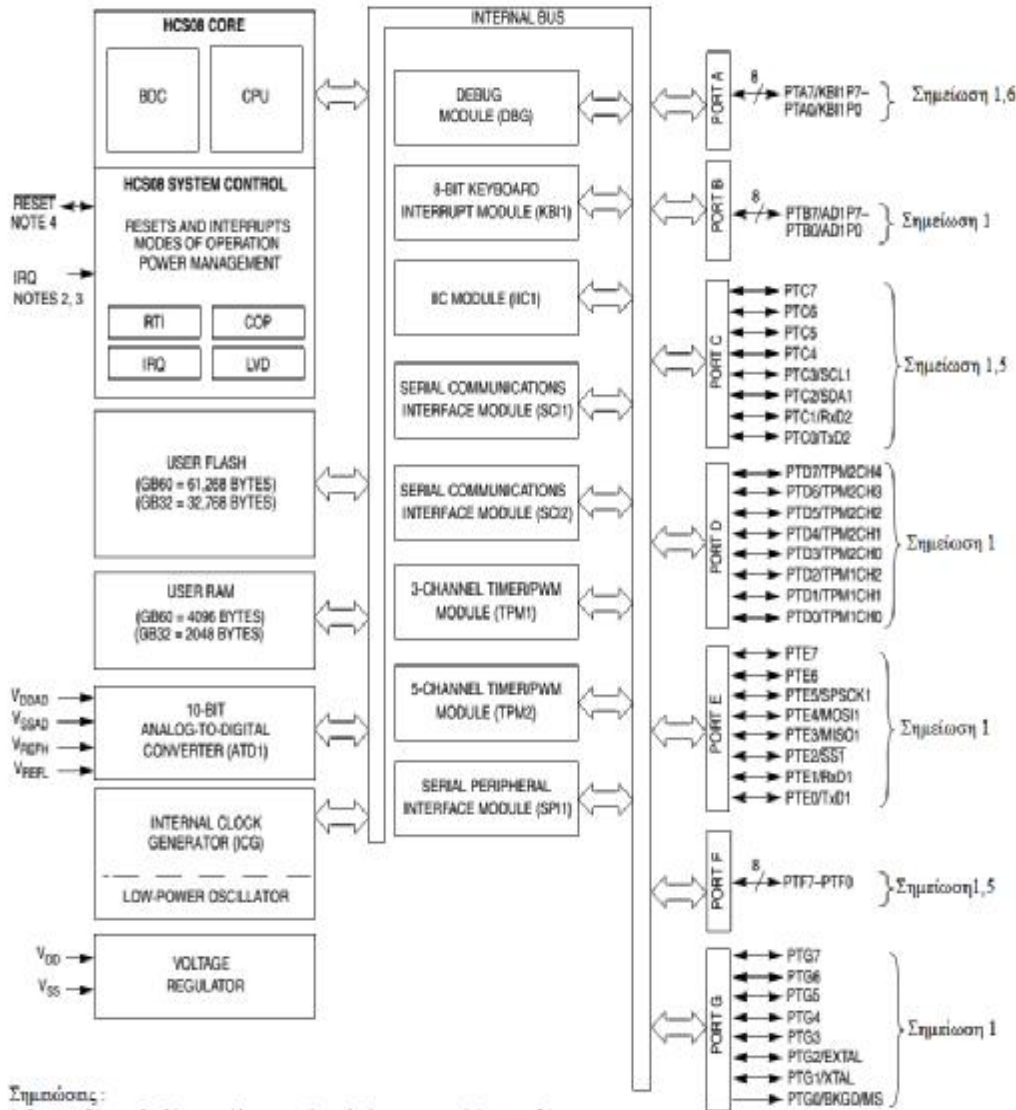
Για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα έπρεπε να επιλεγεί ένας μικροελεγκτής (microcontroller) ο οποίος θα έπρεπε να τηρεί διάφορα χαρακτηριστικά για να είναι λειτουργικός στο σκοπό που θα εξυπηρετούσε. Επιλέχθηκε ο MC9S08GT60 της εταιρίας Freescale. Κάποια από τα χαρακτηριστικά της οικογένειας των συγκεκριμένων μικροελεγκτών είναι ότι διαθέτουν 40 MHz CPU (Central Processing Unit – Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας), έχουν σύστημα εντοπισμού σφαλμάτων και σημείο διακοπής. Δηλαδή έχουν την δυνατότητα να επιτρέπουν μόνο τη ρύθμιση στο σημείο διακοπής κατά τη διάρκεια σε κύκλωμα εντοπισμού σφαλμάτων. Η μονάδα εντοπισμού σφαλμάτων διαθέτει δύο συγκριτές και εννέα τρόπους πυροδότησης. Υποστηρίζουν 8 FIFO (First In-First Out) τεχνικές για την αποθήκευση της αλλαγής των διευθύνσεων ροής. Η CPU υποστηρίζει μέχρι δύο σημεία διακοπής. Επίσης μπορεί να υποστηρίζει 32 πηγές διακοπής και επαναφοράς και διάφορες άλλες λειτουργίες όπως, λειτουργία εξοικονόμησης ενέργειας κλπ. Υπάρχουν επίσης χαρακτηριστικά προστασίας του συστήματος. Ένα από αυτά είναι η επαναφορά (reset) εάν ο μικροελεγκτής δεν λειτουργεί σωστά. Υπάρχει επίσης και ένας ανιχνευτής χαμηλής τάσης όπου ελέγχει και κάνει επαναφορά ή επανεκκίνηση του μικροελεγκτή.

Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής είναι αρκετά χαμηλού κόστους και διαθέτει CPU των 8 bits. Διαθέτει επίσης προγραμματιζόμενη μνήμη (flash memory) με προστασία του μπλόκ και διάφορες άλλες επιλογές ασφάλειας, χωρητικότητας 60KB. Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό είναι ότι διαθέτει μνήμη RAM (Random Access Memory – Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης) με χωρητικότητα 4KB. Διαθέτει δύο κανάλια και χρονικά (timers) των 16 bits. Επιπρόσθετα υποστηρίζει 36 I/Os (Inputs/Outputs – Εισόδους/Εξόδους) και έχει 44 ακροδέκτες (pins) όπως παρουσιάζεται στον πίνακα 2.1.

Device	FLASH	RAM	TPM	I/O	Packages
MC9S08GB60	60K	4K	One 3-channel and one 5-channel, 16-bit timer	58	64 LQFP
MC9S08GB32	32K	2K	One 3-channel and one 5-channel, 16-bit timer	56	64 LQFP
MC9S08GT60	60K	4K	Two 2-channel, 16-bit timers	39	48 QFN <sup>(1)</sup>
				36	44 QFP
				34	42 SDIP
MC9S08GT32	32K	2K	Two 2-channel, 16-bit timers	39	48 QFN <sup>(1)</sup>
				38	44 QFP
				34	42 SDIP
MC9S08GT16	16K	1K	Two 2-channel, 16-bit timers	39	48 QFN <sup>(1)</sup>
				36	44 QFP
				34	42 SDIP

Πίνακας 2.1: Τα χαρακτηριστικά της οικογένειας των μικροελεγκτών MC9S08GT60.

Επιπρόσθετα διαθέτει ενσωματωμένο αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα (A/D converter), ο οποίος μπορεί να υποστηρίξει μέχρι οκτώ κανάλια των 10 bit και έχει την δυνατότητα να δεχθεί μέχρι δύο σειριακές επικοινωνίες. Ακόμα ένα από τα γενικά χαρακτηριστικά του είναι ότι υποστηρίζει πολλαπλές επιλογές στην πηγή ρολογιού του δηλαδή χρησιμοποιεί είτε το εσωτερικό ρολόι που έχει τυπική απόκλιση  $\pm 0.2\%$ , είτε εξωτερικό ρολόι. Στην εικόνα 2.1 ακολουθεί το μπλόκ διάγραμμα της δομής του συγκεκριμένου μικροελεγκτή.

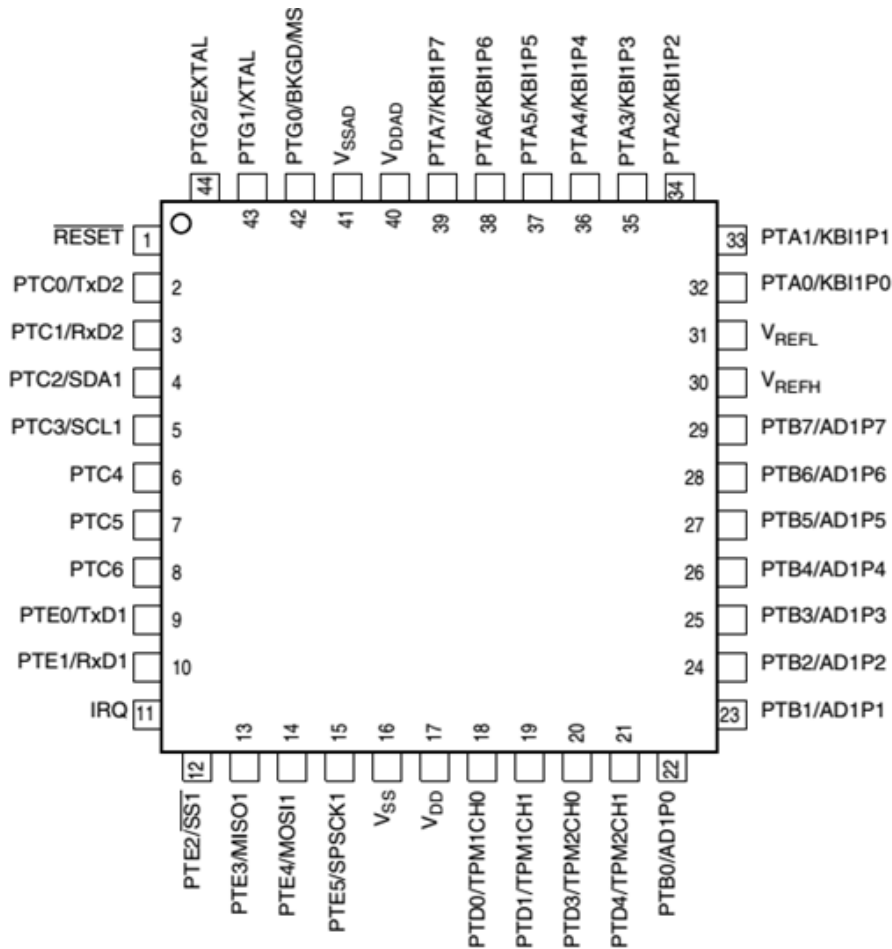


- Σημειώσεις :
1. Οι ακροδέκτες διαθέτουν ρύθμιση pullup εάν έχουν οριστεί ως ακροδέκτες εισόδου.
  2. Οι ακροδέκτες διαθέτουν ρύθμιση pullup / pulldown εάν το IRQ είναι ενεργοποιημένο (IRQPE = 1).
  3. Το IRQ δεν έχει σφαιρική διόδου προς το VDD Άρα το IRQ δεν πρέπει να οδηγείται πάνω από το VDD.
  4. Ο ακροδέκτης περιέχει ενσωματωμένη συσκευή pullup.
  5. Οι ακροδέκτες PTA [7:4] περιέχουν τόσο pullup όσο και pulldown ρύθμιση όταν είναι ενεργοποιημένο το KBI (KBIPE = 1).

**Εικόνα 2.1:** Το μπλόκ διάγραμμα της δομής του μικροελεγκτή MC9S08GT60.

### 2.1.1 Ακροδέκτες και συνδέσεις του μικροελεγκτή

Παρακάτω θα περιγραφούν τα σήματα που συνδέονται με τους ακροδέκτες του επιλεγμένου μικροελεγκτή. Στην εικόνα 2.2 παρουσιάζεται η διάταξη και η ονομασία των 44 ακροδεκτών που διαθέτει ο επιλεγμένος μικροελεγκτής.



**Εικόνα 2.2:** Εξωτερική μορφή του ολοκληρωμένου

Η κύρια τροφοδοσία του μικροελεγκτή γίνεται με τους ακροδέκτες 16 και 17, δηλαδή με τους ακροδέκτες VDD και VSS. Μέσω αυτών των ακροδεκτών παρέχεται τροφοδοσία σε όλα τα κυκλώματα των I/O απομονωτών και σε έναν εσωτερικό ρυθμιστή τάσης. Ο εσωτερικός ρυθμιστής τάσης παρέχει τη σταθεροποιημένη τάση για την τροφοδοσία της CPU και των υπόλοιπων εσωτερικών κυκλωμάτων του μικροελεγκτή. Σε τυπικές εφαρμογές, σε αυτούς τους ακροδέκτες συνδέονται επίσης και δύο διαφορετικοί πυκνωτές. Σε αυτήν την περίπτωση, χρησιμοποιείται ένας ηλεκτρολυτικός πυκνωτής τανταλίου με χωρητικότητα 10 $\mu$ F και ένας κεραμικός πυκνωτής παράκαμψης με χωρητικότητα 0.1 $\mu$ F που θα πρέπει να τοποθετηθεί όσο τον δυνατόν πιο κοντά στον μικροελεγκτή ώστε να καταστείλει τα παράσιτα υψηλής συχνότητας που πιθανόν να υπάρξουν. Οι ακροδέκτες 40 (VDDAD) και 41 (VSSAD) είναι οι ακροδέκτες για την παροχή της τάσης τροφοδοσίας του αναλογικό/ψηφιακό μετατροπέα του μικροελεγκτή. Εκεί θα πρέπει να συνδεθεί επίσης και ένας κεραμικός πυκνωτής παράκαμψης με χωρητικότητα 0.1 $\mu$ F όπου θα πρέπει να τοποθετηθεί όσο το δυνατόν πιο κοντά στον μικροελεγκτή και να καταστείλει τα παράσιτα υψηλής συχνότητας που ίσως δημιουργηθούν.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι εσωτερικά του μικροελεγκτή υπάρχει ένας ταλαντωτής. Ο συγκεκριμένος ταλαντωτής κατά την επαναφορά του μικροελεγκτή δημιουργεί ένα εσωτερικά παραγμένο ρολόι (self-clocked –  $f_{Self\_reset}$ ) που είναι περίπου ισοδύναμο με ένα ρολόι συχνότητας 8 MHz. Αυτή η πηγή συχνότητας χρησιμοποιείται κατά τη διάρκεια της εκκίνησης ή της επαναφοράς και μπορεί να αξιοποιηθεί ως πηγή ρολογιού για την επαναφορά από παύση ώστε να αποφευχθεί μια μεγάλη καθυστέρηση κατά την εκκίνηση. Περιέχει επίσης μια ρυθμιζόμενη εσωτερική μονάδα γένεσης παλμών ρολογιού (ICG – Internal Clock Generator) που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λειτουργία του μικροελεγκτή.



Ο ακροδέκτης RESET του μικροελεγκτή είναι ένας εξειδικευμένος ακροδέκτης με μια ενσωματωμένη pullup συσκευή. Έχει υστέρηση εισόδου, ένα οδηγό υψηλού ρεύματος εξόδου και δεν υποστηρίζει έλεγχο του ρυθμού σάρωσης της εξόδου. Αυτός ο ακροδέκτης συνδέεται συνήθως με την στάνταρτ 6-pin υποδοχή που χρησιμοποιείται για αποσφαλμάτωση ώστε ένα αναπτυξιακό σύστημα να μπορεί να δώσει απευθείας εντολή επαναφοράς στον μικροελεγκτή. Εάν είναι επιθυμητή η χειροκίνητη εξωτερική επαναφορά θα πρέπει να προστεθεί ένας απλός διακόπτης ώστε να συνδέσει τον ακροδέκτη RESET με την γείωση.

Κάθε φορά που αρχικοποιείται μια επαναφορά (είτε από κάποιο εξωτερικό σήμα είτε από κάποιο εσωτερικό σύστημα) ο ακροδέκτης RESET αποκτά χαμηλό δυναμικό για περίπου 34 κύκλους της συχνότητας  $f_{Self\_reset}$ , απελευθερώνεται και δειγματοληπτείται ξανά μετά από περίπου 38 κύκλους της συχνότητας  $f_{Self\_reset}$ . Εάν η επαναφορά προκλήθηκε από μια εσωτερική πηγή όπως η χαμηλής τάσης επαναφορά ή το timeout του watchdog, τα στοιχεία του κυκλώματος αναμένουν ο ακροδέκτης RESET να επιστρέψει σε λογικό 1. Εάν ο ακροδέκτης RESET είναι ακόμα σε χαμηλή τάση τότε υποτίθεται ότι η επαναφορά έχει προέλθει από μια εξωτερική πηγή. Τότε τα στοιχεία του κυκλώματος της επαναφοράς αποκωδικοποιούν την αιτία της επαναφοράς και την καταγράφουν θέτοντας σε λογικό 1 το αντίστοιχο bit του SRS (System control Reset Status register).

Επίσης δεν πρέπει ποτέ να συνδεθεί κάποιο σημαντική χωρητικότητα στον ακροδέκτη RESET επειδή θα επηρέαζε το κύκλωμα και την διαδικασία με την οποία ανιχνεύεται η πηγή της επαναφοράς. Εάν μια εξωτερική χωρητικότητα αποτρέψει τον ακροδέκτη RESET από την μετάβαση στο λογικό 1 πριν το σημείο δειγματοληψίας, τότε σε κάθε περίπτωση θα εμφανίζεται από η επαναφορά προκλήθηκε από κάποιο εξωτερικό αίτιο.

### 2.1.2 Διάφορα mode λειτουργίας

Ο κανονικός τρόπος λειτουργίας του συγκεκριμένου μικροελεγκτή είναι το λεγόμενο run mode. Σε αυτή την περίπτωση η CPU εκτελεί τον κώδικα από την εσωτερική μνήμη με σημείο εκκίνησης την διεύθυνση που είναι αποθηκευμένη στην θέση μνήμης \$FFFF: \$FFFF μετά από την επανεκκίνηση του μικροελεγκτή.

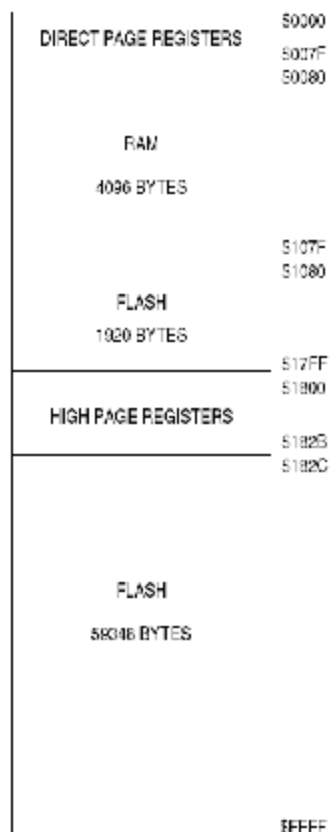
Εκτός από το run mode, ο συγκεκριμένος μικροελεγκτή υποστηρίζει την λειτουργία background mode η οποία χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη κώδικα. Επίσης υποστηρίζεται η λειτουργία wait mode όπου η CPU διακόπτει την λειτουργίας της για εξοικονόμηση ενέργειας ενώ τα ρολόγια συστήματος είναι ενεργοποιημένα και η τάση λειτουργίας παραμένει σε κανονικά επίπεδα. Ακόμη υποστηρίζεται η λειτουργία stop mode η οποία χωρίζεται σε τρεις διαφορετικές περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση που ονομάζεται stop1 σταματά η τροφοδότηση των εσωτερικών κυκλωμάτων του μικροελεγκτή που τροφοδοτούνται από τον ρυθμιστή τάσης. Σε αυτή την περίπτωση ο ρυθμιστής τάσης μπαίνει σε κατάσταση αναμονής με χαμηλή κατανάλωση. Με την λειτουργία stop1 επιτυγχάνεται η μέγιστη εξοικονόμηση ισχύος. Στην περίπτωση που ονομάζεται stop2 διατηρείται τόσο το περιεχόμενο της μνήμης RAM όσο και η κατάσταση των I/O ακροδεκτών. Με την λειτουργία stop2 επιτυγχάνεται πολύ χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Η τελευταία περίπτωση ονομάζεται stop3 όλα τα εσωτερικά κυκλώματα του μικροελεγκτή τροφοδοτούνται με πλήρη ισχύ ώστε να είναι επιφικτή η γρήγορη αποκατάσταση του συστήματος. Σε αυτή την περίπτωση όλα τα σήματα ρολογιού είναι απενεργοποιημένα. Στον πίνακα 2.2 παρουσιάζονται οι διαφορές των τριών περιπτώσεων της λειτουργίας stop mode.

Mode	PDC	PPDC	CPU, Digital Peripherals, FLASH	RAM	ICG	ATD	Regulator	I/O Pins	RTI
Stop1	1	0	Off	Off	Off	Disabled <sup>1</sup>	Off	Reset	Off
Stop2	1	1	Off	Standby	Off	Disabled	Standby	States held	Optionally on
Stop3	0	Don't care	Standby	Standby	Off <sup>2</sup>	Disabled	Standby	States held	Optionally on

**Πίνακας 2.2:** Κατάσταση των μονάδων του μικροελεγκτή κατά την ενεργοποίηση των stop modes.

## 2.2 Χάρτης μνήμης

Όπως φαίνεται την επόμενη εικόνα, η μνήμη του μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από την μνήμη RAM και την μνήμη FLASH για την αποθήκευση των δεδομένων ακόμα και στην περίπτωση που χαθεί η τάση τροφοδοσίας. Επίσης στον χάρτη μνήμης του μικροελεγκτή συμπεριλαμβάνονται οι I/O καταχωρητές και οι control/status καταχωρητές. Οι καταχωρητές χωρίζονται σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα είναι οι καταχωρητές άμεσης σελίδας (\$0000 μέχρι \$007F) βρίσκονται στις πρώτες 128 θέσεις στο χάρτη μνήμης, η δεύτερη ομάδα είναι οι καταχωρητές υψηλής σελίδας (\$1800 μέχρι \$182B) χρησιμοποιούνται πολύ λιγότερο συχνά και έτσι βρίσκονται επάνω από την διεύθυνση \$1800 στο χάρτη μνήμης. Η τρίτη ομάδα είναι οι καταχωρητές που διατηρούν το περιεχόμενο τους ακόμα και μετά από διακοπή της τάσης τροφοδοσίας (\$FFB0 μέχρι \$FFBF). Η συγκεκριμένη περιοχή καταχωρητών αποτελείται από 16 θέσεις στη μνήμη FLASH.



**Εικόνα 2.3:** Ο χάρτης μνήμης του μικροελεγκτή.

### 2.2.1 Μνήμη RAM

Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής περιλαμβάνει στατική μνήμη RAM. Οι θέσεις της μνήμης RAM κάτω από την θέση \$0100 μπορούν να προσεγγιστούν χρησιμοποιώντας τον αποδοτικότερο άμεσο τρόπο διευθυνσιοδότησης, και οποιοδήποτε μεμονωμένο bit σε αυτήν την περιοχή μπορεί να προσπελαστεί με τις εντολές χειρισμού των καταχωρητών (BCLR, BSET, BRCLR, και BRSET). Η μνήμη RAM διατηρεί τα στοιχεία της όταν ο μικροελεγκτής βρίσκεται στην χαμηλής ισχύος κατάσταση αναμονής και τις λειτουργικές καταστάσεις stop2 και stop3. Μετά από μία επανεκκίνηση από το stop1, το περιεχόμενο της μνήμης RAM αρχικοποιείται. Τα στοιχεία της μνήμης RAM είναι απρόσβλητα έπειτα από οποιαδήποτε επανεκκίνηση υπό τον όρο ότι η τάση τροφοδοσίας δεν μειώνεται κάτω από την ελάχιστη τροφοδοσία τάσης για τη διατήρηση της μνήμης RAM. Όταν η διαδικασία ασφάλειας είναι ενεργοποιημένη, η μνήμη RAM θεωρείται ασφαλής πόρος μνήμης και δεν είναι προσιτή μέσω του BDM ή μέσω του κώδικα που εκτελείται από την μη-ασφαλή μνήμη.

### 2.2.2 Μνήμη FLASH

Η μνήμη FLASH προορίζεται πρώτιστα για την αποθήκευση του προγράμματος. Ο προγραμματισμός του κυκλώματος επιτρέπει στο λειτουργικό πρόγραμμα να φορτωθεί στη μνήμη FLASH μετά από την τελική εφαρμογή του. Επειδή καμία ειδική τάση δεν απαιτείται για να σβηστεί η μνήμη FLASH, αυτό είναι δυνατόν να γίνει μόνο μέσω του λογισμικού που ελέγχει την πορεία επικοινωνίας. Το μέγεθος της μνήμης FLASH του μικροελεγκτή είναι 61268 bytes και πιο συγκεκριμένα 120 σελίδες από 512 bytes η κάθε σελίδα. Διαθέτει μια μονή τροφοδοσία προγραμματισμού ή σβησίματος του προγράμματος, όπου έχει την δυνατότητα να μπορεί να γραφτεί ή να επαναπρογραμματιστεί μέχρι 100.000 φορές στην τυπική τάση και θερμοκρασία. Επίσης για προστασία μπορεί να διακόψει την λειτουργία της αυτόματα εάν υπάρξουν χαμηλές συχνότητες. Πριν από οποιοδήποτε πρόγραμματισμό ή σβήσιμο της μνήμης FLASH, ο καταχωρητής της FLASH που είναι υπεύθυνος για την διαίρεση των ρολογιών θα πρέπει να θέσει το εσωτερικό ρολόι της FLASH σε μια συχνότητα (fFCLK) μεταξύ 150 kHz και 200 kHz. Αυτός ο καταχωρητής μπορεί να γραφτεί μόνο μία φορά, κατά την διάρκεια κάθε επανεκκίνησης. Μια περίοδος που προκύπτει στο ρολόι (1/fFCLK) χρησιμοποιείται από τον επεξεργαστή εντολής για τον χρονισμό του προγραμματισμού και των παλμών διαγραφής. Ο ακέραιος αριθμός αυτών των παλμών χρονισμού χρησιμοποιείται από τον επεξεργαστή εντολής για να ολοκληρώσει την διαδικασία προγραμματισμού ή διαγραφής. Στον παρακάτω πίνακα μπορεί να διακρίνει κανείς τους χρόνους που απαιτούνται για τον προγραμματισμό ή το σβήσιμο της μνήμης FLASH.

Parameter	Cycles of FCLK	Time if FCLK = 200 kHz
Byte program	9	45 $\mu$ s
Byte program (burst)	4	20 $\mu$ s <sup>1</sup>
Page erase	4000	20 ms
Mass erase	20,000	100 ms

**Πίνακας 2.3:** Ο χρόνος για τον προγραμματισμό ή το σβήσιμο της μνήμης FLASH

## 2.3 Επαναφορά, διακοπές και διαμόρφωση συστήματος

Στην ενότητα αυτή αναλύονται οι μηχανισμοί επαναφοράς (reset) και διακοπών (interrupt) από διάφορες πηγές του MC9S08GB/GT.

### 2.3.1 Χαρακτηριστικά

- Πολλαπλές πηγές επαναφοράς (reset) για εύκολη διαμόρφωση του συστήματος και αξιόπιστη λειτουργία
  - Ø Ανίχνευση εκκίνησης (POR – Power-On Detection)
  - Ø Ανίχνευση χαμηλής τάσης (LVD – Low Voltage Detection) με ενεργοποίηση
  - Ø Εξωτερική ακίδα  $\overline{RESET}$
  - Ø COP watchdog μετρητής με ενεργοποίηση και δύο επιλογές για περιόδους λήξης
  - Ø Λανθασμένος κωδικός εντολής
  - Ø Σειριακή εντολή από διεργασία αποσφαλμάτωσης που εκτελείται στο παρασκήνιο
- Καταχωρητής κατάστασης επαναφοράς (SRS – Reset Status Register) που υποδεικνύει την πιο πρόσφατη πηγή επαναφοράς (RESET)
- Ξεχωριστά διανύσματα διακοπών για κάθε μονάδα (περιορίζει την καθυστέρηση εξυπηρέτησης των διακοπών λόγω τεχνικής διαλογής (polling))

### 2.3.2 Επαναφορά των MCU

Επαναφέροντας τις μονάδες του μικροελεγκτή (MCUs – microcontroller units) δίνεται η δυνατότητα να ξεκινήσει η λειτουργία του επεξεργαστή με γνωστές αρχικές συνθήκες. Κατά τη διαδικασία της επαναφοράς οι περισσότεροι καταχωρητές ελέγχου και κατάστασης παίρνουν τις αρχικές τιμές τους και ο μετρητής προγράμματος φορτώνεται με το διάνυσμα επαναφοράς (\$FFFE:\$FFFF). Οι περιφερειακές μονάδες του ολοκληρωμένου απενεργοποιούνται και οι ακίδες εισόδου/εξόδου ρυθμίζονται σαν είσοδοι γενικού σκοπού υψηλής αντίστασης με απενεργοποιημένες τις συσκευές ανύψωσης δυναμικού. Το bit I του καταχωρητή κατάστασης κώδικα (CCR – Condition Code Register) ρυθμίζεται να εμποδίζει/αποκλείει τις διακοπές με μάσκα και έτσι το πρόγραμμα του εκάστοτε χρήστη μπορεί να αρχικοποιεί τον δείκτη στοίβας και τις ρυθμίσεις ελέγχου του συστήματος. Ο δείκτης στοίβας αρχικοποιείται στην τιμή \$00FF.

