

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

## **ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΩΝ ΣΕ ΕΞΥΠΝΟ ΣΠΙΤΙ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

του φοιτητή  
Μαρμαρέλη Σοφοκλή  
ΑΜ: 3191

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Στυλιανός Κουριδάκης

# Περίληψη

Με τον όρο έξυπνο σπίτι (smart home) ή σύστημα αυτοματισμών κατοίκων (home automation system) περιγράφουμε σπίτια τα οποία διαθέτουν ηλεκτρονικά και μηχανολογικά συστήματα με σκοπό να προσφέρουν άνεση, ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας στους κατοίκους. Οι λειτουργίες που εκτελεί ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να είναι απλές, όπως η ρύθμιση της έντασης του φωτισμού των χώρων του σπιτιού, ή πιο πολύπλοκες, όπως η παρακολούθηση της υγείας των κατοίκων και η ενημέρωση του πλησιέστερου νοσοκομείου εάν υπάρξει πρόβλημα. Με την μεγάλη εξέλιξη στα ψηφιακά συστήματα, στους αισθητήρες, στην επεξεργασία σήματος και στην τεχνητή νοημοσύνη τα έξυπνα σπίτια αποκτούνε όλο και περισσότερες δυνατότητες και για την υλοποίηση των συστημάτων τους υπάρχουνε πολλές διαθέσιμες τεχνολογίες.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία υλοποιήσαμε ένα έξυπνο σπίτι με την χρήση μικροελεγκτή. Οι μικροελεγκτές είναι «μικροί υπολογιστές» με επεξεργαστή, μνήμη και περιφερειακές συσκευές, όλα τοποθετημένα μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Τα προγράμματα που εκτελούν οι μικροελεγκτές μπορούν να γραφούν σε γλώσσα assembly ή κάποια γλώσσα υψηλού επιπέδου. Από τα παραπάνω χαρακτηριστικά συμπεραίνουμε ότι η χρήση μικροελεγκτών μπορεί να μειώσει σημαντικά τον χρόνο και το κόστος ανάπτυξης. Στην παρούσα πτυχιακή χρησιμοποιήσαμε τον μικροελεγκτή AT89LP51RD2 της ATMEL ο οποίος είναι ένας μικροελεγκτής αρχιτεκτονικής 8051. Αυτός ο μικροελεγκτής εκτελεί τις περισσότερες εντολές σε έναν κύκλο ρολογιού σε αντίθεση με την κλασσική 8051 CPU που χρειαζόταν 12 κύκλους. Επίσης, για την ίδια ρυθμαπόδοση με μία κλασσική 8051 CPU μπορούμε να πετύχουμε μείωση έως και 80% στην κατανάλωση ισχύος, με μείωση της συχνότητας του ρολογιού. Τέλος μπορούμε να πετύχουμε ρυθμαπόδοση 20 MIPS, δηλαδή 12 φορές μεγαλύτερη από την κλασσική 8051 CPU.

# Περιεχόμενα

Περίληψη .....	0
Περιεχόμενα.....	2
Λίστα σχημάτων .....	4
Λίστα πινάκων .....	5
Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή .....	6
1.1 Αντικείμενο της πτυχιακής .....	6
1.2 Στόχοι της πτυχιακής .....	8
1.3 Δομή της πτυχιακής .....	8
Κεφάλαιο 2: Ο μικροελεγκτής.....	9
2.1 Η έννοια του μικροελεγκτή.....	9
2.2 Τα συστατικά μέρη ενός μικροελεγκτή .....	10
2.3 Η αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών.....	15
2.4 Χρησιμότητα των μικροελεγκτών.....	17
Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του συστήματος .....	21
3.1 Περιγραφή των χώρων του σπιτιού .....	21
3.2 Έλεγχος φωτισμού .....	22
3.3 Έλεγχος θερμοκρασίας δωματίων.....	24
Κεφάλαιο 4: Ο μικροελεγκτής AT89LP51RD2 .....	26
4.1 Χαρακτηριστικά του AT89LP51RD2.....	26
4.2 Οργάνωση μνήμης .....	28
4.3 Διακοπές.....	29
4.4 Timers .....	32
4.5 Analog-to-Digital Converter .....	33
Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση του συστήματος.....	37
5.1 Διαδικασίες εισόδου/εξόδου στα δωμάτια.....	37
5.1.1 Ζεύγος φωτοδιόδου – laser .....	37
5.1.2 Ο αποπολυπλέκτης 74HC154 .....	41
5.1.3 Είσοδος / Έξοδος στα δωμάτια .....	44
5.2 Παρακολούθηση και ρύθμιση θερμοκρασίας .....	47
5.2.1 Αισθητήριο θερμοκρασίας .....	47
5.2.2 Ρύθμιση του ADC .....	48
5.2.3 Ρύθμιση του Timer 0.....	48
5.2.4 Έλεγχος θερμοκρασίας .....	49
5.3 Ανίχνευση πυρκαγιάς και πλημμύρας.....	52
5.4 Έλεγχος τέντας.....	52

Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα .....	53
Βιβλιογραφία .....	55

## Λίστα σχημάτων

Σχήμα 2.1 Σύνδεση μικροελεγκτή με εξωτερικές διατάξεις.....	11
Σχήμα 2.2 Ένας μικροελεγκτής των 8-bit.....	15
Σχήμα 2.3 Ένα Ψηφιακό κύκλωμα .....	19
Σχήμα 2.4 Το προηγούμενο κύκλωμα με χρήση PLD.....	19
Σχήμα 2.5 Υλοποίηση με χρήση μικροελεγκτή.....	20
Σχήμα 3.1 Κάτοψη του σπιτιού .....	22
Σχήμα 3.2 Αισθητήρες στις πόρτες.....	23
Σχήμα 4.1 Block diagram του μικροελεγκτή AT89LP51RD2 .....	27
Σχήμα 4.2 Εσωτερική μνήμη δεδομένων.....	29
Σχήμα 4.3 Το υποσύστημα του ρολογιού .....	32
Σχήμα 4.4 Auto-Reload mode των timers .....	33
Σχήμα 4.5 Block diagram του ADC .....	34
Σχήμα 4.6 Διάγραμμα χρονισμού μιας ADC μετατροπής.....	35
Σχήμα 4.7 Υποσύστημα ρολογιού του ADC .....	35
Σχήμα 5.1 Σύμβολο φωτοδιόδου .....	37
Σχήμα 5.2 Χαρακτηριστικές φωτοδιόδου για διάφορες εντάσεις φωτισμού .....	38
Σχήμα 5.3 Σχετική φασματική απόκριση για διάφορες φωτοδιόδους πυριτίου .....	38
Σχήμα 5.4 Φασματική απόκριση ακτίνας με πολλά μήκη κύματος .....	39
Σχήμα 5.5 Φασματική απόκριση μιας σχεδόν μονοχρωματικής ακτίνας.....	39
Σχήμα 5.6 Κύκλωμα προσαρμογής φωτοδιόδου .....	40
Σχήμα 5.7 Διάγραμμα λειτουργίας του αποπολυπλέκτη 74HC154.....	42
Σχήμα 5.8 Πίνακας αλήθειας του αποπολυπλέκτη 74HC154 .....	42
Σχήμα 5.9 Σύνδεση αποπολυπλέκτη στον μικροελεγκτή.....	43
Σχήμα 5.10 Σύνδεση των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων στους ακροδέκτες των εξωτερικών διακοπών .....	45
Σχήμα 5.11 Το αισθητήριο θερμοκρασίας TMP37 .....	47
Σχήμα 5.12 Κύκλωμα προσαρμογής του TMP37.....	48

## Λίστα πινάκων

Πίνακας 4.1 Περιοχές μνήμης .....	28
Πίνακας 4.2 Διανύσματα διακοπών.....	30
Πίνακας 4.3 Ρύθμιση προτεραιοτήτων .....	30
Πίνακας 5.1 Έξοδος κυκλώματος προσαρμογής TMP37 και ADC για θερμοκρασία από 13-30° C .....	51

# Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

## 1.1 Αντικείμενο της πτυχιακής

Σε μία πρόσφατη επίσημη αναφορά που εκδόθηκε από τη Sun Microsystems, σχετικά με την αρχιτεκτονική του βασικού πυρήνα του μικροεπεξεργαστή picoJava, τονίζεται ότι μέχρι το τέλος της τρέχουσας δεκαετίας ένα μέσο σπίτι θα περιλαμβάνει ουσιαστικά συστήματα των 50 έως και 100 συνολικά μικροελεγκτών, οι οποίοι θα ελέγχουν διάφορες συσκευές όπως είναι τα ψηφιακά τηλέφωνα, οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι συσκευές αναπαραγωγής εικόνας, οι τηλεοράσεις, τα πλυντήρια πιάτων, τα συστήματα ασφαλείας και διάφορα άλλα. Παρά το γεγονός ότι ο παραπάνω ισχυρισμός αντικατοπτρίζεται σε ένα είδος οικίας που ενδεχομένως θα συναντήσουμε σε προηγμένες χώρες, εντούτοις τονίζεται αναμφίβολα το γεγονός μια μαζικής χρήσης μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών σε οικιακό περιβάλλον. Εκτός από την οικιακή χρήση, ένα άλλο σημαντικό πεδίο που τροφοδοτεί την ραγδαία ανάπτυξη των μικροελεγκτών είναι και αυτό του εμπορίου ηλεκτρονικών συστημάτων. Αναφέρουμε απλά ότι με την εμφάνιση των έξυπνων καρτών (Smart Cards) , οι οποίες διαθέτουν μεγαλύτερες χωρητικότητες αποθήκευσης σε σχέση με τις παραδοσιακές μαγνητικές κάρτες ενώ ταυτόχρονα συνδυάζουν και μεγαλύτερη αξιοπιστία, τείνει να καταργηθεί η χρήση των κοινών χαρτονομισμάτων, των οποίων την θέση θα διαδεχτούν οι διατάξεις αυτές, γεγονός που συνηγορεί στο ότι ένας μεγάλος αριθμός ανθρώπων στο μέλλον θα χρησιμοποιεί τις έξυπνες κάρτες. Επίσης ενδεικτικά αναφέρουμε ότι ένα μέσο αυτοκίνητο διαθέτει πλέον κατά μέσο όρο, περίπου 15 επεξεργαστές.

Ωστόσο είναι γεγονός ότι οι μικροελεγκτές και οι μικροεπεξεργαστές είναι πιο προσιτοί στη χρήση τους σε συστήματα ελέγχου σε σχέση με ειδικά κυκλώματα που υλοποιούν πολύπλοκες μηχανές καταστάσεων (State Machines), πολύ πιο οικονομικοί σε περιπτώσεις αναβάθμισης, ενώ γενικώς απαιτούν και λιγότερα αποθέματα. Οι ιδιότητες αυτές που απορρέουν από την χρήση των μικροελεγκτών οδηγούν γενικά σε οικονομικότερες λύσεις και μεγαλύτερα κέρδη σε ότι αφορά το σχετικό πεδίο ενός ισχυρού ανταγωνισμού. Εκεί άλλωστε οφείλεται και η ραγδαία ανάπτυξη των μικροελεγκτών και των μικροεπεξεργαστών. Παρατηρείται γενικότερα μια μαζική χρήση των μικροελεγκτών σε επίπεδο ειδικών διατάξεων, συστημάτων και διαφόρων εξαρτημάτων.

Στην παρούσα πτυχιακή αναπτύξαμε ένα έξυπνο σπίτι με την χρήση ενός μικροελεγκτή. Με τον όρο «έξυπνα σπίτια (smart home)» ή «συστήματα αυτοματισμών κατοικιών (home automation system)» περιγράφονται ηλεκτρικές εγκαταστάσεις που τοποθετούνται σε σπίτια με σκοπό να προσφέρουν άνεση, ασφάλεια και εξοικονόμηση ενέργειας και χρημάτων στους ενοίκους. Οι έξυπνες εγκαταστάσεις αλληλεπιδρούν με το περιβάλλον χρησιμοποιώντας ένα μέσο επικοινωνίας με τη βοήθεια του οποίου ανταλλάσσουν δεδομένα προκειμένου να διεξάγουν κάποιες λειτουργίες όπως να ενεργοποιήσουν το φωτισμό ενός χώρου ή να ρυθμίσουν τη θερμοκρασία. Έξυπνα συστήματα εγκαθίστανται και σε εμπορικές εφαρμογές όπου αναφέρονται με τον όρο «αυτοματισμοί κτηρίων (building automation)».

Τα έξυπνα συστήματα μπορούν να ελέγχουν εκτός από τις ηλεκτρολογικές εγκαταστάσεις, τις μηχανολογικές εγκαταστάσεις αλλά και οικιακές συσκευές και συσκευές πολυμέσων (multimedia) δημιουργώντας ένα ενοποιημένο σύστημα. Στις τελευταίες εντάσσονται οι συσκευές τηλεπικοινωνιών, τα ηχοσυστήματα αλλά και οι τηλεοράσεις του σπιτιού. Συνδυάζοντας όλες αυτές τις ανεξάρτητες, αρχικά, εγκαταστάσεις σε μία κοινή βάση αποκτάται πλήρης έλεγχος της οικίας ο οποίος μπορεί να διεξαχθεί ακόμα και από μακριά.

Ένα χαρακτηριστικό των έξυπνων σπιτιών είναι ότι τα ίδια περιφερειακά χρησιμοποιούνται για πολλές χρήσεις. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ότι οι αισθητήρες παρουσίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο του φωτισμού και του συστήματος θέρμανσης αλλά χρησιμεύουν και για το σύστημα του συναγερμού. Ένα άλλο παράδειγμα αφορά στις οθόνες των τηλεοράσεων, οι οποίες μπορούν να προβάλλουν και την εικόνα της θυροτηλεόρασης.

Τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από τον αποτελεσματικό συντονισμό των συστημάτων αφορούν στη διευκόλυνση της καθημερινότητας των χρηστών. Η βελτίωση της ποιότητας ζωής των ενοίκων, έπειτα από κατάλληλο προγραμματισμό του συστήματος, συνοδεύεται από εξοικονόμηση της καταναλισκόμενης ενέργειας και κατ' επέκταση και από εξοικονόμηση χρημάτων. Επίσης, τα έξυπνα συστήματα είναι δυνατό να εξασφαλίσουν ασφαλέστερες συνθήκες διαβίωσης. Κάποια ενδεικτικά παραδείγματα σχετικά με τους τρόπους που επιτυγχάνονται αυτοί οι στόχοι είναι τα εξής:

-ποιότητα ζωής: Ο ένοικος, μέσω οποιουδήποτε τονικού τηλεφώνου, σταθερού ή κινητού ή μέσω του internet, μπορεί να χειριστεί τις κύριες λειτουργίες της κατοικίας κατά τη διάρκεια απουσίας του. Έτσι, έχει τη δυνατότητα να ανάψει το θερμοσίφωνα λίγο πριν φτάσει σπίτι του και να ρυθμίσει τη θερμοκρασία του σπιτιού. Επίσης, μπορεί να προγραμματίσει αυτοματοποιημένο πότισμα κατά τη διάρκεια μακράς απουσίας.

-εξοικονόμηση ενέργειας: Η κατανάλωση ενέργειας μειώνεται με τον αυτόματο έλεγχο των θερμαντικών σωμάτων. Εφόσον η θερμοκρασία δωματίου φτάσει σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο, τα θερμαντικά σώματα απενεργοποιούνται αυτόματα. Ένας άλλος τρόπος για την αποφυγή άσκοπης κατανάλωσης ενέργειας είναι η απενεργοποίηση της θέρμανσης όταν είναι ανοιχτά τα παράθυρα.

-ασφάλεια: Τα σύγχρονα συστήματα προσφέρουν τη δυνατότητα παρακολούθησης της κατοικίας. Έτσι, ο ιδιοκτήτης έχει τη δυνατότητα, όχι μόνο να παρακολουθεί από όλες τις τηλεοράσεις του σπιτιού την εικόνα που καταγράφουν οι κάμερες, αλλά και ενημερώνεται για την κατάσταση της οικίας κατά την απουσία του μέσω φωτογραφιών στο κινητό του. Σε περίπτωση που ενεργοποιηθούν οι αισθητήρες συναγερμού λόγω παραβίασης, υπάρχει η δυνατότητα αυτόματης καταγραφής εικόνων. Επιπλέον, ο ιδιοκτήτης μπορεί να ενημερώνεται αν προκύψει κάτι έκτακτο όπως πυρκαγιά ή διαρροή νερού κατά την απουσία του.



## 1.2 Στόχοι της πτυχιακής

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής ήταν να μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των μικροελεγκτών αρχιτεκτονικής 8051 και στη συνέχεια να αναπτυχθεί ένα σύστημα με την χρήση ενός τέτοιου μικροελεγκτή.

Πρώτος στόχος ήταν να μελετηθούν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες των μικροελεγκτών.

Δεύτερος στόχος ήταν να αναλύσουμε τις απαιτήσεις τους συστήματός μας και να προδιαγράψουμε τις λειτουργίες που θα εκτελεί.

Τρίτος στόχος ήταν να επιλέξουμε έναν μικροελεγκτή αρχιτεκτονικής 8051, ο οποίος θα μπορούσε να ικανοποιήσει τις απαιτήσεις του συστήματός μας.

Τέταρτος στόχος ήταν να προδιαγράψουμε τα κυκλώματα με τα οποία επικοινωνεί ο μικροελεγκτής για να στέλνει σήματα και να παίρνει πληροφορίες.

Πέμπτος στόχος ήταν η συγγραφή του κώδικα που θα εκτελεί ο μικροελεγκτής και στη συνέχεια η αποσφαλμάτωσή του.

## 1.3 Δομή της διπλωματικής

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή στους μικροελεγκτές και τα έξυπνα σπίτια και παρουσιάζονται οι στόχοι και η δομή της διπλωματικής.

Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός της έννοιας του μικροελεγκτή και διαχωρίζεται από τις έννοιες του μικροεπεξεργαστή και του μικροϋπολογιστή. Στη συνέχεια περιγράφονται τα συστατικά μέρη ενός μικροελεγκτή και γίνεται μια σύντομη αναφορά στην αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών. Τέλος αναφερόμαστε στην χρησιμότητα των μικροελεγκτών και στις εναλλακτικές λύσεις που υπάρχουν.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναλύουμε τις απαιτήσεις του συστήματός μας και προδιαγράφουμε τις λειτουργίες του. Περιγράφουμε τα σενάρια φωτισμού και θέρμανσης καθώς και τους μηχανισμούς ασφαλείας που διαθέτει.

Στο τέταρτο κεφάλαιο κάνουμε μια παρουσίαση του μικροελεγκτή AT89LP51RD2. Περιγράφουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του και παρουσιάζουμε τα υποσυστήματα και περιφερειακά που διαθέτει. Πιο συγκεκριμένα, γίνεται αναλυτική περιγραφή του υποσυστήματος διακοπών, των Timers και του Analog-to-Digital converter.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την υλοποίηση του συστήματος έξυπνο σπίτι. Περιγράφουμε τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν και αναλύουμε τα κυκλώματα που χρησιμοποιήθηκαν για την σύνδεσή τους στο μικροελεγκτή. Αναλύουμε, επίσης την λειτουργία των κυκλωμάτων και ψηφιακών συστημάτων που χρησιμοποιεί ο μικροελεγκτής κατά την εκτέλεση διάφορων εργασιών. Τέλος περιγράφουμε τον τρόπο που υλοποιεί ο μικροελεγκτής τις λειτουργίες της κατοικίας και τις ρυθμίσεις που κάνουμε στα περιφερειακά που περιλαμβάνονται στον μικροελεγκτή.

Στο έκτο κεφάλαιο παραθέτουμε τα συμπεράσματά μας από την ανάπτυξη του συστήματος, τόσο σε σχέση με τους μικροελεγκτές όσο και με τα έξυπνα σπίτια.

## Κεφάλαιο 2: Ο μικροελεγκτής

Ο μικροελεγκτής είναι ένας “μικρός υπολογιστής” τοποθετημένος σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο περιέχει έναν επεξεργαστή, μνήμη και προγραμματιζόμενα περιφερειακά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ορίσουμε την έννοια του μικροελεγκτή και θα την διαχωρίσουμε από τις έννοιες του μικροεπεξεργαστή και του μικροϋπολογιστή. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα συστατικά μέρη ενός μικροελεγκτή και την αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών. Επίσης θα αναφέρουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μικροελεγκτών καθώς και τις εναλλακτικές λύσεις που υπάρχουν στην ανάπτυξη ψηφιακών συστημάτων. Τέλος, θα αναφερθούμε στον μικροελεγκτή που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα διπλωματική και θα περιγράψουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του και τα υποσυστήματα που διαθέτει.