Ο Μικροεπεξεργαστής MC9S08GB/GT διαθέτει επτά πηγές επαναφοράς

- Επαναφορά εκκίνησης (POR – Power-On Reset)
- Ανίχνευση χαμηλής τάσης (LVD – Low-Voltage Detect)
- Χρονικό καλής λειτουργίας του επεξεργαστή (COP – Computer Operating Properly timer)
- Ανίχνευση λανθασμένου κωδικού εντολής
- Επαναφορά από διεργασία αποσφαλμάτωσης
- Ακίδα  $\overline{RESET}$
- Απώλεια κλειδώματος της γεννήτριας ρολογιού και απώλεια επαναφοράς ρολογιού.

Κάθε μία από αυτές τις πηγές, με εξαίρεση την επαναφορά από διεργασία αποσφαλμάτωσης, διαθέτει ένα bit στον καταχωρητή επαναφοράς συστήματος. Κάθε φορά που μια μονάδα του μικροελεγκτή εισάγει ένα αίτημα επαναφοράς, η εσωτερική γεννήτρια ρολογιού (ICG – Internal Clock Generator) αλλάζει σε λειτουργία εσωτερικού ρολογιού με την επιλεγμένη συχνότητα fSelf\_reset. Η ακίδα reset οδηγείται σε χαμηλή στάθμη για 34 εσωτερικούς κύκλους μηχανής με τη συχνότητα των εσωτερικών διαύλων να είναι η μισή της συχνότητας της ICG. Μετά την ολοκλήρωση των 34 κύκλων, η ακίδα ελευθερώνεται και

οδηγείται σε υψηλή στάθμη από εσωτερική αντίσταση pullup ή διατηρείται σε χαμηλό δυναμικό από εξωτερική αιτία. Η ακίδα δειγματοληπτείται ξανά μετά από 38 κύκλους από την ελευθέρωσή της προκειμένου να διαπιστωθεί αν υπάρχει νέο αίτημα επαναφοράς

### 2.3.3 Μονάδα Watchdog ελέγχου ορθής λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή

Η μονάδα COP Watchdog είναι προγραμματισμένη να δημιουργεί ένα αίτημα επαναφοράς του συστήματος σε περίπτωση αδυναμίας εκτέλεσης από το λογισμικό της προγραμματισμένης λειτουργίας του. Για να αποτραπεί μια επαναφορά συστήματος από το χρονικό της COP, το λογισμικό πρέπει να επαναφέρει το χρονικό σε τακτά χρονικά διαστήματα. Αν υπάρξει αποτυχία του λογισμικού και δεν προλάβει να επαναφέρει το χρονικό πριν το τέλος του μετρήματός του, παράγεται ένα reset με σκοπό να επαναφέρει το μικροεπεξεργαστή σε ένα γνωστό σημείο λειτουργίας. Η μονάδα COP Watchdog ενεργοποιείται από το bit COPE του καταχωρητή SOPT. Το χρονικό του COP επαναφέρεται με το γράψιμο οποιαδήποτε τιμής στην διεύθυνση του καταχωρητή SRS. Η εγγραφή αυτή δεν επηρεάζει τα δεδομένα του μόνο-για-ανάγνωση καταχωρητή SRS. Απεναντίας η ενέργεια εγγραφής σε αυτή τη διεύθυνση αποκωδικοποιείται και αποστέλλεται ένα σήμα επαναφοράς στο COP χρονικό.

Μετά από οποιοδήποτε αίτημα επαναφοράς ενεργοποιείται το COP χρονικό. Η ενεργοποίηση αυτή αποτελεί έναν αξιόπιστο τρόπο ανίχνευσης μη σωστής εκτέλεσης κώδικα. Αν το COP χρονικό δεν χρησιμοποιείται σε κάποια εφαρμογή, μπορεί να απενεργοποιηθεί καθαρίζοντας το bit COPE στον μοναδικής εγγραφής καταχωρητή SOPT. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί το bit COPT προκειμένου να επιλεγεί μία από τις δύο περιόδους λήξης (218 ή 213 κύκλοι). Ακόμα και αν η εφαρμογή χρησιμοποιήσει τις αρχικές ρυθμίσεις επαναφοράς των bits COPE ή COPT, ο χρήστης πρέπει να γράψει στον μοναδικής εγγραφής καταχωρητή SOPT κατά τη διάρκεια της αρχικοποίησης της επαναφοράς προκειμένου να "κλειδώσει" τις ρυθμίσεις. Με αυτό τον τρόπο δεν είναι δυνατόν να αλλάξουν κατά λάθος αν η εφαρμογή δεν ολοκληρωθεί. Η ενέργεια εγγραφής στον SRS ο οποίος αρχικοποιεί το COP χρονικό δεν πρέπει να συμβεί κατά τη διάρκεια μιας ρουτίνας εξυπηρέτησης διακοπής (ISR – Interrupt Service Routine) διότι η ρουτίνα θα συνέχιζε την εκτέλεσή της ακόμα και αν η εφαρμογή σταματούσε τη λειτουργία της. Όταν οι MCU εκτελούνται στο παρασκήνιο, το COP χρονικό απενεργοποιείται προσωρινά.

### 2.3.4 Διακοπές

Οι διακοπές παρέχουν έναν τρόπο αποθήκευσης της εκάστοτε παρούσας κατάστασης της CPU και των καταχωρητών ώστε να εκτελεστεί μια ISR. Έπειτα ανακτούν την κατάσταση της CPU για να συνεχιστεί η εκτέλεση του προγράμματος από το σημείο όπου διακόπηκε. Εκτός από τη διακοπή λογισμικού (SWI – SoftWare Interrupt) η οποία είναι εντολή προγράμματος, οι διακοπές προέρχονται από αιτίες που σχετίζονται με το υλικό, όπως ένας παλμός στην ακίδα IRQ ή ένα συμβάν που σχετίζεται με μια υπερχειλίση του χρονικού. Η μονάδα αποσφαλμάτωσης μπορεί επίσης να προκαλέσει μια SWI υπό ορισμένες συνθήκες.

Αν υπάρξει συμβάν διακοπής και ενεργοποιήσει κάποια πηγή διακοπής, η σχετική με τη διακοπή σημαία θα τεθεί σε λογικό 1. Η CPU θα ανταποκριθεί μόνο όταν το τοπικό σήμα ενεργοποίησης των διακοπών τεθεί σε λογικό 1 προκειμένου έτσι να ενεργοποιήσει τη διακοπή. Το bit I στον καταχωρητή CCR είναι στο 0 προκειμένου να επιτρέψει τις διακοπές. Η γενική μάσκα διακοπής (I bit) στον καταχωρητή CCR τίθεται σε λογικό 1 και εμποδίζει όλες τις εμποδιζόμενες πηγές διακοπών. Το εκτελέσιμο πρόγραμμα αρχικοποιεί το δείκτη στοιβας και εκτελεί και άλλες προετοιμασίες στο σύστημα πριν να ορίσει το bit I σε λογικό 0 ώστε να επιτρέπεται στην CPU να ανταποκρίνεται σε διακοπές.

Όταν η CPU λαμβάνει ένα αίτημα διακοπής, ολοκληρώνει πρώτα την εντολή που εκτελεί πριν να ανταποκριθεί στο αίτημα. Η ακολουθία της διακοπής ακολουθεί την ίδια κύκλο-με-κύκλο σειρά όπως μια SWI εντολή και περιλαμβάνει τα παρακάτω

- Αποθήκευση των καταχωρητών της CPU στη στοίβα
- Τίθεται σε 1 το I bit του CCR προκειμένου να εμποδιστούν τυχόν άλλες διακοπές
- Ανάκτηση του διανύσματος της προς εξυπηρέτηση διακοπής με την μεγαλύτερη προτεραιότητα
- Προώθηση στην ουρά εντολών των τριών πρώτων bytes των πληροφοριών του προγράμματος ξεκινώντας από την διεύθυνση που περιέχει το διάνυσμα της διακοπής

Ενώ η CPU ανταποκρίνεται στην διακοπή, το I bit τίθεται αυτόματα σε λογικό 1 προκειμένου να αποφθεχθεί η πιθανότητα μια άλλη διακοπή να διακόψει την εκτέλεση της ISR (η λειτουργία αυτή λέγεται εμφωλευμένες διακοπές). Υπό κανονικές συνθήκες το I bit επαναφέρεται στο 0 όταν ο καταχωρητής CCR επαναφέρεται από την τιμή που είχε αποκτήσει κατά την διακοπή. Σε σπάνιες περιπτώσεις το I bit μπορεί να πάρει την τιμή 0 κατά την εκτέλεση της ISR (μετά από την επαναφορά της σημαίας κατάστασης η οποία προκάλεσε τη διακοπή) έτσι ώστε άλλες διακοπές να μπορούν να εξυπηρετηθούν πριν ολοκληρωθεί η υπό εκτέλεση ISR. Η τεχνική αυτή συνίσταται να χρησιμοποιείται μόνο από έμπειρους προγραμματιστές διότι μπορεί να οδηγήσει σε περίπλοκα λάθη των οποίων η αποσφαλμάτωση δεν είναι καθόλου εύκολη

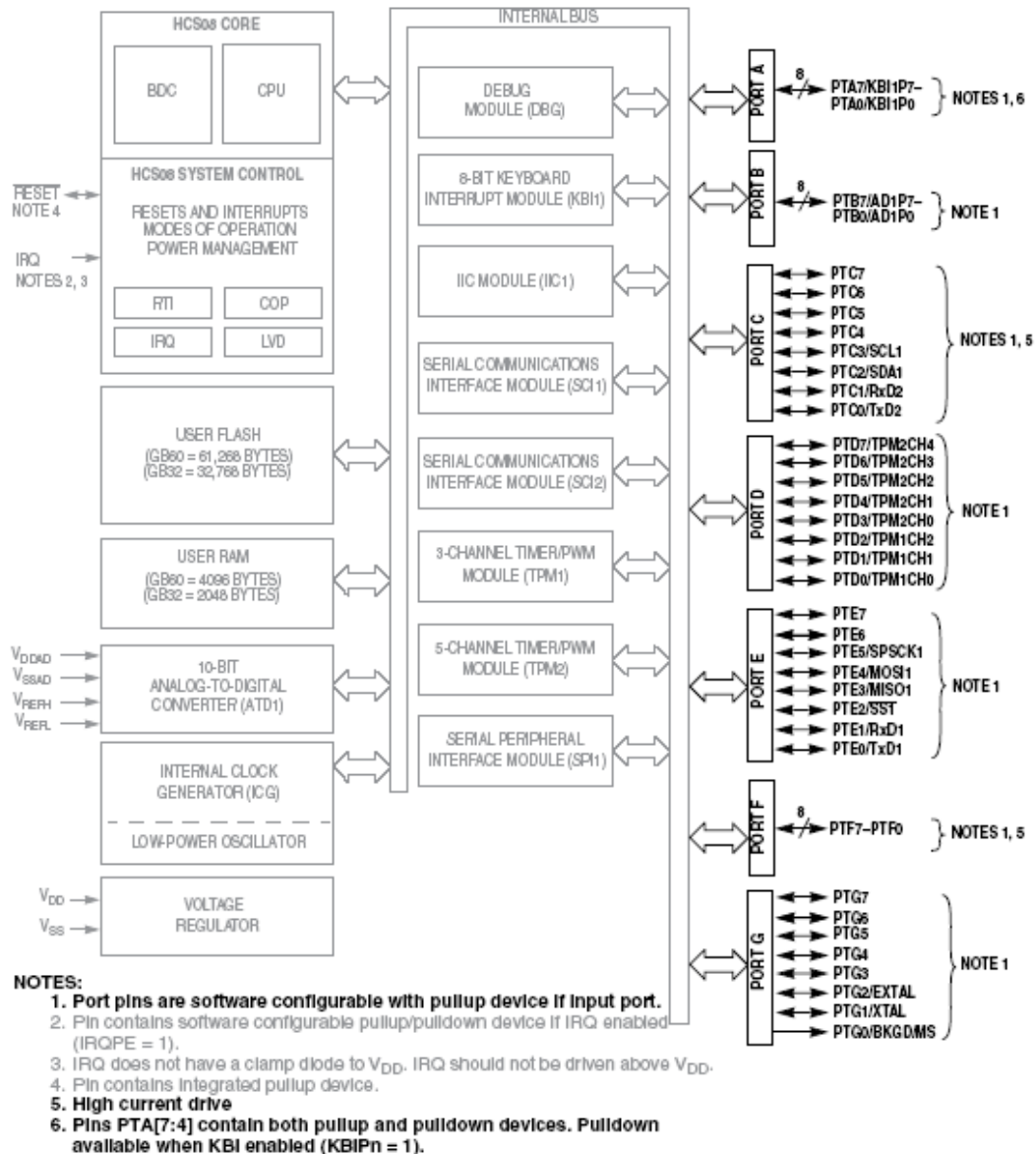
Η ISR ολοκληρώνεται με την εντολή RTI η οποία επαναφέρει τους καταχωρητές CCR, A, X, PC στις τιμές που είχαν πριν την διακοπή διαβάζοντας τις πληροφορίες της στοίβας.

## 2.4 Παράλληλη είσοδος/έξοδος

Το κεφάλαιο αυτό εξηγεί τα σήματα ελέγχου που σχετίζονται με την παράλληλη είσοδο/έξοδο (parallel I/O). Ο επεξεργαστής MC9S08GBxx διαθέτει επτά θύρες εισόδου/εξόδου με συνολικά 56 ακίδες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού (μία από αυτές τις ακίδες είναι μόνο έξοδος). Ο επεξεργαστής MC9S08GTxx διαθέτει έξι θύρες εισόδου/εξόδου με συνολικά 39 ακίδες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού ανάλογα με το είδος του ολοκληρωμένου (μία ακίδα, η PTG0, είναι μόνο έξοδος).

Πολλές από αυτές τις ακίδες ανήκουν σε διάφορα εσωτερικά περιφερειακά του ολοκληρωμένου όπως για παράδειγμα στα συστήματα των χρονικών, εξωτερικά σήματα διακοπών ή σήματα διακοπών από πληκτρολόγιο. Όταν οι μονάδες αυτές δεν ελέγχουν τις εν λόγω ακίδες, αυτές μετατρέπονται σε ακίδες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού. Για κάθε ακίδα εισόδου/εξόδου, ένα bit της θύρας δεδομένων επιτρέπει λειτουργία εγγραφής ή ανάγνωσης, με ένα bit κατεύθυνσης δεδομένων να ελέγχει την λειτουργία, ένα bit ενεργοποίησης ανύψωσης δυναμικού ενεργοποιεί μια εσωτερική συσκευή ανύψωσης και ένα bit ελέγχου του ρυθμού μεταβολής να ελέγχει τους χρόνους ανύψωσης και πτώσης των ακίδων

Σε αυτό το σημείο θα πρέπει να επισημανθεί ότι όλες οι ακίδες εισόδου/εξόδου δεν είναι διαθέσιμες σε όλες τις εκδόσεις των ολοκληρωμένων. Για να αποφθεχθεί επιπλέον κυκλοφορία ρεύματος από αιωρούμενες ακίδες (δηλ ακίδες που δεν είναι συνδεδεμένες) θα πρέπει ο χρήστης μέσω της ρουτίνας επαναφοράς είτε να ενεργοποιηθούν οι εσωτερικές συσκευές ανύψωσης δυναμικού ή να αλλάξει η κατεύθυνση των ασύνδετων ακίδων σε ακίδες εξόδου.



Εικόνα 2.4: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στις ακίδες παράλληλης εισόδου/εξόδου.

### 2.4.1 Χαρακτηριστικά

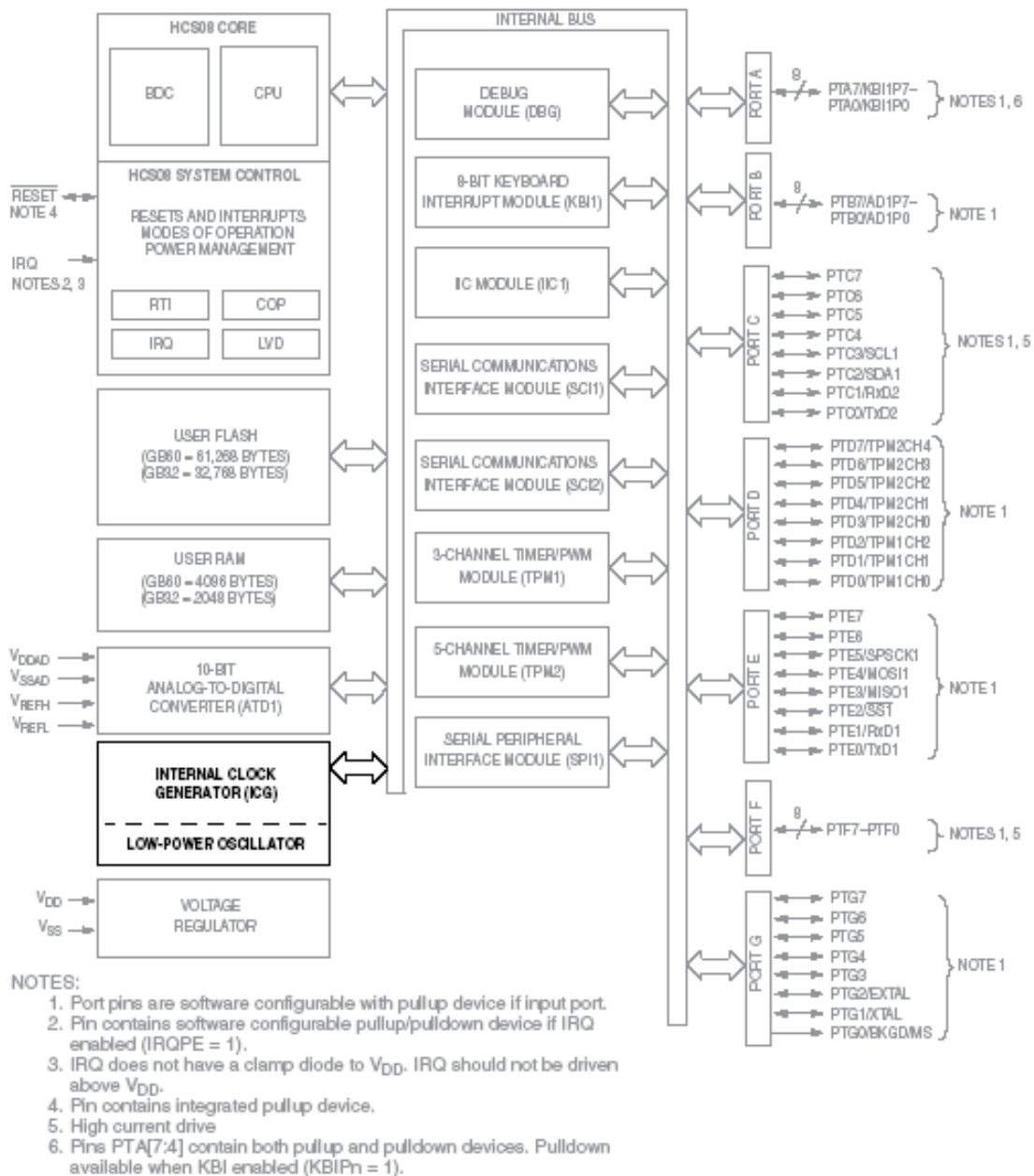
Τα ακόλουθα χαρακτηριστικά εξαρτώνται από το εκάστοτε ολοκληρωμένο

- Συνολικά 56 γενικού σκοπού ακίδες μοιρασμένες σε επτά θύρες (το PTG0 είναι μόνο έξοδος)
- Οδηγοί υψηλού ρεύματος στις θύρες C και F
- Buffers εισόδου με υστέρηση
- Συσκευές ανύψωσης δυναμικού ελεγχόμενες από το λογισμικό για κάθε ακίδα
- Ρυθμιζόμενος ρυθμός μεταβολής των buffers εξόδου από το λογισμικό
- Οκτώ ακίδες της θύρας A που χρησιμοποιούνται και από την μονάδα KBI1
- Οκτώ ακίδες της θύρας B που χρησιμοποιούνται και από την μονάδα ATD1
- Οκτώ ακίδες υψηλού ρεύματος της θύρας C που χρησιμοποιούνται και από τις μονάδες IIC1 και SCI2

- Οκτώ ακίδες της θύρας D που χρησιμοποιούνται και από τις μονάδες TPM1 και TPM2
- Οκτώ ακίδες της θύρας E που χρησιμοποιούνται και από τις μονάδες SCI1 και SPI1
- Οκτώ ακίδες υψηλού ρεύματος της θύρας F
- Οκτώ ακίδες της θύρας G που χρησιμοποιούνται και από τα σήματα EXTAL, XTAL και BKGD/MS

## 2.5 Μονάδα εσωτερικής γεννήτριας ρολογιού

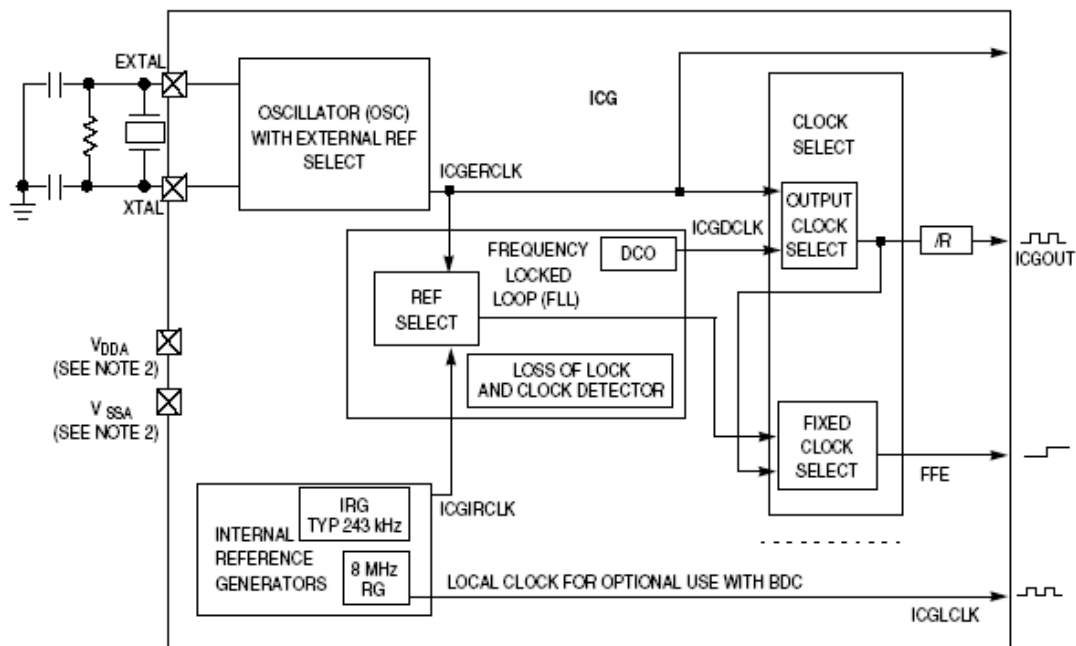
Ο μικροελεγκτής MC9S08GB/GT διαθέτει μια μονάδα εσωτερικής γεννήτριας ρολογιού (ICG – Internal Clock Generator) προκειμένου να παράγει τη συχνότητα επικοινωνίας των διόδων του συστήματος



Εικόνα 2.5: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα εσωτερικής γεννήτριας ρολογιού



Η επόμενη εικόνα είναι ένα διάγραμμα ανωτέρου επιπέδου που δείχνει τη διάταξη της εσωτερικής γεννήτριας ρολογιού.



**Εικόνα 2.6:** Το δομικό διάγραμμα της ICG

Η εσωτερική γεννήτρια ρολογιού (ICG) παρέχει πολλαπλές επιλογές χρονισμού που επιτρέπουν στο χρήστη μεγάλη ευελιξία όσον αφορά το κόστος, την ακρίβεια, την κατανάλωση ρεύματος και την απόδοση. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.6, η ICG αποτελείται από τέσσερις δομικές μονάδες οι οποίες περιγράφονται παρακάτω.

- **Μονάδα του ταλαντωτή:** Παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης εξωτερικού κρυστάλλου ή resonator. Είναι δυνατή η επιλογή μέσω του λογισμικού μεταξύ δύο κλιμάκων συχνοτήτων προκειμένου να επιτευχθεί η πιο κατάλληλη εκκίνηση και η σταθερότητα του συστήματος. Εναλλακτικά η μονάδα του ταλαντωτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει μια εξωτερική τετραγωνική κυματομορφή στο ρολόι του συστήματος.
- **Εσωτερική γεννήτρια αναφοράς:** Η μονάδα αυτή αποτελείται από δύο ελεγχόμενες πηγές ρολογιού. Η μία έχει σχεδιαστεί να δουλεύει στα 8 MHz και μπορεί να επιλέγεται ως τοπικό ρολόι για τον ελεγκτή της αποσφαλμάτωσης στο παρασκήνιο. Η άλλη πηγή είναι 243 kHz και μπορεί μέσω του λογισμικού να ρυθμιστεί για περισσότερη ακρίβεια όταν η MCU δέχεται ως είσοδο ένα ακριβές σήμα χρονισμού. Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται μια φθηνή, μεγάλης ακρίβειας πηγή ρολογιού.
- **Βρόχος κλειδώματος της συχνότητας (FLL – Frequency-Locked Loop):** Η μονάδα αυτή απλά λαμβάνει την εσωτερική ή την εξωτερική πηγή ρολογιού και την πολλαπλασιάζει έτσι ώστε να προκύψει μια μεγαλύτερη συχνότητα. Τα bits κατάστασης παρέχουν πληροφορία σχετικά με το αν το κύκλωμα έχει πετύχει κλείδωμα συχνότητας ή αν έχει αποτύχει. Επιπλέον η μονάδα αυτή μπορεί να επιτηρεί την εξωτερική μονάδα ρολογιού και να ειδοποιεί για τη διαθεσιμότητά της.
- **Μονάδα επιλογής ρολογιού:** Παρέχει πολλαπλές επιλογές διασύνδεσης διαφορετικών πηγών ρολογιού στο σύστημα. Το σήμα ICGDCLK μεταφέρει την πολλαπλασιασμένη συχνότητα από τη μονάδα FLL, το σήμα ICGERCLK είναι η συχνότητα αναφοράς από τον κρυστάλλο ή από την εξωτερική πηγή ρολογιού και το FFE (Fixed Frequency Enable) είναι ένα σήμα ελέγχου που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του ρολογιού της

προκαθορισμένης συχνότητας του συστήματος. Το σήμα ICGCLK είναι η πηγή ρολογιού για τον BDC (Background Debug Controller).

Η εσωτερική γεννήτρια ρολογιού είναι σχεδιασμένη με σκοπό να είναι πολύ φιλική στο χρήστη με τα περισσότερα χαρακτηριστικά να εμφανίζονται αυτόματα χωρίς τη μεσολάβηση του χρήστη.