### 2.1 Η έννοια του μικροελεγκτή

Έχουμε συνηθίσει να ακούμε τους όρους μικροελεγκτής, μικροϋπολογιστής και μικροεπεξεργαστής χωρίς κανέναν ιδιαίτερο διαχωρισμό. Ωστόσο, κάθε ένας από τους παραπάνω όρους έχει διακριτή σημασία. Παρακάτω θα δώσουμε τους ορισμούς τους και μερικά παραδείγματα.

Ένας μικροεπεξεργαστής είναι ουσιαστικά μια μονάδα κεντρικής επεξεργασίας (ή CPU) υλοποιημένη μέσα σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Πριν από πολλά χρόνια, μια τέτοια μονάδα επεξεργασίας σχεδιάζονταν με τη βοήθεια πολλών διακριτών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μεσαίας και μεγάλης κλίμακας ολοκλήρωσης (MSI και LSI). Η γνωστή εταιρεία Intel, παρουσιάζοντας το 4004, έθεσε όλες τις απαραίτητες μονάδες που περιλαμβάνει τυπικά μία CPU (αριθμητική λογική μονάδα ή ALU, αποκωδικοποιητής εντολών, καταχωρητές, κυκλώματα ελέγχου διαύλων κτλ) εντός ενός απλού ολοκληρωμένου κυκλώματος (chip) και έτσι γεννήθηκε ο μικροεπεξεργαστής. Ο 4004 ήταν ένας απλός επεξεργαστής των 4 δυαδικών ψηφίων, ο οποίος σχεδιάστηκε για χρησιμοποιηθεί ως μονάδα επεξεργασίας αριθμών σε μία αριθμομηχανή.

Όταν μια τέτοια διάταξη, όπως ένας μικροεπεξεργαστής, μαζί με τα απαραίτητα κυκλώματα υποστήριξης (περιφερειακές μονάδες εισόδου-εξόδου και μνήμη προγράμματος και δεδομένων) τοποθετηθούν μαζί στο ίδιο υλικό, έτσι ώστε να σχηματίσουν έναν στοιχειώδη υπολογιστή, ειδικότερα σε εφαρμογές ελέγχου και λήψης αποφάσεων, η διάταξη που προκύπτει καλείται μικροϋπολογιστής.

Με άλλα λόγια αν θέλαμε να σχεδιάσουμε ένα κύκλωμα βασισμένο στον δημοφιλή μικροεπεξεργαστή 8088 τοποθετούσαμε επίσης EPROM για την αποθήκευση του προγράμματος, μνήμη RAM για την αποθήκευση μεταβλητών και αποτελεσμάτων διαφόρων πράξεων, καθώς επίσης και μερικές μονάδες εισόδου-εξόδου για την διασύνδεση του συστήματος με τον περιβάλλον του, θα είχαμε ουσιαστικά σχηματίσει έναν μικροϋπολογιστή.

Επεκτείνοντας την παραπάνω λογική, όταν όλες οι παραπάνω διακριτές μονάδες που αποτελούν έναν μικροϋπολογιστή τοποθετηθούν μέσα στο σώμα του ίδιου

ολοκληρωμένου κυκλώματος, η διάταξη που προκύπτει καλείται μικροελεγκτής. Η εταιρεία Texas Instruments πραγματοποίησε την είσοδό της στο χώρο των μικροελεγκτών, παρουσιάζοντας τον πρώτο μικροελεγκτή της από τον οποίον προέκυψε η οικογένεια των μικροελεγκτών TMS1000. Τα μέλη της σειράς των μικροελεγκτών TMS1000 διέθεταν ικανοποιητικά μεγέθη μνήμης RAM και ROM καθώς επίσης και αρκετές μονάδες εισόδου-εξόδου (I/O) και χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα ως ελεγκτές φούρνων μικροκυμάτων, σε βιομηχανικού τύπου χρονοιστές (Industrial Timers) και σε συστήματα αριθμομηχανών.

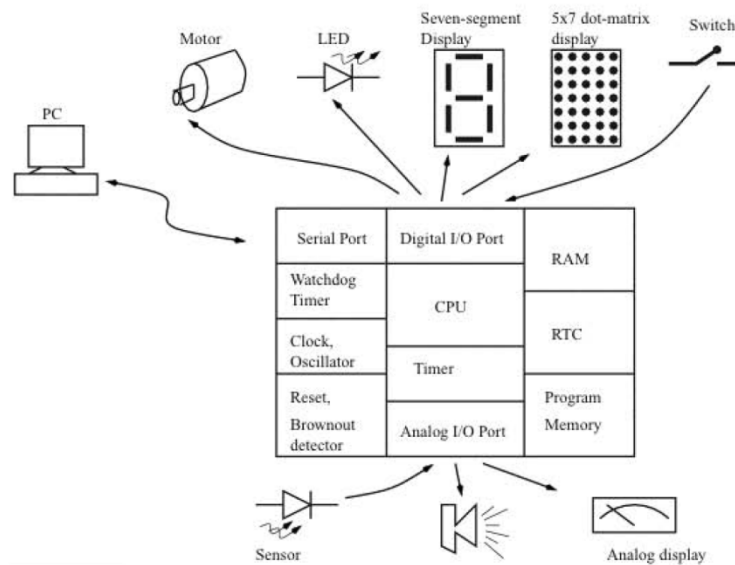
Σήμερα πλέον έχουν εμφανιστεί πολλές και διαφορετικές οικογένειες μικροελεγκτών, όπως οι μικροελεγκτές της σειράς 8048 και 8051 της Intel, η σειρά 68HC11 της Motorola, η σειρά μικροελεγκτών Z8 της Zilog, οι μικροελεγκτές PIC της Microchip, η σειρά H8 της Hitachi και πρόσφατα η οικογένεια των μικροελεγκτών AVR της εταιρίας Atmel. Μια συγκεκριμένη οικογένεια μικροελεγκτών προσδιορίζει ένα σύνολο πολλών διαφορετικών μικροελεγκτών, οι οποίοι διαθέτουν τον ίδιο κεντρικό πυρήνα αλλά κάθε ένας από αυτούς διατίθεται σε διαφορετική συσκευασία, περιλαμβάνει διαφορετικές περιφερειακές μονάδες, λειτουργεί σε διαφορετικές ταχύτητες, κ.λ.π.

## 2.2 Τα συστατικά μέρη ενός μικροελεγκτή

Οι μικροελεγκτές αποτελούν την καρδιά πολλών κοινών και καθημερινών εφαρμογών. Το κυριότερο όμως είναι ότι από σχεδιαστική άποψη, η χρήση των μικροελεγκτών είναι αρκετά εύκολη και προσιτή. Το λειτουργικό διάγραμμα του Σχήμα 2.1 παρουσιάζει ουσιαστικά τις δυνατότητες ενός σύγχρονου μικροελεγκτή. Η μονάδα που εμφανίζεται στο κέντρο του σχήματος αντιστοιχεί ουσιαστικά στον ίδιο το μικροελεγκτή. Η μονάδα αυτή μπορεί να συνδεθεί κατάλληλα με διάφορα είδη κινητήρων, με μια ποικιλία διατάξεων απεικόνισης (Display) ως συσκευών εξόδου, να επικοινωνήσει με έναν προσωπικό υπολογιστή (PC), να διαβάσει τιμές από εξωτερικούς αισθητήρες, ενώ ακόμη μπορεί να συνδεθεί και σε ένα είδος τοπικού δικτύου άλλων παρόμοιων μικροελεγκτών και όλες αυτές οι δυνατότητες δεν απαιτούν ιδιαίτερα μεγάλο αριθμό εξωτερικών εξαρτημάτων. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε πιο συμπαγή και για το λόγο αυτό, πιο αξιόπιστα συστήματα, σε σχετικά χαμηλό κόστος (εξαιτίας του μικρού αριθμού των εξωτερικών εξαρτημάτων και των λιγότερων γενικά συνδέσεων που απαιτούνται για το λόγο αυτό).

Ας εστιάσουμε την προσοχή μας σε μια περίπτωση όπου δεν έχουμε στη διάθεσή μας μια διάταξη μικροελεγκτή. Έστω ότι διαθέτουμε μόνο μια απλή μονάδα κεντρικής επεξεργασίας (CPU). Για να κατασκευάσουμε ένα σύστημα ικανό να συνδεθεί με διάφορες εξωτερικές διατάξεις (κινητήρες, μονάδες απεικόνισης, κ.λ.π.), θα χρειαστούμε εξωτερική μνήμη προγράμματος και μνήμη δεδομένων ή RAM, εκτός των άλλων περιφερειακών διατάξεων που απαιτούνται για τη διασύνδεση της CPU με τις εξωτερικές μονάδες, δηλαδή τους κινητήρες, τις μονάδες απεικόνισης, τους αισθητήρες, κ.λ.π.. Αρκεί λοιπόν να φανταστούμε το συνολικό αριθμό των απαιτούμενων εξαρτημάτων για μια τέτοια υλοποίηση! Έτσι, οδηγούμαστε σε ένα σύστημα που αντιστοιχεί σε μια ολόκληρη κάρτα με πολυάριθμα εξαρτήματα και προφανώς

μεγαλύτερη κατανάλωση ισχύος, παρά σε ένα σύστημα που ουσιαστικά μπορεί να υλοποιηθεί εντός ενός και μόνο απλού ολοκληρωμένου κυκλώματος.



Σχήμα 2.1 Σύνδεση μικροελεγκτή με εξωτερικές διατάξεις

Ας εξετάσουμε τώρα τα διάφορα συστατικά ενός μικροελεγκτή.

**Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας:** Η μονάδα κεντρικής επεξεργασίας ή Central Processing Unit (CPU), αποτελεί την ‘καρδιά’ ενός μικροελεγκτή. Εκτελεί ανάκληση δεδομένων (fetch) από τη μνήμη προγράμματος υπό μορφή εντολών, αποκωδικοποιεί τις εντολές αυτές και στη συνέχεια τις εκτελεί. Η μονάδα CPU αποτελείται από καταχωρητές (registers), την αριθμητική λογική μονάδα (Arithmetic Logic Unit ή ALU), τον αποκωδικοποιητή εντολών (instruction decoder) και διάφορα κυκλώματα ελέγχου.

**Μνήμη προγράμματος:** Στη Μνήμη Προγράμματος αποθηκεύονται οι εντολές που σχηματίζουν τον κορμό του προγράμματος. Για τη χρήση μεγαλύτερων σε μήκος προγραμμάτων, το είδος της μνήμης αυτής μπορεί να χωριστεί σε εσωτερική μνήμη προγράμματος και εξωτερική μνήμη προγράμματος, όπως συμβαίνει σε μερικούς τύπους ελεγκτών. Η μνήμη προγράμματος είναι μια μη-πτητική μνήμη (non-volatile memory) και μπορούμε να τη συναντήσουμε σε διάφορους τύπους όπως την EEPROM (Ηλεκτρικά Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Ανάγνωσης Μόνο ή Electrically Erasable Read Only Memory), την EPROM (Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Ανάγνωσης Μόνο ή Erasable Read Only Memory), την Μνήμη Ταχείας Αποθήκευσης (Flash Memory), την Μνήμη ROM τύπου Μάσκας (Mask ROM) και την Μνήμη Μη-Αναστρέψιμου Προγραμματισμού (On-Time Programmable ή OTP).

**Μνήμη RAM:** Η Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης (Random Access Memory ή RAM, αποτελεί τη μνήμη δεδομένων του ελεγκτή, δηλαδή χρησιμοποιείται από τον ελεγκτή για την αποθήκευση δεδομένων. Η CPU χρησιμοποιεί τη μνήμη RAM για την αποθήκευση μεταβλητών καθώς επίσης και τη λεγόμενη Στοιβά (ή Stack). Η στοιβά χρησιμοποιείται από τη CPU για την προσωρινή αποθήκευση των λεγόμενων διευθύνσεων επιστροφής, με σκοπό να συνεχίσει την εκτέλεση του προγράμματος που

είχε διακοπεί για την εξυπηρέτηση κάποιας υπορουτίνας (Subroutine) ή κάποιας ρουτίνας διακοπής (Interrupt routine).

**Ταλαντωτής Χρονισμού:** Ο μικροελεγκτής εκτελεί ένα πρόγραμμα όπως αυτό εμφανίζεται μέσα στη μνήμη προγράμματος, με έναν καθορισμένο ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται από τη συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή χρονισμού. Ο Ταλαντωτής Χρονισμού (Clock Oscillator) μπορεί να είναι ένας εσωτερικός ταλαντωτής τύπου RC, ή ένας ταλαντωτής που υλοποιείται με κάποιο εξωτερικό στοιχείο χρονισμού, όπως για παράδειγμα ένας κρύσταλλος χαλαζία (Quartz), ένα κύκλωμα συντονισμού LC ή ακόμα και ένα απλό κύκλωμα RC. Η λειτουργία του ταλαντωτή ξεκινά σχεδόν αμέσως μετά την εφαρμογή της τάσης τροφοδοσίας.

**Σύστημα επανατοποθέτησης και Κύκλωμα ανίχνευσης βύθισεων τάσης:** Το Κύκλωμα Επανατοποθέτησης ή μηδενισμού ή απλά Reset, που διαθέτει ένας μικροελεγκτής, εξασφαλίζει το γεγονός ότι όλες οι εσωτερικές μονάδες και τα κυκλώματα ελέγχου του μικροελεγκτή θα ξεκινήσουν να λειτουργούν κατά την εφαρμογή της τροφοδοσίας, από κάποια προκαθορισμένη αρχική κατάσταση ενώ όλοι οι καταχωρητές του συστήματος βρίσκονται σε κατάλληλες αρχικές τιμές. Από την άλλη πλευρά, το κύκλωμα ανίχνευσης βύθισης της τάσης τροφοδοσίας (brownout detector), είναι ένα επίσης εσωτερικό κύκλωμα ελέγχου το οποίο παρακολουθεί συνεχώς το επίπεδο της τάσης τροφοδοσίας και εφόσον ανιχνευτεί κάποια στιγμιαία βύθιση στην τάση αυτή, τότε αυτόματα θέτει το μικροελεγκτή σε λειτουργία επανατοποθέτησης, έτσι ώστε να προστατευτούν τα περιεχόμενα των καταχωρητών και της μνήμης από πιθανή καταστροφή ή αλλοίωση, πράγμα που θα οδηγούσε το μικροελεγκτή σε εσφαλμένη λειτουργία.

**Σειριακή θύρα επικοινωνίας:** Ένα από τα πλέον εύχρηστα συστατικά ενός μικροελεγκτή, αποτελεί η σειριακή θύρα επικοινωνίας. Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για την επικοινωνία του ελεγκτή με διάφορες εξωτερικές διατάξεις υπό τη μορφή σειριακής μετάδοσης δεδομένων. Η θύρα αυτή μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων τυχόν απαιτηθεί. Η λειτουργία της βασίζεται στο ότι λαμβάνει δεδομένα από το μικροελεγκτή, τα οποία ολισθαίνει προς την έξοδο υπό μορφή ενός δυαδικού ψηφίου (bit) τη φορά. Εντελώς παρόμοια, λαμβάνει δεδομένα από την αντίστοιχη είσοδο της και πάλι με τη μορφή ενός bit τη φορά, σχηματίζοντας έτσι με 8 τέτοια bits, μια λέξη του 1 byte, την οποία και αντιγράφει στο εσωτερικό του ελεγκτή. Οι σειριακές θύρες απαντώνται σε δύο τύπους, την ασύγχρονη σειριακή θύρα και τη σύγχρονη σειριακή θύρα. Για τη λειτουργία μιας σύγχρονης σειριακής θύρας απαιτείται και η παρουσία ενός πρόσθετου σήματος συγχρονισμού (clock), αντίθετα με την ασύγχρονη σειριακή θύρα στην οποία δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός τέτοιου σήματος, διότι οι απαραίτητες πληροφορίες συγχρονισμού και χρονισμού γενικότερα, ενσωματώνονται στο σύνολο των δεδομένων που μεταδίδονται σειριακά με τη μορφή της διάρκειας εμφάνισης των εκάστοτε bits που αποτελούν την πληροφορία, καθώς επίσης και με τη χρήση πρόσθετων bits με τα οποία σηματοδοτείται η έναρξη και η παύση μιας συγκεκριμένης μετάδοσης (start bit και stop bit, αντίστοιχα).

**Ψηφιακή θύρα εισόδου-εξόδου:** Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί τις ψηφιακές θύρες εισόδου-εξόδου με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων από και προς το εξωτερικό

περιβάλλον. Σε σύγκριση με μια σειριακή θύρα, με την οποία τα δεδομένα ανταλλάσσονται υπό μορφή συρμού με εκπομπή ενός bit τη φορά, η ψηφιακή θύρα εισόδου-εξόδου ανταλλάσσει δεδομένα υπό τη μορφή ομάδων των 8 bits, ή διαφορετικά, του 1 byte.

**Αναλογική θύρα εισόδου-εξόδου:** Γενικά, μπορούμε να έχουμε αναλογικές εισόδους χρησιμοποιώντας Μετατροπείς Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό (Analog to Digital Converter ή ADC). Ένας τυπικός μικροελεγκτής μπορεί να διαθέτει μια ενσωματωμένη μονάδα μετατροπής ADC ή ακόμα και σε μερικές περιπτώσεις, έναν απλό ενσωματωμένο αναλογικό συγκριτή, ο οποίος χρησιμοποιείται μαζί με κατάλληλο λογισμικό έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεί μετατροπές αναλογικού σε ψηφιακό. Οι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες όπως για παράδειγμα, αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες αυτοί συνήθως παράγουν μια τάση η οποία είναι ανάλογη της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου. Επίσης, μπορούμε να έχουμε και αναλογικές εξόδους, χρησιμοποιώντας κάποιες μονάδες οι οποίες καλούνται, Μετατροπείς Ψηφιακού Σήματος σε Αναλογικό (Digital to Analog Converter ή DAC). Ακόμη, οι περισσότεροι μικροελεγκτές είναι εφοδιασμένοι με Διαμορφωτές Εύρους Παλμών (Pulse Width Modulators ή PWM), με τη βοήθεια των οποίων μπορούμε να λάβουμε αναλογικές τάσεις μέσα από κατάλληλα φίλτρα τύπου RC. Οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό χρησιμοποιούνται για την οδήγηση κινητήρων, ειδικών μονάδων απεικόνισης (όπως οι παλαιότερες οθόνες με μπάρα από LED, γνωστές και με την ονομασία VU-Meter), για την αναπαραγωγή σημάτων ήχου ή μουσικής γενικότερα, κ.λ.π.

**Χρονοστής:** Ένας Χρονοστής (Timer) χρησιμοποιείται από το μικροελεγκτή για τον χρονισμό ή και τη σηματοδότηση διαφόρων γεγονότων, για παράδειγμα, είναι πιθανό να επιθυμούμε να αποστείλουμε δεδομένα σε μια εξωτερική οθόνη με έναν συγκεκριμένο ρυθμό. Ο χρονοστής χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για να παράγει αυτόν το ζητούμενο ρυθμό. Ένας χρονοστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την καταμέτρηση γεγονότων, τα οποία μπορούν να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Σε μια τέτοια περίπτωση, ο χρονοστής καλείται και απλά, Μετρητής (Counter).

**Χρονοστής επιτήρησης:** Ένας χρονοστής ειδικού σκοπού, τον οποίον συναντούμε συχνά στους σύγχρονους μικροελεγκτές, είναι και ο Χρονοστής Επιτήρησης (Watchdog Timer ή WDT). Ο χρονοστής αυτός χρησιμοποιείται συνήθως για την αποφυγή της πιθανής κατάρρευσης του συστήματος (crash). Η λειτουργία του χρονοστή επιτήρησης έχει ως εξής. Από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί (ή όπως λέγεται, 'θα οπλιστεί'), λειτουργεί αυξανόμενα ένας εσωτερικός μετρητής σε κάποιον συγκεκριμένο ρυθμό. Αν το Πρόγραμμα χρήσης δε μηδενίσει (ή επαναθέσει) το μετρητή αυτόν, τότε κάποια στιγμή θα επέλθει η λεγόμενη Υπερχείλιση (Overflow) του παραπάνω μετρητή και θα επανατοποθετηθεί ο μικροελεγκτής (λειτουργία reset). Έτσι όταν χρησιμοποιείται ο χρονοστής επιτήρησης, το πρόγραμμα χρήσης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλες εντολές, έτσι ώστε σε τακτά χρονικά διαστήματα να μπορεί να μηδενίζει τον χρονοστή WDT, πληροφορώντας τον έτσι ότι το σύστημα

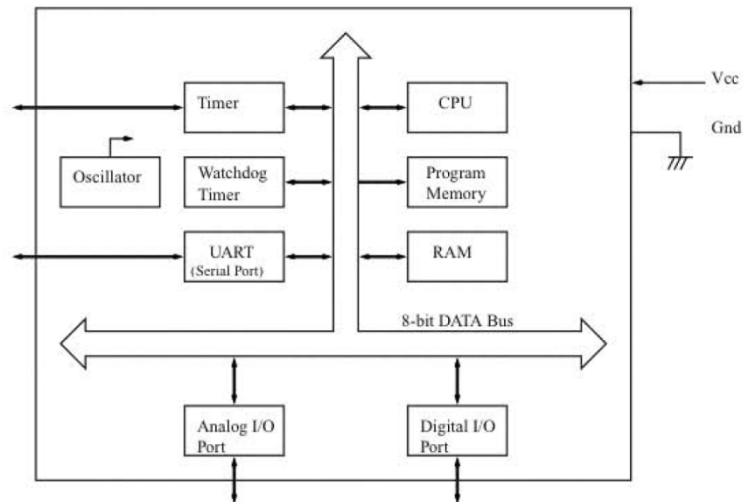
εργάζεται και δεν έχει καταρρεύσει. Η λογική αυτής της τεχνικής ελέγχου στηρίζεται στην υπόθεση, ότι αν το πρόγραμμα χρήσης δε μηδενίσει τον χρονιστή WDT, αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι το πρόγραμμα έχει αποτύχει σε κάποια προσπάθειά του είτε εξαιτίας πιθανής κατάρρευσης, ή γενικότερα κάποιας απρόβλεπτης συμπεριφοράς, οπότε είναι προτιμότερο να εκκινήσει διαδικασία επανατοποθέτησης.

**Ρολόι πραγματικού χρόνου:** Ένας ακόμη ειδικού σκοπού χρονιστής είναι και το λεγόμενο Ρολόι Πραγματικού Χρόνου (Real Time Clock ή RTC), του οποίου σκοπός είναι η μέτρηση και η διατήρηση της τρέχουσας ώρας της ημέρας, της ημερομηνίας, κ.λ.π. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σηματοδότηση συγκεκριμένων γεγονότων με γνώμονα τη τρέχουσα ώρα.

Αν και το Σχήμα 2.1 παρουσιάζει μια τυπική μορφή ενός μικροελεγκτή, στην πραγματικότητα οι διατάξεις αυτές διατίθενται σε μια ποικιλία από διαφορετικά μεγέθη και βαθμό πολυπλοκότητας. Όπως συμβαίνει με τους μικροεπεξεργαστές (δηλαδή ολοκληρωμένων διατάξεων με ενσωματωμένη μονάδα CPU), έτσι και τους μικροελεγκτές τους διακρίνουμε σε συστήματα των 8, 16 ή 32-bit (ή 64-bit). Με τον τρόπο αυτό αναφερόμαστε έμμεσα στο μήκος των εσωτερικών καταχωρητών και του εσωτερικού συσσωρευτή (accumulator). Ακόμη, όταν αναφερόμαστε σε ένα σύστημα των 8-bit, συνήθως εννοούμε ότι η εσωτερική CPU συνδέεται με τις διάφορες μονάδες του συστήματος, μέσα από έναν εσωτερικό δίαυλο δεδομένων μήκους 8-bit. Μια τέτοια διάταξη παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.2. Από τις διάφορες κατηγορίες των μικροελεγκτών, εκείνη που έχει γενικά τη μεγαλύτερη απήχηση στη διεθνή αγορά είναι η κατηγορία των μικροελεγκτών των 8-bit. Το έτος 1999 η αγορά των μικροελεγκτών των 8-bit ανήλθε στο συνολικό ποσό των 4.8 δισεκατομμυρίων δολαρίων. Σε σύγκριση με τους παραπάνω μικροελεγκτές, τα συστήματα μικροελεγκτών των 16-bit και 32-bit έφθαναν την ίδια χρονιά, μόλις το ποσό των 452 εκατομμυρίων δολαρίων. Ωστόσο εκτός των παραπάνω διατάξεων, υπάρχουν και μικροελεγκτές των 4-bit, για τους οποίους όμως το γενικότερο ενδιαφέρον βρίσκεται μάλλον σε χαμηλά επίπεδα.

Συστήματα ελεγκτών με εσωτερικούς διαύλους μεγαλύτερων μηκών είναι σε θέση να εκτελέσουν πιο πολύπλοκες λειτουργίες σε σχέση με παρόμοια συστήματα μικρότερων διαύλων, τα τελευταία όμως διαθέτουν αναπτυξιακά εργαλεία χαμηλότερου κόστους σε σχέση με τα πρώτα. Έτσι, οι μικροελεγκτές των 8-bit έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλείς από οποιουδήποτε άλλους, όχι μόνο εξαιτίας τους σχετικά χαμηλού τους κόστους (συγκρινόμενου πάντα με το κόστος των αντίστοιχων συστημάτων των 16-bit ή 32-bit), αλλά και εξαιτίας των αναπτυξιακών συστημάτων χαμηλού κόστους, καθώς επίσης και της διαθεσιμότητας των διατάξεων αυτών σε μια μεγάλη ποικιλία, από την άποψη των επιδόσεων και των διαθέσιμων ολοκληρωμένων περιφερειακών μονάδων.

Η διαίρεση των διαφόρων διατάξεων των μικροελεγκτών σε κατηγορίες εκτός από το κριτήριο του μήκους του εσωτερικού διαύλου δεδομένων, βασίζεται και στην αρχιτεκτονική του εκάστοτε συστήματος. Στην ενότητα που ακολουθεί αναλύονται θέματα σχετικά με την αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών.



Σχήμα 2.2 Ένας μικροελεγκτής των 8-bit

## 2.3 Η αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών

Οι διάφορες αρχιτεκτονικές των μικροελεγκτών διακρίνονται με βάση τα ιδιαίτερα κάθε φορά χαρακτηριστικά και τις ιδιότητες που παρουσιάζει κάθε σύστημα. Ένα πολύ διαδεδομένο σχήμα, είναι αυτό που λαμβάνει υπόψη το συνολικό αριθμό των εντολών. Έτσι έχουμε την Αρχιτεκτονική CISC (Complex Instruction Set Computer ή Αρχιτεκτονική Σύνθετου Ρεπερτορίου Εντολών), την Αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer ή Αρχιτεκτονική Μειωμένου Ρεπερτορίου Εντολών) και την Αρχιτεκτονική MISC (Minimum Instruction Set Computer ή Αρχιτεκτονική Ελαχίστου Ρεπερτορίου Εντολών). Ωστόσο οι παραπάνω όροι έχουν υποστεί πολλές παραφράσεις από τους διάφορους πωλητές του είδους. Ένας μικροελεγκτής αρχιτεκτονικής CISC παρουσιάζει πολλές κοινές ιδιότητες με εκείνους της αρχιτεκτονικής RISC, γεγονός που προκαλεί συχνά σύγχυση.

Ένα άλλο σχήμα με βάση το οποίο διακρίνουμε τις διατάξεις των μικροελεγκτών, αφορά στον τρόπο με τον οποίον πραγματοποιείται η πρόσβαση στη μνήμη προγράμματος και τη μνήμη δεδομένων. Ένα τέτοιο μοναδικό μοντέλο μνήμης, το οποίο είναι γνωστό με την ονομασία Αρχιτεκτονική Princeton, ή Αρχιτεκτονική Von Neumann και το οποίο σε αντίθεση με την Αρχιτεκτονική Harvard, προβλέπει ξεχωριστό χώρο μνήμης για την αποθήκευση προγράμματος και για την αποθήκευση δεδομένων, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με μια άλλη μορφή ταξινόμησης τα διάφορα συστήματα μικροελεγκτών διακρίνονται με βάση τον τρόπο αποθήκευσης και διαχείρισης που υφίστανται τα δεδομένα εντός της CPU. Αντικειμενικός σκοπός ενός συστήματος μικροελεγκτή είναι η διαχείριση δεδομένων. Την εργασία αυτή την επιτυγχάνει με τη βοήθεια του προγράμματος χρήσης. Ο τρόπος λοιπόν, διαχείρισης και αποθήκευσης δεδομένων εντός της CPU καθώς επίσης και οι διάφοροι τρόποι προσπέλασης, διαμορφώνουν μια βάση, με την οποία ταξινομούνται οι διάφορες αρχιτεκτονικές των επεξεργαστών και κατά συνέπεια ένα ακόμη διαφορετικό σχήμα ταξινόμησης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, διακρίνουμε τέσσερα βασικά πρότυπα ή μοντέλα: το



μοντέλο της στοίβας (stack), το μοντέλο συσσωρευτή (accumulator), το μοντέλο καταχωρητής-μνήμη (register-memory) και το μοντέλο πολλών καταχωρητών (register-register). Το τελευταίο είναι και γνωστό ως μοντέλο load- store (ή μοντέλο φόρτωσης-αποθήκευσης).

Για την καλύτερη κατανόηση των διαφορών που διακρίνονται ανάμεσα στις διάφορες αρχιτεκτονικές (με βάση την εσωτερική διαχείριση δεδομένων), θεωρούμε την απαραίτητη ακολουθία κώδικα για την εκτέλεση του παρακάτω υπολογισμού:

$$C=A-B$$

Όπου, A, B, C, είναι κάποιες μεταβλητές.

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική στοίβας, ο παραπάνω υπολογισμός εκτελείται ως εξής:

```
Push A
Push B
Sub
Pop C
```

Σε μια ‘μηχανή’ με αρχιτεκτονική στοίβας, η αριθμητική λογική μονάδα (ALU) παραλαμβάνει και αποθηκεύει, όλους τους τελεστές από και προς τη στοίβα του συστήματος. Για να φορτωθεί μια μεταβλητή στη στοίβα, χρησιμοποιείται μια εντολή ‘Push Var’ (Var- Σύμβολο μεταβλητής). Η στοίβα από την πλευρά της, λειτουργεί τοποθετώντας την πιο πρόσφατη μεταβλητή στην αρχή του σωρού. Η μονάδα ALU λαμβάνει τις δύο τιμές που βρίσκονται στο υψηλότερο μέρος της στοίβας και στη συνέχεια εκτελεί τη ζητούμενη πράξη (πρόσθεση, αφαίρεση, διαίρεση, κ.λ.π.). Το αποτέλεσμα της παραπάνω πράξης αποθηκεύεται και πάλι στη στοίβα και συγκεκριμένα στην υψηλότερη θέση.

Από την άλλη πλευρά, μια ‘μηχανή’ με αρχιτεκτονική συσσωρευτή, εκτελεί τον παραπάνω υπολογισμό ως εξής. Ένας από τους δύο τελεστές είναι πάντα ο ίδιος ο συσσωρευτής. Σε ένα τέτοιο σύστημα ουσιαστικά, όλες οι πράξεις εκτελούνται χρησιμοποιώντας το συσσωρευτή του συστήματος.

```
Load A
Sub B
Store C
```

Μια ‘μηχανή’ με αρχιτεκτονική καταχωρητή-μνήμης, εκτελεί τον παραπάνω υπολογισμό ως εξής:

```
Load Rx, A
Sub Rx, B
Store C, Rx
```

Μια ‘μηχανή’ με αρχιτεκτονική πολλών καταχωρητών, εκτελεί τον παραπάνω υπολογισμό ως εξής:

```
Load Rx, A
Load Ry, B
Sub Rz, Rx, Ry
Store C, Rz
```

Σύμφωνα με την αρχιτεκτονική πολλών καταχωρητών, η πρόσβαση στη μνήμη (στην οποία αποθηκεύονται οι μεταβλητές) επιτυγχάνεται με τη βοήθεια εντολών φόρτωσης και αποθήκευσης. Συνεπώς οι καταχωρητές φορτώνονται πρώτα με τιμές των μεταβλητών, εκτελείται στη συνέχεια η πράξη και το αποτέλεσμα αποθηκεύεται σε έναν από τους προηγούμενους καταχωρητές, το περιεχόμενο του οποίου με τη σειρά του, αποθηκεύεται στη μεταβλητή προορισμού.

Στα συστήματα με πρότυπο αρχιτεκτονικής καταχωρητή- μνήμης και πολλών καταχωρητών, συναντούμε συνήθως έναν μεγάλο αριθμό καταχωρητών και γενικά μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε οποιονδήποτε καταχωρητή για οποιαδήποτε πράξη. Οι διατάξεις που ακολουθούν τις παραπάνω δύο αρχιτεκτονικές διαθέτουν τυπικά 32 καταχωρητές γενικής χρήσης.

Στους παλαιότερους επεξεργαστές συναντούμε συχνά τις αρχιτεκτονικές στοίβας και συσσωρευτή. Στους πιο σύγχρονους επεξεργαστές υιοθετείται η αρχιτεκτονική πολλών καταχωρητών. Ο τύπος της αρχιτεκτονικής αυτής επεβλήθη εξαιτίας του γεγονότος ότι η διαδικασία πρόσβασης εσωτερικών καταχωρητών είναι ταχύτερη σε σχέση με την πρόσβαση εξωτερικής μνήμης. Έτσι, για τον περιορισμό της πρόσβασης σε εξωτερική μνήμη, στο μοντέλο πολλών καταχωρητών παρέχεται ένα αρκετά μεγάλο σύνολο καταχωρητών γενικής χρήσης. Τέλος και στο επίπεδο του μεταγλωττιστή θεωρείται πιο εύκολη η πρόσβαση των εσωτερικών καταχωρητών και όχι της στοίβας, παρά το γεγονός ότι η στοίβα αποτελεί μια εσωτερική μονάδα του επεξεργαστή.

## 2.4 Χρησιμότητα των μικροελεγκτών

Εξετάζοντας κάθε φορά τις ανάγκες που προκύπτουν από μία εφαρμογή, θα πρέπει να αναζητούμε τη βέλτιστη δυνατή λύση με γνώμονα την απλότητα. Η ανάπτυξη μιας οποιασδήποτε εφαρμογής που βασίζεται σε κάποιον μικροελεγκτή απαιτεί συχνά επένδυση χρόνου, χρημάτων καθώς επίσης και αρκετή προσπάθεια. Τα πλεονεκτήματα μιας τέτοιας διαδικασίας αποδεικνύονται όχι και τόσο σημαντικά, σε περιπτώσεις όπου η οποιαδήποτε αναβάθμιση του συστήματος πραγματοποιείται συνήθως με πολύ μικρές αλλαγές. Συντελεί ωστόσο στην διατήρηση σχετικά μικρών αριθμών εξαρτημάτων σε παρακαταθήκη. Οι πιθανές εναλλακτικές λύσεις μπορούν να είναι:

- Χρήση ενός ψηφιακού κυκλώματος ειδικού σκοπού,

- Χρήση ψηφιακών κυκλωμάτων που περιλαμβάνει ένα PLD (προγραμματιζόμενη λογική διάταξη ή Programmable Logic Device),

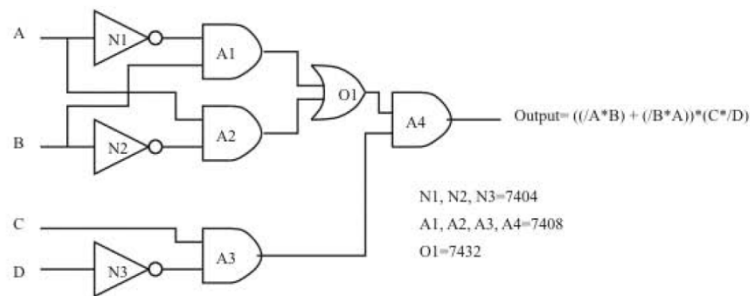
- Υλοποίηση βασισμένη σε Ολοκληρωμένα Κυκλώματα Εξειδικευμένων Εφαρμογών (Application Specific Integrated Circuits ή ASIC).

Οι παραπάνω μέθοδοι που χρησιμοποιούνται κατά τη σχεδίαση εφαρμογών εναλλακτικά με τους μικροεπεξεργαστές εμφανίζουν σημαντικές ομοιότητες μεταξύ τους, ενώ ουσιαστικά διαφέρουν μόνο ως προς την υλοποίηση. Ως ένα ψηφιακό κύκλωμα ειδικού σκοπού μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα διακριτό ολοκληρωμένο κύκλωμα για την υλοποίηση διαφόρων βασικών λογικών πράξεων (AND,OR,XOR,κ.λ.π.), ενώ ένα ψηφιακό κύκλωμα βασισμένο σε κάποια διάταξη PLD μπορεί να αποδειχθεί πιο συμπαγές, δεδομένης και της προγραμματιζόμενης φύσης του

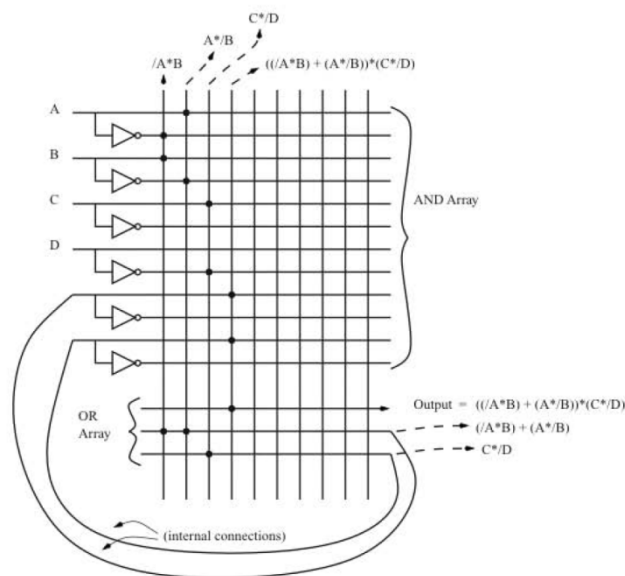
συγκεκριμένου PLD. Μια προγραμματιζόμενη λογική διάταξη ή PLD, περιλαμβάνει μια μήτρα συνδέσεων μεταξύ διαφόρων λογικών λειτουργικών τμημάτων (Logic Function Blocks) όπου ο χρήστης μπορεί να επιλέξει, κατά τη διάρκεια της σχεδίασης, το σύνολο των λογικών πράξεων που πρέπει να υλοποιηθούν καθώς και τις απαραίτητες συνδέσεις μεταξύ των αντίστοιχων λογικών τμημάτων κα με τον τρόπο αυτό οδηγείται σε πιο ολοκληρωμένες και συμπαγείς λύσεις. Ένα PLD περιέχει τυπικά έναν εξαιρετικά μεγάλο αριθμό βασικών λογικών κυκλωμάτων, από τα οποία μόνο ένα τμήμα συνήθως χρησιμοποιείται στις πιο κοινές εφαρμογές. Από την άλλη πλευρά, η λύση της τεχνολογίας των ASICs (Ολοκληρωμένα Κυκλώματα Ειδικών Εφαρμογών) παρομοιάζεται ουσιαστικά με εκείνη των PLD, μόνο που τα ASICs αποτελούν ένα είδος βέλτιστης υλοποίησης.

Στο Σχήμα 2.3 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός κυκλώματος, το οποίο αντιστοιχεί στην υλοποίηση μιας υποθετικής λογικής εξίσωσης και που πραγματοποιείται με χρήση διακριτών ψηφιακών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Οι λογικές αυτές πύλες που χρησιμοποιούνται στο παραπάνω κύκλωμα, διατίθενται σε διάφορες εκδόσεις οι οποίες ανήκουν σε διαφορετικές οικογένειες λογικών κυκλωμάτων (όπως TTL, CMOS, κ.λ.π.). Στο ίδιο σχήμα αναγράφονται και οι κωδικοί αναγνώρισης των ολοκληρωμένων αυτών κυκλωμάτων που αντιστοιχούν στην οικογένεια TTL. Για την υλοποίηση του συγκεκριμένου κυκλώματος χρειαζόμαστε 3 ολοκληρωμένα, στο σύνολο των οποίων σημειώνεται συντελεστής χρησιμοποίησης 57% (συγκεκριμένα, το ολοκληρωμένο 7404 περιέχει 6 συνολικά πύλες από τις οποίες χρησιμοποιούμε μόνο τις 3, ενώ αντίστοιχα τα ολοκληρωμένα 7408 και 7432 διαθέτουν από 4 πύλες το καθένα και από αυτές χρησιμοποιούμε συνολικά 5, συνεπώς για ολόκληρο το κύκλωμα χρησιμοποιούνται οι 8 πύλες επί συνόλου 14, οπότε προκύπτει συντελεστής χρησιμοποίησης ίσος με 0.57). Την ίδια λογική εξίσωση θα υλοποιήσουμε τώρα, χρησιμοποιώντας ένα κοινό PLD (όπως το τυποποιημένο GAL 16L8).