### 2.5.1 Χαρακτηριστικά

- Πολλές επιλογές για τη βασική πηγή ρολογιού επιτρέπουν μια ευρεία επιλογή κόστους, συχνότητας και ακρίβειας
  - 32 kHz–100 kHz κρύσταλλος ή συντονιστής
  - 1 MHz–16 MHz κρύσταλλος ή συντονιστής
  - Εξωτερικό ρολόι
  - Εσωτερική γεννήτρια αναφοράς
- Προεπιλογή στην λειτουργία αυτό-χρονισμού με σκοπό την ελαχιστοποίηση των καθυστερήσεων κατά το ξεκίνημα
- Η μονάδα FLL παράγει συχνότητες από 8 MHz μέχρι 40 MHz (για ταχύτητες δίαυλων μέχρι 20 MHz) χρησιμοποιώντας ως συχνότητα αναφοράς το εσωτερικό ή το εξωτερικό ρολόι
- Αυτόματη απενεργοποίηση των ανενεργών πηγών ρολογιού
- Επαναφορά ή διακοπή σε περίπτωση απώλειας του ρολογιού ή του κλειδώματος του FLL
- Ο DCO (Digitally-Controlled Oscillator) διατηρεί τις προηγούμενες ρυθμίσεις συχνότητας, επιτρέποντας έτσι το γρήγορο κλείδωμα της συχνότητας κατά την επαναφορά από τη λειτουργία stop3
- Ο DCO διατηρεί τη συχνότητα λειτουργίας κατά τη διάρκεια απώλειας ή αφαίρεσης του ρολογιού αναφοράς
- Ο διαιρέτης του Post-FLL επιλέγει έναν μεταξύ των οκτώ διαιρετών του ρυθμού μετάδοσης των δίαυλων (/1 έως /128)
- Ξεχωριστή αυτό-χρονιζόμενη πηγή για διακοπές πραγματικού χρόνου
- Ρυθμιζόμενη εσωτερική πηγή ρολογιού που υποστηρίζει επικοινωνία SCI χωρίς επιπλέον εξωτερικά εξαρτήματα
- Αυτόματη ενεργοποίηση FLL μετά από κλείδωμα

## 2.6 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (HCS08 CPU)

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας HCS08 είναι απολύτως συμβατή με την κεντρική μονάδα επεξεργασίας του M68HC08. Αρκετές εντολές και βελτιωμένες λειτουργίες διευθυνσιοδότησης έχουν προστεθεί προκειμένου να βελτιωθεί η αποδοτικότητα του C μεταγωγτιστή και να υποστηριχθεί ένα νέο σύστημα αποσφαλμάτωσης το οποίο αντικαθιστά τη λειτουργία οθόνης των προγενέστερων M68HC08 μικροελεγκτών.

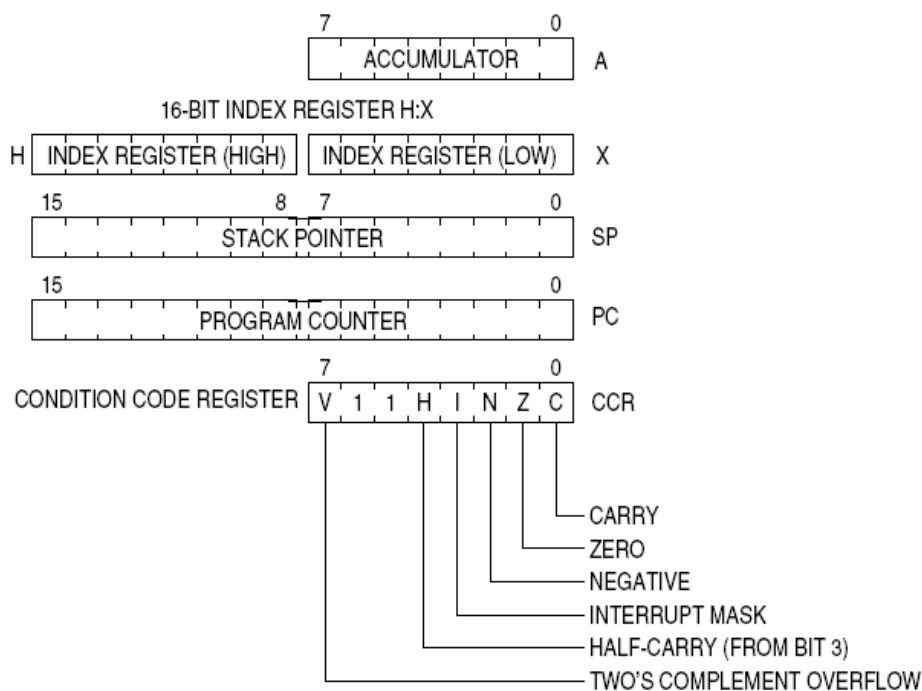
### 2.6.1 Χαρακτηριστικά

- Κώδικας αντικείμενων απολύτως συμβατός με τις οικογένειες M68HC05 και M68HC08
- Όλοι οι καταχωρητές και η μνήμη χαρτογραφούνται σε μία περιοχή μνήμης μεγέθους 64-Kbyte
- Δείκτης στοίβας 16-bit (μπορεί να δείχνει οπουδήποτε στα 64-Kbyte)

- Καταχωρητής ευρετηρίου (H:X – index register) 16-bit με πολύ ισχυρές λειτουργίες διεθυνσιοδότησης
- Συσσωρευτής 8-bit
- Πολλές εντολές μεταχειρίζονται τον καταχωρητή X ως έναν δεύτερο 8-bit καταχωρητή γενικού σκοπού
- Επτά διαφορετικοί τρόποι διεθυνσιοδότησης
  - Ενδογενής: Οι τελεστές στους εσωτερικούς καταχωρητές
  - Σχετικός: Σχηματίζεται η διεύθυνση με 8 bit offset με πρόσημο
  - Έμμεσος: Τελεστής στα bytes του επόμενου κώδικα αντικειμένου
  - Άμεσος: Τελεστής στις διευθύνσεις μνήμης \$0000–\$00FF
  - Εκτεταμένος: Ο τελεστής οπουδήποτε στο χάρτη των 64 Kbyte
  - Με ευρετήριο σχετικό με τον H:X καταχωρητή: Πέντε υπολειτουργίες συμπεριλαμβανόμενης και της αυτό-αύξης
  - Με ευρετήριο σχετικό με τον δείκτη στοίβας (SP): Βελτιώνει δραστικά την αποδοτικότητα της γλώσσας C
- Εντολές μετακίνησης απευθείας από μνήμη σε μνήμη με τη βοήθεια συνδυασμών μεταξύ τεσσάρων διαφορετικών λειτουργιών διεθυνσιοδότησης
- Οι σημαίες υπερχείλισης, μισού κρατούμενου, αρνητικού, μηδενικού και κρατούμενου υποστηρίζουν την υπό συνθήκη διακλάδωση βασιζόμενη στα αποτελέσματα προσημασμένων, μη προσημασμένων και BCD λειτουργιών
- Αποδοτικές εντολές διαχείρισης μεμονωμένων bit
- Ταχείες εντολές πολλαπλασιασμού 8-bit × 8-bit και διαιρέσεις 16-bit ÷ 8-bit
- Εντολές STOP και WAIT για την ενεργοποίηση λειτουργιών χαμηλής ισχύος

## 2.6.2 Το μοντέλο του προγραμματιστή και οι καταχωρητές της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας

Η παρακάτω εικόνα δείχνει τους πέντε καταχωρητές της CPU. Οι καταχωρητές αυτοί δεν συμπεριλαμβάνονται στο χάρτη μνήμης



**Εικόνα 2.7:** Οι καταχωρητές της CPU

### 2.6.3 Ο συσσωρευτής A

Ο συσσωρευτής A είναι ένας καταχωρητής γενικού σκοπού 8 bit. Μία είσοδος της αριθμητικής λογικής μονάδας (ALU – Arithmetic Logic Unit) συνδέεται με το συσσωρευτή και τα αποτελέσματα της ALU συχνά αποθηκεύονται στον συσσωρευτή μετά από αριθμητικές και λογικές εντολές. Ο συσσωρευτής μπορεί να φορτωθεί από τη μνήμη με τη χρήση διάφορων τρόπων διευθυνσιοδότησης προκειμένου να καθοριστεί η διεύθυνση από την οποία προέρχονται τα προς επεξεργασία δεδομένα ή στην οποία αποθηκεύονται τα περιεχόμενά του. Η ενέργεια της επαναφοράς δεν έχει καμία επίπτωση στα περιεχόμενα του συσσωρευτή.

### 2.6.4 Ο καταχωρητής ευρετηρίου (H:X)

Πρόκειται για δύο ξεχωριστούς 8-bit καταχωρητές (H και X) οι οποίοι τις πιο πολλές φορές λειτουργούν ως ένας 16-bit δείκτης διεύθυνσης με τον H να κράτα το περισσότερο σημαντικό byte και τον X το λιγότερο σημαντικό byte της διεύθυνσης. Όλες οι εντολές που καλούνται με ευρετήριο διεύθυνσης χρησιμοποιούν τον 16 bit καταχωρητή H:X, ωστόσο για λόγους συμβατότητας με τους προγενέστερους μικροεπεξεργαστές της οικογένειας M68HC05 μερικές εντολές χρησιμοποιούν μόνο το καταχωρητή X.

Πολλές εντολές αντιμετωπίζουν τον X σαν έναν δεύτερο καταχωρητή γενικού σκοπού 8-bit που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποθηκεύσει δεδομένα. Η τιμή του X μπορεί να καθαριστεί, να αυξηθεί, να μειωθεί, να συμπληρωθεί, να πάρει αρνητική τιμή, να ολισθήσει ή να περιστραφεί. Οι εντολές μεταφοράς δεδομένων επιτρέπουν στα δεδομένα να μεταφερθούν από ή προς τον συσσωρευτή όπου και λαμβάνουν χώρα αριθμητικές και λογικές εντολές. Για λόγους συμβατότητας με προηγούμενους μικροελεγκτές της οικογένειας M68HC05, ο καταχωρητής H λαμβάνει την τιμή \$00 κατά την επαναφορά. Η επαναφορά δεν έχει καμία επίπτωση στα περιεχόμενα του καταχωρητή X.

### 2.6.5 Ο δείκτης στοίβας (SP)

Ο δείκτης στοίβας (SP – Stack Pointer) είναι ένας 16-bit καταχωρητής που δείχνει πάντα την επόμενη διαθέσιμη θέση στη στοίβα λογικής LIFO (last-in-first-out). Η στοίβα μπορεί να είναι τοποθετημένη οπουδήποτε μέσα στον 64-Kbyte χώρο διευθύνσεων της RAM και μπορεί να είναι οποιασδήποτε χωρητικότητας. Η στοίβα χρησιμοποιείται για να αποθηκεύει αυτόματα τη διεύθυνση επαναφοράς κατά την κλήση υπορουτινών, τη διεύθυνση επαναφοράς και τους καταχωρητές της CPU κατά την διάρκεια διακοπών και για τοπικές μεταβλητές. Η εντολή AIS (Add Immediate to Stack pointer) προσθέτει μια προσημασμένη 8-bit τιμή απευθείας στον SP. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για δέσμευση και αποδέσμευση χώρου για τοπικές μεταβλητές στη στοίβα.

Ο SP λαμβάνει την τιμή \$00FF κατά την επαναφορά για λόγους συμβατότητας με προγενέστερους μικροελεγκτές. Τα προγράμματα της HCS08 συνήθως αλλάζουν την τιμή στον SP στη διεύθυνση της τελευταίας θέσης (υψηλότερη διεύθυνση) της on-chip RAM κατά την επαναφορά προκειμένου να ελευθερωθεί ο χώρος της RAM. Η εντολή RSP (Reset Stack Pointer) συμπεριλήφθηκε για συμβατότητα και χρησιμοποιείται σπανιότατα στα προγράμματα της νέας HCS08 μιας και επηρεάζει μόνο το χαμηλότερης σημαντικότητας byte του SP.

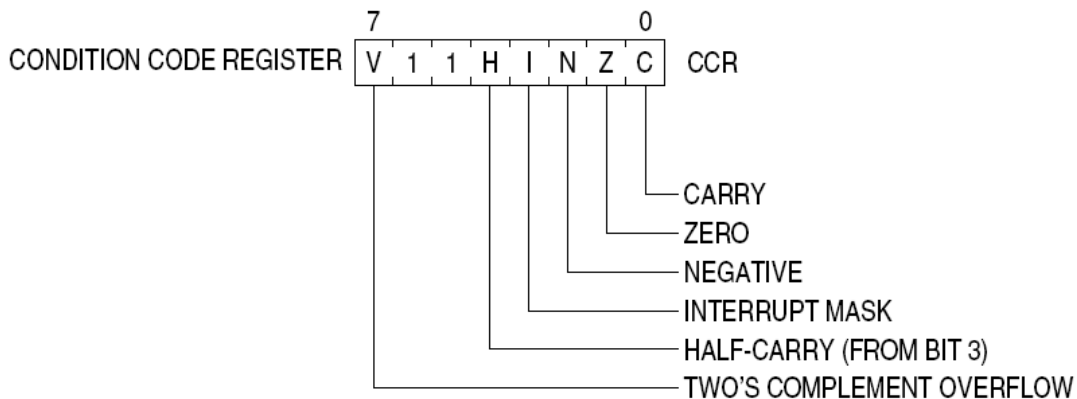
## 2.6.6 Απαριθμητής προγράμματος (PC)

Ο απαριθμητής προγράμματος (PC – Program Counter) είναι ένας καταχωρητής 16-bit που περιέχει τη διεύθυνση της επόμενης προς εκτέλεση εντολής. Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του κανονικού προγράμματος, ο PC αυξάνει το περιεχόμενό του στην επόμενη διεύθυνση θέσης μνήμης κάθε φορά που ανακαλείται μια εντολή ή ένας τελεστής. Λειτουργίες άλματος, διακλάδωσης, διακοπής και επιστροφής φορτώνουν στον PC τη διεύθυνση της επόμενης προς εκτέλεση εντολής. Αυτό καλείται αλλαγή στη ροή.

Κατά την επαναφορά, ο PC φορτώνεται με την εντολή επαναφοράς που είναι αποθηκευμένη στις διευθύνσεις \$FFFE και \$FFFF. Σε αυτές τις θέσεις είναι αποθηκευμένη η διεύθυνση της πρώτης εντολής που θα εκτελεστεί μετά το τέλος της επαναφοράς.

## 2.6.7 Ο καταχωρητής κατάστασης κώδικα (CCR)

Ο 8-bit καταχωρητής κατάστασης κώδικα (CCR – Condition Code Register) περιέχει τη μάσκα διακοπών και πέντε σημαίες που υποδεικνύουν τα αποτελέσματα της εντολής που εκτελέστηκε. Τα Bits 6 και 5 τίθενται μόνιμα στο 1.



Εικόνα 2.8: Ο καταχωρητής κατάστασης κώδικα (CCR)

## 2.7 Μονάδα διακοπών από πληκτρολόγιο (KBI)

Ο MC9S08GB/GT διαθέτει μια μονάδα διακοπών από πληκτρολόγιο (KBI – KeyBoard interrupt) με οκτώ εισόδους διακοπών που ενεργοποιούνται μέσα από τις ακίδες της θύρας A.

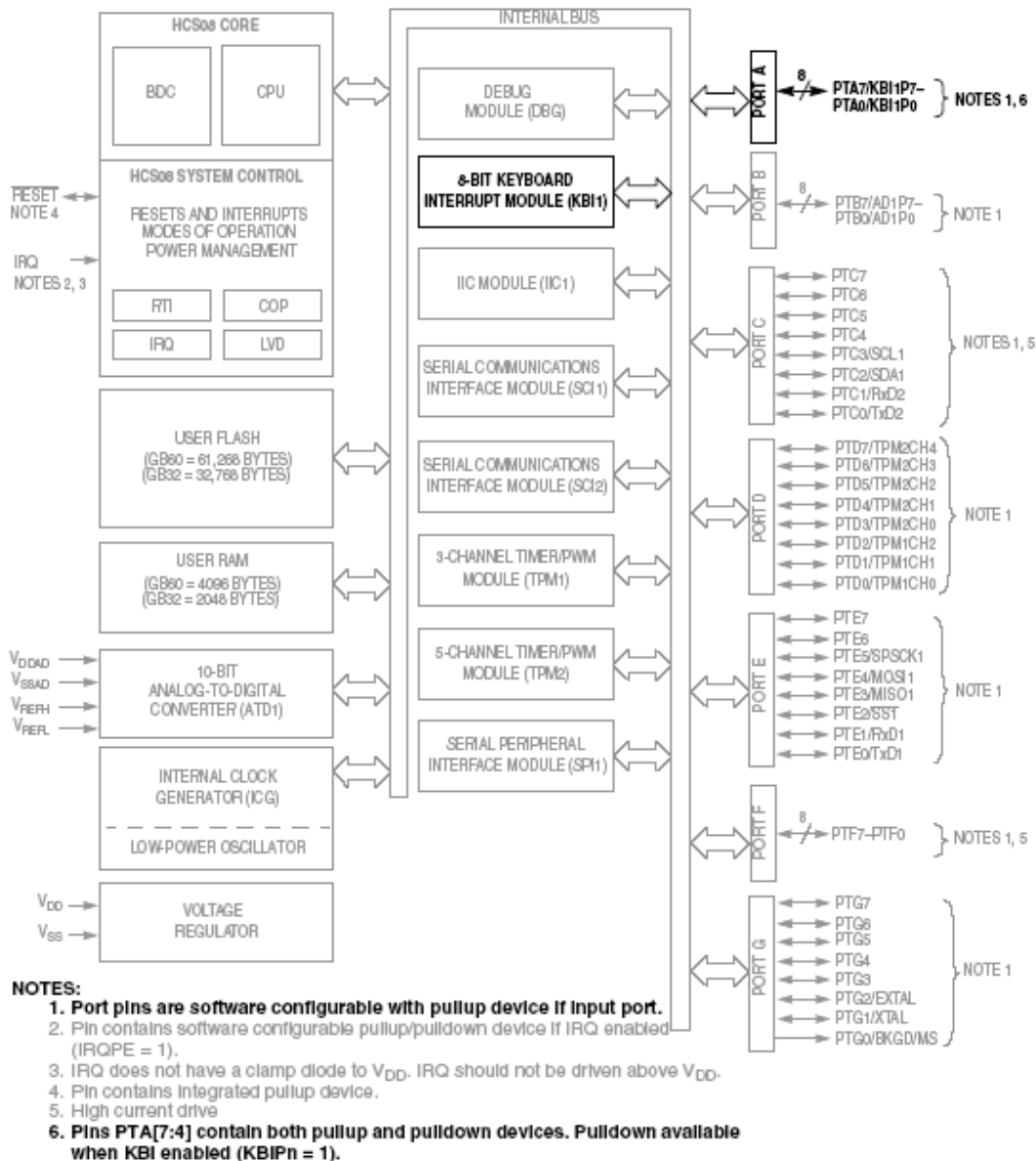
### 2.7.1 Η θύρα A και οι ακίδες διακοπής του πληκτρολογίου

MCU Pin:	PTA7/ KBI1P7	PTA6/ KBI1P6	PTA5/ KBI1P5	PTA4/ KBI1P4	PTA3/ KBI1P3	PTA2/ KBI1P2	PTA1/ KBI1P1	PTA0/ KBI1P0
----------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------	-----------------

Εικόνα 2.9: Τα ονόματα των ακίδων της θύρας A

Η θύρα A αποτελείται από οκτώ ακίδες οι οποίες λειτουργούν είτε ως εισοδοί διακοπών από το πληκτρολόγιο είτε ως γενικού σκοπού I/O. Τα οκτώ KBIPEn bits ελέγχου στον καταχωρητή KBIPE επιτρέπουν την επιλογή οποιουδήποτε συνδυασμού ακίδων της θύρας A ως εισοδοί της KBI. Οι υπόλοιπες ακίδες συμπεριφέρονται ως γενικού σκοπού I/O και ελέγχονται από τους καταχωρητές PTAD (PorT A Data), PTADD (PorT A Data Direction) και PTAPE (PorT A Pullup Enable).

Οι είσοδοι KBI μπορούν να ρυθμιστούν για ευαισθησία μετώπου ή για ευαισθησία μετώπου και στάθμης. Τα bits 3 - 0 είναι λογικής ενεργοποίησης κατερχόμενου μετώπου/χαμηλής στάθμης ενώ τα bits 7 - 4 μπορούν να ρυθμιστούν ως ανερχόμενου μετώπου/υψηλής στάθμης επιπέδου ή ως κατερχόμενου μετώπου/χαμηλής στάθμης. Τα οκτώ PTAPEn bits ελέγχου στον καταχωρητή PTAPE επιτρέπουν στο χρήστη να επιλέξει αν σε κάθε ακίδα της θύρας A αντιστοιχεί μια συσκευή ανύψωσης δυναμικού. Όταν κάποιο από τα bits 7 - 4 ενεργοποιούνται ως έξοδοι KBI και ρυθμίζονται έτσι ώστε να εντοπίζουν ανερχόμενα μέτωπα/υψηλές στάθμες, τα bits ανύψωσης δυναμικού, μειώνουν το δυναμικό των συσκευών αντί να το ανυψώνουν. Μια διακοπή από το πληκτρολόγιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επαναφέρει τον MCU από τη λειτουργία wait ή standby (stop3).



Εικόνα 2.10: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα διακοπών

## 2.7.2 Χαρακτηριστικά

- Διακοπές ηλεκτρολογίου επιλέξιμες και στις οκτώ ακίδες της θύρας A
  - Τέσσερις κατερχόμενου μετώπου/χαμηλής στάθμης
  - Τέσσερις κατερχόμενου μετώπου/χαμηλής στάθμης ή ανερχόμενου μετώπου/υψηλής στάθμης
  - Επιλογή μεταξύ ενεργοποίησης μόνο μετώπου ή μετώπου/στάθμης
  - Κοινές σημαίες διακοπής και έλεγχος ενεργοποίησης λειτουργίας διακοπής
  - Δυνατότητα «ξυπνήματος» του MCU από τη λειτουργία stop3 ή wait

## 2.8 Η μονάδα του χρονιστή/PWM (TPM)

Ο μικροεπεξεργαστής MC9S08GB/GT περιέχει δύο ανεξάρτητες μονάδες TPM (Timer/PWM) οι οποίες εκτελούν συλλογή εισόδου, σύγκριση εξόδου ή ενισχυμένη ακμοπυροδοτούμενη διαμόρφωση εύρους παλμών (PWM – Pulse Width Modulation) σε κάθε κανάλι. Ένα bit ελέγχου σε κάθε μονάδα TPM διαμορφώνει όλα τα κανάλια ώστε να λειτουργούν σύμφωνα με την PWM. Σε κάθε μία από τις μονάδες TPM, οι λειτουργίες χρονισμού βασίζονται σε έναν ξεχωριστό 16-bit μετρητή με προδιαιρέτη και χαρακτηριστικά απαρίθμησης προκειμένου να ελέγξει συχνότητα και εύρος (περιόδους μεταξύ υπερχειλίσσης). Αυτό το σύστημα χρονισμού είναι ιδανικό για μία ευρεία γκάμα εφαρμογών και η δυνατότητα PWM επεκτείνει την γκάμα εφαρμογών στον έλεγχο κινητήρα για μικρές εφαρμογές.

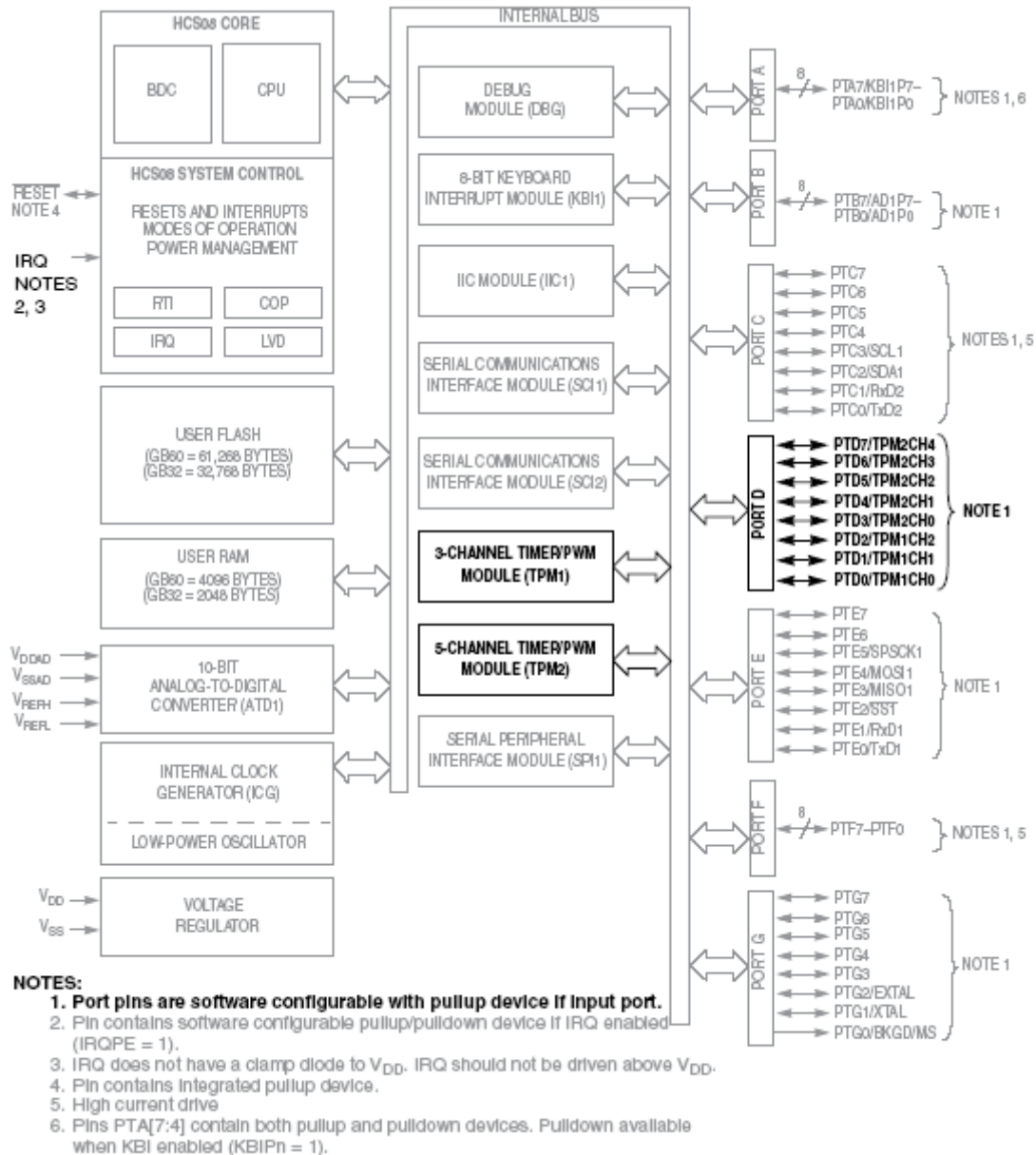
Η χρήση του ρολογιού του συστήματος, XCLK, ως πηγή για τις μονάδες TPM επιτρέπει στον προδιαιρέτη να λειτουργήσει με την μισή ταχύτητα του ταλαντωτή (ICGERCLK/2). Αυτή η επιλογή για το ρολόι πρέπει να επιλέγεται αν η μονάδα ICG λειτουργεί σε κατάσταση FBE ή FEE. Στην κατάσταση FBE, η επιλογή αυτή είναι περιττή διότι η συχνότητα του BUSCLK είναι ίδια με αυτή του XCLK. Στην κατάσταση FEE, πρέπει να δημιουργηθούν οι κατάλληλες προϋποθέσεις έτσι ώστε το XCLK να ισούται με ICGERCLK/2. Επιλέγοντας το XCLK ως πηγή ρολογιού με τη μονάδα ICG να βρίσκεται σε κατάσταση FEI ή SCM θα έχει σαν αποτέλεσμα τη μη λειτουργία του TPM.