Στο Σχήμα 2.4 διακρίνουμε τα εσωτερικά κυκλώματα του PLD το οποίο χρησιμοποιείται στην παρούσα υλοποίηση. Κάθε ένα σημείο διασταύρωσης στη μήτρα συνδέσεων AND αντιστοιχεί σε μια πύλη AND, ενώ εντελώς παρόμοια, κάθε σημείο διασταύρωσης στη μήτρα συνδέσεων OR αντιστοιχεί σε μια πύλη OR. Για την συγκεκριμένη υλοποίηση χρησιμοποιείται μόνο ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ο συγκεκριμένος τύπος της προγραμματιζόμενης λογικής που χρησιμοποιείται στο παράδειγμα αυτό περιλαμβάνει συνολικά περίπου 150 πύλες, από τις οποίες για το συγκεκριμένο παράδειγμα χρησιμοποιούνται περίπου 12, γεγονός που σημειώνει ένα συντελεστή χρησιμοποίησης της τάξης του 8%! (το πραγματικό εσωτερικό υλικό της 16L8 περιλαμβάνει πολύ περισσότερα κυκλώματα από αυτά που φαίνονται στο Σχήμα 2.4). Στο σημείο αυτό σημειώνουμε ότι ένα ολοκληρωμένο PLD καταναλώνει περισσότερη ισχύ από ένα αντίστοιχο τύπου ASIC, εξαιτίας του υλικού μέρους που πλεονάζει στο εσωτερικό του PLD.



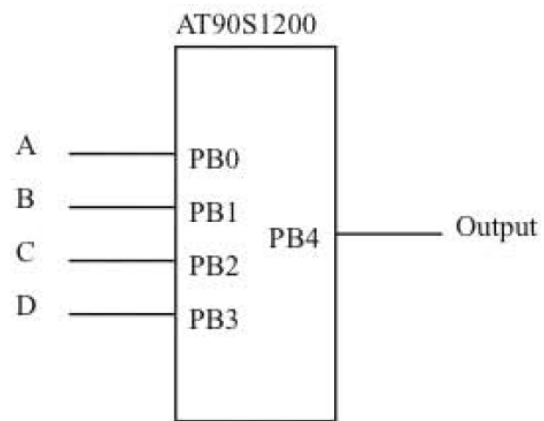
Σχήμα 2.3 Ένα Ψηφιακό κύκλωμα



Σχήμα 2.4 Το προηγούμενο κύκλωμα με χρήση PLD

Σε αντίθεση με τα παραπάνω, στο Σχήμα 2.5 διακρίνουμε το διάγραμμα ενός κυκλώματος που βασίζεται σε έναν μικροελεγκτή (και συγκεκριμένα σε μικροελεγκτή AVR της Atmel). Το κύκλωμα αυτό έχει το ίδιο μέγεθος με εκείνο της υλοποίησης με PLD, ενώ από την άποψη της κατανάλωσης ισχύος, η υλοποίηση με μικροελεγκτή πλεονεκτεί σημαντικά έναντι της υλοποίησης με PLD. Από την άποψη της ταχύτητας, τα κυκλώματα ενός PLD λειτουργούν πολύ πιο γρήγορα σε σχέση με εκείνα που αντιστοιχούν σε έναν μικροελεγκτή. Βέβαια, για να λειτουργήσει σωστά το κύκλωμα του μικροελεγκτή, θα πρέπει πρώτα να έχει προγραμματιστεί κατάλληλα.

Καθώς προσπαθούμε να δούμε θετικά την περίπτωση της υλοποίησης του παραπάνω κυκλώματος με τον μικροελεγκτή, αξίζει να θυμόμαστε τα μειονεκτήματα και τα πλεονεκτήματα που αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις υπόλοιπες υλοποιήσεις. Άλλωστε ο μικροελεγκτής δεν αποτελεί τη λύση σε κάθε πρόβλημα. Μερικές φορές κρίνεται απαραίτητη η χρήση ενός μικροελεγκτή σε συνδυασμό με ένα PLD.



Σχήμα 2.5 Υλοποίηση με χρήση μικροελεγκτή

## Κεφάλαιο 3: Περιγραφή του συστήματος

Για να μελετήσουμε σε βάθος τους μικροελεγκτές και να δούμε την πρακτική εφαρμογή τους αναπτύξαμε ένα σύστημα με την χρήση του μικροελεγκτή AT89LP51RD2. Το σύστημα που αναπτύξαμε είναι ένα έξυπνο σπίτι. Με τον όρο έξυπνο σπίτι εννοούμε μια οικία στην οποία οι διάφορες διαδικασίες έχουν αυτοματοποιηθεί με σκοπό την διευκόλυνση των κατοίκων, την ασφάλεια των κατοίκων και του κτηρίου, και την μείωση της ενέργειας που καταναλώνεται. Οι διαδικασίες αυτές μπορεί να είναι απλές, όπως το άνοιγμα μίας λάμπας, ή πιο πολύπλοκες, όπως η παρακολούθηση της υγείας των κατοίκων και η ενημέρωση του πλησιέστερου νοσοκομείου σε περίπτωση που κάποιος χρειαστεί βοήθεια. Στην παρούσα διπλωματική έχουμε υλοποιήσει διαδικασίες αυτόματου ελέγχου του φωτισμού και της θερμοκρασίας των χώρων του σπιτιού καθώς και διαδικασίες ελέγχου της ασφάλειας των κατοίκων και του κτηρίου.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τη λειτουργία του συστήματος χωρίς να αναφερθούμε σε λεπτομέρειες που αφορούν την υλοποίηση του. Αρχικά θα περιγράψουμε τους χώρους του σπιτιού και τα υποσυστήματα που περιλαμβάνει κάθε ένας από αυτούς. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις ενέργειες που γίνονται όταν οι κάτοικοι εισέρχονται και εξέρχονται από τα δωμάτια. Έπειτα θα περιγράψουμε την διαδικασία ελέγχου της θερμοκρασίας των δωματίων και τέλος θα αναφερθούμε στους μηχανισμούς ανίχνευσης πυρκαγιάς και πλημμύρας που διαθέτει το σύστημά μας.

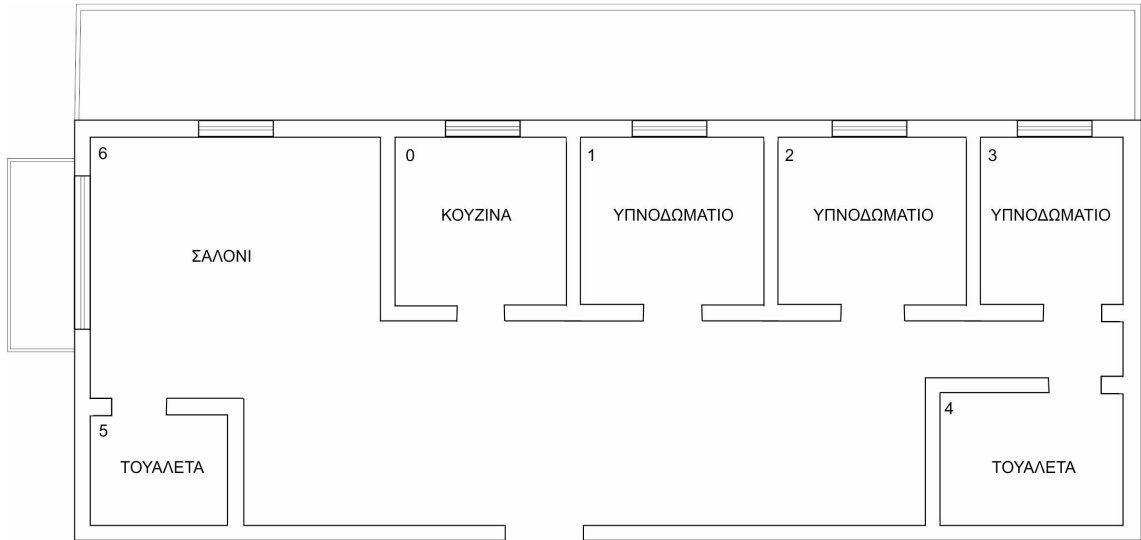
### 3.1 Περιγραφή των χώρων του σπιτιού

Η σχεδίαση του συστήματος ξεκίνησε με την επιλογή του σπιτιού στο οποίο θα εγκατασταθεί. Η κάτοψη του σπιτιού φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Το σπίτι αποτελείται από επτά δωμάτια. Πιο συγκεκριμένα, το σπίτι έχει τρία υπνοδωμάτια, μία κουζίνα, ένα σαλόνι και δύο τουαλέτες. Υπάρχουν επίσης δύο μπαλκόνια στα οποία έχουμε πρόσβαση από το σαλόνι για το πρώτο και από τα υπνοδωμάτια, το σαλόνι και την κουζίνα για το δεύτερο. Σε κάθε δωμάτιο, εκτός από τις τουαλέτες, υπάρχουνε συρόμενα παράθυρα από τα οποία έχουμε πρόσβαση στο αντίστοιχο μπαλκόνι.

Οι λάμπες των δωματίων ελέγχονται από διακόπτες τριών καταστάσεων. Ο λόγος που χρησιμοποιήσαμε διακόπτες τριών καταστάσεων είναι γιατί θέλουμε τα φώτα να ελέγχονται, εκτός από τους κατοίκους, και από τον μικροελεγκτή. Έτσι, στην πρώτη κατάσταση του διακόπτη η αντίστοιχη λάμπα είναι ανοικτή, στη δεύτερη κατάσταση η λάμπα είναι σβηστή και στην τρίτη κατάσταση το άνοιγμα και το σβήσιμο της λάμπας ελέγχεται από τον μικροελεγκτή. Ο έλεγχος του φωτισμού από τον μικροελεγκτή διευκολύνει τους κατοίκους κατά την κίνηση τους μέσα στο σπίτι, καθώς δεν χρειάζεται να κλείνουν τα φώτα όταν βγαίνουν από ένα δωμάτιο και να ανοίγουν τα φώτα όταν μπαίνουν σε ένα δωμάτιο. Επιπλέον πετυχαίνουμε εξοικονόμηση ενέργειας αφού ο μικροελεγκτής σβήνει τα φώτα των δωματίων που είναι άδεια.

Η θέρμανση του σπιτιού ελέγχεται αποκλειστικά από τον μικροελεγκτή. Η θέρμανση των δωματίων γίνεται με καλοριφέρ τα οποία είναι συνδεδεμένα με

ηλεκτροβάνες στον καυστήρα του σπιτιού. Ο μικροελεγκτής ελέγχει τις ηλεκτροβάνες έτσι ώστε να ρυθμίσει την θερμοκρασία κάθε δωματίου. Στο σπίτι υπάρχει ένας επιλογέας θερμοκρασίας από τον οποίο οι κάτοικοι μπορούν να επιλέξουν την θερμοκρασία που επιθυμούν.



Σχήμα 3.1 Κάτοψη του σπιτιού

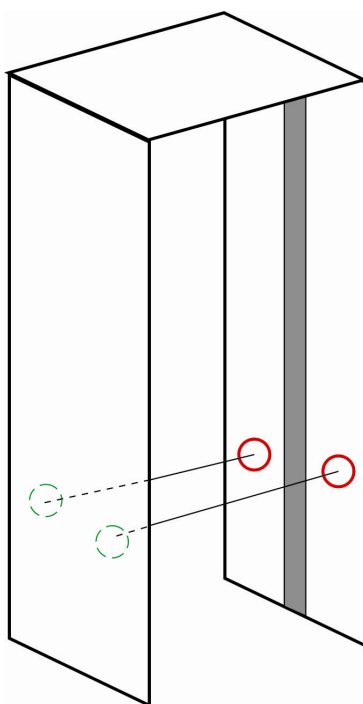
Το σύστημα που αναπτύξαμε διαθέτει επίσης μηχανισμούς ασφάλειας των κατοίκων και του κτηρίου. Στην κουζίνα υπάρχει μηχανισμός ανίχνευσης πυρκαγιάς ο οποίος ειδοποιεί τον μικροελεγκτή σε περίπτωση που ανιχνευτεί πυρκαγιά ή καπνός και ο μικροελεγκτής ενεργοποιεί στη συνέχεια μία σειρήνα. Τέλος, στις δύο τουαλέτες και στην κουζίνα υπάρχει μηχανισμός ανίχνευσης πλημμύρας. Ο μηχανισμός ανιχνεύει την διαρροή νερού και ειδοποιεί τον μικροελεγκτή, ο οποίος στη συνέχεια ενεργοποιεί την σειρήνα.

## 3.2 Έλεγχος φωτισμού

Ο φωτισμός των δωματίων, όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο, ελέγχεται εκτός από τους κατοίκους και από τον μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής διατηρεί στη μνήμη τον αριθμό των κατοίκων σε κάθε δωμάτιο. Εάν το δωμάτιο είναι γεμάτο ο μικροελεγκτής ανάβει το φως του δωματίου, ενώ εάν το δωμάτιο είναι άδειο ο μικροελεγκτής σβήνει το φως. Με τον όρο γεμάτο δωμάτιο εννοούμε ένα δωμάτιο στο οποίο βρίσκεται τουλάχιστον ένας κάτοικος, ενώ με τον όρο άδειο δωμάτιο εννοούμε το δωμάτιο στο οποίο δεν βρίσκεται κανένας κάτοικος. Μία άλλη παράμετρο που ελέγχει ο μικροελεγκτής, πριν ανάψει ένα φως, είναι οι εξωτερικές συνθήκες φωτισμού. Εάν το φως που έρχεται έξω από το σπίτι είναι επαρκές, ο μικροελεγκτής δεν ανάβει τα φώτα των δωματίων. Η μέτρηση του εξωτερικού φωτισμού γίνεται με έναν αισθητήρα φωτός τον οποίο θα περιγράψουμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

Ο μικροελεγκτής πρέπει να γνωρίζει πότε μπαίνει κάποιος κάτοικος σε ένα δωμάτιο και πότε βγαίνει κάποιος κάτοικος από ένα δωμάτιο έτσι ώστε να ενημερώνει τον αριθμό κατοίκων του κάθε δωματίου. Ο έλεγχος εισόδου-εξόδου των κατοίκων στα

δωμάτια γίνεται με την χρήση δύο αισθητήρων που τοποθετούνται σε κάθε δωμάτιο. Συγκεκριμένα, ο ένας αισθητήρας τοποθετείται από την μία μεριά της πόρτας και ο άλλος από την άλλη. Δηλαδή ο ένας βρίσκεται έξω από το δωμάτιο και ο άλλος μέσα στο δωμάτιο. Ο κάθε αισθητήρας είναι ένα ζεύγος Laser και ανιχνευτή φωτός. Όταν ο ανιχνευτής φωτός αναγνωρίσει διακοπή της φωτεινής δέσμης του Laser σημαίνει ότι κάποιος έχει περάσει από την πόρτα. Για να λειτουργήσει σωστά ο παραπάνω μηχανισμός πρέπει οι πόρτες των δωματίων να είναι συρόμενες. Στο Σχήμα 3.2 βλέπουμε το σημείο τοποθέτησης των αισθητήρων. Στο επόμενο κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική περιγραφή των παραπάνω αισθητήρων.



Σχήμα 3.2 Αισθητήρες στις πόρτες

Ο μικροελεγκτής πρέπει να γνωρίζει, εκτός από το ότι ένας κάτοικος πέρασε από τη πόρτα, την κατεύθυνση προς την οποία κινείται. Πρέπει, δηλαδή, να αναγνωρίσει εάν μπαίνει στο δωμάτιο ή βγαίνει από αυτό έτσι ώστε να αυξήσει ή να μειώσει αντίστοιχα τον αριθμό κατοίκων του συγκεκριμένου δωματίου. Ο μικροελεγκτής ελέγχει, λοιπόν, ποιός αισθητήρας έχει ενεργοποιηθεί πρώτος. Εάν ενεργοποιηθεί πρώτα ο αισθητήρας που βρίσκεται έξω από το δωμάτιο και μετά ο αισθητήρας που βρίσκεται μέσα στο δωμάτιο, σημαίνει ότι κάποιος μπήκε στο δωμάτιο. Αντίθετα, εάν ενεργοποιηθεί πρώτα ο αισθητήρας που βρίσκεται μέσα στο δωμάτιο και μετά ο αισθητήρας που βρίσκεται έξω από το δωμάτιο, σημαίνει ότι κάποιος βγήκε από το δωμάτιο. Με τον όρο ενεργοποίηση του αισθητήρα εννοούμε την διακοπή της φωτεινής δέσμης του Laser από κάποιον που περνάει την πόρτα.

Όταν ο μικροελεγκτής αναγνωρίσει ότι κάποιος κάτοικος μπήκε σε ένα δωμάτιο ή βγήκε από ένα δωμάτιο, κάνει μια σειρά ενεργειών. Αν κάποιος κάτοικος μπει σε ένα δωμάτιο ο μικροελεγκτής αυξάνει τον αριθμό των ατόμων του συγκεκριμένου δωματίου κατά ένα. Στη συνέχεια ελέγχει τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού με την



βοήθεια του εξωτερικού αισθητήρα φωτός. Εάν η ένταση του εξωτερικού φωτισμού είναι χαμηλή ανάβει το φως του δωματίου. Σε περίπτωση που το φως του δωματίου είναι ήδη αναμμένο, το σήμα που θα δώσει ο μικροελεγκτής για να ανάψει το φως δεν θα αλλάξει την κατάσταση. Από τον τρόπο που είναι σχεδιασμένο το σπίτι παρατηρούμε ότι όταν κάποιος μπαίνει σε ένα δωμάτιο φεύγει από το κεντρικό δωμάτιο, δηλαδή από το σαλόνι και τον διάδρομο. Έτσι ο μικροελεγκτής μειώνει τον αριθμό των ατόμων του κεντρικού δωματίου κάθε φορά που ένας κάτοικος μπαίνει σε ένα δωμάτιο. Έπειτα ελέγχει εάν ο αριθμός των ατόμων του κεντρικού δωματίου είναι ίσος με μηδέν και σβήνει το φως, αλλιώς εάν ο αριθμός των ατόμων του κεντρικού δωματίου είναι μεγαλύτερος από μηδέν δεν εκτελεί κάποια ενέργεια. Σε περίπτωση που το φως είναι ήδη σβηστό, το σήμα που στέλνει ο μικροελεγκτής δεν αλλάζει την κατάσταση.

Όμοιες διαδικασίες γίνονται και κατά την έξοδο ενός κατοίκου από ένα δωμάτιο. Όταν ένας κάτοικος βγαίνει από ένα δωμάτιο, ο μικροελεγκτής μειώνει τον αριθμό των κατοίκων του συγκεκριμένου δωματίου κατά ένα. Στη συνέχεια ελέγχει εάν το δωμάτιο είναι άδειο, οπότε και σβήνει το φως, ή γεμάτο, όπου δεν κάνει κάποια ενέργεια. Όπως και με την είσοδο σε ένα δωμάτιο, όταν κάποιος βγει από ένα δωμάτιο πηγαίνει στο κεντρικό δωμάτιο. Έπειτα, λοιπόν, ο μικροελεγκτής αυξάνει τον αριθμό των κατοίκων του κεντρικού δωματίου κατά ένα και ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού ανάβει ή όχι το φως του κεντρικού δωματίου.