### 2.8.1 Χαρακτηριστικά

Το σύστημα χρονισμού του MC9S08GB60 περιλαμβάνει μια τρικάναλη μονάδα TPM1 και μια ξεχωριστή πεντακάναλη μονάδα TPM2. Το σύστημα χρονισμού του MC9S08GB32 περιλαμβάνει δύο δικάναλες μονάδες TPM1 και TPM2. Τα χαρακτηριστικά του χρονικού περιλαμβάνουν:

- Συνολικά οκτώ κανάλια
  - Κάθε κανάλι μπορεί να βρίσκεται σε λειτουργία συλλογής εισόδου, σύγκρισης εξόδου ή PWM
  - Ανερχόμενου μετώπου, κατερχόμενου μετώπου ή ενεργοποίηση ανίχνευσης εισόδου
  - Ενέργεια αρχικοποίησης, καθαρίσματος ή μετάπτωσης της εξόδου
  - Επιλέξιμη πολικότητα στις εξόδους PWM
- Κάθε TPM μπορεί να ρυθμιστεί για λειτουργία CPWM (Center-aligned Pulse Width Modulation) σε όλα τα κανάλια
- Η πηγή ρολογιού στον προδιαιρέτη για κάθε TPM επιλέγεται ανεξάρτητα ως ρολόι διάυλου, ρολόι συστήματος ή ως εξωτερική ακίδα
- Συνδέσεις του προδιαιρέτη για διαίρεση δια 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64 ή 128

- 16-bit λειτουργία ελεύθερης μέτρησης ή αύξουσας/φθίνουσας μέτρησης CPWM
- 16-bit καταχωρητής κατάστασης για έλεγχο του εύρους του απαριθμητή
- Ενεργοποίηση του συστήματος του χρονικού
- Μια διακοπή ανά κανάλι και διακοπή τερματικού μετρητή

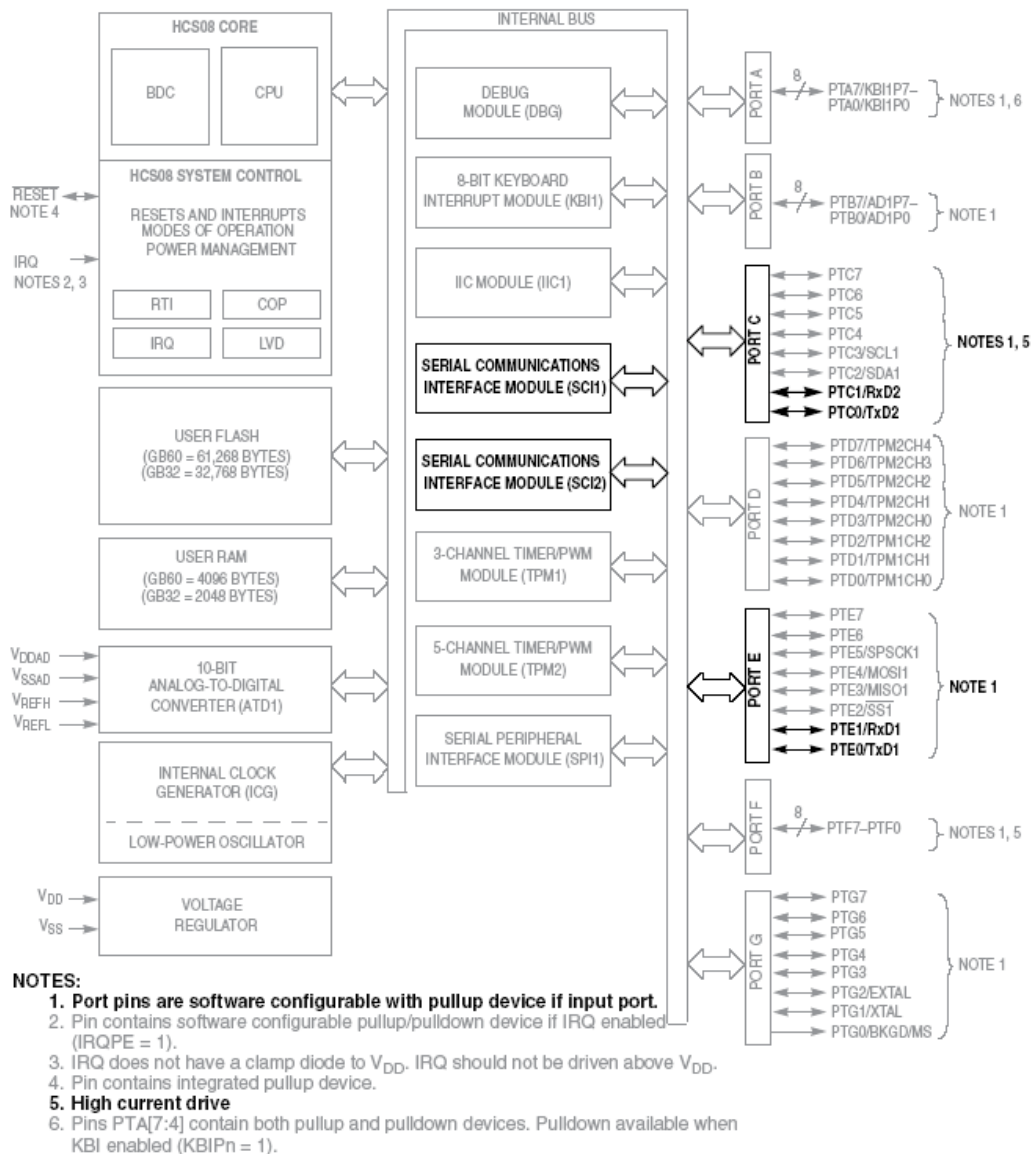


Εικόνα 2.11: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στις μονάδες TPM

## 2.9 Μονάδα Σειριακής Επικοινωνίας (SCI)

Ο μικροεπεξεργαστής MC9S08GB/GT περιλαμβάνει δύο ανεξάρτητες μονάδες σειριακής επικοινωνίας (SCI – Serial Communication Interface) που ονομάζονται και γενικής χρήσης ασύγχρονος δέκτης /πομπός (UART – Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Τυπικά τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για να διασύνδεουν τη σειριακή θύρα εισόδου/εξόδου RS232 ενός υπολογιστή ή ενός σταθμού εργασίας και μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για επικοινωνία με άλλους εσωτερικούς ελεγκτές.





**Εικόνα 2.12:** Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα SCI

Μια προσαρμόσιμη 13-bit γεννήτρια ρυθμού μετάδοσης (baud rate) υποστηρίζει μια ευρεία γκάμα από προκαθορισμένους ρυθμούς μετάδοσης που ξεπερνούν τα 115.2 kbaud. Εκπομπή και λήψη με το ίδιο SCI χρησιμοποιούν κοινό ρυθμό μετάδοσης και κάθε μονάδα SCI έχει ξεχωριστή γεννήτρια ρυθμού μετάδοσης.

Η μονάδα SCI προσφέρει πολλά προχωρημένα χαρακτηριστικά που δεν συναντώνται τόσο εύκολα σε άλλα ασύγχρονα σειριακά I/O περιφερειακά άλλων μικροελεγκτών. Ο δέκτης περιέχει μια προχωρημένη τεχνική δειγματοληψίας που εξασφαλίζει αξιόπιστη επικοινωνία και εντοπισμό θορύβου. Επίσης περιέχει τις παρακάτω λειτουργίες: έλεγχος ισοτιμίας, ενεργοποίηση του δέκτη και διπλή αποθήκευση δεδομένων κατά την εκπομπή ή τη λήψη.

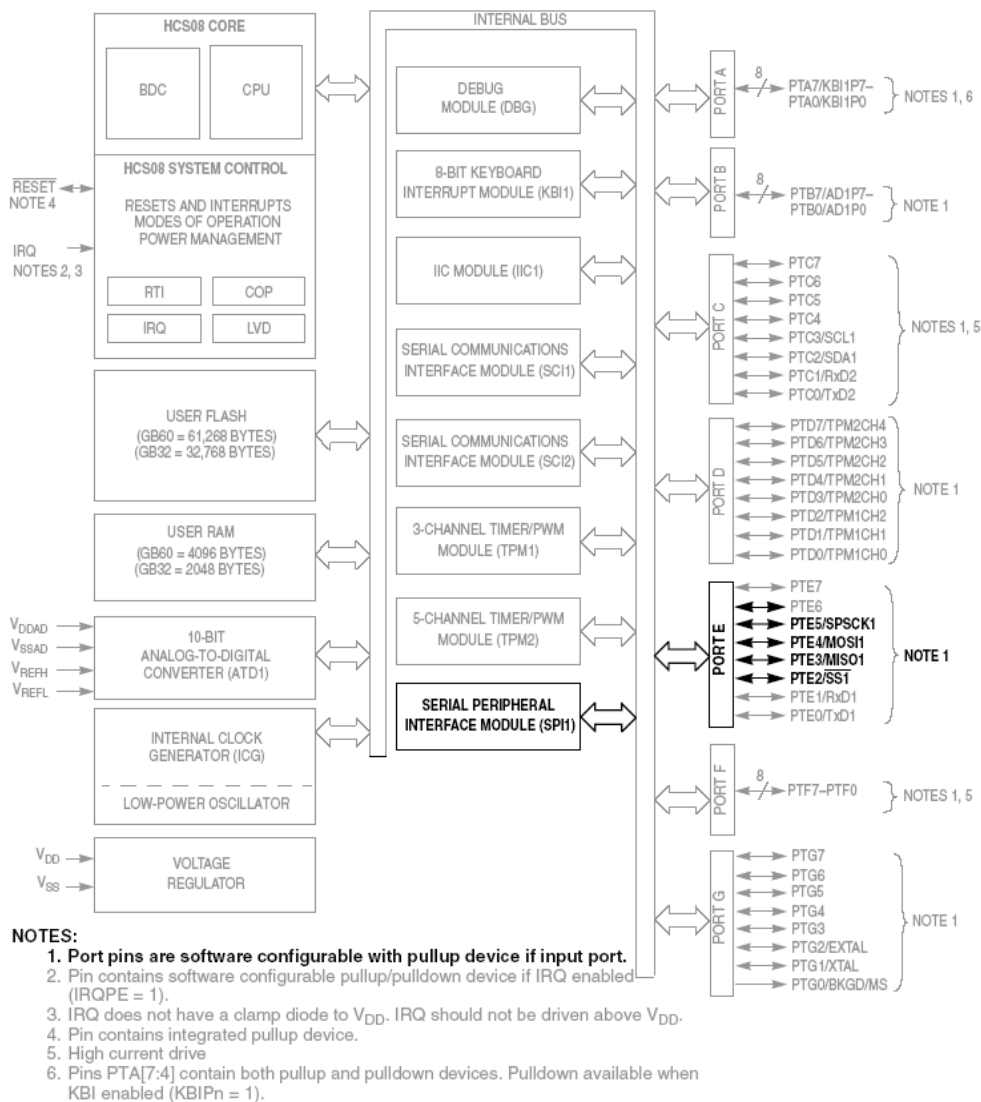
### 2.9.1 Χαρακτηριστικά

- Πλήρως αμφίδρομη NRZ (Non-Return-to-Zero) λειτουργία
- Πομπός και δέκτης με ξεχωριστά σήματα ενεργοποίησης
- Προγραμματιζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης (13-bit διαιρέτης)
- Λειτουργία διακοπών ή τεχνικής polling

- Ο καταχωρητής δεδομένων εκπομπής αδειάζει και ολοκληρώνεται η εκπομπή
- Ο καταχωρητής δεδομένων λήψης γεμίζει
- Υπέρβαση δέκτη, λάθος ισοτιμίας, λάθος πλαίσίων και λάθος θορύβου
- Εντοπισμός ανενεργού δέκτη
- Δημιουργία Hardware ισοτιμίας και έλεγχος
- Προγραμματιζόμενος 8-bit ή 9-bit μήκος χαρακτήρα
- Ενεργοποίηση του δέκτη με ενεργοποίηση γραμμής ή μαρκάρισμα διεύθυνσης

## 2.10 Μονάδα Σειριακής Διασύνδεσης Περιφερειακών Συσκευών (SPI)

Ο μικροεπεξεργαστής MC9S08GB/GT διαθέτει μια μονάδα διασύνδεσης περιφερειακών συσκευών (SPI – Serial Peripheral Interface). Οι τέσσερις ακίδες που εξυπηρετούν αυτή τη μονάδα βρίσκονται στη θύρα E (ακίδες 2-5). Όταν η μονάδα SPI ενεργοποιείται η κατεύθυνση των ακίδων ελέγχεται από τη μονάδα. Αν η μονάδα απενεργοποιηθεί και οι τέσσερις ακίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γενικού σκοπού I/O.



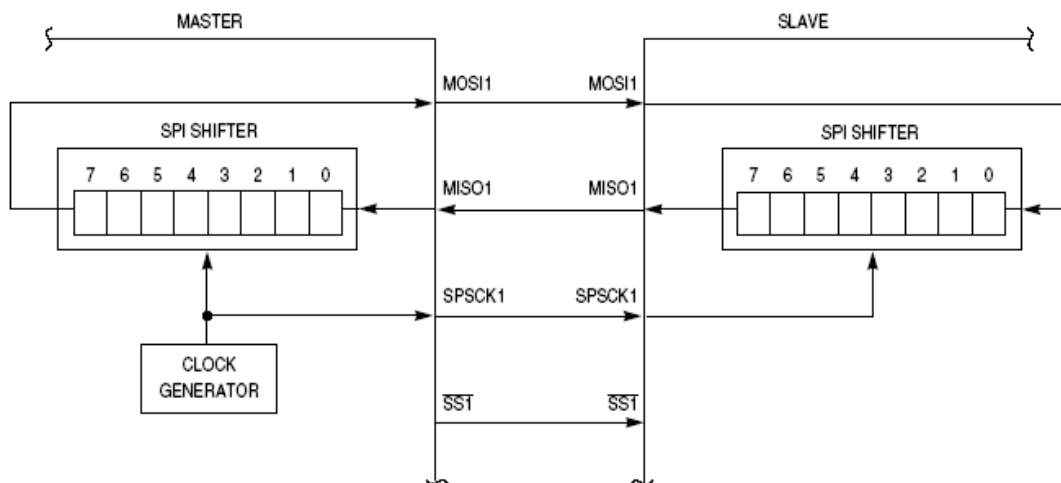
Εικόνα 2.13: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα SPI

### 2.10.1 Χαρακτηριστικά

- Λειτουργία αφέντη/σκλάβου
- Επιλογή για πλήρως αμφίδρομης (Full-duplex) επικοινωνίας ή επικοινωνία και προς τις δύο κατευθύνσεις με μεμονωμένο καλώδιο
- Προγραμματισμός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- Εκπομπή και λήψη με διπλή αποθήκευση δεδομένων
- Επιλογές στην φάση του σειριακού ρολογιού και επιλογές πολικότητας
- Επιλογή εξόδου με λειτουργία σκλάβου
- Επιλογή ολίσθησης του MSB ή του LSB

### 2.10.2 Δομικό διάγραμμα του συστήματος SPI

Η εικόνα 2.14 δείχνει τις μονάδες SPI από δύο MCU οι οποίες είναι συνδεδεμένες σε διάταξη αφέντη-σκλάβου. Η συσκευή αφέντης αρχικοποιεί όλες τις μεταφορές δεδομένων που συμβαίνουν μέσα στην SPI. Κατά τη διάρκεια της μεταφοράς η συσκευή αφέντης προωθεί δεδομένα (στην ακίδα MOSI) προς τη συσκευή σκλάβου ενώ ταυτόχρονα προωθούνται δεδομένα από τη συσκευή σκλάβου (από την ακίδα MISO). Η μεταφορά αυτή ανταλλάσει με αποτελεσματικό τρόπο τα δεδομένα των καταχωρητών ολίσθησης των δύο μονάδων SPI. Το σήμα SPCK1 είναι έξοδος ρολογιού από τη συσκευή αφέντης και είσοδος προς τη συσκευή σκλάβου. Η συσκευή σκλάβου πρέπει να επιλεγθεί με αποστολή σήματος χαμηλής στάθμης στην ακίδα εισόδου SS1 της συσκευής σκλάβου. Σε αυτό το σύστημα η συσκευή αφέντης έχει ρυθμίσει την SS1 ακίδα της σαν προαιρετική έξοδο επιλογής συσκευής σκλάβου.



Εικόνα 2.14: Οι συνδέσεις του συστήματος SPI

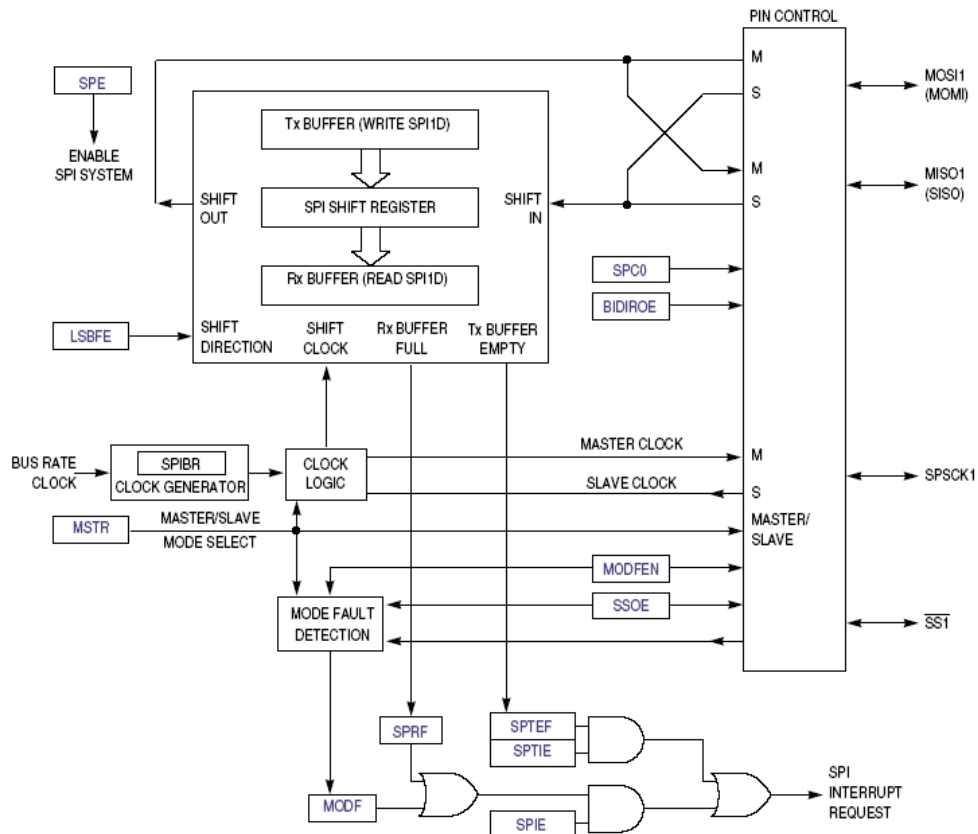
Οι πιο διαδεδομένες χρήσεις του SPI περιλαμβάνουν τη διασύνδεση απλών καταχωρητών ολίσθησης για προσθήκη θυρών εισόδου ή εξόδου ή τη σύνδεση μικρών περιφερειακών συσκευών όπως για παράδειγμα A/D ή D/A μετατροπείς. Αν και η προηγούμενη εικόνα δείχνει ένα σύστημα όπου τα δεδομένα ανταλλάσσονται μεταξύ δύο MCUs, στην πράξη πολλά συστήματα περιλαμβάνουν απλούστερες συνδέσεις όπου τα δεδομένα μεταφέρονται με μια διεύθυνση από την MCU αφέντης σε μια συσκευή σκλάβου ή και το αντίθετο

### 2.10.3 Δομικό διάγραμμα της μονάδας SPI

Η εικόνα 2.15 είναι ένα δομικό διάγραμμα της μονάδας SPI. Το κεντρικό στοιχείο στην μονάδα SPI είναι ο καταχωρητής ολίσθησης. Δεδομένα εγγράφονται στον πομπό (εγγραφή στο SPI1D) και μεταφέρονται στον SPI καταχωρητή ολίσθησης στο ξεκίνημα της μεταφοράς δεδομένων. Μετά την ολίσθηση ενός byte, τα δεδομένα μεταφέρονται στον δέκτη όπου και μπορούν να αναγνωστούν (ανάγνωση από SPI1D). Η λογική πολύπλεξης ακίδων ελέγχει την σύνδεση μεταξύ MCU και SPI.

Όταν το SPI ρυθμίζεται ως συσκευή αφέντη, η έξοδος του ρολογιού οδηγείται στην ακίδα SPCK1, η έξοδος του καταχωρητή ολίσθησης στην ακίδα MOSI και η είσοδος του καταχωρητή ολίσθησης στην ακίδα MISO1. Όταν το SPI ρυθμίζεται ως συσκευή σκλάβου, η ακίδα SPCK1 οδηγείται στην είσοδο του ρολογιού της SPI, η έξοδος του καταχωρητή ολίσθησης στην ακίδα MISO1 και η είσοδος του καταχωρητή ολίσθησης στην ακίδα MOSI1.

Στο εξωτερικό σύστημα SPI απλά ενώνονται όλες οι SPCK μεταξύ τους, όλες οι MISO ακίδες μεταξύ τους και όλες οι MOSI ακίδες μεταξύ τους. Οι περιφερειακές συσκευές συχνά χρησιμοποιούν ελαφρώς διαφοροποιημένες ονομασίες για τις ακίδες.



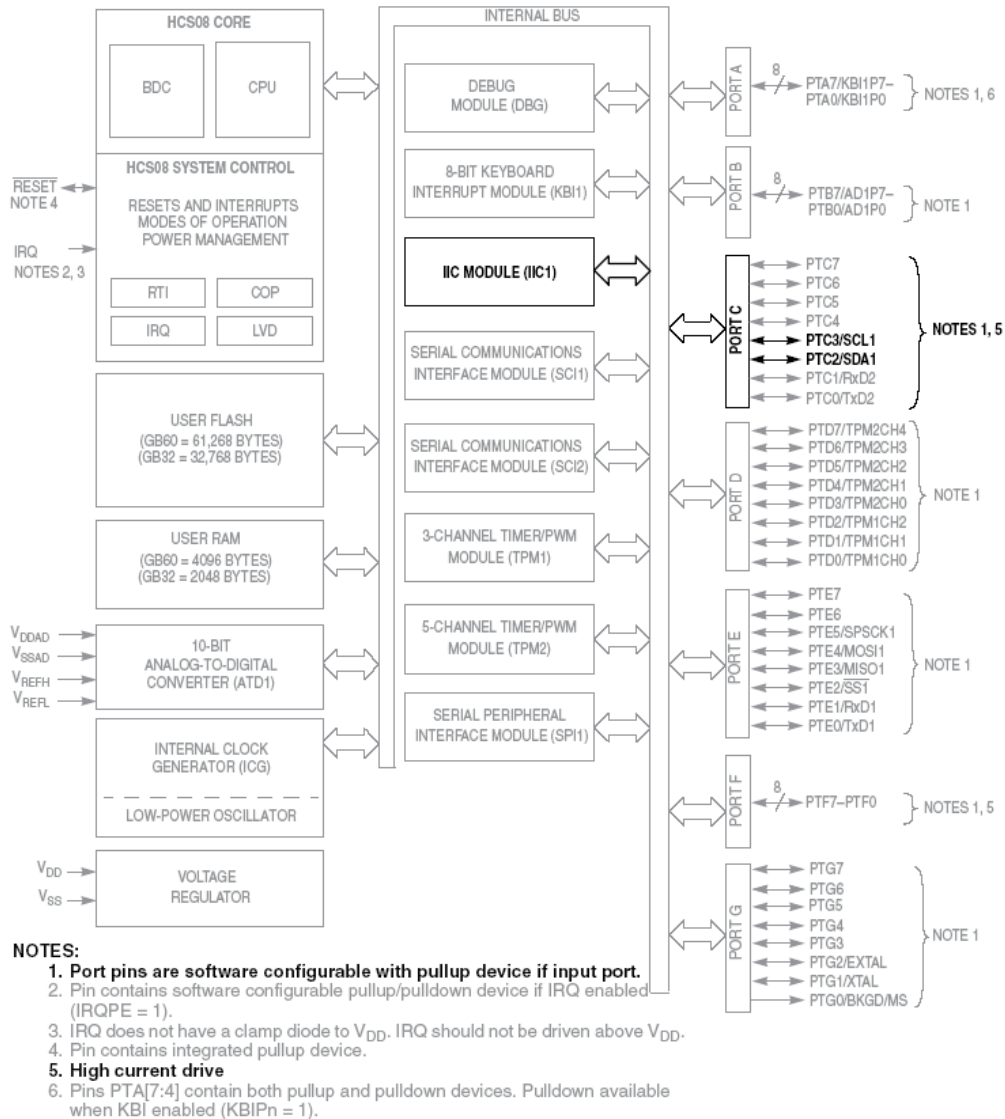
Εικόνα 2.15: Δομικό διάγραμμα της μονάδας SPI

### 2.11 Μονάδα Inter-Integrated Circuit (IIC)

Η σειρά των μικροελεγκτών MC9S08GB/GT διαθέτει μια μονάδα IIC (Inter-Integrated Circuit) για επικοινωνία με τα άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Οι δύο ακίδες που χρησιμοποιεί αυτή η μονάδα είναι οι SDA1 και SCL1 οι οποίες ανήκουν στις ακίδες 2 και 3 αντίστοιχα της θύρας C. Όλες οι λειτουργίες που περιγράφονται παρακάτω είναι διαθέσιμες στο ολοκληρωμένο MC9S08GB/GT. Όταν η μονάδα IIC ενεργοποιείται η διεύθυνση των

ακίδων ελέγχεται από τις ρυθμίσεις της μονάδας. Αν η μονάδα IC είναι απενεργοποιημένη και οι δύο παραπάνω ακίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γενικού I/O.

Η μονάδα IC παρέχει μια μέθοδο επικοινωνίας μεταξύ ενός αριθμού από συσκευές. Η διασύνδεση είναι σχεδιασμένη να λειτουργεί μέχρι τα 100 kbps. Η συσκευή μπορεί να λειτουργεί σε υψηλότερους ρυθμούς baud, με μέγιστο μια τιμή clock/20, με μειωμένη όμως φορτίο στους διαύλους. Το μέγιστο μήκος επικοινωνίας και ο αριθμός των συσκευών που μπορούν να συνδεθούν περιορίζεται από τη μέγιστη χωρητικότητα του διαύλου που είναι 400 pF.



Εικόνα 2.16: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα IC

### 2.11.1 Χαρακτηριστικά

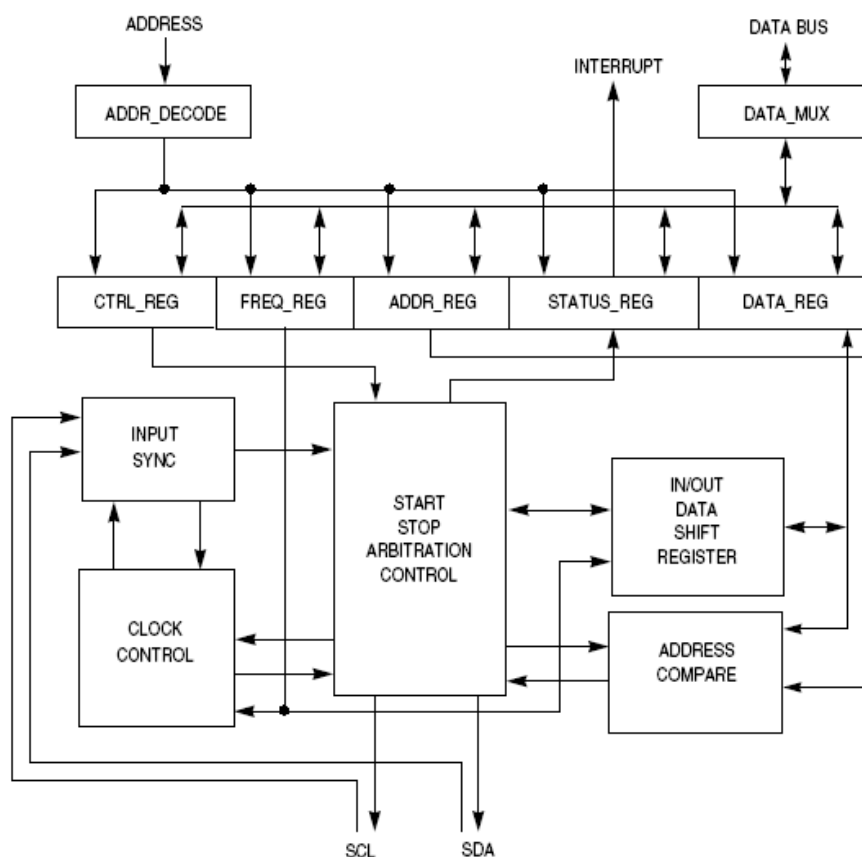
- Συμβατότητα με το πρότυπο διαύλου IC
- Λειτουργία Multi-master
- Προγραμματιζόμενα για κάθε μία από τις 64 συχνότητες του σειριακού ρολογιού
- Προγραμματιζόμενα επιλεγόμενο bit αναγνώρισης (acknowledge bit)
- Μεταφορά δεδομένων ανά byte με δυνατότητα διακοπών

- Διακοπή λόγω απώλειας διατιησίας (arbitration) με αυτόματη εναλλαγή λειτουργίας από συσκευή αφέντη σε συσκευή σκλάβου
- Διακοπή αναγνώρισης εισερχόμενης διεύθυνσης
- Δημιουργία/ανίχνευση σήματος START και STOP
- Επαναλαμβανόμενη παραγωγή σήματος START
- Δημιουργία/ανίχνευση Acknowledge bit
- Ανίχνευση κατηλειμμένου διαύλου

### 2.11.2 Τρόποι Λειτουργίας

Η μονάδα IIC λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο τόσο σε κανονικό τρόπο λειτουργίας όσο και σε τρόπο λειτουργίας monitor. Ακολουθεί μια σύντομη περιγραφή των τρόπων λειτουργίας:

- Τρόπος λειτουργίας run: Πρόκειται για τον βασικό τρόπο λειτουργίας. Για εξοικονόμηση ενέργειας μπορεί να απενεργοποιηθεί εντελώς η μονάδα
- Τρόπος λειτουργίας wait: Η μονάδα θα συνεχίσει να λειτουργεί ακόμα και όσο η MCU είναι σε λειτουργία wait και μπορεί να παρέχει μια διακοπή wake-up
- Τρόπος λειτουργίας stop: Η μονάδα IIC είναι ανενεργή στη λειτουργία stop3 για μειωμένη κατανάλωση ενέργειας. Η εντολή STOP δεν επηρεάζει την κατάσταση του καταχωρητή IIC. Κατά τις λειτουργίες stop1 και stop2 τα περιεχόμενα του καταχωρητή επανέρχονται στην προκαθορισμένη τιμή.