Η διαδικασία εισόδου στο σπίτι και η διαδικασία εξόδου από αυτό, δηλαδή η είσοδος σε και η έξοδος από το κεντρικό δωμάτιο χρησιμοποιώντας την εξώπορτα του σπιτιού, έχει κάποιες διαφορές από την είσοδο-έξοδο σε δωμάτιο. Όταν κάποιος κάτοικος μπαίνει στο σπίτι, μπαίνει στο κεντρικό δωμάτιο. Ο μικροελεγκτής, λοιπόν, αυξάνει τον αριθμό των ατόμων του κεντρικού δωματίου κατά ένα και αφού ελέγξει τις συνθήκες φωτισμού που επικρατούν έξω από το σπίτι ανάβει, αν χρειάζεται, το φως του κεντρικού δωματίου. Όταν κάποιος κάτοικος βγαίνει από το σπίτι, βγαίνει ουσιαστικά από το κεντρικό δωμάτιο. Έτσι, ο μικροελεγκτής ελέγχει εάν υπάρχει άλλο άτομο στο κεντρικό δωμάτιο και σε περίπτωση που είναι άδειο σβήνει το φως. Στη συνέχεια ελέγχει εάν υπάρχει άλλο άτομο στο σπίτι και σε περίπτωση που είναι άδειο στέλνει ένα σήμα για να κλείσουν όλα τα παράθυρα του σπιτιού. Τα παράθυρα του σπιτιού ανοίγουν και κλείνουν ηλεκτρονικά. Ο μικροελεγκτής, λοιπόν, στέλνει ένα σήμα στο μηχανισμό κάθε παραθύρου έτσι ώστε να κλείσει το συγκεκριμένο παράθυρο.

### **3.3 Έλεγχος θερμοκρασίας δωματίων**

Η θερμοκρασία των δωματίων ελέγχεται, όπως είπαμε, από τον μικροελεγκτή, σύμφωνα βέβαια με την θερμοκρασία που έχει επιλεγεί από τον επιλογέα θερμοκρασίας. Σε κάθε δωμάτιο υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας ο οποίος είναι συνδεδεμένος με τον μικροελεγκτή. Στον μικροελεγκτή είναι, επίσης, συνδεδεμένος και ο επιλογέας θερμοκρασίας, μέσω του οποίου οι κάτοικοι μπορούν να επιλέξουν την θερμοκρασία που επιθυμούν για το σπίτι. Αρχικά, λοιπόν, ένας κάτοικος επιλέγει μια θερμοκρασία από τον επιλογέα θερμοκρασίας. Στη συνέχεια ο μικροελεγκτής ρυθμίζει την θερμοκρασία των γεμάτων δωματίων στην θερμοκρασία που έχει επιλεγεί.

Αντίθετα, στα άδεια δωμάτια ρυθμίζει την θερμοκρασία 2°C μικρότερη από αυτή που έχει επιλεγεί. Παρακάτω θα περιγράψουμε αναλυτικά την διαδικασία ρύθμισης της θερμοκρασία των δωματίων. Ρυθμίζοντας την θερμοκρασία των άδειων δωματίων 2°C μικρότερη από την επιλεγμένη, έχουμε λιγότερη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την κατανάλωση που θα είχαμε εάν σε όλα τα δωμάτια είχαμε την επιλεγμένη θερμοκρασία.

Ο μικροελεγκτής ελέγχει κάθε ένα λεπτό την θερμοκρασία των δωματίων και κάνει τις απαιτούμενες ενέργειες. Παίρνει, λοιπόν, την θερμοκρασία κάθε δωματίου μέσω των αισθητήρων θερμοκρασίας. Στη συνέχεια συγκρίνει την θερμοκρασία κάθε δωματίου με την επιθυμητή θερμοκρασία. Ως επιθυμητή θεωρούμε την θερμοκρασία του επιλογέα θερμοκρασίας όταν το δωμάτιο είναι γεμάτο, ενώ όταν το δωμάτιο είναι άδειο ως επιθυμητή θεωρούμε την θερμοκρασία του επιλογέα θερμοκρασίας μείον 2°C. Αν η θερμοκρασία ενός δωματίου είναι μικρότερη από την επιθυμητή, ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα για να ανοίξει η ηλεκτροβάννα που είναι συνδεδεμένη με το καλοριφέρ του συγκεκριμένου δωματίου. Αν η ηλεκτροβάννα ήταν ήδη ανοιχτή το σήμα που στέλνεται δεν αλλάζει την κατάστασή της. Αντίθετα, εάν η θερμοκρασία ενός δωματίου είναι μεγαλύτερη ή ίση από την επιθυμητή, ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα για να κλείσει η ηλεκτροβάννα που είναι συνδεδεμένη με το καλοριφέρ του συγκεκριμένου δωματίου. Αν η ηλεκτροβάννα ήταν ήδη κλειστή το σήμα που στέλνεται δεν αλλάζει την κατάστασή της.

## Κεφάλαιο 4: Ο μικροελεγκτής AT89LP51RD2

Ο μικροελεγκτής που θα χρησιμοποιήσουμε στο σύστημα μας είναι ο AT89LP51RD2 της ATMEL. Η επιλογή του συγκεκριμένου μικροελεγκτή έγινε σύμφωνα με κάποια κριτήρια όπως το μέγεθος της μνήμης δεδομένων και προγράμματος, οι διαθέσιμοι ακροδέκτες για είσοδο/έξοδο, ο αριθμός των timers, η δυνατότητα μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Στο σύστημά μας δεν χρειαζόμαστε μεγάλο μέγεθος μνήμης, επομένως τα 64 KB μνήμης προγράμματος και τα 256 byte μνήμης RAM που διαθέτει ο AT89LP51RD2 είναι αρκετά. Όσον αφορά τους ακροδέκτες εισόδου/εξόδου χρειαζόμαστε πολλούς ακροδέκτες γιατί ο μικροελεγκτής πρέπει να επικοινωνεί με πολλά εξωτερικά κυκλώματα (ηλεκτροβάνες, αισθητήρες, λαμπτήρες, κ.α.). Ο AT89LP51RD2 διαθέτει 40 ακροδέκτες εισόδου/εξόδου. Χρειαζόμαστε ακόμη δύο timers για να μετρήσουμε κάποια χρονικά διαστήματα. Ο AT89LP51RD2 διαθέτει τρεις 16-bit timers. Τέλος ο AT89LP51RD2 περιλαμβάνει έναν Analog-to-Digital converter με 7 κανάλια εισόδου.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε αρχικά τα βασικά χαρακτηριστικά του AT89LP51RD2. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε αναλυτικά τα περιφερειακά και υποσυστήματα του AT89LP51RD2 που θα χρησιμοποιήσουμε στο σύστημά μας. Πιο συγκεκριμένα, θα γίνει περιγραφή των χαρακτηριστικών τους, του τρόπου επικοινωνίας τους με την CPU και τις ρυθμίσεις που μπορούμε να κάνουμε σε καθένα από αυτά.

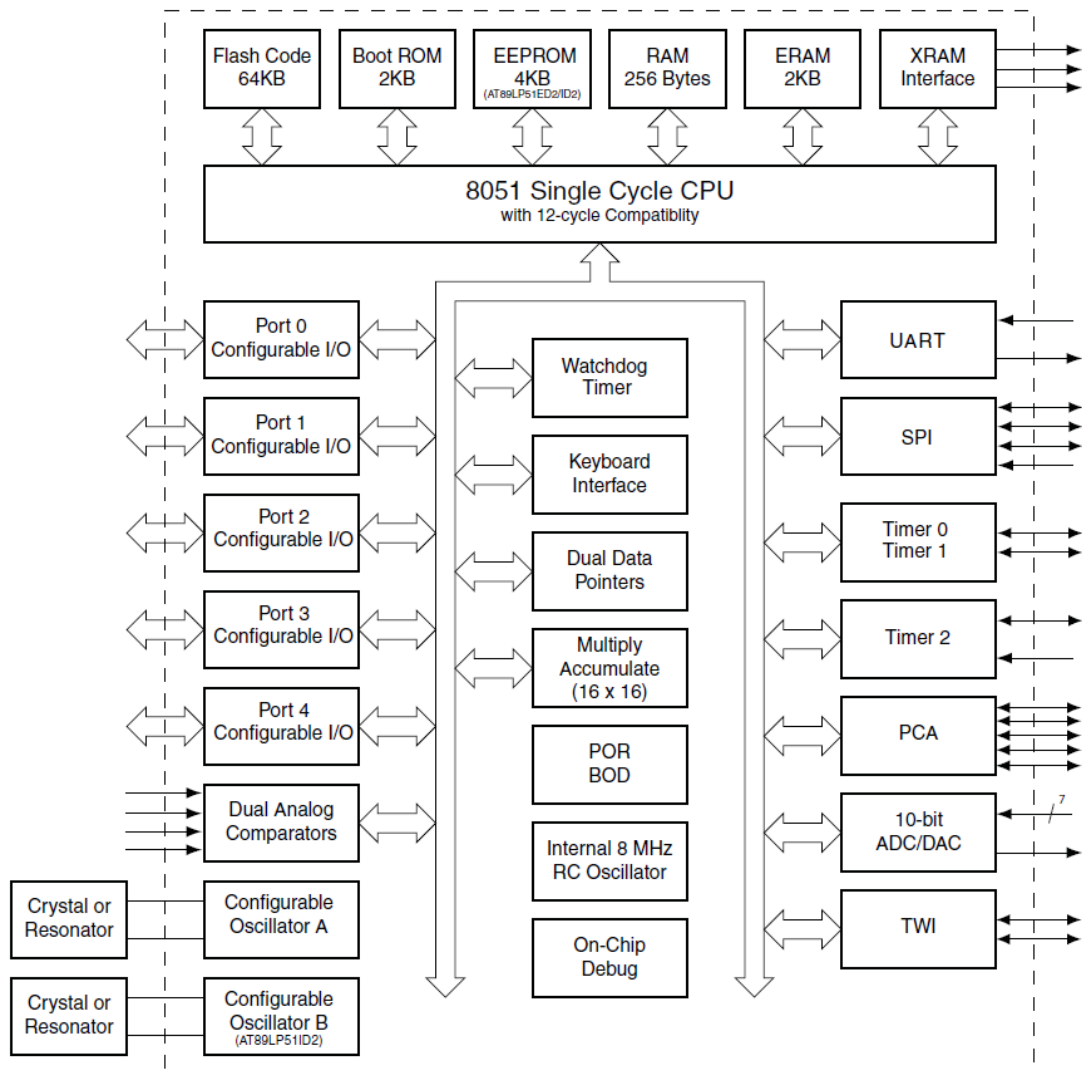
### 4.1 Χαρακτηριστικά του AT89LP51RD2

Ο μικροελεγκτής AT89LP51RD2 είναι ένας χαμηλής ισχύος, υψηλής απόδοσης CMOS 8-bit 8051 μικροελεγκτής με 64 KB μνήμη προγράμματος τεχνολογίας flash. Η μνήμη προγράμματος είναι In-System Programmable, δηλαδή είναι δυνατός ο προγραμματισμός και επαναπρογραμματισμός του μικροελεγκτή ενώ ο μικροελεγκτής είναι εγκαταστημένος στο τελικό σύστημα. Ο προγραμματιστής επικοινωνεί σειριακά με τον μικροελεγκτή και προγραμματίζει την μνήμη προγράμματος. Με αυτό τον τρόπο δεν χρειάζεται να αφαιρεθεί ο μικροελεγκτής από το σύστημα. Έτσι μειώνουμε το κόστος και κερδίζουμε χρόνο, τόσο κατά την διαδικασία της ανάπτυξης, όσο και κατά την διαδικασία της αναβάθμισης και συντήρησης του συστήματος.

Ο μικροελεγκτής είναι χτισμένος γύρω από μία βελτιωμένη CPU η οποία μπορεί να μεταφέρει ένα byte από τη μνήμη σε κάθε κύκλο ρολογιού. Σε μία κλασσική 8051 αρχιτεκτονική η μεταφορά ενός byte απαιτεί 6 κύκλους ρολογιού, με αποτέλεσμα οι εντολές να εκτελούνται σε 12, 24, ή 48 κύκλους ρολογιού. Στον μικροελεγκτή AT89LP51RD2 οι εντολές χρειάζονται από έναν έως τέσσερις κύκλους ρολογιού για να εκτελεστούν παρέχοντας από 6 έως 12 φορές μεγαλύτερη ρυθμαπόδοση από την κλασσική 8051 CPU. Το 70% των εντολών χρειάζονται μόνο τόσους κύκλους για να εκτελεστούν όσα είναι τα byte που τις αποτελούν. Οι υπόλοιπες απαιτούν μόνο έναν επιπλέον κύκλο. Η βελτιωμένη CPU μπορεί να έχει ρυθμαπόδοση ίση με 20 MIPS ενώ η κλασσική 8051 CPU έχει ρυθμαπόδοση 4 MIPS για την ίδια κατανάλωση ρεύματος. Αντιστρόφως, για την ίδια ρυθμαπόδοση, έχουμε μεγάλη μείωση στην κατανάλωση

ισχύος. Τέλος, ο μικροελεγκτής μπορεί να λειτουργήσει και σε κατάσταση συμβατότητας όπου έχουμε 12 κύκλους ρολογιού για κάθε ένα κύκλο μηχανής.

Ο AT89LP51RD2 διαθέτει, όπως είπαμε, 64 KB In-System Programmable Flash μνήμη προγράμματος, 256 bytes μνήμη RAM, 40 ακροδέκτες εισόδου/εξόδου, τρεις 16-bit timer/counters, έναν Programmable Counter Array, έναν προγραμματιζόμενο watchdog timer, μία διεπαφή για πληκτρολόγιο, μια full-duplex σειριακή θύρα, ένα serial peripheral interface (SPI), ένα κρυσταλλικό ταλαντωτή, ένα υποσύστημα διακοπών με 10 διανύσματα διακοπών και τέσσερα επίπεδα προτεραιοτήτων, ένα Two-Wire Interface (TWI) για σειριακή μεταφορά μέχρι 400 KB/s, ένα 10-bit Analog-to-Digital converter με 7 κανάλια εισόδου και δυνατότητα μετατροπής από ψηφιακό σε αναλογικό, έναν ταλαντωτή συχνότητας 8 MHz και δύο αναλογικούς συγκριτές. Στο σχήμα 4.1 βλέπουμε το block diagram του μικροελεγκτή.



Σχήμα 4.1 Block diagram του μικροελεγκτή AT89LP51RD2

Ο AT89LP51RD2 περιλαμβάνει ένα On-Chip Debug (OCD) interface που επιτρέπει διάβασμα, τροποποίηση και εγγραφή της κατάστασης του συστήματος και της ροής του προγράμματος. Ακόμη επιτρέπει τον προγραμματισμό των εσωτερικών

μνημών του μικροελεγκτή. Η μνήμη flash μπορεί επίσης να προγραμματιστεί μέσω του UART-based bootloader ή του SPI-based In-System programming interface (ISP).

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά του AT89LP51RD2 τον καθιστούν μια πολύ καλή επιλογή για εφαρμογές που χρειάζονται pulse width modulation, υψηλής ταχύτητας είσοδο/έξοδο, δυνατότητες μέτρησης, όπως για παράδειγμα συναγερμοί, έλεγχος κινητήρων, αναγνώστες έξυπνων καρτών.

## 4.2 Οργάνωση μνήμης

Ο AT89LP51RD2 χρησιμοποιεί την αρχιτεκτονική Harvard όπου έχουμε ξεχωριστή μνήμη για τα δεδομένα και για το πρόγραμμα. Η μνήμη προγράμματος έχει μια κανονική γραμμική περιοχή διευθύνσεων και υποστηρίζει μέχρι 64 KB κώδικα. Η μνήμη δεδομένων αποτελείται από 256 byte μνήμη RAM και 128 καταχωρητές ειδικής χρήσης (Special Function Registers) που είναι γνωστοί ως SFRs. Στον Πίνακα 4.1 βλέπουμε τις περιοχές μνήμης που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε. Παρακάτω θα περιγράψουμε μόνο τις περιοχές μνήμης που χρησιμοποιήσαμε στο σύστημά που αναπτύξαμε.

Πίνακας 4.1 Περιοχές μνήμης

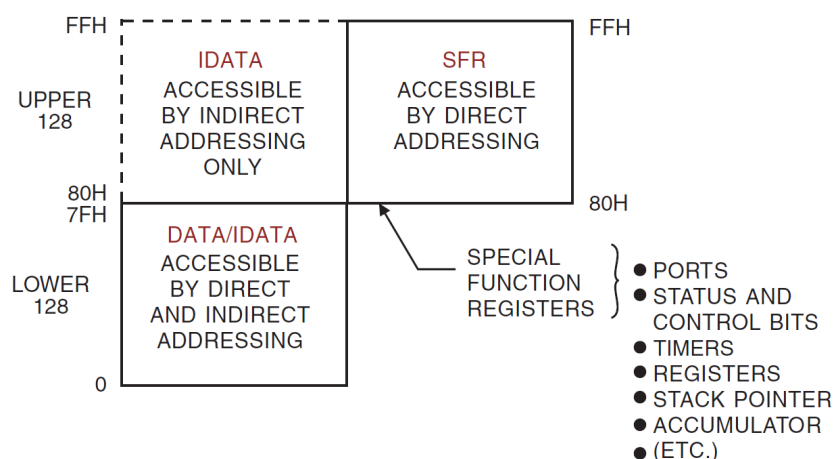
Name	Description	Range
DATA	Directly addressable internal RAM	00H-7FH
IDATA	Indirectly addressable internal RAM and stack space	00H-FFH
SFR	Directly addressable I/O register space	80H-FFH
EDATA	On-chip Extra RAM and extended stack space	0000H-07FFH <sup>(1)</sup>
FDATA	On-chip nonvolatile EEPROM data memory (AT89LP51ED2 and AT89LP51ID2 only)	0000H-0FFFFH
XDATA	External data memory	0000H-FFFFFFH
CODE	On-chip nonvolatile Flash program memory	0000H-FFFFFFH
XCODE	External program memory	8000H-FFFFFFH
SIG	On-chip nonvolatile Flash signature array	0000H-01FFH
BOOT	On-chip Bootloader ROM and Flash API	F800H-FFFFFFH

Note: 1. The size of the EDATA space is configurable with the XRS bits in AUXR.

Ο μικροελεγκτής έχει 64 KB on-chip In-System Programmable Flash μνήμη για την αποθήκευση του προγράμματος. Η μνήμη αυτή έχει διάρκεια ζωής τουλάχιστον 10.000 κύκλων εγγραφής/διαγραφής ενώ διατηρεί τα δεδομένα για τουλάχιστον 10 χρόνια. Το διάνυσμα reset και τα διανύσματα διακοπών είναι τοποθετημένα στα πρώτα 83 bytes της μνήμης προγράμματος. Τέλος, look-up tables μπορούν να τοποθετηθούν οπουδήποτε στην μνήμη προγράμματος για πρόσβαση μέσω της εντολής MOVC.

Ο AT89LP51RD2 έχει 256 bytes SRAM εσωτερική μνήμη δεδομένων και 128 SFRs που αντιστοιχίζονται σε έναν 8-bit χώρο διευθύνσεων. Η εσωτερική μνήμη δεδομένων έχει τρεις χώρους διευθύνσεων, DATA, IDATA και SFR όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.2. Ο χώρος DATA περιλαμβάνει τα πρώτα 128 bytes της RAM τα οποία μπορούν να προσπελαστούν με απευθείας διευθυνσιοδότηση μέσω μίας 8-bit διεύθυνσης (00H-7FH) η οποία περιλαμβάνεται στην εντολή. Τα 32 χαμηλότερα bytes της DATA μνήμης είναι ομαδοποιημένα σε ομάδες των 8 καταχωρητών. Από τα bits

RS0 και RS1 (bits 3 και 4 του καταχωρητή PSW αντίστοιχα) μπορούμε να επιλέξουμε την ομάδα καταχωρητών που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε. Εντολές που χρησιμοποιούν διευθυνσιοδότηση καταχωρητή έχουν πρόσβαση μόνο στην επιλεγμένη ομάδα καταχωρητών. Ο χώρος IDATA περιλαμβάνει και τα 256 bytes της μνήμης RAM και μπορεί να προσπελαστεί με έμμεση διευθυνσιοδότηση μέσω των καταχωρητών R0 και R1. Τα πρώτα 128 bytes είναι ο χώρος DATA. Τέλος ο χώρος των SFRs μπορεί να προσπελαστεί με άμεση διευθυνσιοδότηση μέσω μίας 8-bit διεύθυνσης (80H-FFH).