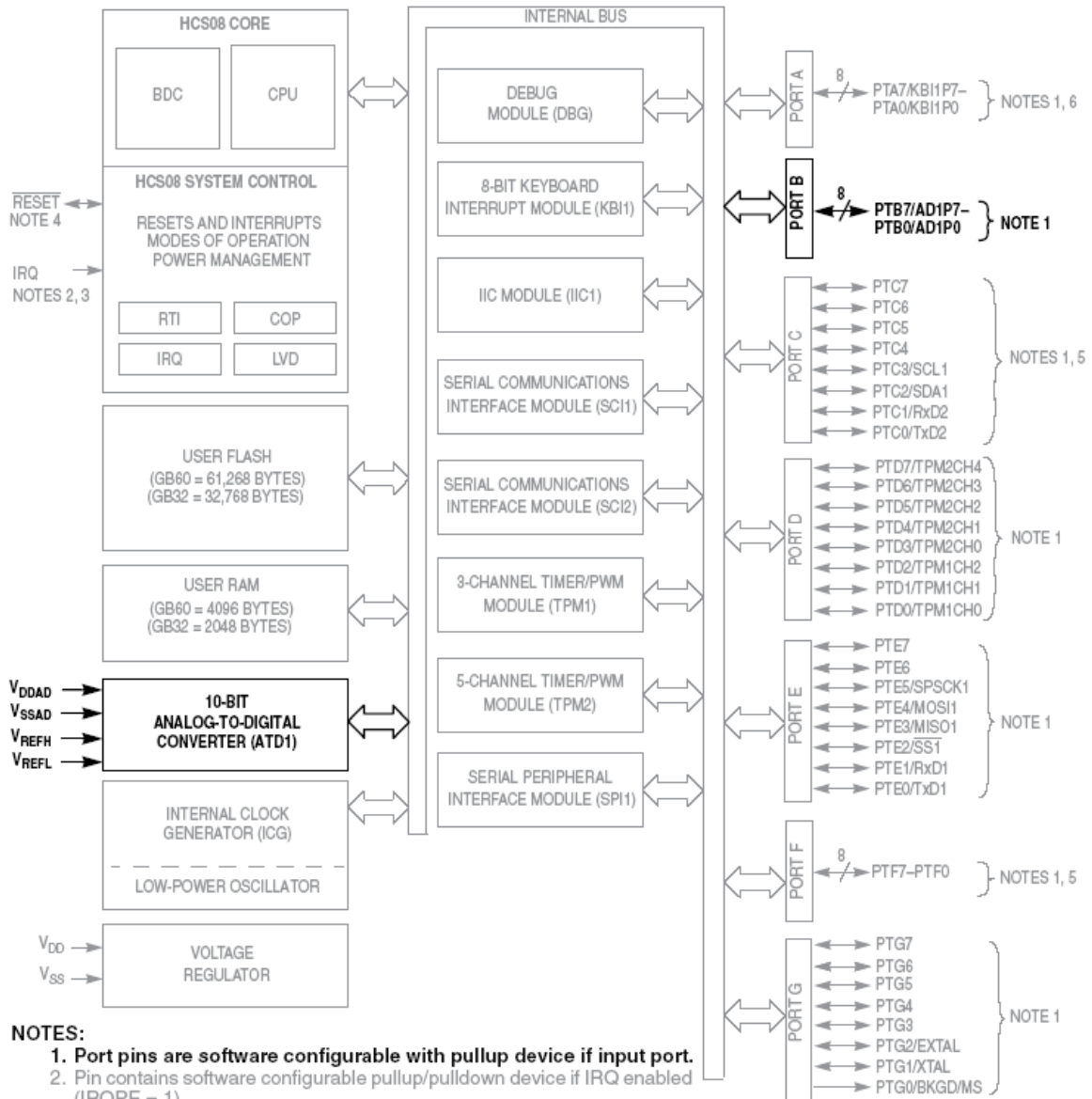


Εικόνα 2.17: Το δομικό διάγραμμα της μονάδας IIC

## 2.12 Μονάδα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ATD)

Ο μικροπεπεξεργαστής MC9S08GB/GT παρέχει μια μονάδα 8 καναλιών μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ATD – Analog to Digital). Τα οκτώ ATD κανάλια μοιράζονται τη θύρα B. Κάθε κανάλι μπορεί να ρυθμιστεί για λειτουργία I/O γενικού σκοπού ή για λειτουργία ATD.

Η μονάδα ATD είναι ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με αρχιτεκτονική καταχωρητή διαδοχικής προσέγγισης (SAR – Successive Approximation Register) με δειγματοληψία και συγκράτηση



Εικόνα 2.18: Το δομικό διάγραμμα με έμφαση στη μονάδα ATD

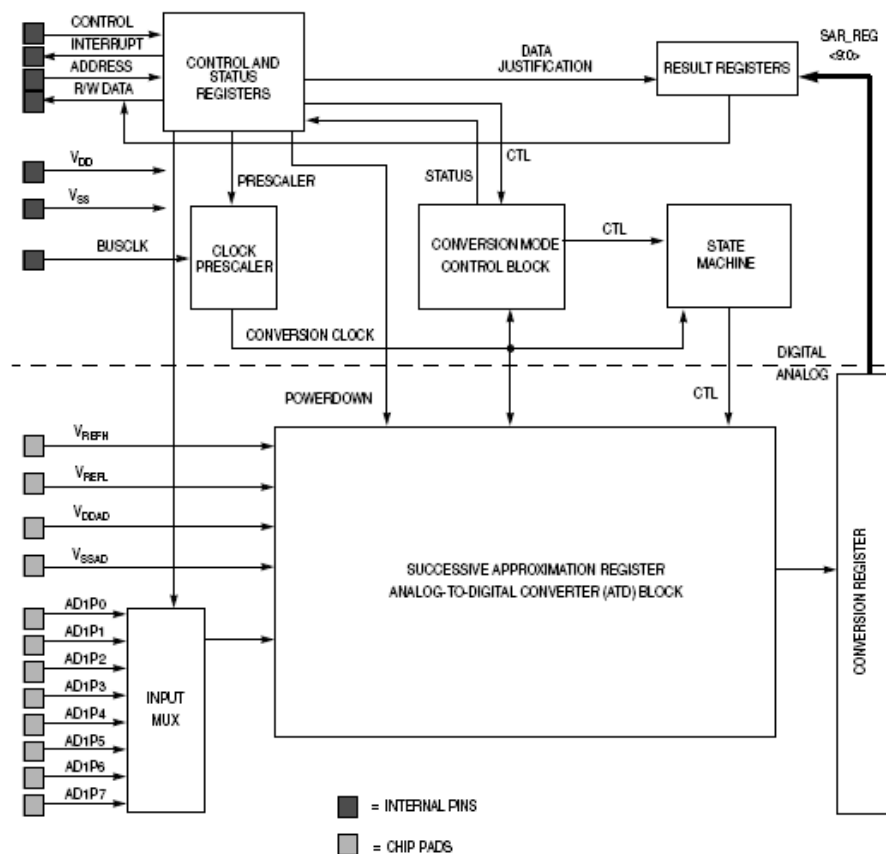
### 2.12.1 Χαρακτηριστικά

- Ανάλυση 8-/10-bit
- 14μsec χρόνος για την μετατροπή 10-bit δεδομένων σε συχνότητα 2 MHz
- Αποτέλεσμα σε αριστερή ή σε δεξιά διάταξη
- Λειτουργία προσήμανσης αποτελέσματος σε αριστερή διάταξη
- Σημαία για σήμανση ολοκλήρωσης μετατροπής ή δημιουργία διακοπής
- Πολυπλέκτης αναλογικής εισόδου για μέχρι και οκτώ αναλογικά κανάλια
- Μεμονωμένη ή συνεχόμενη λειτουργία μετατροπής

### 2.12.2 Τρόποι λειτουργίας

Η μονάδα ATD διαθέτει δύο τύπους λειτουργίας για χαμηλή κατανάλωση:

- **Λειτουργία παύσης (Stop mode):** Όταν η MCU μπει σε λειτουργία παύσης, η MCU απενεργοποιεί τα ρολόγια και το αναλογικό κύκλωμα του ATD, οδηγώντας με αυτό τον τρόπο τη μονάδα σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης. Με την ενεργοποίηση της λειτουργίας παύσης, ο ATD διακόπτει οποιαδήποτε μετατροπή που βρίσκεται σε εξέλιξη. Όταν εξέρχεται από τη λειτουργία διακοπής, δεν εμφανίζονται μετατροπές και οι καταχωρητές έχουν τις προηγούμενες τιμές τους. Η επαναφορά της μονάδας από τη λειτουργία διακοπής εξασφαλίζεται με το ATDPU bit το οποίο τίθεται στην τιμή 1 πριν την ενεργοποίηση της λειτουργίας παύσης.
- **Λειτουργία απενεργοποίησης (Power-down mode):** Θέτοντας τιμή 0 στο ATDPU bit του καταχωρητή ATD1C προκαλείται κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης στον ATD.



Εικόνα 2.19: Το δομικό διάγραμμα του ATD



Το ρολόι μετατροπής του ATD απενεργοποιείται και το αναλογικό κύκλωμα σβήνει. (Η λειτουργία αυτή δεν απομακρύνει την τροφοδοσία από τον ATD). Με την ενεργοποίηση της λειτουργίας απενεργοποίησης, ο μετατροπέας διακόπτει οποιαδήποτε μετατροπή που βρίσκεται σε εξέλιξη. Η μονάδα ενεργοποιείται θέτοντας την τιμή 1 στο ATDPU bit. Οι καταχωρητές της μονάδας είναι προσπελάσιμοι κατά τη λειτουργία απενεργοποίησης. Η κατάσταση επαναφοράς του ATDPU bit είναι το μηδέν και για αυτό η μονάδα επαναφέρεται κατά τη λειτουργία απενεργοποίησης.

### 2.12.3 Δομικό διάγραμμα και περιγραφή σημάτων

Η μονάδα ATD όπως παρουσιάζεται και στην εικόνα 2.19 υποστηρίζει οκτώ κανάλια εισόδου και χρειάζεται για να λειτουργήσει τέσσερις ακίδες γείωσης/αναφοράς/τροφοδοσίας όπως αυτές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Name	Function
AD7-AD0	Channel input pins
V <sub>REFH</sub>	High reference voltage for ATD converter
V <sub>REFL</sub>	Low reference voltage for ATD converter
V <sub>DDAD</sub>	ATD power supply voltage
V <sub>SSAD</sub>	ATD ground supply voltage

**Πίνακας 2.4:** Τα σήματα εισόδου του ATD

#### Οι ακίδες εισόδου των καναλιών – AD1P7-AD1P0

Οι ακίδες των καναλιών χρησιμοποιούνται ως αναλογικές εισοδοί του ATD. Κάθε ακίδα συνδέεται σε έναν αναλογικό διακόπτη που χρησιμοποιείται ως είσοδος του σήματος στην υπομονάδα δειγματοληψίας.

#### Οι ακίδες αναφοράς του ATD – VREFH, VREFL

Οι ακίδες αυτές αποτελούν τις πηγές χαμηλού και υψηλού δυναμικού που χρειάζεται ο μετατροπέας. Είναι αναγκαίος ο διαχωρισμός τους από τις ακίδες τροφοδοσίας διότι είναι απαραίτητο ένα φίλτράρισμα προκειμένου να επιτευχθεί η ακρίβεια για την οποία είναι ικανό το σύστημα.

#### Οι ακίδες τροφοδοσίας του ATD — VDDAD, VSSAD

Οι δύο αυτές ακίδες χρησιμοποιούνται ως για τροφοδοσία και γείωση στο αναλογικό κομμάτι του ATD. Τέτοιες εξειδικευμένες ακίδες είναι απαραίτητες προκειμένου να απομονωθεί το ευαίσθητο αναλογικό κύκλωμα από τα συνήθη επίπεδα θορύβου που είναι παρόντα σε ψηφιακές τροφοδοσίες

### 2.12.4 Περιγραφή Λειτουργίας

Ο ATD χρησιμοποιεί μια αρχιτεκτονική με έναν καταχωρητή διαδοχικής προσέγγισης (SAR – Successive Approximation Register). Ο ATD περιέχει όλα τα απαραίτητα στοιχεία ώστε να εκτελέσει μια μετατροπή από αναλογικό σε ψηφιακό. Μια εγγραφή στον καταχωρητή ATD1SC σηματοδοτεί μια νέα μετατροπή. Μια εγγραφή στον καταχωρητή ATD1C θα προκαλέσει διακοπή στην παρούσα μετατροπή αλλά δεν θα ξεκινήσει μια καινούρια μετατροπή. Μια εγγραφή στον καταχωρητή ATD1PE θα προκαλέσει επίσης διακοπή στην παρούσα μετατροπή αλλά δεν θα ξεκινήσει μια καινούρια μετατροπή. Αν μία

μετατροπή βρίσκεται σε εξέλιξη όταν πραγματοποιηθεί εγγραφή στον καταχωρητή ATD1SC, θα διακοπεί και θα ξεκινήσει μια νέα.

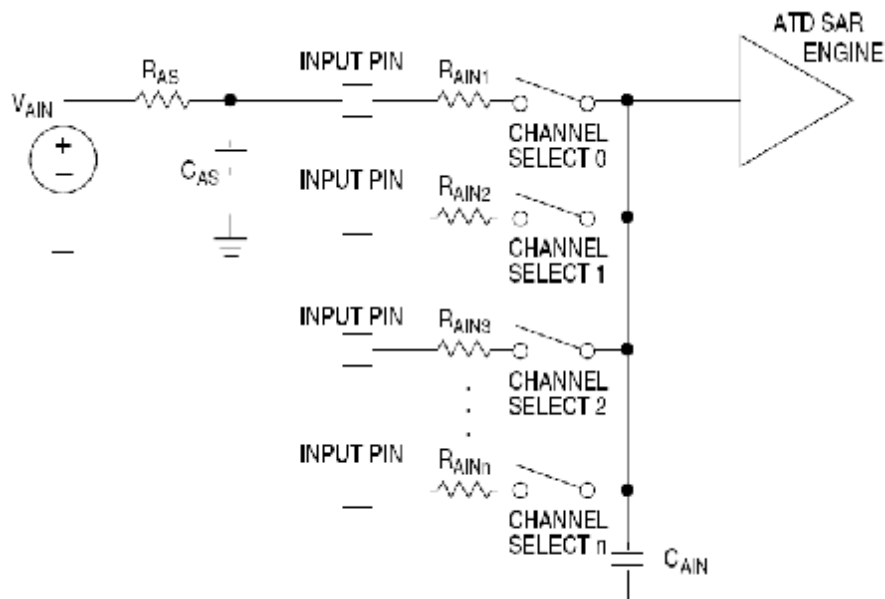
### 2.12.5 Μονάδα ελέγχου λειτουργίας

Ο ATD διαθέτει μια μονάδα ελέγχου λειτουργίας προκειμένου για επικοινωνία με τη μονάδα δειγματοληψίας και συγκράτησης (S/H – Sample and Hold) και με τη μονάδα SAR όταν είναι απαραίτητη η συλλογή δειγμάτων και η πραγματοποίηση μετατροπών. Η μονάδα ελέγχου λειτουργίας σηματοδοτεί τη μονάδα S/H προκειμένου να ξεκινήσει η συλλογή δειγμάτων και τη μονάδα SAR προκειμένου να ξεκινήσει να δέχεται τα δείγματα. Στο τέλος της περιόδου δειγματοληψίας, η μονάδα S/H ειδοποιεί τη μονάδα SAR προκειμένου να ξεκινήσει η μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό. Η διαδικασία μετατροπής τερματίζεται όταν η μονάδα SAR σηματοδοτεί το τέλος της μετατροπής στη μονάδα ελέγχου λειτουργίας. Για τα σήματα VREFL και VREFH η μονάδα SAR χρησιμοποιεί τα δυναμικά αναφοράς προκειμένου να ορίσει τα επίπεδα των σημάτων εσωτερικά χωρίς να στηρίζεται στη μονάδα S/H.

Η μονάδα ελέγχου λειτουργίας οργανώνει τη μετατροπή, καθορίζει το κανάλι δειγματοληψίας εισόδου και μετακινεί τα προς έξοδο ψηφιακά δεδομένα από τον καταχωρητή SAR στον καταχωρητή αποτελέσματος ο οποίος είναι ένας καταχωρητής διπλής θύρας. Ο καταχωρητής SAR εγγράφει τα δεδομένα στον καταχωρητή αποτελέσματος μέσα από μια θύρα ενώ ο διαυλος δεδομένων της μονάδας δέχεται τα δεδομένα από την άλλη θύρα.

### 2.12.6 Δειγματοληψία και συγκράτηση

Η μονάδα S/H δέχεται αναλογικά σήματα και τα αποθηκεύει ως φόρτιση πυκνωτή σε έναν κόμβο αποθήκευσης μέσα στη μονάδα SAR. Μόνο ένα δείγμα είναι δυνατόν κάθε φορά να κρατείται και άρα οι δύο μονάδες (S/H και SAR) δεν είναι δυνατόν να λειτουργούν ταυτόχρονα αν και είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τη διάταξη των αντιστάσεων και των πυκνωτών.



Εικόνα 2.20: Το κύκλωμα της μονάδας δειγματοληψίας και συγκράτησης

Όταν η μονάδα S/H δεν κάνει δειγματοληψία, απενεργοποιεί τα εσωτερικά της ρολόγια. Τα αναλογικά σήματα εισόδου είναι έχουν μόνο μια κατεύθυνση. Τα σήματα πρέπει να βρίσκονται μέσα στο εύρος δυναμικού από VSSAD σε VDDAD. Δεν απαιτείται από τη μονάδα S/H να εκτελέσει ιδιαίτερες μετατροπές (π.χ. να μετατρέψει τα σήματα VREFL και VREFH).

Η κατάλληλη δειγματοληψία εξαρτάται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- **Εμπέδηση αναλογικής πηγής ( $R_{AS}$ ):** Είναι η σύνθετη (ή η πραγματική στην περίπτωση των υψηλών συχνοτήτων) αντίσταση του κυκλώματος οδήγησης του σήματος  $V_{AIN}$  της αναλογικής εισόδου
- **Χωρητικότητα αναλογικής πηγής ( $C_{AS}$ ):** Πρόκειται για τη χωρητικότητα φιλτραρίσματος της αναλογικής εισόδου, η οποία (αν έχει αρκετά μεγάλη τιμή) μπορεί να βοηθήσει το κύκλωμα της αναλογικής πηγής να φορτίσει την είσοδο του ATD σε περίπτωση υψηλής  $R_{AS}$
- **Αντίσταση εισόδου του ATD ( $R_{AIN}$  – μέγιστη τιμή 7 k $\Omega$ ):** Είναι η εσωτερική αντίσταση του κυκλώματος του ATD στη διαδρομή μεταξύ της εξωτερικής εισόδου του ATD και του κυκλώματος δειγματοληψίας και συγκράτησης. Η αντίσταση αυτή εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την τάση και την εναλλαγή στην επεξεργασίας της πληροφορίας
- **Χωρητικότητα εισόδου του ATD ( $C_{AIN}$  – μέγιστη τιμή 50 pF):** Είναι η εσωτερική χωρητικότητα του κυκλώματος δειγματοληψίας. Η τιμή της εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την τάση και την εναλλαγή στην επεξεργασίας της πληροφορίας
- **Συχνότητα του ρολογιού της ATD μετατροπής ( $f_{ATDCLK}$  – μέγιστη τιμή 2 MHz):** Είναι η συχνότητα του ρολογιού εισόδου του ATD και εξαρτάται από τη συχνότητα του ρολογιού των διαύλων και του προδιαιρέτη του ATD. Η συχνότητα αυτή καθορίζει το εύρος του παραθύρου δειγματοληψίας, το οποίο είναι 14 ATDCLK cycles.
- **Συχνότητα δείγματος εισόδου ( $f_{SAMP}$ ):** Είναι η συχνότητα της δειγματοληψίας εισόδου
- **Τάση δείγματος δέλτα – εισόδου ( $\Delta V_{SAMP}$ ):** Είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης εισόδου του παρόντος δείγματος και του προηγούμενου δείγματος (το οποίο μπορεί να προέρχεται από διαφορετικό κανάλι). Σε μη-συνεχή μετατροπή, η τάση αυτή θεωρείται ότι είναι μεγαλύτερη από ( $V_{REFH} - V_{AIN}$ ) και ( $V_{AIN} - V_{REFL}$ ). Σε συνεχή μετατροπή, πρέπει να προστεθούν 5 LSB στην υπάρχουσα διαφορά
- **Τάση δείγματος αναλογικής δέλτα – εισόδου ( $\Delta V_{AIN}$ ):** Είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης του παρόντος δείγματος εισόδου και του δείγματος της τελευταίας μετατροπής σε ένα συγκεκριμένο κανάλι. Η διαφορά αυτή βασίζεται στον μέγιστο ρυθμό μεταβολής της εισόδου.

Σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει εξωτερική χωρητικότητα φιλτραρίσματος, το σφάλμα της δειγματοληψίας καθορίζεται από τον αριθμό των σταθερών χρόνου που απαιτούνται για τη φόρτιση και την αλλαγή στην τάση εισόδου που είναι σχετική με την ανάλυση του ATD.

$$\# \text{ of time constants } (\tau) = (14 / f_{ATDCLK}) / ((R_{AS} + R_{AIN}) * C_{AIN})$$

$$\text{sampling error in LSB } (E_S) = 2^N * (\Delta V_{SAMP} / (V_{REFH} - V_{REFL})) * e^{-\tau}$$

Το μέγιστο σφάλμα δειγματοληψίας (υποθέτοντας μέγιστη αλλαγή στην τάση εισόδου) θα είναι:

$$E_S = (3.6/3.6) * e^{-(14/(7 \text{ k} + 10 \text{ k}) * 50 \text{ p} * 2 \text{ M})} * 1024 = 0.271 \text{ LSB}$$

Στην περίπτωση κατά την οποία εφαρμόζεται μια εξωτερική χωρητικότητα φιλτραρίσματος, το σφάλμα δειγματοληψίας μπορεί να μειωθεί ανάλογα με το μέγεθος του πυκνωτή πηγής ( $C_{AS}$ ) ο οποίος σχετίζεται με τη χωρητικότητα ( $C_{AIN}$ ) της αναλογικής εισόδου. Αγνοώντας την εμπέδηση ( $R_{AS}$ ), της αναλογικής πηγής, ο πυκνωτής  $C_{AS}$  θα φορτίσει τη χωρητικότητα  $C_{AIN}$  στην παρακάτω τιμή:

$$E_S = 2^N * (\Delta V_{SAMP} / (V_{REFH} - V_{REFL})) * (C_{AIN} / (C_{AIN} + C_{AS}))$$

Στην περίπτωση ενός  $C_{AS}$  του 1μF, υπάρχει σφάλμα δειγματοληψίας 0.5 LSB ανεξαρτήτως του  $R_{AS}$ . Παρόλα αυτά, σε περιπτώσεις επαναλαμβανόμενων μετατροπών με ρυθμό  $f_{SAMP}$ , η  $R_{AS}$  πρέπει να ξαναφορτίσει την  $C_{AS}$ . Η επαναφόρτιση αυτή είναι συνεχής και ελέγχεται μόνο από την  $R_{AS}$  μειώνοντας το ολικό σφάλμα δειγματοληψίας σε:

$$E_S = 2^N * \{ (\Delta V_{AIN} / (V_{REFH} - V_{REFL})) * e^{-(1 / (f_{SAMP} * R_{AS} * C_{AS}))} + (\Delta V_{SAMP} / (V_{REFH} - V_{REFL})) * \text{Min}[(C_{AIN} / (C_{AIN} + C_{AS})), e^{-(1 / (f_{ATDCLK} * (R_{AS} + R_{AIN}) * C_{AIN}))}] \}$$

## 2.13 Υποστήριξη ανάπτυξης

Τα συστήματα υποστήριξης ανάπτυξης του μικροελεγκτή HCS08 περιλαμβάνουν τον ελεγκτή του αποσφαλμάτωσης παρασκηνίου (BDC – Background Debug Controller) και τη on-chip μονάδα αποσφαλμάτωσης (DBG – DeBuG). Η μονάδα BDC διαθέτει μια ενός καλωδίου διασύνδεση προς τον MCU με σκοπό τον προγραμματισμό της on-chip FLASH μνήμης και άλλων μνημών. Επίσης η μονάδα BDC είναι η πρωτεύουσα διασύνδεση αποσφαλμάτωσης για ανάπτυξη εφαρμογών και επιτρέπει εξωγενή είσοδο στα δεδομένα της μνήμης καθώς και χαρακτηριστικά αποσφαλμάτωσης όπως η τροποποίηση των καταχωρητών της CPU, σημεία διακοπής λειτουργίας (breakpoints) και εντολές παρακολούθησης λειτουργιών.

Στην οικογένεια HCS08 οι δίαυλοι δεδομένων και διευθύνσεων δεν είναι διαθέσιμοι σε εξωτερικές ακίδες (ούτε καν για λειτουργίες δοκιμής). Η αποσφαλμάτωση πραγματοποιείται μέσω εντολών που διοχετεύονται στην εν λόγω MCU μέσω της ενός καλωδίου διασύνδεσης για την αποσφαλμάτωση παρασκηνίου. Η μονάδα αποσφαλμάτωσης παρέχει έναν τρόπο ενεργοποίησης και ανάκτησης πληροφοριών των διαύλων έτσι ώστε ένα εξωτερικό σύστημα ανάπτυξης να ξανακατασκευάσει κύκλο με κύκλο αυτά που συνέβησαν μέσα στο MCU χωρίς εξωτερική προσπέλαση στα σήματα

### 2.13.1 Χαρακτηριστικά

- Μία ακίδα για επιλογή λειτουργίας και επικοινωνία παρασκηνίου
- Οι καταχωρητές του BDC δεν είναι τοποθετημένοι στο χάρτη μνήμης
- Εντολή SYNC για να καθοριστεί ο ρυθμός επικοινωνίας με την εκάστοτε μονάδα
- Εντολές εξωγενούς εισόδου για προσπέλαση μνήμης
- Ενεργή λειτουργία παρασκηνίου για προσπέλαση των καταχωρητών της CPU
- Εντολές GO και TRACE1
- Η εντολή BACKGROUND μπορεί να ξυπνήσει τη CPU από λειτουργίες stop ή wait
- Ένα σημείο διακοπής από το υλικό που βρίσκεται μέσα στον BDC
- Ο ταλαντωτής λειτουργεί κατά την λειτουργία stop αν έχει ενεργοποιηθεί ο BDC
- Η μονάδα COP watchdog απενεργοποιείται όταν ο MCU βρίσκεται σε ενεργή λειτουργία παρασκηνίου

Τα χαρακτηριστικά του DBG περιλαμβάνουν:

- Δύο συγκριτές διέγερσης
  - Δύο διευθύνσεων και δυνατότητα εγγραφής/ανάγνωσης ή
  - Έναν πλήρους διεύθυνσης και δεδομένων και εγγραφής/ανάγνωσης
- Μία προσαρμόσιμη FIFO 8-λέξεων των 16-bit για συλλογή πληροφοριών:
  - Σχετικά με αλλαγή διεύθυνσης ή
  - Δεδομένων
- Δύο τύπους breakpoint
  - Διακοπές ετικέτας για κωδικούς εντολών
  - Εξαναγκασμένες διακοπές για πρόσβαση σε οποιαδήποτε διεύθυνση
- Εννέα λειτουργίες διέγερσης
  - Α-μόνο
  - A Η' B
  - A μετά B
  - A ΚΑΙ B δεδομένα (πλήρης λειτουργία)
  - A ΚΑΙ ΟΧΙ B δεδομένα (πλήρης λειτουργία)
  - Μόνο περίπτωση B (αποθήκευση δεδομένων)
  - A μετά μόνο περίπτωση B (αποθήκευση δεδομένων)
  - Εντός εύρους ( $A \leq \text{address} \leq B$ )
  - Εκτός εύρους ( $\text{address} < A$  or  $\text{address} > B$ )

## 2.14 Οι αισθητήρες

Για την υλοποίηση του συστήματος θα πρέπει να επιλεγτούν οι αισθητήρες που θα ήταν οι καταλληλότεροι για την συγκεκριμένη εφαρμογή. Με τον όρο αισθητήρες περιγράφονται όλες εκείνες οι συσκευές που μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των αισθητήρων, τέσσερις από τους οποίους αναφέρονται στη συνέχεια.

- Ο πρώτος αφορά το τι μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας με πιο σημαντική διάκριση αυτή μεταξύ των φυσικών και χημικών αισθητήρων. Οι φυσικοί αισθητήρες ελέγχουν φυσικά μεγέθη όπως θέση, μάζα, ρεύμα, χρόνο και σχετικά τους μεγέθη ενώ οι χημικοί ελέγχουν την παρουσία διαφορετικών αερίων σε συγκεκριμένη ατμόσφαιρα.
- Ο δεύτερος τρόπος σχετίζεται με τα υλικά στις φυσικές ιδιότητες των οποίων βασίζεται η λειτουργία του αισθητήρα, με κύριες κατηγορίες τους αισθητήρες με αγωγή, ημιαγωγή, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγωγή υλικά.
- Ο τρίτος τρόπος κατηγοριοποίησης αναφέρεται στη χρήση του αισθητήρα με αγωγή, ημιαγωγή, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγωγή υλικά.
- Τέλος ο τέταρτος τρόπος κατηγοριοποίησης αναφέρεται στη χρήση του αισθητήρα με σημαντικότερες κατηγορίες τους βιομηχανικούς, τους ιατρικούς, στρατιωτικούς, περιβαλλοντικούς αισθητήρες καθώς και τους αισθητήρες μεταφοράς και αυτοματισμού.

### 2.14.1 Χαρακτηριστικά των αισθητήρων

Οι αισθητήρες (sensors) είναι διατάξεις που διαθέτουν κάποια κατάλληλη ιδιότητα, η οποία μεταβάλλεται ως συνάρτηση του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Για παράδειγμα, η αντίσταση ορισμένων φωτοαγωγίων υλικών μειώνεται, καθώς αυξάνει η ποσότητα του φωτός που προσπίπτει σε αυτά (αισθητήρας φωτός). Στα μέταλλα, η αντίσταση αυξάνεται

καθώς αυξάνει η θερμοκρασία του μετάλλου (αισθητήρας θερμοκρασίας). Υπάρχουν διάφορα είδη αισθητήρων που μπορεί να συναντήσει κανείς στο εμπόριο. Μια γενική διάκριση ανάμεσα στους αισθητήρες τους χωρίζει σε

- 1) **Ενεργούς:** είναι οι αισθητήρες που απαιτούν εξωτερική διέγερση για να λειτουργήσουν. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση.
- 2) **Παθητικούς:** είναι οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μια τάση και δεν χρειάζονται εξωτερική διέγερση. Για παράδειγμα, οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, όταν πιεστούν, αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι η γραμμικότητα. Όταν οι μεταβολές της μετρούμενης φυσικής ποσότητας (π.χ. της θερμοκρασίας) προκαλούν μεταβολές της ιδιότητας του αισθητήρα (π.χ. της αντίστασης του μετάλλου) με τρόπο αυστηρά ανάλογο, τότε λέμε ότι ο αισθητήρας είναι γραμμικός και την ιδιότητα αυτή την ονομάζουμε γραμμικότητα (linearity). Αν ο αισθητήρας είναι γραμμικός, τότε η σχέση της εξόδου του αισθητήρα με το μετρούμενο μέγεθος είναι μια ευθεία γραμμή. Άρα, για την βαθμονόμηση του συστήματος μέτρησης αρκούν τιμές της εξόδου σε δύο επιβεβαιωμένες τιμές της εισόδου. Αν ο αισθητήρας δεν είναι γραμμικός, τότε η σχέση της εξόδου με το μετρούμενο μέγεθος δίνεται από μία καμπύλη γραμμή και η βαθμονόμηση του συστήματος απαιτεί τιμές της εξόδου σε πολλές επιβεβαιωμένες τιμές της εισόδου. Η βαθμονόμηση των συστημάτων γίνεται με τη βοήθεια «προτύπων».

Ένα άλλο βασικό χαρακτηριστικό των αισθητήρων είναι η ευαισθησία. Έστω  $x(t)$  το σήμα εισόδου (π.χ. πίεση) και  $y(t)$  το σήμα εξόδου, δηλαδή η τάση που βγάζει ο αισθητήρας. Ισχύει γενικά η εξίσωση  $y(t)=S \cdot x(t)$ , όπου  $S$  η κλίση της χαρακτηριστικής εισόδου-εξόδου (είναι σταθερή για γραμμικό αισθητήρα). Η παράμετρος  $S$  ονομάζεται ευαισθησία (sensitivity) του αισθητήρα και εκφράζει πόσο υψηλό σήμα εξόδου αποδίδει ο αισθητήρας για κάθε μονάδα του μετρούμενου φυσικού μεγέθους. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας πίεσης έχει ευαισθησία 10mV/KPa, ενώ ένας άλλος έχει 5mV/KPa. Ο δεύτερος παράγει πάντα τη μισή τάση εξόδου για κάθε τιμή της πίεσης.

Κάποια άλλα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι

- **Διακριτική ικανότητα (resolution):** εκφράζει τη μικρότερη μεταβολή του φυσικού μεγέθους που μπορεί να ανιχνεύσει ο αισθητήρας και να μεταβάλλει την έξοδό του ανάλογα.
- **Ακρίβεια:** ισούται με το σφάλμα που περιέχει εγγενώς η τιμή που αποδίδει ο αισθητήρας στην έξοδο, δηλώνει δηλαδή την αβεβαιότητα που υπάρχει στην τιμή της εξόδου (π.χ.  $\pm 0.05$  °C).
- **Εύρος τιμών εισόδου (full-scale input):** ορίζει σε ποια πλαίσια του μετρούμενου φυσικού μεγέθους μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο αισθητήρας.
- **Εύρος τιμών της εξόδου:** δίνει τα όρια της τάσης ή του ρεύματος εξόδου του αισθητήρα.

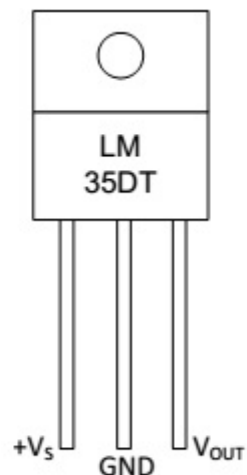
Μπορούμε να βρούμε στο εμπόριο ένα εύρος αισθητήρων θερμοκρασίας που μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες μας, λόγω του ότι τα διάφορα θερμόμετρα στηρίζονται στην αλλαγή, λόγω της θερμοκρασίας, κάποιας χαρακτηριστικής ιδιότητας ενός επιλεγμένου υλικού. Οι ιδιότητες που μπορούν να αξιοποιηθούν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας είναι εν γένει οι ακόλουθες:

- Η γραμμική διαστολή ενός υγρού (θερμόμετρα υδραργύρου)
- Η γραμμική διαστολή ενός μετάλλου (μεταλλικά θερμόμετρα)
- Η ηλεκτρική αντίσταση ενός μετάλλου (RTDs)

- Το φαινόμενο του θερμοηλεκτρισμού (ή θερμοηλεκτρικό φαινόμενο) (θερμοζεύγη)
- Η θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ένα θερμό σώμα(πυρόμετρα).

### 2.14.2 Ο χρησιμοποιούμενος αισθητήρας θερμοκρασίας

Έπειτα από έρευνα καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι ο κατάλληλος αισθητήρας για την εφαρμογή μας ήταν ο LM35 της εταιρίας Texas Instruments. Η σειρά LM35 είναι ουσιαστικά ένα ολοκληρωμένο σύστημα ακριβείας με γραμμική τάση εξόδου και γραμμικό συντελεστή κλίμακας +10mV, ένα από τα πλεονεκτήματα του συγκεκριμένου αισθητήρα είναι ότι έχει λιγότερο από 60  $\mu$ A κατανάλωση ρεύματος, όπου αυτό μας εξασφαλίζει την ικανότητα του αισθητήρα να διαθέτει πολύ μικρό σφάλμα λόγω της χαμηλής αυτοθέρμανσης, 0,08 °C σε συνθήκες άπνοιας. Ένας άλλος λόγος που ο συγκεκριμένος αισθητήρας έχει τη δυνατότητα χαμηλής αυτοθέρμανσης είναι η χαμηλή αντίσταση εξόδου, που έχει και είναι 0,1  $\Omega$ . Μπορούμε να διαπιστώσουμε την κατασκευαστική του δομή και τη συνδεσμολογία του στην παρακάτω εικόνα όπου  $V_s$  η τάση τροφοδοσίας του αισθητήρα  $V_{out}$  η έξοδος του αισθητήρα και GND το σημείο γείωσης του.



**Εικόνα 2.21:** Η εξωτερική όψη του αισθητήρα LM35

Τα βασικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα LM35 είναι τα εξής:

- Είναι άμεσα βαθμολογημένος σε κλίμακα Κελσίου (Celsius) και όχι σε κλίμακα Κέλβιν (Kelvin).
- Είναι γραμμικός με παράγοντα κλίμακας 10 mV/°C.
- Έχει εξασφαλισμένη 0.5°C ακρίβεια (σε +25°C)
- Εκτιμάται ότι είναι λειτουργικός από -55°C μέχρι +150°C.
- Είναι κατάλληλος για μακρινές εφαρμογές.
- Έχει χαμηλότερο κόστος λόγω της ισόπεδης κατασκευαστικής δομής του
- Λειτουργεί από 4 έως 30V.
- Έχει λιγότερη κατανάλωση από 60 $\mu$ A.
- Έχει χαμηλή αυτοθέρμανση της τάξης των 0.08°C ακόμα και στον αέρα.
- Έχει χαμηλή παραγωγή σύνθετης αντίστασης της τάξης 0.1 $\Omega$  για φορτίο 1 $\mu$ A.

Ο LM35 εφαρμόζεται εύκολα με τον ίδιο τρόπο όπως και άλλοι αισθητήρες θερμοκρασίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Προσαρμόζεται στη συσκευή ή σε μια επιφάνεια και η θερμοκρασία του θα πρέπει να είναι ίδια περίπου της θερμοκρασίας της

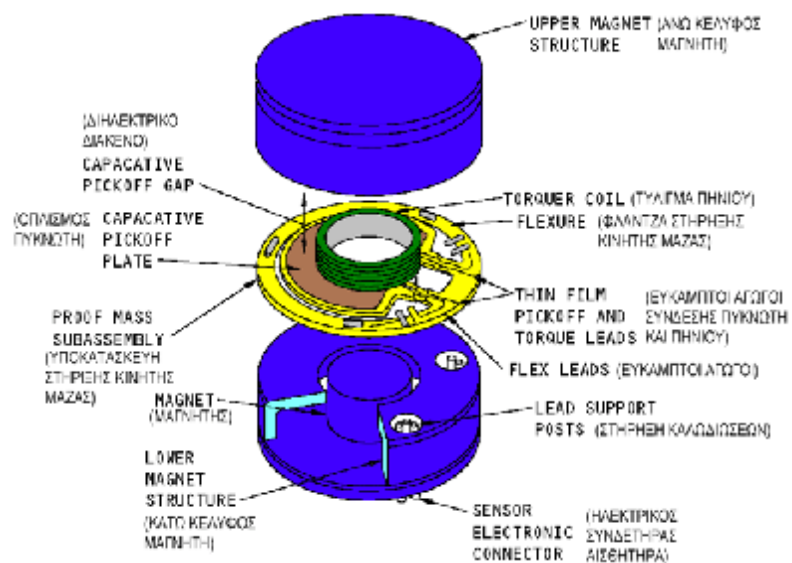
επιφάνειας. Αυτό υποθέτει ότι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα είναι σχεδόν η ίδια όπως η θερμοκρασία επιφάνειας. Εάν η θερμοκρασία του αέρα ήταν πολύ υψηλότερη ή χαμηλότερη από την θερμοκρασία της επιφάνειας, η πραγματική θερμοκρασία της μήτρας του LM35 θα είναι σε μία ενδιάμεση θερμοκρασία μεταξύ της θερμοκρασίας της επιφάνειας και της θερμοκρασίας του αέρα, το οποίο είναι ιδιαίτερα αληθές για την έκδοση TO-92 με το πλαστικό πυρίμαχο κέλυφος που χρησιμοποιήθηκε, όπου ο χαλκός είναι η κύρια θερμική διαδρομή για τη μεταφορά θερμότητας μέσα στη συσκευή, έτσι ώστε η θερμοκρασία του θα μπορούσε να είναι πιο κοντά στην θερμοκρασία του αέρα από ότι προς την επιφανειακή θερμοκρασία.

Για να ελαχιστοποιηθεί το πρόβλημα αυτό, πρέπει να βεβαιωθεί ότι η καλωδίωση στο LM35, καθώς αφήνει τη συσκευή, συγκρατείται στην ίδια θερμοκρασία με την επιφάνεια ενδιαφέροντος. Ο ευκολότερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να καλυφθούν αυτά τα καλώδια με ένα σφαιρίδιο από εποξύ το οποίο θα εξασφαλίσει ότι οι αγωγοί και τα καλώδια είναι όλα στην ίδια θερμοκρασία όπως η επιφάνεια, και ότι η θερμοκρασία της μήτρας LM35 δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία του αέρα.

Ένα άλλο μειονέκτημα του LM35 είναι ότι δεν μετρά αρνητικές θερμοκρασίες λόγω της γραμμικής συμπεριφοράς του. Στην συγκεκριμένη περίπτωση σκεφτήκαμε και χρησιμοποιήσαμε μια δίοδο zener. Αν αναλογιστούμε ότι +10mV αντιστοιχούν σε 1 βαθμό κελσίου, τότε για αρνητικές τιμές θερμοκρασίας θα έπρεπε να λαμβάνει αρνητικές τιμές τάσεων, πράγμα το οποίο δεν είναι δυνατόν. Τοποθετώντας την δίοδο η οποία άγει στα 0,453mV αυτόματα θέσαμε ως 0 βαθμούς κελσίου όχι την τιμή 0V αλλά την τιμή 0,453mV. Αυτό σημαίνει ότι αν εκλάβουμε χαμηλότερες τιμές τάσεων από τα 0,453mV ο αισθητήρας είναι ικανός να μετρήσει πλέον και αρνητικές θερμοκρασίες σε συνεργασία με τις εξισώσεις που θα δημιουργήσουμε στο τμήμα προγραμματισμού του μικροελεγκτή σε γλώσσα C.

### 2.14.3 Το Επιταχυνσίμετρο

Το Επιταχυνσίμετρο είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή που έχει την ικανότητα να μετρά δυνάμεις επιτάχυνσης. Αυτές οι δυνάμεις μπορεί να είναι στατικές, όπως είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας ή δυναμικές όταν προκαλούνται – προέρχονται από αλλαγές στην ταχύτητα ή στην διεύθυνση της κίνησης (επιταχύνσεις, επιβραδύνσεις, στροφές).

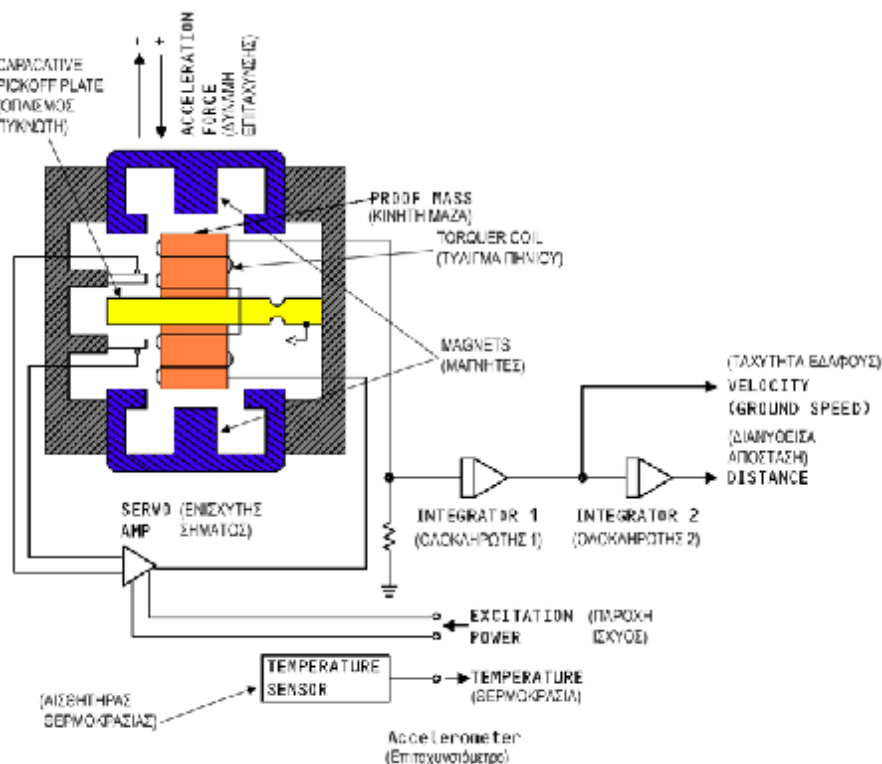


Εικόνα 2.22: Η δομή ενός επιταχυνσιόμετρου



Χρησιμοποιείται κυρίως σε Αδρανειακά συστήματα πλοήγησης, που συνήθως αποκαλούνται INS (Inertial Navigation System), IRS (Inertial Reference System), IRU (Inertial Reference Unit) ή ADIRU (Air Data Inertial Reference Unit), τα οποία συστήματα συνδυάζοντας την χρήση επιταχυνσιόμετρων, γυροσκοπίων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μπορούν να υπολογίζουν την θέση ενός οχήματος στον χώρο καθώς και την στάση και ταχύτητα αυτού με πολύ μεγάλη ακρίβεια, παράμετροι που είναι απολύτως απαραίτητοι για την λειτουργία του αυτόματου πιλότου, την πλοήγηση αεροπλάνων πλοίων και υποβρυχίων. Το επιταχυνσιόμετρο χρησιμοποιείται επίσης για την μέτρηση και καταγραφή των επιταχύνσεων στους τρεις άξονες των αεροσκαφών από τον καταγραφέα των στοιχείων της πτήσης, χρησιμοποιείται για την ενεργοποίηση του αερόσακου στα αυτοκίνητα, και σε οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή απαιτείται η μέτρηση της επιτάχυνσης.

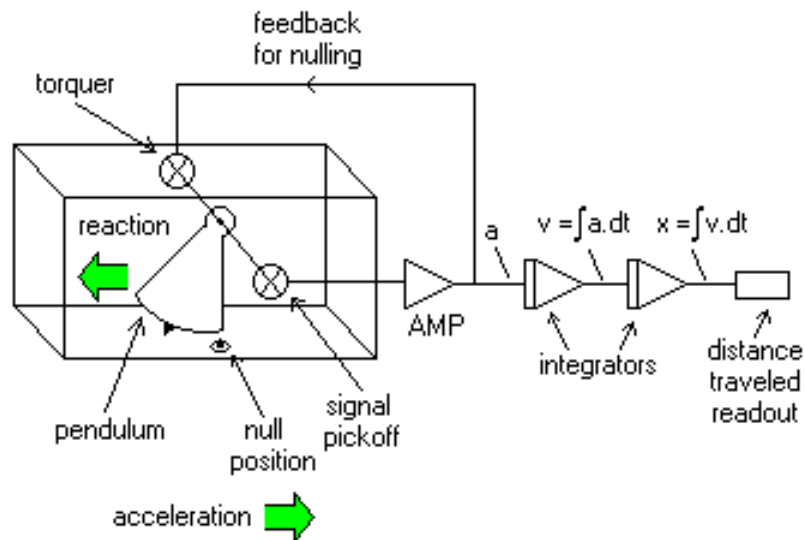
Υπάρχουν διάφοροι τρόποι να υλοποιηθεί ένα επιταχυνσιόμετρο. Ένας τρόπος είναι η αξιοποίηση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου. Αυτά χρησιμοποιούν πιεζοκρύσταλλο ο οποίος πιέζεται από μάζα ανάλογη της επιτάχυνσης που δέχεται αυτή και παράγει τάση λόγω πιεζοηλεκτρικού φαινομένου ανάλογη της επιτάχυνσης. Ένας άλλος τρόπος είναι η μέτρηση αλλαγών στην χωρητικότητα ενός πυκνωτή. Ο πυκνωτής αποτελεί μέρος της ανάρτησης μάζας και η τιμή του μεταβάλλεται με την κίνηση αυτής της μάζας. Η αξιοποίηση της μεταβολής της χωρητικότητας του πυκνωτή μας παρέχει μέτρηση επιτάχυνσης. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι όπως η χρήση της αλλαγής της αντίστασης κάποιου υλικού ανάλογη της πίεσης που δέχεται, η χρήση φυσαλίδας ζεστού αέρα, και η χρήση των ιδιοτήτων του φωτός



**Εικόνα 2.23:** Επιταχυνσιόμετρο που λειτουργεί κάνοντας χρήση της διάταξης πυκνωτή

Σε αυτό το σημείο θα περιγράψουμε την λειτουργία ενός επιταχυνσιόμετρου που λειτουργεί κάνοντας χρήση της διάταξης πυκνωτή και μάζας αδράνειας, και είναι μέρος του συστήματος αδρανειακής πλοήγησης ή αδρανειακού συστήματος αναφοράς (IRS) επιβατικών αεροσκαφών.

Παρατηρώντας το σχηματικό διάγραμμα βλέπουμε ότι υπάρχει αναρτημένη μάζα ανάμεσα στους πόλους δυο μαγνητών, (άνω κάτω). Γύρω από την μεταλλική μάζα υπάρχει τύλιγμα πηνίου. Το έλασμα ανάρτησης της μεταλλικής μάζας σε συνδυασμό με δυο αγωγικές πλάκες άνω και κάτω, σχηματίζει πυκνωτές. Επιτάχυνση κατά τον διαμήκη άξονα της μάζας, μετακινεί την μάζα υπερνικώντας την αντίσταση του ελατηρίου της ανάρτησης, μετακινώντας τη από το σημείο μηδέν ή σημείο ισορροπίας. Η μετακίνηση αυτή προκαλεί αλλαγή στις χωρητικότητες των δυο πυκνωτών που στο σημείο ισορροπίας της μάζας είναι ίσες. Ο ενισχυτής σήματος αντιλαμβάνεται την διαφοροποίηση αυτή σαν σφάλμα και στέλνει κατάλληλο ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο που περιβάλλει την μάζα με σκοπό να την επαναφέρει στο σημείο ισορροπίας και να ακυρώσει το σήμα σφάλματος. Η τιμή του ρεύματος που στέλνεται στο πηνίο για να ακυρώσει το σήμα σφάλματος και να επαναφέρει την μάζα στο σημείο ισορροπίας είναι η αναλογική έξοδος της συσκευής που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση. Το αναλογικό αυτό σήμα ολοκληρώνεται συναρτήσει του χρόνου μια φορά για να δώσει ταχύτητα, και μια δεύτερη φορά για να μας δώσει απόσταση. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας είναι εγκατεστημένος μαζί με το επιταχυνσιόμετρο με σκοπό την βελτίωση της ακρίβειας του επιταχυνσιόμετρου. Το σήμα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας χρησιμοποιείται για την διόρθωση του σφάλματος θερμοκρασίας του επιταχυνσιόμετρου όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί



**Εικόνα 2.24:** Διόρθωση του σφάλματος θερμοκρασίας του επιταχυνσιόμετρου

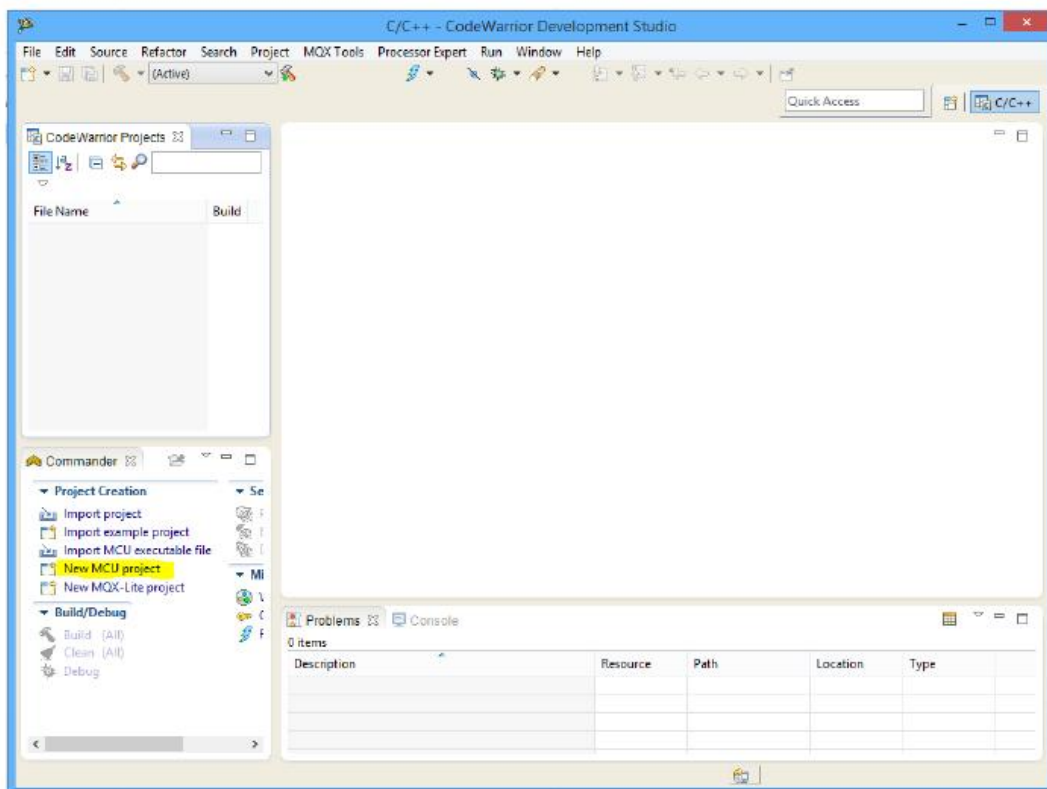
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3, Ο ΚΩΔΙΚΑΣ ΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΤΟΥ

## 3.1 Το περιβάλλον ανάπτυξης CodeWarrior

Για την δημιουργία κώδικα θα χρησιμοποιήσουμε το CodeWarrior. Διατίθεται από την Freescale και είναι δωρεάν για download από το site της εταιρίας. Το CodeWarrior είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE – Intergrated Development Environment) για τη δημιουργία του λογισμικού που τρέχει σε μια σειρά ενσωματωμένων συστημάτων. Αυτή τη στιγμή το CodeWarrior επικεντρώνεται στις γλώσσες C, C++ και Assembly. Παλαιότερα οι εκδόσεις του υποστήριζαν μεταγλωττιστές (Compilers) Pascal, Object Pascal, Objective Pascal καθώς και Java.