Σχήμα 4.2 Εσωτερική μνήμη δεδομένων

### 4.3 Διακοπές

Ο AT89LP51RD2 παρέχει 11 διανύσματα διακοπών: δύο εξωτερικές διακοπές (INT0 και INT1), τρεις διακοπές των timers, μια διακοπή της σειριακή θύρας, μία διακοπή του SPI, μια διακοπή του πληκτρολογίου, μια διακοπή του PCA, μια διακοπή του αναλογικού συγκριτή και μία του ADC. Αυτές οι διακοπές και το reset του συστήματος έχουν ξεχωριστό διάνυσμα διακοπής η καθεμιά το οποίο είναι τοποθετημένο στην αρχή της μνήμης προγράμματος. Στον Πίνακα 4.2 βλέπουμε τις θέσεις μνήμης των διανυσμάτων διακοπής. Κάθε πηγή διακοπής μπορεί να γίνει ενεργή ή ανενεργή θέτοντας ή διαγράφοντας ένα bit των interrupt enable registers (IEN0 και IEN1). Ο καταχωρητής IEN0 περιέχει, επίσης, ένα bit ολικής απενεργοποίησης διακοπών με όνομα EA. Το EA μπορεί να απενεργοποιήσει όλες τις διακοπές. Όλα τα bits που δημιουργούν τις διακοπές μπορούν να γίνουν 1 ή 0 από το πρόγραμμα, με τα ίδια αποτελέσματα σαν να είχαν γίνει από το hardware. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να απενεργοποιήσουμε διακοπές οι οποίες περιμένουν να εξυπηρετηθούν γράφοντας 0 στο αντίστοιχο bit.

Κάθε πηγή διακοπής μπορεί να προγραμματιστεί ανεξάρτητα σε μία τιμή προτεραιότητας από το ένα έως το τέσσερα χρησιμοποιώντας τους καταχωρητές IPL0, IPL1, IPH0, IPH1. Στους IPL0 και IPL1 αποθηκεύεται το χαμηλής τάξης bit της προτεραιότητας και στους IPH0 και IPH1 αποθηκεύεται το υψηλής τάξης bit της

προτεραιότητας, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.3. Μία ρουτίνα εξυπηρέτησης διακοπής (interrupt service routine ή isr) η οποία εξυπηρετείται μπορεί να διακοπεί μόνο από μία διακοπή με μεγαλύτερη προτεραιότητα αλλά όχι από διακοπή με ίση ή μικρότερη προτεραιότητα. Η διακοπή με την υψηλότερη προτεραιότητα δεν μπορεί να διακοπεί από καμία άλλη διακοπή. Εάν δύο διακοπές διαφορετικής προτεραιότητας περιμένουν να εξυπηρετηθούν στο τέλος μίας εντολής, η διακοπή με την υψηλότερη προτεραιότητα θα εξυπηρετηθεί πρώτα. Εάν δύο διακοπές με την ίδια προτεραιότητα περιμένουν να εξυπηρετηθούν στο τέλος μιας εντολής, η διακοπή που θα εξυπηρετηθεί είναι αυτή που το διάνυσμα διακοπής της βρίσκεται πιο ψηλά στον πίνακα διανυσμάτων διακοπών (Πίνακας 4.2).

**Πίνακας 4.2 Διανύσματα διακοπών**

Polling Priority	Interrupt	Source	Vector Address
0	System Reset	RST or POR or BOD	0000H
1	External Interrupt 0	IE0	0003H
2	Timer 0 Overflow	TF0	000BH
3	External Interrupt 1	IE1	0013H
4	Timer 1 Overflow	TF1	001BH
6	Serial Port Interrupt	RI or TI	0023H
7	Timer 2 Interrupt	TF2 or EXF2	002BH
5	PCA Interrupt	CF, CCF0, CCF1, CCF2, CCF3 or CCF4	0033H
8	Keyboard Interrupt	KBF <sub>7-0</sub>	003BH
9	Two-Wire Interrupt	SI	0043H
10	SPI Interrupt	SPIF or MODF or TXE	004BH
11	reserved		0053H
12	Analog Comparator Interrupt	CFA or CFB	005BH
13	ADC Interrupt	ADIF	0063H

**Πίνακας 4.3 Ρύθμιση προτεραιοτήτων**

IPH.x	IPL.x	Interrupt Priority Level
0	0	0 (Lowest)
0	1	1
1	0	2
1	1	3 (Highest)

Οι σημαίες των διακοπών μπορούν να γίνουν 1 από το hardware σε οποιονδήποτε κύκλο ρολογιού. Ο ελεγκτής διακοπών ελέγχει τις σημαίες των διακοπών στον τελευταίο κύκλο ρολογιού της εντολής που εκτελείται. Εάν κάποια σημαία είχε γίνει 1 στον προηγούμενο κύκλο, ο ελεγκτής διακοπών θα το βρει και το σύστημα διακοπών θα δημιουργήσει μία κλήση (LCALL) στην κατάλληλη ρουτίνα εξυπηρέτησης, με την προϋπόθεση ότι η διακοπή δεν μπλοκάρεται από μία από τις παρακάτω δύο συνθήκες. Πρώτον, μία διακοπή ίσης ή μεγαλύτερης προτεραιότητας εξυπηρετείται εκείνη τη στιγμή. Δεύτερον, η εντολή που εκτελείται είναι η RETI ή οποιαδήποτε εντολή που γράφει τους καταχωρητές IENx, IPLx, IPHx. Κάθε μία από αυτές τις συνθήκες θα μπλοκάρει την κλήση της isr. Η δεύτερη συνθήκη εξασφαλίζει

ότι εάν η εντολή που εκτελείται είναι η RETI ή οποιαδήποτε εντολή που γράφει τους καταχωρητές IENx, IPLx, IPHx τότε τουλάχιστον μία ακόμη εντολή θα εκτελεστεί πριν εξυπηρετηθεί οποιαδήποτε διακοπή. Η διαδικασία επιλογής της διακοπής που θα εκτελεστεί επαναλαμβάνεται στον τελευταίο κύκλο κάθε εντολής και οι τιμές σημαίων που ελέγχονται είναι αυτές που υπήρχαν στον προηγούμενο κύκλο ρολογιού. Εάν μια διακοπή ενεργοποιηθεί και δεν εξυπηρετηθεί λόγω μίας από τις παραπάνω συνθήκες και δεν είναι πια ενεργοποιημένη όταν η συνθήκη σταματήσει να ισχύει, η διακοπή δεν θα εξυπηρετηθεί. Με άλλα λόγια, το σύστημα διακοπών δεν θυμάται ότι μία απενεργοποιημένη διακοπή ενεργοποιήθηκε αλλά δεν εξυπηρετήθηκε.

Εάν υπάρχουν οι κατάλληλες συνθήκες για να εξυπηρετηθεί μία διακοπή η κλήση στην *isr* της διακοπής θα είναι η επόμενη εντολή που θα εκτελεστεί. Η κλήση χρειάζεται 4 κύκλους για να εκτελεστεί. Έτσι, ο ελάχιστος αριθμός κύκλων ρολογιού που μεσολαβούν ανάμεσα στην ενεργοποίηση της διακοπής και την εκτέλεση της πρώτης εντολής της *isr* της είναι πέντε. Ο χρόνος απόκρισης είναι μεγαλύτερος εάν η διακοπή μπλοκαριστεί από κάποια συνθήκη από αυτές που αναφέραμε. Εάν μια διακοπή ίσης ή μεγαλύτερης προτεραιότητας εξυπηρετείται, ο πρόσθετος χρόνος εξαρτάται από την *isr* της διακοπής που εξυπηρετείται. Εάν η εντολή δεν είναι στον τελευταίο κύκλο, ο πρόσθετος χρόνος απόκρισης στην εξυπηρέτηση της διακοπής είναι 5 κύκλοι αφού η μεγαλύτερη σε διάρκεια εντολή απαιτεί 5 κύκλους. Εάν η εντολή που εκτελείται είναι η RETI, ο πρόσθετος χρόνος δεν μπορεί να είναι παραπάνω από 9 κύκλους (4 για να ολοκληρωθεί η εντολή και 5 για να ολοκληρωθεί η επόμενη). Έτσι, ο χρόνος απόκρισης σε μία διακοπή μπορεί να είναι 5 έως 14 κύκλους.

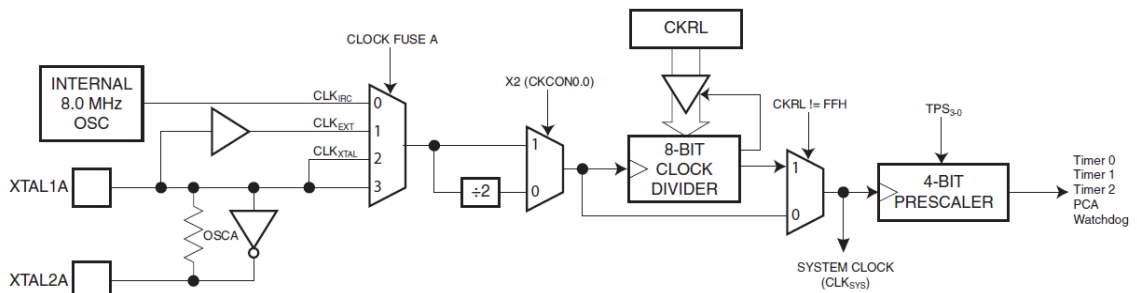
Όταν μία διακοπή εξυπηρετηθεί, η σημαία της πρέπει να γίνει 0 πριν την εντολή RETI της *isr* της, αλλιώς η διακοπή θα παραμένει ενεργοποιημένη. Πολλά διανύσματα διακοπών έχουν πολλές πηγές διακοπής. Η *isr* πρέπει να βρει ποιά σημαία ενεργοποίησε την διακοπή και αυτή η σημαία πρέπει να γίνει 0 από το πρόγραμμα. Εάν πολλές σημαίες μίας διακοπής είναι 1, η διακοπή θα είναι ενεργοποιημένη μέχρι όλες οι σημαίες να γίνουν 0. Σε κάποιες περιπτώσεις η σημαίες των διακοπών γίνονται μηδέν από το hardware.

Οι εξωτερικές διακοπές INTO και INT1 μπορούν να είναι είτε level-activated είτε edge-activated ανάλογα με τις τιμές που έχουν τα bits IT0 και IT1 του καταχωρητή TCON. Οι σημαίες των διακοπών αυτών είναι τα bits IE0 και IE1 του καταχωρητή TCON. Όταν ξεκινήσει η εκτέλεση της *isr*, οι σημαία που προκάλεσε την εκτέλεση γίνεται μηδέν από το hardware εάν η συγκεκριμένη διακοπή είναι edge-activated. Εάν η διακοπή ήταν level-activated, τότε η πηγή που προκαλεί την διακοπή ελέγχει την σημαία και όχι το hardware του μικροελεγκτή. Οι διακοπές των timers 0 και 1 ενεργοποιούνται από τα bits TF0 και TF1 του καταχωρητή TCON. Όταν ξεκινήσει η εκτέλεση της *isr* κάποιου timer το hardware κάνει 0 την αντίστοιχη σημαία. Όλες οι άλλες σημαίες πρέπει να γίνουν μηδέν από το πρόγραμμα.



## 4.4 Timers

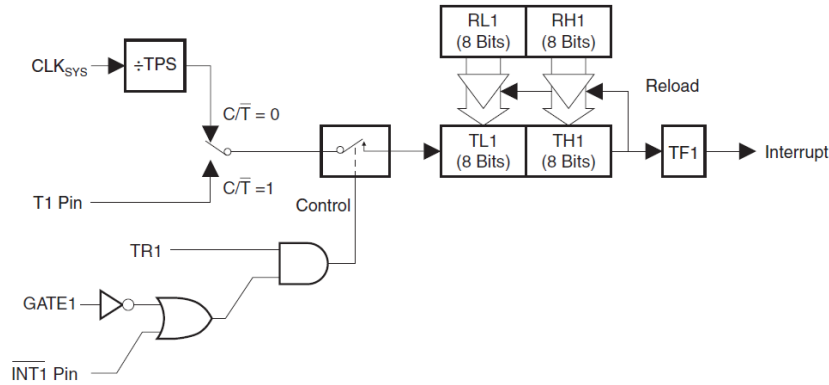
Ο AT89LP51RD2 έχει 2 16-bit timers, τον timer 0 και τον timer 1. Οι timer 0 και timer 1 έχουν παρόμοιο τρόπο λειτουργίας. Οι timer registers (TL0, TL1, TH0 και TH1) αυξάνονται σε κάθε κύκλο ρολογιού κατά ένα. Έτσι, ο ρυθμός μέτρησης των timers είναι ίσος με τη συχνότητα του μικροελεγκτή. Ο ρυθμός μέτρησης των timers μπορεί να διαιρεθεί με μία τιμή από το 1 έως το 16 χρησιμοποιώντας τον timer prescaler. Ουσιαστικά διαιρούμε την συχνότητα του μικροελεγκτή με αυτή την τιμή. Η τιμή με την οποία θα διαιρεθεί η συχνότητα του μικροελεγκτή αποθηκεύεται στα 4 υψηλής τάξης bit του καταχωρητή CLKREG. Ο timer prescaler δεν είναι ενεργός από προεπιλογή έτσι ο ρυθμός μέτρησης είναι ίσος με την συχνότητα του μικροελεγκτή. Για να κάνουμε ενεργό τον timer prescaler κάνουμε 1 το bit T0X2 ή T1X2 του καταχωρητή CKCON0 ανάλογα ποιου timer τη συχνότητα θέλουμε να διαιρέσουμε. Ο timer prescaler είναι κοινός και για τους δύο timers. Στο Σχήμα 4.3 φαίνεται πώς προκύπτει η συχνότητα των timers. Στο σχήμα φαίνονται και τα υπόλοιπα τμήματα του υποσυστήματος του ρολογιού τα οποία δεν κρίνεται σκόπιμο να αναλύσουμε. Οι timers έχουν διάφορους τρόπους λειτουργίας. Στη συνέχεια θα αναλύσουμε τον τρόπο λειτουργίας που χρησιμοποιήσαμε στην παρούσα πτυχιακή.



Σχήμα 4.3 Το υποσύστημα του ρολογιού

Στον τρόπο λειτουργίας (mode) με αριθμό 1 και όνομα auto-reload οι timers αυξάνονται με μία συχνότητα την οποία ορίζουμε όπως είδαμε παραπάνω. Σε αυτό το mode οι timers χρησιμοποιούν και τα 16 bit των timer registers. Οι timer registers αυξάνονται με την συχνότητα των timers. Κάθε timer έχει έναν 16-bit timer register. Επίσης, κάθε timer έχει μία reload value η οποία αποθηκεύεται στους καταχωρητές RHx, RLx. Ο timer register αυξάνεται και κατά την μετάβασή του από την τιμή FFFFH στην τιμή 0000H ο timer register φορτώνεται με την τιμή που είναι αποθηκευμένη στους RHx, RLx και η σημαία overflow του timer γίνεται 1. Το mode αυτό είναι το ίδιο και για τους δύο timers. Ο τύπος (1) μας δίνει τον χρόνο στον οποίο γίνεται overflow ο timer. TPS είναι η τιμή που έχουμε αποθηκεύσει στον CLKREG. Στο Σχήμα 4.4 βλέπουμε τον τρόπο λειτουργίας των timers στο mode 1.

$$\text{Time-out Period} = \frac{(65536 - \{RHx, RLx\})}{f_{sys}} \cdot (TPS + 1) \quad (1)$$



Σχήμα 4.4 Auto-Reload mode των timers

## 4.5 Analog-to-Digital Converter

Ο AT89LP51RD2 διαθέτει ένα 10-bit μετατροπέα δεδομένων διαδοχικών προσεγγίσεων ο οποίος λειτουργεί είτε ως Analog-to-Digital converter (ADC) είτε ως Digital-to-Analog converter (DAC). Ένας αναλογικός πολυπλέκτης οκτώ καναλιών συνδέει τις οκτώ απλές ή τέσσερις διαφορικές τάσεις εισόδου από τους ακροδέκτες του PORT 0 σε ένα sample-and-hold κύκλωμα το οποίο με τη σειρά του παρέχει μία είσοδο στο κύκλωμα διαδοχικών προσεγγίσεων. Το sample-and-hold κύκλωμα εξασφαλίζει ότι η τάση εισόδου στον ADC κρατιέται σε μία σταθερή τιμή κατά την διάρκεια της μετατροπής. Το κύκλωμα SAR ψηφιοποιεί την αναλογική τάση σε μία 10-bit τιμή προσβάσιμη μέσω δύο καταχωρητών. Το κύκλωμα SAR λειτουργεί και αντιστρόφως δημιουργώντας μια αναλογική τάση στο PORT 2 από την 10-bit τιμή. Στο Σχήμα 4.5 βλέπουμε ένα block diagram του converter.

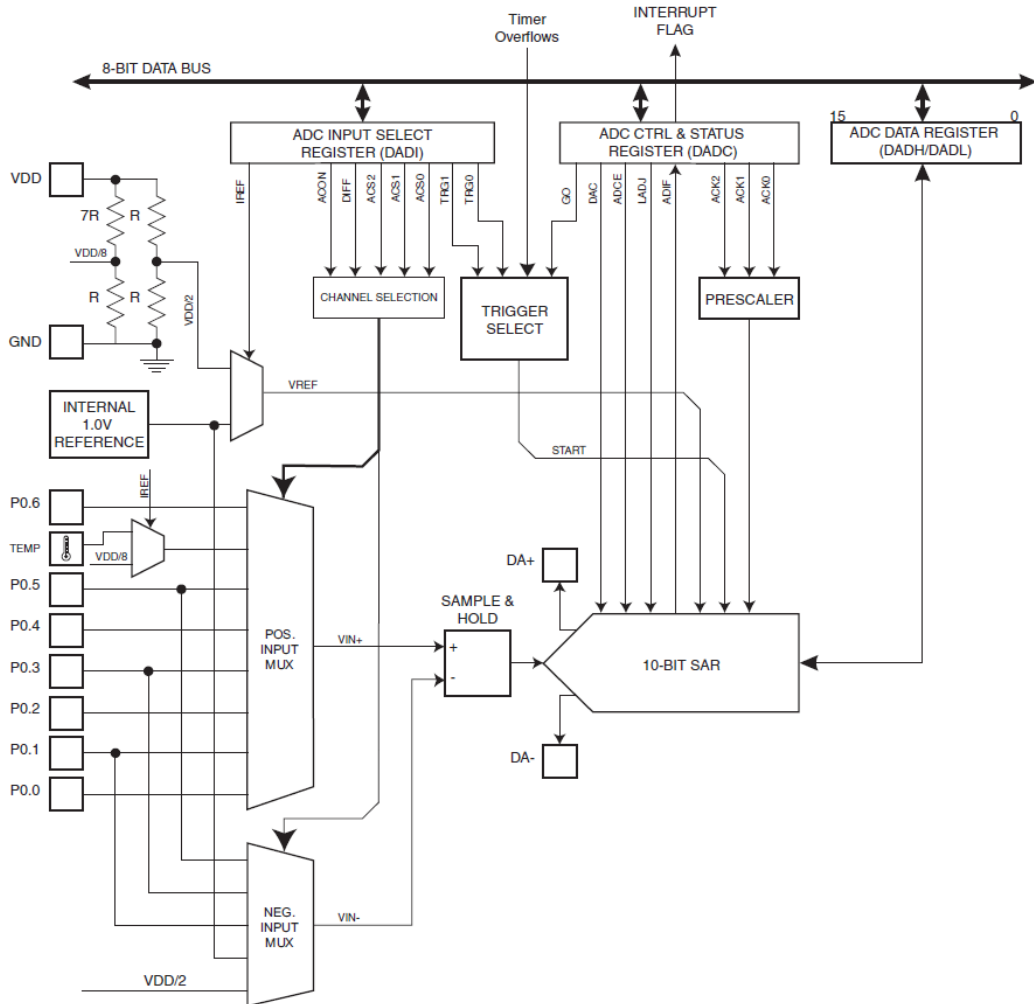
Τα αποτελέσματα του ADC είναι αποθηκευμένα στους καταχωρητές DADL και DADH. Η κλίμακα του αποτελέσματος εξαρτάται από την τάση αναφοράς ( $V_{REF}$ ) η οποία δημιουργείται είτε εσωτερικά από μία τάση 1 V είτε εξωτερικά και είναι ίση με  $V_{DD}/2$ . Το αποτέλεσμα του ADC αποθηκεύεται πάντα σε προσημασμένη μορφή συμπληρώματος του 2. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι αριστερά ή δεξιά στοιχισμένο στους καταχωρητές DADH, DADL. Το πρόσημο επεκτείνεται στα έξι υψηλότερης τάξης bits στα right-adjusted αποτελέσματα και τα 6 χαμηλότερης τάξης bits γίνονται μηδέν στα left-adjusted αποτελέσματα. Ο τύπος μετατροπής φαίνεται παρακάτω για απλές και differential εισόδους.

$$\text{(Απλή είσοδος) ADC} = 511 \cdot \frac{V_{in} - (V_{DD}/2)}{V_{REF}} \quad (2)$$

$$\text{(Differential) ADC} = 511 \cdot \frac{V_{IN+} - V_{IN-}}{V_{REF}} \quad (3)$$

Ο ADC μετατρέπει μία αναλογική είσοδο σε μια 10-bit προσημασμένη ψηφιακή τιμή μέσω της τεχνικής των διαδοχικών προσεγγίσεων. Όταν το bit DIFF (DADL3) είναι 0, ο ADC λειτουργεί σε single-ended λειτουργία και η τάση εισόδου είναι η διαφορά μεταξύ της τάσης στον ακροδέκτη εισόδου και την  $V_{DD}/2$ . Στην differential

λειτουργία (DIFF=1) η τάση εισόδου είναι η διαφορά ανάμεσα στον θετικό και αρνητικό ακροδέκτη εισόδου. Η ελάχιστη τιμή αναπαριστά μηδενική διαφορά και η μέγιστη τιμή αναπαριστά μία θετική ή αρνητική διαφορά ίση με  $V_{REF}$  μείον 1 LSB.