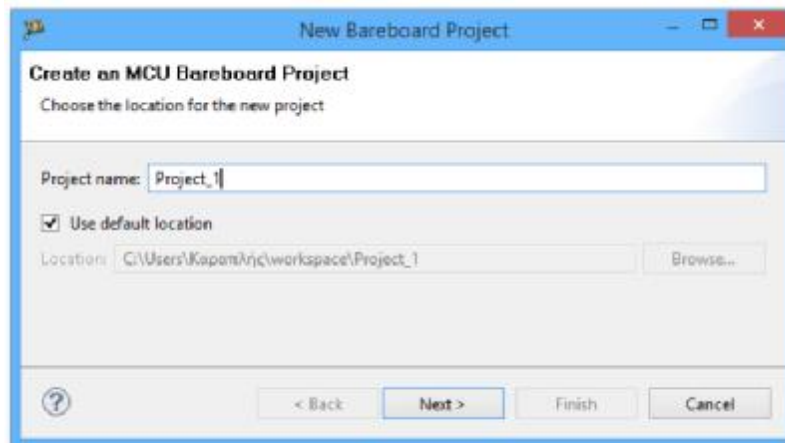
### 3.1.1 Δημιουργία Project

Ξεκινάμε ανοίγοντας το CodeWarrior IDE (Start > Programs > Freescale CodeWarrior > CW for MCU v10.x > CodeWarrior). Μόλις ξεκινήσει πρέπει να δημιουργήσουμε ένα project πριν κάνουμε οτιδήποτε άλλο. Το project περιέχει όλες τις ρυθμίσεις καθώς και τον κώδικα μαζί με τις βιβλιοθήκες που χρειάζονται για να φτιαχτεί με επιτυχία το πρόγραμμα μας. Στον παράθυρο διαλόγου που θα εμφανιστεί διαλέγουμε που θέλουμε να δημιουργηθεί το project μας. Στην συνέχεια επιλέγουμε **New MCU Project** από το **Commander View** όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1.



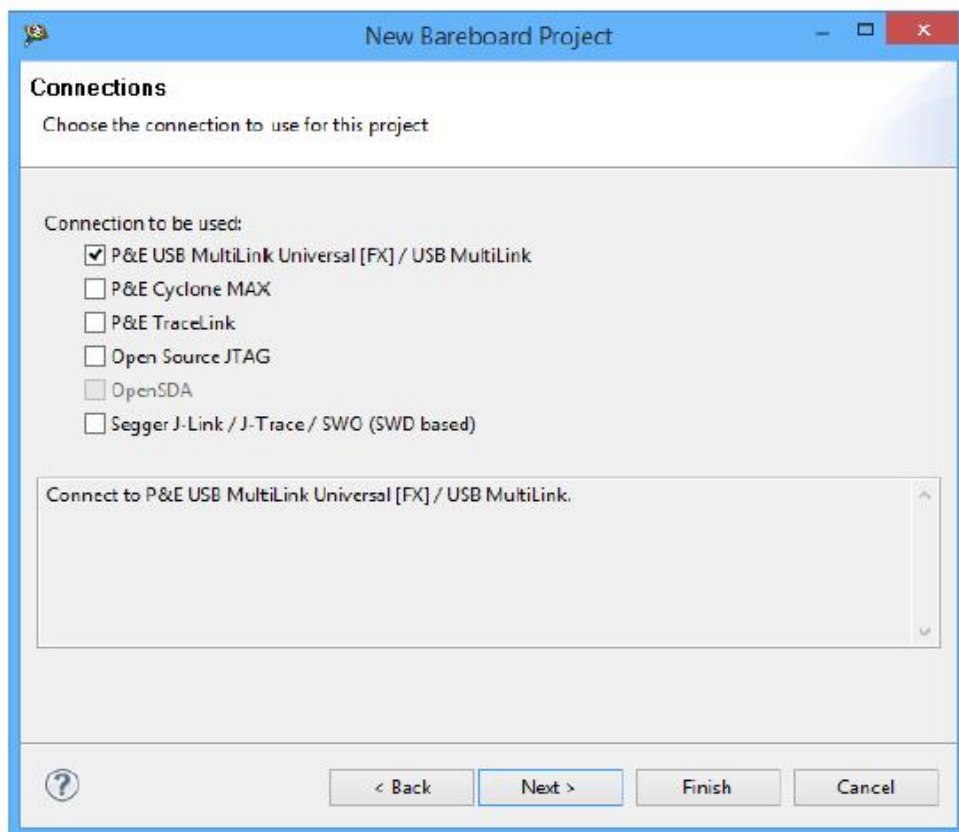
Εικόνα 3.1: Αρχική οθόνη του CodeWarrior

Στο επόμενο παράθυρο διαλόγου (εικόνα 3.2) επιλέγουμε το όνομα του Project (πχ. Project\_1) στο πεδίο Project name και επιλέγουμε OK.



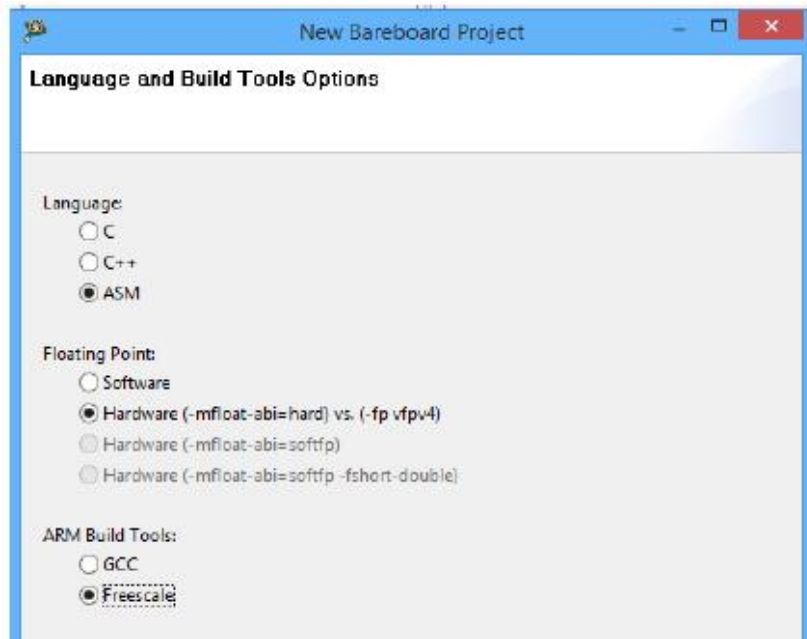
**Εικόνα 3.2:** New Bareboard Project Window

Το πεδίο location δείχνει στην προεπιλεγμένη θέση του Project. Αν θέλουμε μπορούμε να μην επιλέξουμε το Use default location και να ορίσουμε εμείς που θέλουμε να το αποθηκεύσουμε. Επιλέγουμε Next και εμφανίζεται η σελίδα Συσκευών. Εδώ μπορούμε να επιλέξουμε ποια συσκευή θα συνδέσουμε για να κάνουμε το debugging. Πατώντας το Next εμφανίζεται η σελίδα συνδέσεων (εικόνα 3.3) όπου επιλέγουμε τον τρόπο σύνδεσης που επιθυμούμε.



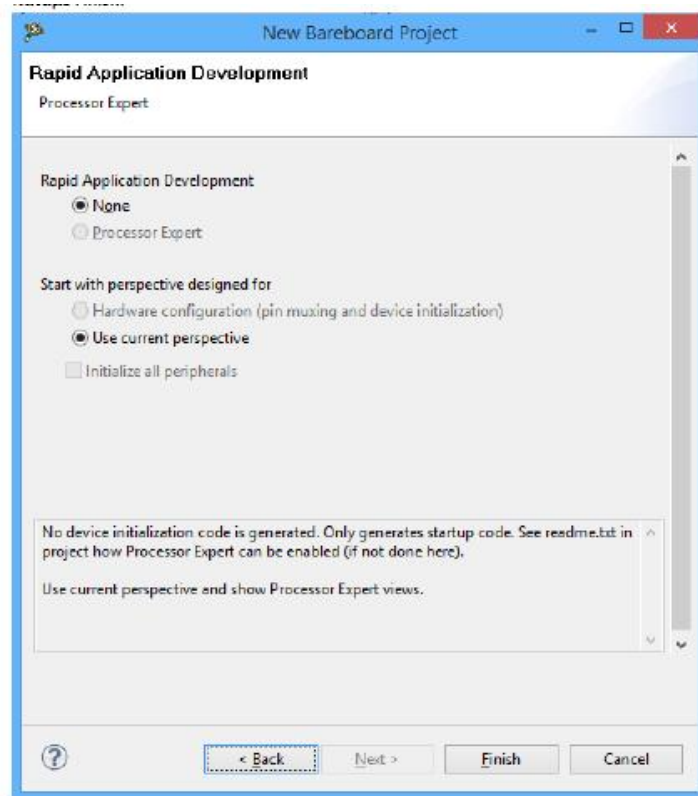
**Εικόνα 3.3:** Connections Window

Στην συνέχεια το Language and Build Tools Options menu. Εδώ επιλέγουμε την γλώσσα που θα χρησιμοποιήσουμε που θα είναι η C.



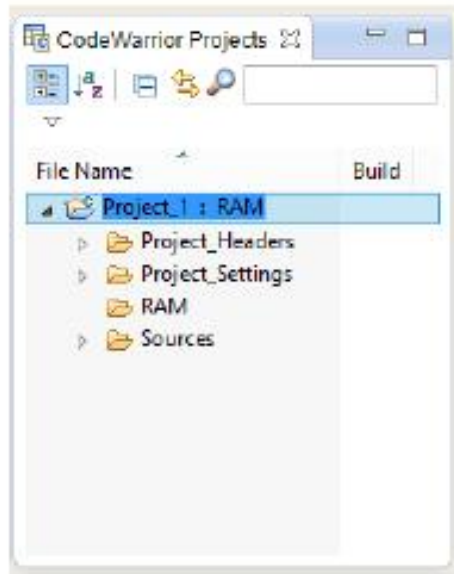
**Εικόνα 3.4:** Languages and Build Options Window

Τέλος επιλέγουμε Rapid Application Development & Use current Perspective και πατάμε Finish.



**Εικόνα 3.5:** Rapid Application Development Window

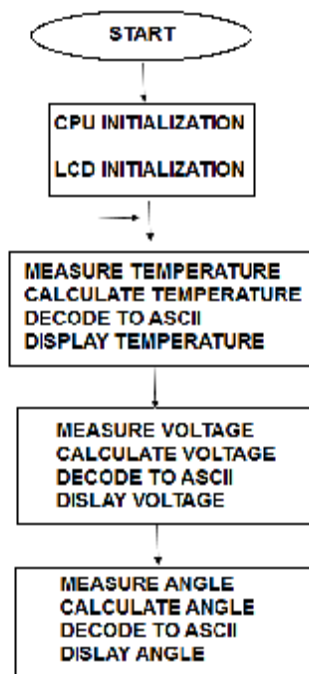
Τώρα στο πεδίο Projects μπορούμε να δούμε το Project που δημιουργήσαμε. Για να γράψουμε τον κώδικα μας, επεκτείνουμε το Sources (expand) και στην συνέχεια κάνουμε click στο αρχείο main.s.



**Εικόνα 3.6:** CodeWarrior Projects Pane

### 3.2 Ο κώδικας της εφαρμογής

Η λογική με την οποία αναπτύχθηκε ο κώδικας φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα ροής της εικόνας 3.7.



**Εικόνα 3.7:** Το διάγραμμα ροής του κώδικα

Στην ουσία ο κώδικας αποτελείται από τρία μέρη, όσες και οι είσοδοι του συστήματος που υλοποιήθηκε. Υπάρχει δηλαδή το κομμάτι της μέτρησης της θερμοκρασίας, το κομμάτι της μέτρησης της κλίσης/γωνίας και το κομμάτι της μέτρησης της τάσης. Οι ενέργειες που λαμβάνουν χώρα είναι

- Μέτρηση/λήψη αναλογικού μεγέθους εισόδου
- Μετατροπή αναλογικού μεγέθους σε ψηφιακό
- Κωδικοποίηση σε κώδικα ASCII, ώστε να είναι δυνατή η απεικόνιση
- Απεικόνιση μέτρησης

### 3.2.1 Η αρχικοποίηση του μικροεπεξεργαστή

Προκειμένου να ξεκινήσει η εκτέλεση του κώδικα πρέπει να γίνει η αρχικοποίηση του μικροεπεξεργαστή μέσω της συνάρτησης αρχικοποίησης `init` που παρουσιάζεται παρακάτω.

```
//-----Initialization microprocessor-----
void init (void){
PTBDD_PTBDD7=1; //SET LED A OUTPUT
ATD1C=0xC1;
ATD1SC=0x03;
ATD1PE=0x4C; //A/D pins enable
SOPT_COPE=0;
x=0;
Celsius=0;
division=0;
//-----setting registers and ports as outputs-----
PTAD=0;
PTADD_PTADD0=1;
PTADD_PTADD1=1;
PTADD_PTADD2=1;
PTADD_PTADD3=1;
PTADD_PTADD4=1;
PTADD_PTADD5=1;
PTADD_PTADD6=1;
}
```

#### Πρόγραμμα 3.1: Η συνάρτηση `init`

Όπου:

#### Η εντολή `PTBDD_PTBDD7=1;`

Σύμφωνα με το datasheet του μικροεπεξεργαστή, θέτοντας την τιμή 1 στο bit7 του καταχωρητή `PTBDD`, ορίζεται το bit αυτό ως έξοδος

#### Η εντολή `ATD1C=0xC1;`

Εδώ παίρνει τιμές ο καταχωρητής ελέγχου ATD του A/D Converter. Πιο συγκεκριμένα η δεκαεξαδική τιμή `C1` αντιστοιχεί στη δυαδική τιμή `11000001`. Αυτό σημαίνει ότι `ATDPU=1`, `DJM=1` και `PRS=0001`.

- Όταν `ATDPU=1`, ενεργοποιείται ο A/D Converter.
- Όταν `DJM=1` οι έξοδοι του A/D Converter (10 bit) τοποθετούνται στους καταχωρητές `ATD1RH` και `ATD1RL` με λογική από τα δεξιά προς τα αριστερά.

- PRS=0001 σημαίνει ότι θέτουμε ως μέγιστη ταχύτητα διαύλων τα 8MHz και ως ελάχιστη τα 2MHz/

### **Η εντολή ATD1SC=0x03;**

Εδώ παίρνει τιμές ο καταχωρητής ελέγχου ATD Status and Control του A/D Converter. Πιο συγκεκριμένα η δεκαεξαδική τιμή 03 αντιστοιχεί στη δυαδική τιμή 00000011. Αυτό σημαίνει ότι ATDCH =00011 οπότε το κανάλι του μετατροπέα που θα χρησιμοποιηθεί ως είσοδος του προς μέτρηση αναλογικού σήματος είναι το AD3

### **ATD1PE=0x4C;**

Καθορίζεται πια pins του μετατροπέα θα ενεργοποιηθούν. Πιο συγκεκριμένα η δεκαεξαδική τιμή 4C αντιστοιχεί στη δυαδική τιμή 01001100. Αυτό σημαίνει ότι θα χρησιμοποιηθούν τα pins 6,3 και 2 του μετατροπέα για τη μέτρηση των αναλογικών σημάτων και επιλέγονται από τη συνάρτηση που ακολουθεί

### **Η εντολή SOPT\_COPE=0;**

Απενεργοποίηση του watchdog

### **Αρχικοποίηση μεταβλητών**

- x=0;
- Celsius=0;
- division=0;

### **Καθορισμός του PORTA**

Σύμφωνα με το datasheet καθορίζονται όλα τα pins του PORT A ως έξοδοι εκτός από το pin0 που ορίζεται ως είσοδος

```
PTAD=0;
PTADD_PTADD0=1;
PTADD_PTADD1=1;
PTADD_PTADD2=1;
PTADD_PTADD3=1;
PTADD_PTADD4=1;
PTADD_PTADD5=1;
PTADD_PTADD6=1;
```

### **3.2.2 Η συνάρτηση επιλογής αναλογικού καναλιού εισόδου**

```
//-----Select channel for A/D converter-----
unsigned int channel_select_measure (unsigned char channel){
ATD1SC_ATDCH=channel;
delay(10000);
return ATD1R;
}
```

**Πρόγραμμα 3.2:** Η συνάρτηση channel\_select\_measure

### **3.2.3 Η απεικόνιση των μετρήσεων**

Προκειμένου οι μετρήσεις να απεικονισθούν, χρησιμοποιήθηκε ένα LCD Display δύο σειρών, 16 θέσεων (bit) η κάθε μία. Στην πρώτη σειρά απεικονίζονται η θερμοκρασία (στα 8



πρώτα bit) και η τάση (στα 8 τελευταία bit). Στη δεύτερη σειρά απεικονίζεται η γωνία που προκύπτει από το επιταχυνσιόμετρο. Προκειμένου βέβαια να γίνουν τα προαναφερθέντα χρειάζεται να προηγηθεί η ενεργοποίηση του display, η οποία γίνεται με την παρακάτω συνάρτηση

```
/****INITIAL display ****/
void in_display (void){
//-----enable the LCD display-----
WR=0; //zeroing the write signal
EN=0; //zeroing the enable signal
PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 1st time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 2nd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 3rd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x02 in Data Bus 1st time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x02 in Data Bus 2nd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x08 in Data Bus 1st time
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
```

**Πρόγραμμα 3.3:** Η συνάρτηση in\_display

```

//-----Setting the LCD display-----
PTAD_PTAD3=0;//Clear the display
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;//Take the 0x06 in Data Bus
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=1;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

//-----Setting the LCD display-----
PTAD_PTAD3=0;//Clear the display
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;//Take the 0x06 in Data Bus
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=1;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
clear_display();
}

```

**Πρόγραμμα 3.3:** Η συνάρτηση in\_display (Συνέχεια)

#### **Η εντολή WR=0;**

Ενεργοποιείται το σήμα WR, είναι δυνατή δηλαδή η αποστολή δεδομένων προς το display.

#### **Η εντολή EN=0;**

Αποστολή data

#### **Η υπορουτίνα LCD\_STROBE();**

Η υπορουτίνα LCD\_STROBE() καλείται σε κάθε νέα ένδειξη και ενεργοποιεί το display.

```

void LCD_STROBE(void)
{
    EN=1;//fluctuation (0,1) the enable signal
    delay(lcd_delay);
    EN=0;
}

```

**Πρόγραμμα 3.4:** Η συνάρτηση LCD\_STROBE

### Η υπορουτίνα delay(lcd\_delay);

Η υπορουτίνα delay(lcd\_delay) δημιουργεί μια καθυστέρηση μεταξύ των ενδείξεων  
void delay(unsigned int count)

```
{
    for ( i = 0; i< count; i++ )
    {
        __RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */
    }
}
```

**Πρόγραμμα 3.5:** Η συνάρτηση delay

### Το σβήσιμο του display

Προκειμένου να απεικονιστεί η επόμενη ένδειξη πρέπει να σβηστεί η προηγούμενη και για τον λόγο αυτό είναι απαραίτητη λοιπόν μια υπορουτίνα σβησίματος τους display

void clear\_display (void)

```
{
    RS=0;
    WR=0;
    PTAD_PTAD3=0;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=0;
    PTAD_PTAD6=0;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
    PTAD_PTAD3=1;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=0;
    PTAD_PTAD6=0;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
}
```

**Πρόγραμμα 3.6:** Η συνάρτηση clear\_display

### 3.2.4 Απεικόνιση Θερμοκρασίας και τάσης

Στην πρώτη σειρά του display απεικονίζονται η θερμοκρασία (στα 8 πρώτα bit) και η τάση (στα 8 τελευταία bit). Αυτό καθίσταται δυνατό με την παρακάτω συνάρτηση

void routine4disp(unsigned char number)

```
{
    WR=0;
    RS=1;
    if (number & 16){ //Control the 2nd 4-bits with the logic operation AND
        PTAD_PTAD3=1;
    }else{
```

**Πρόγραμμα 3.7:** Η συνάρτηση routine4disp

```

        PTAD_PTAD3=0;
    }
    if (number & 32 ){
        PTAD_PTAD4=1;
    }else{
        PTAD_PTAD4=0;
    }
    if (number & 64){
        PTAD_PTAD5=1;
    }else{
        PTAD_PTAD5=0;
    }
    if (number & 128){
        PTAD_PTAD6=1;
    }else{
        PTAD_PTAD6=0;
    }
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
    if (number & 0x01){ //Control the 1st 4-bits with the logic operation AND
        PTAD_PTAD3=1;
    }else{
PTAD_PTAD3=0;
    }
    if (number & 0x02){
        PTAD_PTAD4=1;
    }else{
        PTAD_PTAD4=0;
    }
    if (number & 0x04){
        PTAD_PTAD5=1;
    }else{
        PTAD_PTAD5=0;
    }
    if (number & 0x08){
        PTAD_PTAD6=1;
    }else{
        PTAD_PTAD6=0;
    }
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
}
}

```

**Πρόγραμμα 3.7:** Η συνάρτηση routine4disp (Συνέχεια)

### 3.2.5 Η επιλογή της γραμμής του display

Η επιλογή της γραμμής στην οποία θα έχουμε ένδειξη πραγματοποιείται με τις συναρτήσεις cursor\_line2 και cursor\_line1 που ακολουθούν. Η cursor\_line2 εκτελείται όταν

πρόκειται να πάρουμε ένδειξη γωνίας και η cursor\_line1 όταν παίρνουμε ένδειξη θερμοκρασίας και τάσης

```
void cursor_line2 (void)
{
    WR=0;
    RS=0;
    PTAD_PTAD3=0;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=1;
    PTAD_PTAD6=1;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
    PTAD_PTAD3=0;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=0;
    PTAD_PTAD6=0;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
}
```

**Πρόγραμμα 3.8:** Η συνάρτηση cursor\_line2

```
void cursor_line1 (void)
{
    WR=0;
    RS=0;
    PTAD_PTAD3=0;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=0;
    PTAD_PTAD6=1;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
    PTAD_PTAD3=0;
    PTAD_PTAD4=0;
    PTAD_PTAD5=0;
    PTAD_PTAD6=0;
    LCD_STROBE();
    delay(lcd_delay);
}
```

**Πρόγραμμα 3.9:** Η συνάρτηση cursor\_line1

### 3.2.6 Μέτρηση, μετατροπή και απεικόνιση της γωνίας

Το επιταχυνσιόμετρο αποτελεί την αναλογική είσοδο του αναλογικο-ψηφιακού μετατροπέα (A/D Converter) ο οποίος έχει 10bit στην έξοδο και επομένως  $2^{10}=1024 - 1=1023$  divisions (Το πρώτο division αντιστοιχεί στην τιμή 0) Η μέγιστη τάση εξόδου του A/D μετατροπέα είναι 3.3Volts.

Κατά το καλιμπράρισμα του επιταχυνσιόμετρου προέκυψαν τα παρακάτω δεδομένα:

- Οι  $0^\circ$  (σημείο ισοροπίας) αντιστοιχούν σε 1.46V και 463 div
- Οι  $90^\circ$  αντιστοιχούν σε 2.46V και 767 div
- Οι  $-90^\circ$  αντιστοιχούν σε 0.46V και 148 div

Επομένως με απλή μέθοδο των τριών προκύπτει ότι:

Στα 3.3V αντιστοιχούν 1023division  
Στα 1.46V αντιστοιχούν x

$$\Rightarrow x = \frac{1023 \cdot 1.46}{3.3} = 452 \text{ division}$$

Στα 3.3V αντιστοιχούν 1023division  
Στα 2.46V αντιστοιχούν x

$$\Rightarrow x = \frac{1023 \cdot 2.46}{3.3} = 762 \text{ division}$$

Στα 3.3V αντιστοιχούν 1023division  
Στα 0.46V αντιστοιχούν x

$$\Rightarrow x = \frac{1023 \cdot 0.46}{3.3} = 143 \text{ division}$$

Επειδή τα divisions από το καλιμπράρισμα απέχουν αρκετά από αυτά της θεωρητικής προσέγγισης θα χρησιμοποιήσουμε το μέσο όρο τους

$$\text{Για } 0^\circ: MO = \frac{463+452}{2} = 458 \text{ division}$$

$$\text{Για } 90^\circ: MO = \frac{767+762}{2} = 764 \text{ division}$$

$$\text{Για } -90^\circ: MO = \frac{148+143}{2} = 145 \text{ division}$$

Επομένως αν για παράδειγμα έχουμε μια κλίση  $20^\circ$

Σε  $90^\circ$  αντιστοιχούν 764division  
Σε  $20^\circ$  αντιστοιχούν x

$$\Rightarrow x = \frac{764 \cdot 20}{90} = 170 \text{ division}$$

Άρα για κλίση  $\theta=1^\circ$

Σε  $90^\circ$  αντιστοιχούν 764division  
Σε  $1^\circ$  αντιστοιχούν x

$$\Rightarrow x = \frac{764 \cdot 1}{90} = 3.44 \text{ division}$$

Με αυτό τον τρόπο προκύπτει ότι το σύστημά μας έχει διακριτική ικανότητα 3.44division/  $1^\circ$

Επομένως για γωνίες θετικές (δηλαδή για δεξιόστροφη κίνηση) αφαιρούμε τα 458 divisions από τα divisions που λαμβάνουμε και διαιρούμε το αποτέλεσμα με το 3.44 οπότε και υπολογίζεται η γωνία κλίσης. Για γωνίες αρνητικές (δηλαδή για αριστερόστροφη κίνηση) αφαιρούμε από τα 458 divisions τα divisions που λαμβάνουμε και διαιρούμε το αποτέλεσμα με το 3.44 οπότε και υπολογίζεται η γωνία κλίσης

Τα προαναφερθέντα συνοψίζονται στο κομμάτι του κώδικα που ακολουθεί

```

//-----Measure and Calculate the Angle-----
//-----measure-----
division=channel_select_measure(angle);
//-----Calculate Angle-----
if (division>458) {
pr=(division-458);
pr=(pr*100);
Angle=(pr/344);
zx=(Angle/10);
cv=(zx*10);
bn=(Angle-cv);
po=(zx+0x30);
iu=(bn+0x30);
//clear_display();
cursor_line2();
routine4disp('A');
routine4disp('n');
routine4disp('g');
routine4disp('l');
routine4disp('e');
routine4disp(':');
routine4disp(po);
routine4disp(iu);
routine4disp('o');
routine4disp('R');
routine4disp('I');
routine4disp('G');
routine4disp('H');
routine4disp('T');
}
else{
pr=(458-division);
pr=(pr*100);
Angle=(pr/344);
zx=(Angle/10);
cv=(zx*10);
bn=(Angle-cv);
po=(zx+0x30);
iu=(bn+0x30);
cursor_line2();
routine4disp('A');
routine4disp('n');
routine4disp('g');
routine4disp('l');
routine4disp('e');
routine4disp(':');
routine4disp(po);
routine4disp(iu);

```

**Πρόγραμμα 3.10:** Το τμήμα του κυρίως προγράμματος για τον υπολογισμό της κλίσης και την επίδειξη στην οθόνη

```

routine4disp('o');
routine4disp('L');
routine4disp('E');
routine4disp('F');
routine4disp('T');
delay(50000);

```

**Πρόγραμμα 3.10:** Το τμήμα του κυρίως προγράμματος για τον υπολογισμό της κλίσης και την επίδειξη στην οθόνη (Συνέχεια)

### 3.2.7 Μέτρηση, μετατροπή και απεικόνιση της θερμοκρασίας και της τάσης στην πρώτη σειρά της οθόνης

Προκειμένου ο αισθητήρας να μετράει και αρνητικές θερμοκρασίες, χρησιμοποιήθηκε μια δίοδος zener. Η δίοδος άγει στα 0,453mV οπότε αυτόματα θέσαμε ως 0 βαθμούς κελσίου όχι την τιμή 0V αλλά την τιμή 0,453mV. Αυτό σημαίνει ότι αν εκλάβουμε χαμηλότερες τιμές τάσεων από τα 0,453mV ο αισθητήρας είναι ικανός να μετρήσει πλέον και αρνητικές θερμοκρασίες σε συνεργασία με τις εξισώσεις που θα δημιουργήσουμε στο τμήμα προγραμματισμού του μικροελεγκτή σε γλώσσα C.

Οι 0°C αντιστοιχούν σε 0.453 Volt και αύξηση κατά 1°C αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 10mV.

Στα 3.3V (150° C) αντιστοιχούν 1023 division

$$\Rightarrow x = \frac{1023 \cdot 0.453}{3.3} = 140 \text{ division}$$

Στα 0.453V (0° C) αντιστοιχούν x

Στα 3.3V (150° C) αντιστοιχούν 1023 division

$$\Rightarrow x = \frac{1023 \cdot 0.463}{3.3} = 143 \text{ division}$$

Στα 0.463V (1° C) αντιστοιχούν x

Άρα προκύπτει ότι το σύστημά μας έχει διακριτική ικανότητα 3 divisions/1°C. Επομένως για θερμοκρασίες θετικές αφαιρούμε τα 140 divisions από τα divisions που λαμβάνουμε και διαιρούμε το αποτέλεσμα με το 3 οπότε και υπολογίζεται η θερμοκρασία. Τα προαναφερθέντα συνοψίζονται στο κομμάτι του κώδικα που ακολουθεί

```

division=channel_select_measure(thermo);
//-----calcute-----
x=(division-140); //A/D for Celsius
Celsius=(x/3); //Celsius
z=Celsius;
if (Celsius>30){
    PTBD_PTBD7=0; //Open the led
}else
PTBD_PTBD7=1; //Close the led

```

**Πρόγραμμα 3.11:** Το τμήμα του κυρίως προγράμματος για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και την επίδειξη στην οθόνη



```

//-----Setting the ASCII for temperature at display -----
cursor_line1();
qw=(z/10); //divide by ten to take the decimal
er=(qw*10);
ty=(z-er); //abstract to take the unit
q=(qw+0x30); //Codind the first digit result for ASCCI
ti=(ty+0x30); //Coding the second digit result for ASCCI
delay(500000);
//clear_display();
routine4disp("T");
routine4disp(":");
routine4disp(q);
routine4disp(ti);
routine4disp("");
routine4disp("C");
routine4disp(" ");
routine4disp("V");
routine4disp("o");
routine4disp("l");
routine4disp("t");
routine4disp(":");
routine4disp(aq);
routine4disp(ge);
routine4disp("V");

```

**Πρόγραμμα 3.11:** Το τμήμα του κυρίως προγράμματος για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας και την επίδειξη στην οθόνη (Συνέχεια)

Υπάρχει βεβαίως και μια αναλογική είσοδος για τη μέτρηση της τάσης τροφοδοσίας η οποία είναι δυνατόν να πάρει τιμές μεγαλύτερες από 10V που είναι η μέγιστη τιμή εξόδου του A/D μετατροπέα. Για το λόγο αυτό υλοποιήθηκε ένας διαιρέτης τάσης προκειμένου να είναι δυνατή η απεικόνιση της μετρούμενης τάσης. Ο υπολογισμός της τάσης πραγματοποιείται στο παρακάτω κομμάτι του κώδικα.

```

//-----Measure and calculate the input voltage-----
//-----measure-----
division=channel_select_measure(volt);
//-----calculate volt-----
Volt=(division*10)/721;//A/D for Volt
//-----Setting the ASCII for Volt at display-----
as=(Volt/10); //divide by ten to take the decimal
df=(as*10);
gh=(Volt-df); //abstract to take the unit
aq=(as+0x30); //Codind the first digit result for ASCCI
ge=(gh+0x30); //Codind the second digit result for ASCCI

```

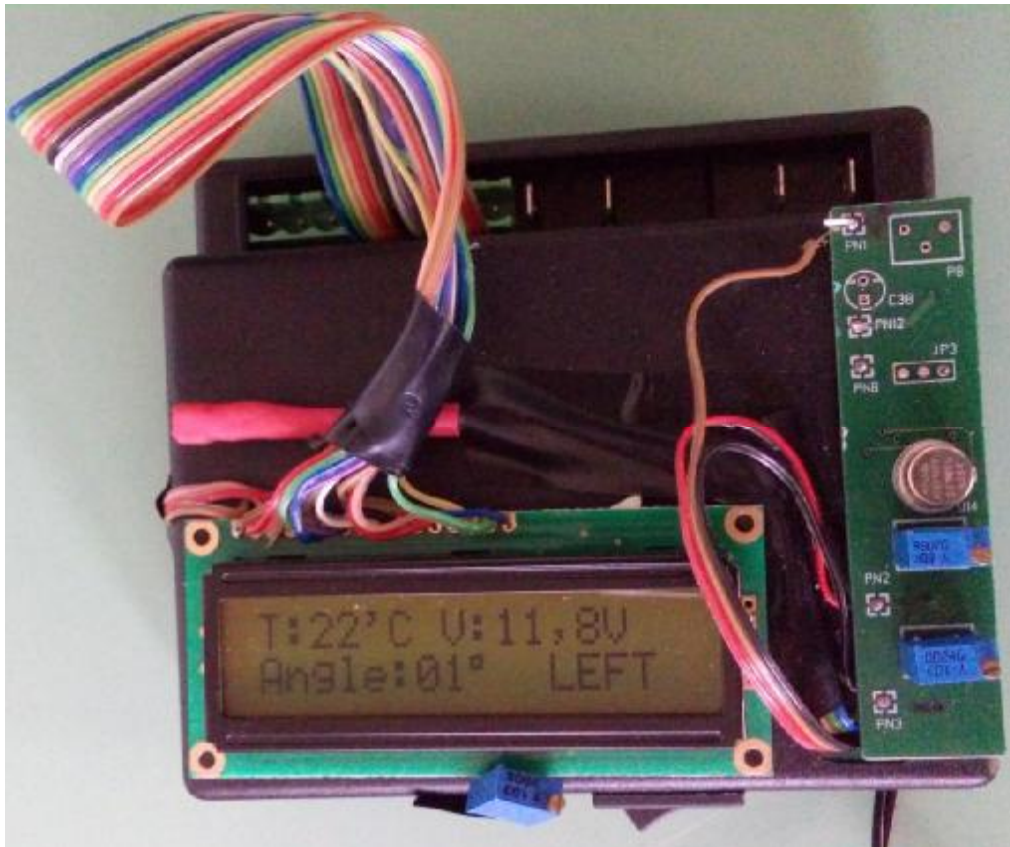
**Πρόγραμμα 3.12:** Το τμήμα του κυρίως προγράμματος για τον υπολογισμό της τάσης

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

#### 4.1 Το σύστημα εν λειτουργία

Στις παρακάτω εικόνες φαίνεται το σύστημα εν λειτουργία. Μπορεί κανείς να δει τις ενδείξεις στην οθόνη που αφορούν τόσο τη μέτρηση της θερμοκρασίας, όσο και της επιτάχυνσης. Πιο συγκεκριμένα, στην εικόνα 4.1 φαίνεται το σύστημα σε οριζόντια θέση (χωρίς κλίση). Βέβαια υπάρχει ένδειξη για αριστερή κλίση κατά  $1^\circ$ , η οποία πιθανότατα οφείλεται στο καλώδιο το οποίο εξέρχεται από το κάτω δεξιό μέρος της κατασκευής. Στην πρώτη γραμμή της οθόνης υπάρχει ένδειξη τόσο για τη θερμοκρασία του χώρου όσο και για την τάση που μετρούνταν τη συγκεκριμένη στιγμή.

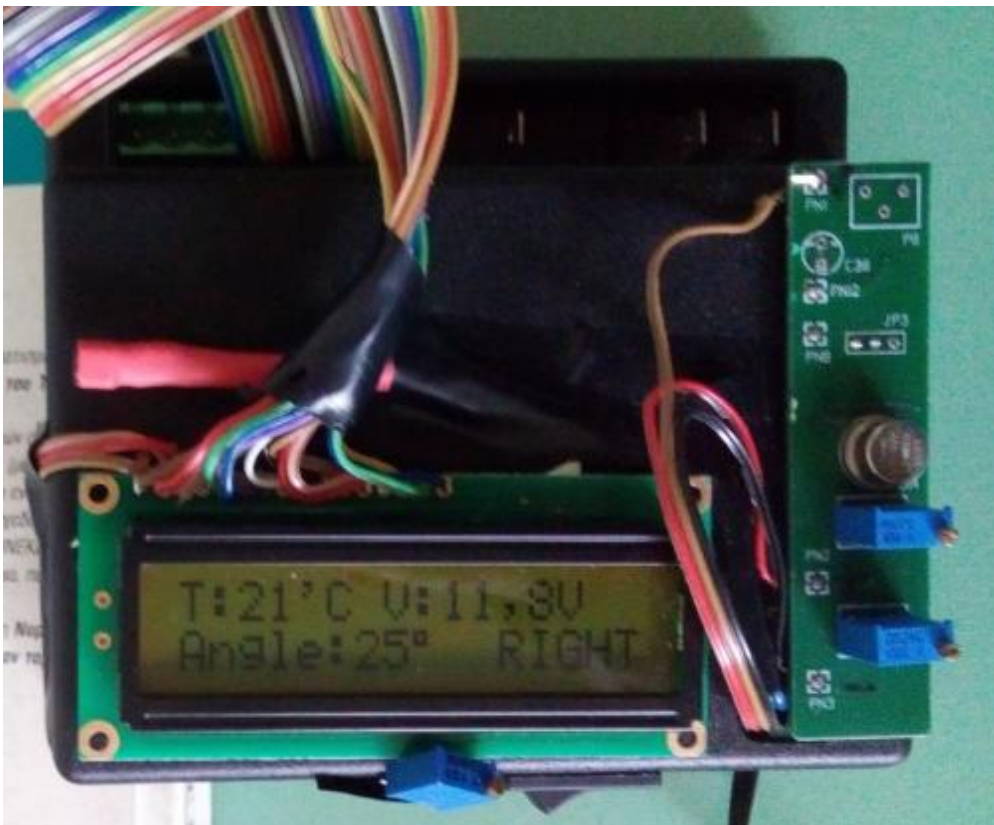


**Εικόνα 4.1:** Το σύστημα σε οριζόντια θέση

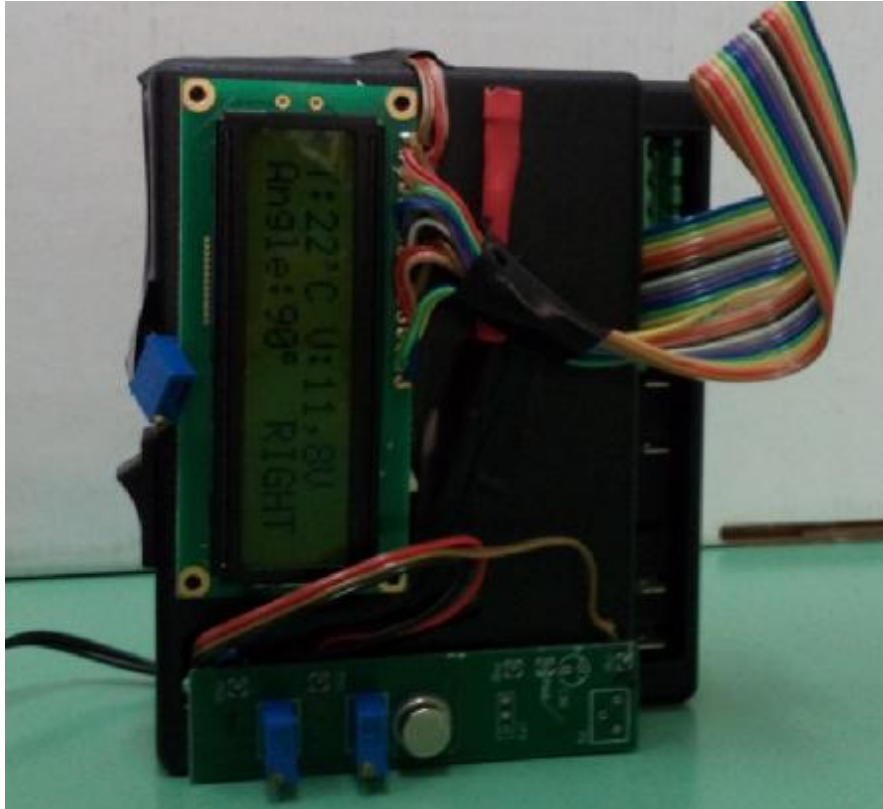
Ακολουθεί η εικόνα 4.2 στην οποία φαίνεται το σύστημα να έχει μια αριστερή κλίση που δημιουργήθηκε ακουμπώντας τη δεξιά πλευρά του συστήματος πάνω σε ένα βιβλίο. Αντίστοιχα και ανάλογα στην εικόνα 4.3 φαίνεται το σύστημα με δεξιά κλίση και τέλος στην εικόνα 4.4 φαίνεται το σύστημα σε όρθια θέση, οπότε και σχηματίζεται ορθή γωνία με το επίπεδο αναφοράς



**Εικόνα 4.2:** Το σύστημα με αριστερή κλίση 20°



**Εικόνα 4.3:** Το σύστημα με δεξιά κλίση 25°



**Εικόνα 4.4:** Το σύστημα σε ορθή γωνία

## 4.2 Συμπεράσματα

Το σύστημα θα μπορούσε να έχει πιο γρήγορη απόκριση αν χρησιμοποιούνταν πιο γρήγοροι αισθητήρες και ένας πιο γρήγορος μικροεπεξεργαστής. Επίσης η βαθμονόμηση θα μπορούσε να είναι καλύτερη αν χρησιμοποιούνταν A/D converter με περισσότερα bit εξόδου, οπότε και θα επιτυγχάνονταν μεγαλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις.

Για τον προσυπογράφο, η πτυχιακή αυτή εργασία αποτέλεσε μια ουσιαστική επαφή με τα συστήματα μετρήσεως και μετατροπής σημάτων (A/D Converter), με την αρχιτεκτονική και την αρχή λειτουργίας ενός σύγχρονου μικροεπεξεργαστή, με την αρχή λειτουργίας των αισθητήρων καθώς και με τη γλώσσα προγραμματισμού C.

## 4.3 Μελλοντικές Προτάσεις

Το σύστημα είναι εφοδιασμένο με είσοδο για κάρτα SD. Θα μπορούσε λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας προκειμένου τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, να αποθηκεύονται στην κάρτα και στη συνέχεια να αξιοποιούνται λαμβάνοντας γραφικές και δημιουργώντας βάσεις δεδομένων.

Επίσης επειδή το σύστημα διαθέτει οκτώ εισόδους για αισθητήρες, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν και άλλοι αισθητήρες οι οποίοι για παράδειγμα θα μετρούν την πίεση και τη θερμοκρασία των ελαστικών καθώς και την επιτάχυνση και επιβράδυνση του οχήματος.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Λάμπρος Μπισδούνης, Τεχνολογία Μετρήσεων, Σημειώσεις Διδασκαλίας, ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας, Τμ. Ηλεκτρολόγων Μηχανικών ΤΕ, 2013
- [2] Αθανάσιος Αργυρίου, Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες Θερμικοί, Μηχανικοί, Μαγνητικοί, Αισθητήρες Ακτινοβολίας και Χημικοί Αισθητήρες, Σημειώσεις Διδασκαλίας, Πανεπιστήμιο Πατρών, Τμ. Φυσικής, 2004
- [3] Freescale, HCS08 Microcontrollers, MC9S08GB60/D, Rev.2.3, 2004
- [4] Texas Instruments, LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, SNIS159F, 2016
- [5] Peter Elgar, Αισθητήρες μέτρησης και ελέγχου, Εκδόσεις Τζίοιας, 2003
- [6] Αντώνιος Γαστεράτος, Σπυρίδων Μουρούτσος και Ιωάννης Ανδρεάδης, Τεχνολογία μετρήσεων – αισθητήρια, Γκιούρδας Εκδοτική, 2008
- [7] Στοιχεία Τεχνολογίας Αεροσκαφών [http://www.kmakris.gr/AircraftComponents/Accelmeter/accel\\_gr.htm](http://www.kmakris.gr/AircraftComponents/Accelmeter/accel_gr.htm) (Ανάκτηση την 20/12/2015)
- [8] Avionics Overhaul Workshop <http://aelmahmoudy.users.sourceforge.net/electronix/egair/avionic.htm> (Ανάκτηση την 20/12/2015)
- [9] Nissan Xterra Forum>Tech Talk>Repair Questions>ABS Problems <http://www.clubxterra.org/forums/showthread.php?t=13740> (Ανάκτηση την 20/12/2015)
- [10] MotoGP technology and robots that ride, <http://www.sportbikes.net/forums/general-sportbikes/451026-motogp-technology-robots-ride-how-electronics-dominate-sport.html> (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [11] Πώς λειτουργεί: Aprilia Performance Ride Control [http://www.mototriti.gr/data/news/preview\\_news/93924.asp?pageprint=true](http://www.mototriti.gr/data/news/preview_news/93924.asp?pageprint=true) (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [12] Τεχνολογία: aPRC <http://www.aprilia.com.gr/gr/el/index/t%CE%B5%CF%87%CE%BD%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1/aprc.html> (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [13] Τεχνολογία: aPRC <http://www.mrbike.gr/website/technology/aprilia-performance-ride-control-aprc.html> (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [14] Bosch, Active Safety Systems, Motorcycle Stability Control Enhanced, [http://www.bosch-motorcycle.com/media/ubk\\_zweiraeder/produktdatenblaetter/en/2WP\\_ProductDataSheet\\_MSC\\_enhanced\\_EN\\_lowres\\_20151030.pdf](http://www.bosch-motorcycle.com/media/ubk_zweiraeder/produktdatenblaetter/en/2WP_ProductDataSheet_MSC_enhanced_EN_lowres_20151030.pdf) (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [15] Νέος αισθητήρας κλίσης 5D της Bosch για μοτοσυκλέτες, <http://www.newsbeast.gr/moto/odiki-asfaleia/arthro/449971/neos-aisthitiras-klisis-5d-tis-bosch-gia-motosukletes> (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [16] ABS (Αντιμπλοκάρισμα τροχών) <http://www.caroto.gr/2009/02/13/abs-%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE>

%AC%CF%81%CE%B9%CF%83%CE%BC%CE%B1-%CF%84%CF%81%CE% B  
F%CF%87%CF%8E%CE%BD/, (Ανάκτηση την 28/02/2016)

- [17] Σύστημα αντιμπλοκαρίσματος τροχών, [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1\\_%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%AF%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82\\_%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%87%CF%8E%CE%BD](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A3%CF%8D%CF%83%CF%84%CE%B7%CE%BC%CE%B1_%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%B9%CE%BC%CF%80%CE%BB%CE%BF%CE%BA%CE%B1%CF%81%CE%AF%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82_%CF%84%CF%81%CE%BF%CF%87%CF%8E%CE%BD) (Ανάκτηση την 28/02/2016)
- [18] Traction control system, [https://el.wikipedia.org/wiki/Traction\\_control\\_system](https://el.wikipedia.org/wiki/Traction_control_system) (Ανάκτηση την 28/02/2016)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ – Ο ΚΩΔΙΚΑΣ

Στην συνέχεια του παρόντος παραρτήματος παρουσιάζουμε τον πλήρη κώδικα που αναπτύχθηκε για τις ανάγκες της παρούσας πτυχιακής εργασίας

```
#include <hdef.h> /* for EnableInterrupts macro */
#include "derivative.h" /* include peripheral declarations */
#define RS PTAD_PTAD0
#define WR PTAD_PTAD1
#define EN PTAD_PTAD2
#define lcd_delay 500
#define thermo 6
#define volt 2
#define angle 3
void cursor_line2 (void);
void cursor_line1 (void);
void clear_display (void);
void delay(unsigned int count);
void LCD_STROBE(void);
void init (void);
void in_display (void);
void routine4disp(unsigned char number);
unsigned int channel_select_measure (unsigned char channel);
int i;
int sum;
unsigned int division;
int x;
int Celsius;
int c;
int z;
int qw;
int er;
int ty;
int q;
int ti;
int Volt;
int as;
int df;
int gh;
int aq;
int ge;
int Angle;
int zx;
int cv;
int bn;
int po;
int iu;
int pr;
```

```

//-----*Main Code*-----//
void main(void) {
init();
in_display();

label_1:
//-----measure -----//
//In case of positive temperatures 140 divisions are subtracted from //the divisions measured
and the result is divided by 3. That way //the actual temperature is measured.

//In order for the sensor to be able to measure negative //temperatures a Zener diode was used.
The conduction voltage of //the diode is 0.453mV. That allows us to associate the temperature
//of 0°C with 0.453mV rather than 0V which means that if the //measure is below 0°C the
sensor is able to measure it

division=channel_select_measure(thermo);

//-----calcute-----
x=(division-140); //A/D for Celsius
Celsius=(x/3); //Celsius
z=Celsius;
  if (Celsius>30){
    PTBD_PTBD7=0; //Open the led
  }else
PTBD_PTBD7=1; //Close the led

//-----Setting the ASCII for temperature at display -----
cursor_line1();
qw=(z/10); //divide by ten to take the decimal
er=(qw*10);
ty=(z-er); //abstract to take the unit
q=(qw+0x30); //Codind the first digit result for ASCCI
ti=(ty+0x30); //Coding the second digit result for ASCCI
delay(500000);
//clear_display();
routine4disp('T');
routine4disp(':');
routine4disp(q);
routine4disp(ti);
routine4disp("");
routine4disp('C');
routine4disp(' ');
routine4disp('V');
routine4disp('o');
routine4disp('l');
routine4disp('t');
routine4disp(':');
routine4disp(aq);
routine4disp(ge);
routine4disp('V');

```



```

//-----Measure and calculate the input voltage-----
//-----measure-----
division=channel_select_measure(volt);
//-----calculate volt-----
Volt=(division*10)/721;//A/D for Volt
//-----Setting the ASCII for Volt at display-----
as=(Volt/10); //divide by ten to take the decimal
df=(as*10);
gh=(Volt-df); //abstract to take the unit
aq=(as+0x30); //Codind the first digit result for ASCII
ge=(gh+0x30); //Codind the second digit result for ASCII
//-----Measure and Calculate the Angle-----
//In case of positive angles (clockwise movement) 458 divisions are //subtracted from the
divisions measured and the result is divided //by 3.44. That gives us the grade angle.
//In case of negative angles (anti-clockwise movement) the divisions //measured are
subtracted from the 458 divisions and the result is //divided by 3.44. That gives us the grade
angle.
//-----measure-----
division=channel_select_measure(angle);
//-----Calculate Angle-----
if (division>458) {
pr=(division-458);
pr=(pr*100);
Angle=(pr/344);
zx=(Angle/10);
cv=(zx*10);
bn=(Angle-cv);
po=(zx+0x30);
iu=(bn+0x30);
//clear_display();
cursor_line2();
routine4disp('A');
routine4disp('n');
routine4disp('g');
routine4disp('l');
routine4disp('e');
routine4disp(':');
routine4disp(po);
routine4disp(iu);
routine4disp('o');
routine4disp('R');
routine4disp('I');
routine4disp('G');
routine4disp('H');
routine4disp('T');
}
else{
pr=(458-division);
pr=(pr*100);
Angle=(pr/344);
}

```

```

zx=(Angle/10);
cv=(zx*10);
bn=(Angle-cv);
po=(zx+0x30);
iu=(bn+0x30);
cursor_line2();
routine4disp('A');
routine4disp('n');
routine4disp('g');
routine4disp('l');
routine4disp('e');
routine4disp(':');
routine4disp(po);
routine4disp(iu);
routine4disp('o');
routine4disp('L');
routine4disp('E');
routine4disp('F');
routine4disp('T');
delay(50000);
}
goto label_1;//return
}
/*****
*
*
*****/
/****INITIAL APPLICATION *****/

//-----Initialization microprocessor-----
void init (void){

PTBDD_PTBDD7=1; //SET LED A OUTPUT
ATD1C=0xC1;
ATD1SC=0x03;
ATD1PE=0x4C; //A/D pins enable

SOPT_COPE=0;
x=0;
Celsius=0;
division=0;
//-----setting registers and ports as outputs-----
PTAD=0;
PTADD_PTADD0=1;
PTADD_PTADD1=1;
PTADD_PTADD2=1;
PTADD_PTADD3=1;
PTADD_PTADD4=1;
PTADD_PTADD5=1;
PTADD_PTADD6=1;
}

```

```

/*****
*
*
*****/INITIAL APPLICATION *****/
void LCD_STROBE(void)
{
    EN=1;//fluctuation (0,1) the enable signal
    delay(lcd_delay);
    EN=0;
}
/*****
*
*
*****/INITIAL APPLICATION *****/
//simple delay routine
void delay(unsigned int count) {

for ( i = 0; i< count; i++ ) {__RESET_WATCHDOG(); /* feeds the dog */}
}
/*****
*
*
*****/INITIAL display *****/
void in_display (void){
//-----enable the LCD display-----

WR=0; //zeroing the write signal
EN=0; //zeroing the enable signal

PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 1st time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 2nd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=1;//Sending 0x30 in Data Bus 3rd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x02 in Data Bus 1st time

```

```

PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x02 in Data Bus 2nd time
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

PTAD_PTAD3=0;//Sending 0x08 in Data Bus 1st time
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

//-----Setting the LCD display-----
PTAD_PTAD3=0;//Clear the display
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;//Take the 0x06 in Data Bus
PTAD_PTAD4=1;
PTAD_PTAD5=1;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

//-----Setting the LCD display-----
PTAD_PTAD3=0;//Clear the display
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;//Take the 0x06 in Data Bus
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=1;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);

clear_display();
}

```

```

//-----routine for clearing the display-----
void clear_display (void){
  RS=0;
  WR=0;
  PTAD_PTAD3=0;
  PTAD_PTAD4=0;
  PTAD_PTAD5=0;
  PTAD_PTAD6=0;
  LCD_STROBE();
  delay(lcd_delay);
  PTAD_PTAD3=1;
  PTAD_PTAD4=0;
  PTAD_PTAD5=0;
  PTAD_PTAD6=0;
  LCD_STROBE();
  delay(lcd_delay);
}

//-----routine for ASCII-----
void routine4disp(unsigned char number){

  WR=0;
  RS=1;
  if (number & 16){ //Control the 2nd 4-bits with the logic operation AND
  PTAD_PTAD3=1;
  }else{

  PTAD_PTAD3=0;
  }
  if (number & 32 ){
  PTAD_PTAD4=1;
  }else{
  PTAD_PTAD4=0;
  }
  if (number & 64){
  PTAD_PTAD5=1;
  }else{
  PTAD_PTAD5=0;
  }
  if (number & 128){
  PTAD_PTAD6=1;
  }else{
  PTAD_PTAD6=0;
  }
  LCD_STROBE();
  delay(lcd_delay);

  if (number & 0x01){ //Control the 1st 4-bits with the logic operation AND
  PTAD_PTAD3=1;
  }else{

```

```

PTAD_PTAD3=0;
    }
if (number & 0x02){
PTAD_PTAD4=1;
}else{
PTAD_PTAD4=0;
    }
if (number & 0x04){
PTAD_PTAD5=1;
}else{
PTAD_PTAD5=0;
    }
if (number & 0x08){
PTAD_PTAD6=1;
}else{
PTAD_PTAD6=0;
    }
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
}
//-----Routine for writing in the 2nd line of display-----
void cursor_line2 (void){
WR=0;
RS=0;
PTAD_PTAD3=0;
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=1;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
}

//-----Routine for writing in the 1st line of display-----
void cursor_line1 (void){
WR=0;
RS=0;
PTAD_PTAD3=0;
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=1;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
PTAD_PTAD3=0;

```

```
PTAD_PTAD4=0;
PTAD_PTAD5=0;
PTAD_PTAD6=0;
LCD_STROBE();
delay(lcd_delay);
}

//-----Select channel for A/D converter-----
unsigned int channel_select_measure (unsigned char channel){

ATD1SC_ATDCH=channel;

delay(10000);

return ATD1R;
}
```