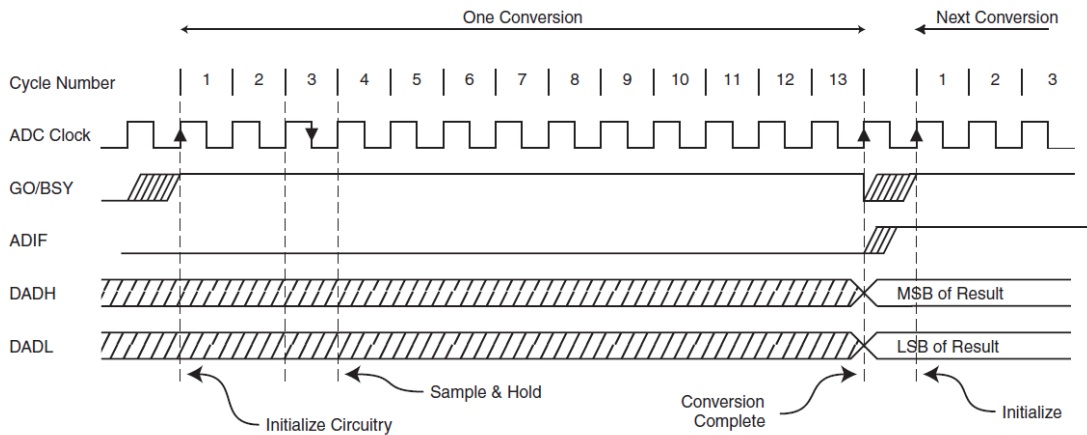


Σχήμα 4.5 Block diagram του ADC

Το αναλογικό κανάλι εισόδου επιλέγεται γράφοντας τον αριθμό του καναλιού στα ACS bits του καταχωρητή DADI. Οι πρώτοι επτά ακροδέκτες του PORT 0 μπορούν να επιλεγούν ως απλές αναλογικές εισοδοι στον ADC. Τρία ζευγάρια ακροδεκτών του PORT 0 μπορούν να επιλεγούν ως differential εισοδοι. Το ACON bit (DADI.7) πρέπει να γίνει 1 για να συνδεθούν οι ακροδέκτες εισόδου στον ADC. Πριν γίνει αλλαγή του καναλιού εισόδου μέσω του ACS, ο ACON πρέπει να γίνει 0. Αυτό εξασφαλίζει ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ των καναλιών περιορίζεται. Ο ACON πρέπει να ξαναγίνει 1 μετά την αλλαγή του ACS. Οι ACS και ACON δεν πρέπει να αλλάζουν κατά την διάρκεια μιας μετατροπής.

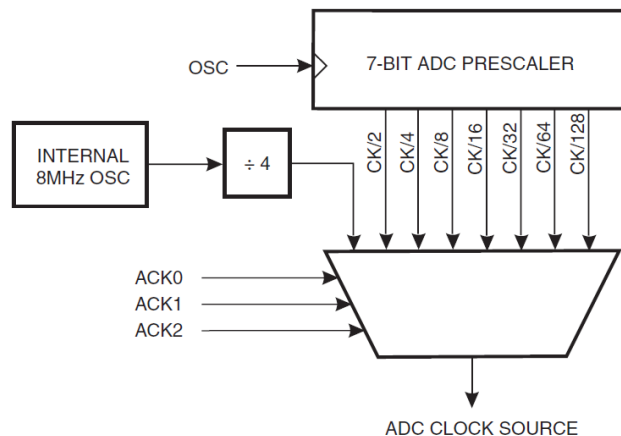
Ο ADC γίνεται ενεργός γράφοντας 1 στο bit ADCE του καταχωρητή DADC. Λίγη ώρα απαιτείται για να σταθεροποιηθούν τα κυκλώματα αναφοράς πριν ο ADC γίνει έτοιμος. Ο ADC δεν καταναλώνει ενέργεια όταν το ADCE bit είναι 0. Ένα διάγραμμα χρονισμού μίας μετατροπής του ADC φαίνεται στο Σχήμα 4.6. Η μετατροπή

απαιτεί 13 κύκλους ρολογιού του ADC για να ολοκληρωθεί. Η δειγματοληψία της αναλογικής εισόδου γίνεται στο τρίτο κύκλο της μετατροπής και κρατιέται σταθερή για το υπόλοιπο της μετατροπής. Στο τέλος της μετατροπής η σημαία διακοπής ADIF γίνεται 1 και το αποτέλεσμα γράφεται στους καταχωρητές. Ένας επιπλέον κύκλος του ADC και δύο κύκλοι συστήματος μπορεί να χρειαστούν για να γίνει συγχρονισμός της σημαίας ADIF με το υπόλοιπο σύστημα. Το αποτέλεσμα DADH/DADL παραμένει έγκυρο μέχρι την επόμενη μετατροπή. Οι DADH και DADL είναι read-only κατά την διάρκεια της ADC μετατροπής.



Σχήμα 4.6 Διάγραμμα χρονισμού μιας ADC μετατροπής

Όσον αφορά το ρολόι του ADC δεν υπάρχουν απαιτήσεις ως προς τη συχνότητα του σε σχέση με την συχνότητα του συστήματος. Ο prescaler του ADC είναι ανεξάρτητος από τον διαιρέτη του ρολογιού του συστήματος, επομένως ο ADC μπορεί να λειτουργεί τόσο σε υψηλότερη όσο και σε χαμηλότερη συχνότητα από τη CPU. Στο Σχήμα 4.7 βλέπουμε το υποσύστημα του ρολογιού του ADC.



Σχήμα 4.8 Υποσύστημα ρολογιού του ADC

Κάνοντας 1 το bit GO/BSY (DADC.6) όταν ADCE=1 ξεκινάει μία μετατροπή. Το bit παραμένει 1 όσο η μετατροπή είναι σε εξέλιξη και γίνεται 0 από το hardware

όταν η μετατροπή ολοκληρωθεί. Το κανάλι εισόδου του ADC δεν πρέπει να αλλάξει όσο μία μετατροπή είναι σε εξέλιξη.

## Κεφάλαιο 5: Υλοποίηση του συστήματος

Το βασικό συστατικό του συστήματος μας είναι ο μικροελεγκτής AT89LP51RD2 της ATMEL. Εκτός από τα περιφερειακά που διαθέτει ο μικροελεγκτής, έχουμε συνδέσει και άλλα περιφερειακά τα οποία χρησιμοποιεί ο μικροελεγκτής για να υλοποιήσει τις λειτουργίες για τις οποίες έχει προγραμματιστεί. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά των περιφερειακών που βρίσκονται έξω από τον μικροελεγκτή, την λειτουργία τους και τον τρόπο επικοινωνίας με τον μικροελεγκτή. Επίσης θα περιγράψουμε τον τρόπο με τον οποίο υλοποιεί ο μικροελεγκτής τις λειτουργίες του σπιτιού που είδαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Παράλληλα με την περιγραφή της υλοποίησης, για μια πληρέστερη παρουσίαση, θα παραθέσουμε τμήματα του κώδικα που εκτελεί ο μικροελεγκτής.

### 5.1 Διαδικασίες εισόδου/εξόδου στα δωμάτια

Ο μικροελεγκτής πρέπει να αναγνωρίζει πότε μπαίνει κάποιος σε ένα δωμάτιο και πότε βγαίνει κάποιος από ένα δωμάτιο έτσι ώστε να ελέγχει τον φωτισμό των δωματίων και να ενημερώνει τον αριθμό των ατόμων που βρίσκονται σε κάθε δωμάτιο. Στην παράγραφο 3.2 είδαμε τις ενέργειες που γίνονται κατά τη είσοδο/έξοδο στα δωμάτια. Παρακάτω θα περιγράψουμε τον τρόπο που υλοποιούνται αυτές οι ενέργειες από τον μικροελεγκτή και τα περιφερειακά του.

#### 5.1.1 Ζεύγος φωτοδιόδου - laser

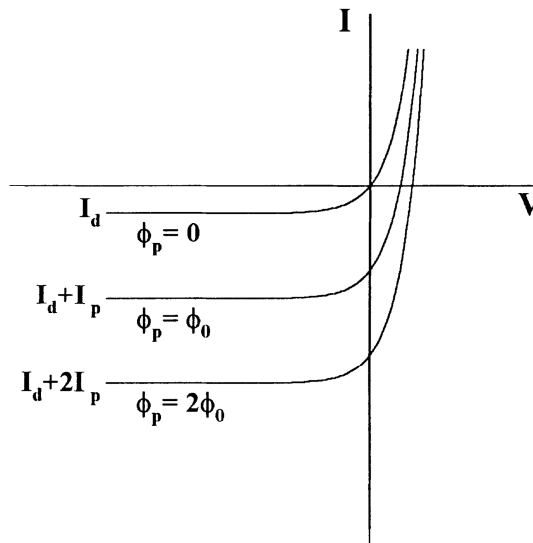
Η φωτοδιόδος είναι μια ένωση pn της οποίας η περιοχή λειτουργίας περιορίζεται μέσα στην περιοχή ανάστροφης πόλωσης. Η ένωση αυτή είναι τοποθετημένη σε περίβλημα που έχει ένα διαφανές μέρος για να επιτρέπει την πρόσπτωση φωτισμού πάνω στην ένωση. Το σύμβολο της φωτοδιόδου φαίνεται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1 Σύμβολο φωτοδιόδου

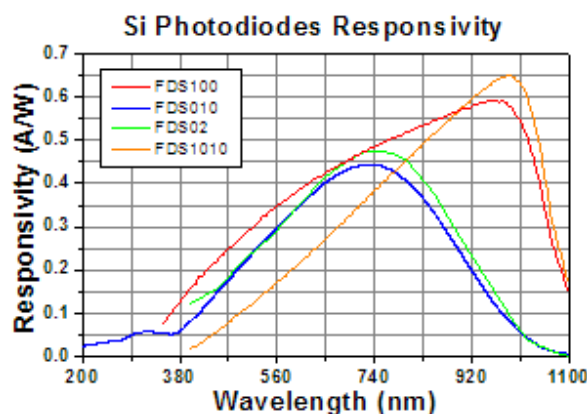
Όταν η διόδος είναι ανάστροφα πολωμένη και δεν φωτίζεται, το ρεύμα που προκύπτει είναι το γνωστό ανάστροφο ρεύμα κόρου, που για την περίπτωση της φωτοδιόδου ονομάζεται ρεύμα σκότους (dark leakage current). Όταν η φωτοδιόδος φωτιστεί με φως κατάλληλου μήκους κύματος, ο αριθμός των φορέων μειονότητας αυξάνει με αποτέλεσμα να αυξηθεί το ρεύμα που διαρρέει την διόδο. Επομένως το ρεύμα της διόδου  $I_0$  όταν η διόδος φωτίζεται είναι  $I_0=I_d+I_p$ , όπου  $I_d$  το ρεύμα σκότους και  $I_p$  το ρεύμα που οφείλεται στον φωτισμό του περιβάλλοντος. Οι χαρακτηριστικές

καμπύλες I-V της φωτοδιόδου για διάφορες εντάσεις φωτισμού φαίνονται στο Σχήμα 5.2.



Σχήμα 5.2 Χαρακτηριστικές φωτοδιόδου για διάφορες εντάσεις φωτισμού

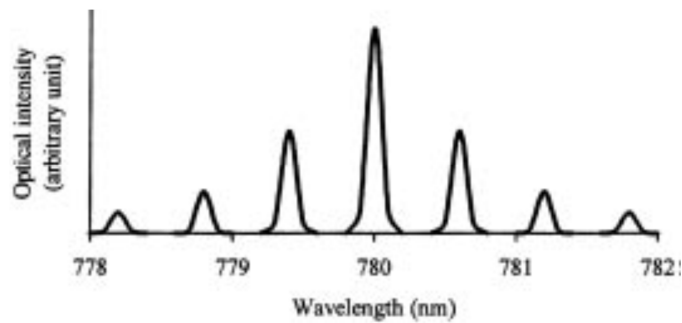
Οι φωτοδιόδοι κατασκευάζονται από υλικά όπως το γερμάνιο και το πυρίτιο. Οι περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενες φωτοδιόδοι είναι εκείνες που κατασκευάζονται από πυρίτιο διότι έχουν πολύ μικρό ρεύμα σκότους ( $10^{-7}$  A) σε σύγκριση με το ρεύμα σκότους του γερμανίου ( $10^{-5}$  A). Ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά φωτοδιόδων είναι η περιοχή του φάσματος λειτουργίας τους καθώς επίσης και η ευαισθησία ( $\mu\text{A/Lux}$ ) που παρουσιάζουν στη μεταβολή του ρεύματος ανά μονάδα φωτισμού. Στο Σχήμα 5.3 βλέπουμε τη σχετική φασματική απόκριση για διάφορες φωτοδιόδους πυριτίου.



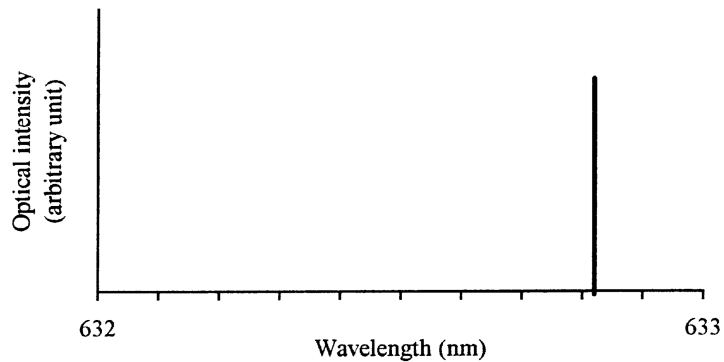
Σχήμα 5.3 Σχετική φασματική απόκριση για διάφορες φωτοδιόδους πυριτίου

Το laser είναι μια συσκευή που εκπέμπει ακτίνες. Μία ακτίνα που εκπέμπεται από το laser έχει συγκεκριμένο ποσοστό οπτικής ισχύος. Επίσης μία ακτίνα του laser μπορεί να περιέχει περισσότερα από ένα μήκη κύματος. Ακόμη η οπτική ένταση ενός μήκους κύματος μπορεί να είναι διαφορετική από την οπτική ένταση κάποιου άλλου μήκους κύματος. Στο Σχήμα 5.4 βλέπουμε το φάσμα ενός laser του οποίου η ακτίνα

έχει πολλά μήκη κύματος με διαφορετική ισχύ το καθένα. Αντίθετα στο Σχήμα 5.5 βλέπουμε ένα σχεδόν μονοχρωματικό laser.



Σχήμα 5.4 Φασματική απόκριση ακτίνας με πολλά μήκη κύματος



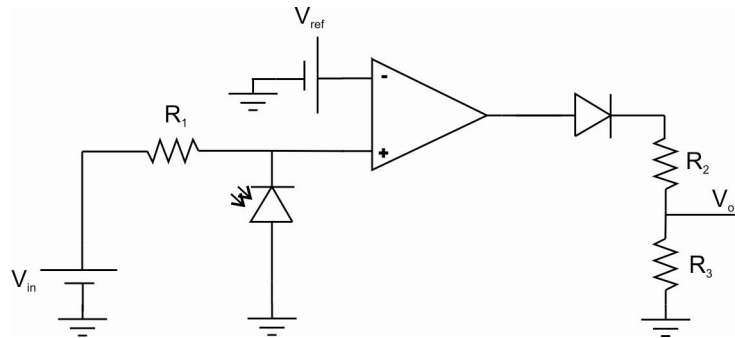
Σχήμα 5.5 Φασματική απόκριση μιας σχεδόν μονοχρωματικής ακτίνας

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι ένα ζεύγος φωτοδιόδου-laser μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ανιχνεύσουμε ότι κάποιος έχει περάσει από την πόρτα, όπως είδαμε στην παράγραφο 3.2. Το laser τοποθετείται απέναντι από την φωτοδίοδο όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Όταν η ακτίνα του laser φτάνει στην φωτοδίοδο, η φωτοδίοδος έχει στα άκρα της διαφορετική τάση από την τάση που έχει όταν η ακτίνα του laser διακόπτεται και δεν φτάνει όλη η φωτεινή ισχύς στη δίοδο. Συγκρίνοντας την τάση της φωτοδιόδου με μια τάση αναφοράς ( $V_{ref}$ ) μπορούμε να ανιχνεύσουμε πότε κάποιος περνάει από την πόρτα.

Η φωτοδίοδος δεν συνδέεται κατευθείαν στο μικροελεγκτή. Υπάρχει ένα κύκλωμα προσαρμογής το οποίο παίρνει την τάση της φωτοδιόδου τη συγκρίνει με μία τάση αναφοράς και στη συνέχεια μεταφέρει το αποτέλεσμα στο μικροελεγκτή. Το κύκλωμα προσαρμογής φαίνεται στο Σχήμα 5.6. Ως συγκριτή, έχουμε χρησιμοποιήσει έναν τελεστικό ενισχυτή. Με την παρακάτω συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή, εάν η είσοδος στη μη αναστρέφουσα είσοδο (+) είναι μεγαλύτερη από την είσοδο στην αναστρέφουσα είσοδο (-), η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με  $V_{sat}$ . Αντίθετα, εάν η είσοδος στην αναστρέφουσα είσοδο είναι μεγαλύτερη από την είσοδο στη μη αναστρέφουσα είσοδο η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή αντιστρέφεται και γίνεται ίση με  $-V_{sat}$ . Η  $V_{sat}$  είναι το άνω όριο της εξόδου και είναι συνήθως κατά 1 έως 2 V μικρότερη από την τάση τροφοδοσίας (+V). Η  $-V_{sat}$  είναι το κάτω όριο της εξόδου και είναι μεγαλύτερο κατά 1 έως 2 V από την τάση -V. Τυπικές τιμές για την τάση



τροφοδοσίας είναι 15 V, 12 V και 6 V. Επομένως, με τροφοδοσία 15 V η έξοδος μπορεί να κυμανθεί από -13 V έως 13 V.



Σχήμα 5.6 Κύκλωμα προσαρμογής φωτοδιόδου

Η περιοχή λειτουργίας της φωτοδιόδου, όπως είπαμε παραπάνω, περιορίζεται στην περιοχή ανάστροφης πόλωσης. Χρησιμοποιούμε λοιπόν την πηγή  $V_{in}$  για να πολώσουμε ανάστροφα την φωτοδιόδο. Η τάση της πηγής δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη έτσι ώστε να μην έχουμε κατάρρευση της φωτοδιόδου και καταστροφή του τελεστικού ενισχυτή. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια πηγή με τάση 5 ή 15 V καθώς τέτοιες πηγές χρησιμοποιούμε και σε άλλα σημεία του συστήματος μας. Την αντίσταση  $R_1$  την επιλέγουμε έτσι ώστε να τοποθετήσουμε το σημείο λειτουργίας της διόδου σε μία τιμή που μας βολεύει για τις μετρήσεις μας.

Στη συνέχεια πρέπει να επιλέξουμε την τιμή της τάσης αναφοράς  $V_{ref}$ . Ο τελεστικός ενισχυτής συγκρίνει την  $V_{ref}$  με την τάση της φωτοδιόδου και μεταβάλλει την έξοδο του ανάλογα με το αποτέλεσμα της σύγκρισης. Εάν η τάση της φωτοδιόδου είναι μεγαλύτερη από την  $V_{ref}$  η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με  $V_{sat}$ , ενώ εάν είναι μικρότερη, η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $-V_{sat}$ . Αυτό που θέλουμε να αναγνωρίσουμε είναι ότι κάποιος περνάει από την πόρτα, δηλαδή ότι η ακτίνα που εκπέμπει το Laser διακόπτεται. Επειδή η ακτίνα πέφτει πάνω στην φωτοδιόδο, η τάση της φωτοδιόδου αλλάζει όταν η ακτίνα διακόπτεται από κάποιον που περνάει από την πόρτα. Εκτός όμως από την ισχύ της ακτίνας, η τάση της φωτοδιόδου εξαρτάται και από την ισχύ του φωτισμού του περιβάλλοντος. Η ισχύς του φωτισμού του περιβάλλοντος είναι χαμηλότερη τη νύκτα από ότι τη μέρα. Για να υπολογίσουμε, λοιπόν, την τιμή της  $V_{ref}$  ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία. Με την μέγιστη ισχύ του φωτισμού του περιβάλλοντος, διακόπτουμε την ακτίνα του Laser και μετράμε την τάση στα άκρα της φωτοδιόδου, έστω  $V_1$ . Έπειτα, με την ελάχιστη ισχύ του φωτισμού του περιβάλλοντος και την ακτίνα να πέφτει πάνω στην φωτοδιόδο μετράμε πάλι την τάση της φωτοδιόδου, έστω  $V_2$ . Η  $V_{ref}$  που θα επιλέξουμε, θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την  $V_1$  και μικρότερη από την  $V_2$ . Έτσι, όταν κάποιος περνάει από την πόρτα, η τάση της φωτοδιόδου θα γίνει μικρότερη από την  $V_{ref}$  και η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή θα γίνει  $-V_{sat}$ . Αντίθετα, όταν δεν περνάει κάποιος από την πόρτα, η τάση της φωτοδιόδου είναι μεγαλύτερη από  $V_{ref}$  και η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $V_{sat}$ .

Η έξοδος ( $V_{out}$ ) του παραπάνω κυκλώματος συνδέεται σε έναν ακροδέκτη του μικροελεγκτή. Κάθε πόρτα έχει δύο τέτοια κυκλώματα, όπως είδαμε στην παράγραφο 3.2. Η έξοδος κάθε κυκλώματος συνδέεται σε ξεχωριστό ακροδέκτη του μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής θέλουμε να αναγνωρίζει ότι κάποιος περνάει από ένα ζεύγος φωτοδιόδου-laser όταν ο αντίστοιχος ακροδέκτης βρεθεί σε κατάσταση LOW. Η ελάχιστη τάση που πρέπει να τοποθετήσουμε σε έναν ακροδέκτη του μικροελεγκτή έτσι ώστε ο μικροελεγκτής να αναγνωρίσει ότι ο συγκεκριμένος ακροδέκτης βρίσκεται σε κατάσταση LOW είναι  $-0,5\text{ V}$ . Θέλουμε, δηλαδή, η  $V_{out}$  να οδηγείται στο μηδέν όταν η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $-V_{sat}$ . Συνδέουμε, λοιπόν, στην έξοδο του τελεστικού ενισχυτή μία δίοδο με τέτοιο τρόπο ώστε όταν η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $-V_{sat}$ , η δίοδος να πολώνεται ανάστροφα και στην έξοδο να έχουμε δυναμικό μηδέν. Όμοια, θέλουμε ο μικροελεγκτής να γνωρίζει ότι δεν περνάει κάποιος κάτοικος από μία πόρτα όταν ο αντίστοιχος ακροδέκτης είναι σε κατάσταση HIGH. Σε αυτή την περίπτωση η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $V_{sat}$ . Η μέγιστη όμως τιμή τάσης που πρέπει να τοποθετήσουμε σε έναν ακροδέκτη του μικροελεγκτή έτσι ώστε ο μικροελεγκτής να αναγνωρίσει ότι ο συγκεκριμένος ακροδέκτης βρίσκεται σε κατάσταση HIGH είναι  $V_{DD}+0,5\text{ V}$ , όπου  $V_{DD}$  η τάση τροφοδοσίας του μικροελεγκτή. Επειδή η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της  $V_{DD}$  είναι  $5,5\text{ V}$ , η  $V_{sat}$  δεν μπορεί να συνδεθεί κατευθείαν στον μικροελεγκτή. Χρησιμοποιούμε, λοιπόν, τις αντιστάσεις  $R_2$  και  $R_3$  συνδεδεμένες σε σειρά έτσι ώστε να έχουμε έναν διαιρέτη τάσης. Η τιμές των αντιστάσεων  $R_2$  και  $R_3$  επιλέγονται έτσι ώστε η  $V_{out}$  να είναι μικρότερη από  $V_{DD}+0,5$  όταν η έξοδος του τελεστικού ενισχυτή είναι  $V_{sat}$ .

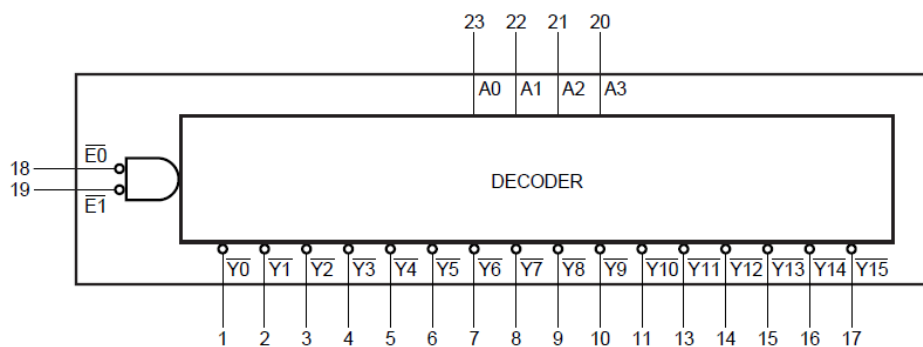
### 5.1.2 Ο αποπολυπλέκτης 74HC154

Τα φώτα του σπιτιού ελέγχονται, όπως είδαμε στην παράγραφο 3.2, τόσο από τους κατοίκους του σπιτιού όσο και από τον μικροελεγκτή. Κάθε λαμπτήρας είναι συνδεδεμένος σε σειρά με ένα ρελέ το οποίο ελέγχεται από τον μικροελεγκτή. Το ρελέ έχει έναν ακροδέκτη ο οποίος όταν είναι σε κατάσταση HIGH κλείνει το ρελέ και ο λαμπτήρας ανάβει, ενώ όταν είναι σε κατάσταση LOW το ρελέ ανοίγει και ο λαμπτήρας σβήνει. Θα μπορούσαμε, λοιπόν, για να ανοίξουμε και να σβήσουμε ένα λαμπτήρα να συνδέσουμε το ρελέ σε έναν ακροδέκτη του μικροελεγκτή και γράφοντας ένα ή μηδέν σε αυτόν τον ακροδέκτη να ανάβουμε ή να σβήνουμε αντίστοιχα τον λαμπτήρα (όταν λέμε ότι γράφουμε ένα ή μηδέν σε έναν ακροδέκτη εννοούμε ότι γράφουμε ένα ή μηδέν αντίστοιχα στο αντίστοιχο bit του καταχωρητή που ελέγχει τον συγκεκριμένο ακροδέκτη). Δεν έχουμε, όμως, στην διάθεσή μας τόσους ακροδέκτες ώστε να συνδέσουμε όλα τα ρελέ σε ξεχωριστό ακροδέκτη. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιήσαμε έναν αποπολυπλέκτη.

Ο αποπολυπλέκτης έχει μια είσοδο και πολλές εξόδους. Η είσοδος κατευθύνεται σε μια από τις εξόδους ανάλογα με τα bit που εισάγονται στους ακροδέκτες επιλογής. Αν ο αριθμός των ακροδεκτών επιλογής είναι  $n$ , τότε ο αποπολυπλέκτης μπορεί να οδηγήσει την είσοδό του σε μία από τις  $2^n$  εξόδους του. Εκτός από τους προαναφερθέντες ακροδέκτες διαθέτουν και έναν βοηθητικό ακροδέκτη ενεργοποίησης (enable) που πρέπει να είναι στο μηδέν προκειμένου να γίνει η μεταφορά του bit από

την είσοδο στην έξοδο. Στο σύστημά μας έχουμε χρησιμοποιήσει τον αποπολυπλέκτη 74HC154 της NXP.

Ο αποπολυπλέκτης 74HC154 έχει 4 ακροδέκτες επιλογής οι οποίοι είναι ενεργοί στο ένα και 16 αμοιβαίως αποκλειόμενες εξόδους οι οποίες είναι ενεργές στο μηδέν. Διαθέτει επίσης δύο ακροδέκτες ενεργοποίησης. Οι ακροδέκτες ενεργοποίησης οδηγούνται σε μία πύλη AND αφού πρώτα αντιστραφούν. Οι ακροδέκτες ενεργοποίησης πρέπει να είναι στο μηδέν για να ενεργοποιηθεί η έξοδος του αποπολυπλέκτη που έχει επιλεγεί από τους ακροδέκτες επιλογής. Ο 74HC154 μπορεί να λειτουργήσει ως ένας 1-σε-16 αποπολυπλέκτης εάν χρησιμοποιήσουμε τον έναν από τους ακροδέκτες ενεργοποίησης ως την είσοδο που θέλουμε να εμφανιστεί στην έξοδο. Σε αυτή την περίπτωση κρατάμε τον ένα ακροδέκτη ενεργοποίησης στο 0 και στον άλλον τοποθετούμε την τιμή που θέλουμε να πάρει η έξοδος που έχουμε επιλέξει. Στο σύστημά μας χρησιμοποιούμε τον αποπολυπλέκτη διαφορετικά, όπως θα δούμε παρακάτω. Στο Σχήμα 5.7 βλέπουμε το διάγραμμα λειτουργίας και στο Σχήμα 5.8 τον πίνακα αλήθειας του αποπολυπλέκτη 74HC154.

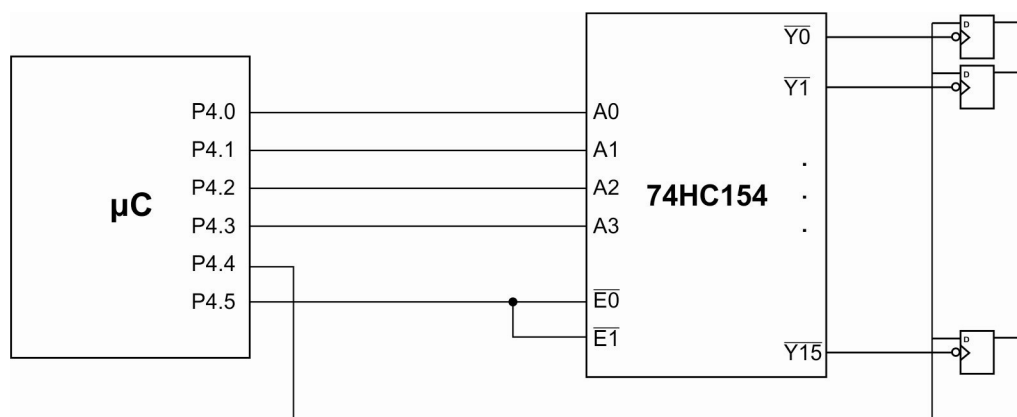


Σχήμα 5.7 Διάγραμμα λειτουργίας του αποπολυπλέκτη 74HC154

Input				Output																		
E0	E1	A0	A1	A2	A3	Y0	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6	Y7	Y8	Y9	Y10	Y11	Y12	Y13	Y14	Y15	
H	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
H	L	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	H	X	X	X	X	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
L	L	L	L	L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		H	L	L	L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		L	H	L	L	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		H	H	L	L	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		L	L	H	L	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		H	L	H	L	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H
		L	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H	H
		H	H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H	H
		L	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H	H
		H	L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H	H
		L	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H	H
		H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	H	L	H	H

Σχήμα 5.8 Πίνακας αλήθειας του αποπολυπλέκτη 74HC154

Τον αποπολυπλέκτη τον χρησιμοποιούμε στο σύστημα μας για να ανοίξουμε και να κλείσουμε τα ρελέ. Οι ακροδέκτες επιλογής χρησιμοποιούνται για να επιλέξουμε το ρελέ και στη συνέχεια βάζουμε μηδέν στους δύο ακροδέκτες ενεργοποίησης για να ενεργοποιήσουμε την έξοδο που επιλέξαμε. Τα ρελέ, όμως, δεν γίνεται να συνδεθούν απευθείας στις εξόδους του αποπολυπλέκτη γιατί οι εξόδοι του αποπολυπλέκτη είναι αμοιβαίως αποκλειόμενες. Έτσι, όταν θα ενεργοποιούσαμε μία έξοδο θα άλλαζε η κατάσταση κάποιας άλλης εξόδου. Γι' αυτό το λόγο ανάμεσα στις εξόδους του αποπολυπλέκτη και στα ρελέ έχουμε τοποθετήσει flip-flops τύπου D. Το flip-flop κρατάει την τιμή στην έξοδό του μέχρι να δοθεί κατάλληλος παλμός στον ακροδέκτη χρονισμού του, οπότε και μεταφέρεται η είσοδος (D) στην έξοδό του. Στο Σχήμα 5.9 βλέπουμε τον τρόπο σύνδεσης του μικροελεγκτή με τα ρελέ. Τα ρελέ συνδέονται στις εξόδους των flip-flop.



Σχήμα 5.9 Σύνδεση αποπολυπλέκτη στον μικροελεγκτή

Για να ανάψουμε ή να σβήσουμε, λοιπόν, ένα λαμπτήρα πρέπει να κάνουμε μια σειρά ενεργειών. Κάθε λαμπτήρας έχει έναν αριθμό ο οποίος είναι ίσος με τον αριθμό του δωματίου στο οποίο ανήκει. Στα δωμάτια του σπιτιού έχουμε δώσει κωδικούς αριθμούς για ευκολότερη αναφορά, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Πρώτον, επιλέγουμε το λαμπτήρα που θέλουμε να ανάψουμε ή να σβήσουμε τοποθετώντας τον αριθμό του σε δυαδική μορφή στους ακροδέκτες P4.0, P4.1, P4.2, και P4.3. Στη συνέχεια θέτουμε τον ακροδέκτη P4.4 σε κατάσταση 1 ή 0 ανάλογα με το εάν θέλουμε να ανάψουμε ή να σβήσουμε το λαμπτήρα αντίστοιχα. Η τιμή που θα δώσουμε στον ακροδέκτη P4.4 μεταφέρεται στις εισόδους όλων των flip-flops. Έπειτα βάζουμε 0 στον ακροδέκτη P4.5 οπότε η ακροδέκτες ενεργοποίησης του αποπολυπλέκτη οδηγούνται στο 0 και η έξοδος που επιλέξαμε ενεργοποιείται. Η ενεργοποίηση μιας εξόδου σημαίνει ότι η έξοδος μεταβαίνει από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 0. Επειδή τα flip-flops είναι αρνητικής αιχμής διέγερσης, το flip-flop που βρίσκεται συνδεδεμένο στην έξοδο που ενεργοποιήθηκε μεταφέρει την τιμή της εισόδου του στην έξοδο. Με αυτόν τον τρόπο η τιμή που έχουμε δώσει στον ακροδέκτη P4.4 μεταφέρεται στην έξοδο του flip-flop που επιλέξαμε μέσω των ακροδεκτών επιλογής και ο λαμπτήρας μεταβαίνει στην επιθυμητή κατάσταση.

Χρησιμοποιούμε, λοιπόν, το αποπολυπλέκτη για να δημιουργήσουμε τον παλμό χρονισμού του flip-flop του οποίου θέλουμε να αλλάξουμε την έξοδο. Μετά το άναμμα

ή σβήσιμο ενός λαμπτήρα πρέπει να μεταβεί ο παλμός χρονισμού του αντίστοιχου flip-flop στην κατάσταση 1 έτσι ώστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε ξανά μια αρνητική αιχμή όταν χρειαστεί. Αυτό γίνεται τοποθετώντας 1 στους ακροδέκτες ενεργοποίησης, οπότε όλοι οι έξοδοι του αποπολυπλέκτη μεταβαίνουν σε κατάσταση 1 όπως βλέπουμε στον πίνακα αλήθειας στο Σχήμα 5.8. Παρακάτω βλέπουμε τον κώδικα που εκτελεί ο μικροελεγκτής για να ανάψει έναν λαμπτήρα. Στην είσοδο χρονισμού του flip-flop, ο παλμός χρονισμού πρέπει να μείνει στην κατάσταση 0 για κάποιο χρονικό διάστημα έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η μετάβαση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούμε την εντολή NOP ανάμεσα στις εντολές CLR P4.5 και SETB P4.5. Οι εντολές CLR P4.5 και SETB P4.5 χρησιμοποιούνται για να ενεργοποιήσουν και να απενεργοποιήσουν την έξοδο του αποπολυπλέκτη αντίστοιχα, δηλαδή να δημιουργήσουν την αρνητική αιχμή διέγερσης και να επαναφέρουν τον παλμό στην κατάσταση 1 αντίστοιχα. Η εντολή NOP δεν αλλάζει τίποτα, απλά χρησιμοποιείται για να προκαλέσουμε καθυστέρηση ίση με ένα κύκλο μηχανής. Αν η καθυστέρηση αυτή δεν είναι αρκετή για τα flip-flop που χρησιμοποιούμε, μπορούμε να βάλουμε περισσότερες εντολές NOP ή να χρησιμοποιήσουμε έναν timer του μικροελεγκτή για να δημιουργήσουμε την καθυστέρηση.

MOV P4,#0b11110000	;start the process of opening the light
MOV A,R2	;move room's number to accumulator
ORL P4,A	;move room's number to port 4
CLR P4.5	;create a falling edge
NOP	;wait one clock cycle for output
SETB P4.5	;create a rising edge

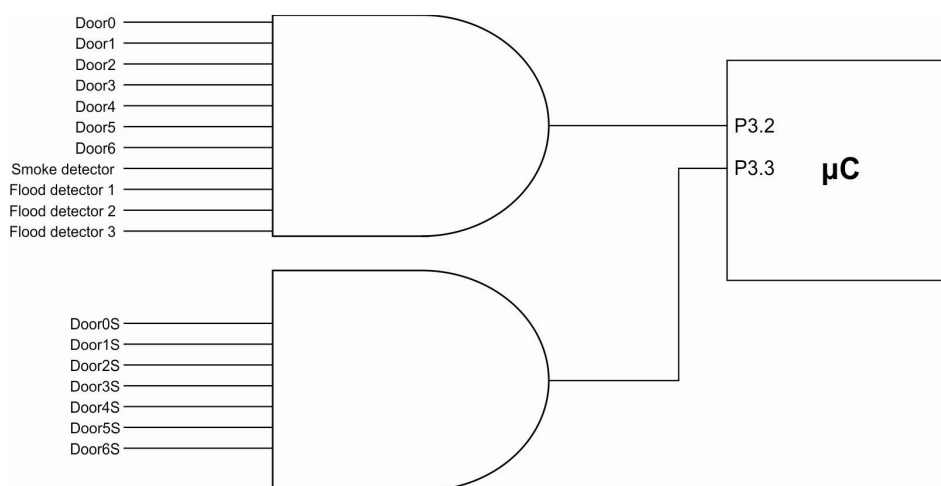
### 5.1.3 Είσοδος/Έξοδος στα δωμάτια

Μέχρι τώρα περιγράψαμε τα περιφερειακά που χρησιμοποιεί ο μικροελεγκτής κατά τις διαδικασίες εισόδου/εξόδου των κατοίκων στα δωμάτια και τον τρόπο που επικοινωνεί με αυτά. Παρακάτω θα δούμε πώς ο μικροελεγκτής ενημερώνεται για το ότι κάποιος κάτοικος πέρασε από μία πόρτα καθώς και τον τρόπο που ο μικροελεγκτής υλοποιεί τις λειτουργίες που περιγράψαμε στην παράγραφο 3.2.

Στους ακροδέκτες 0 έως 6 του Port 1 έχουμε συνδέσει τις εξόδους των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων (βλ. Σχήμα 5.6) που βρίσκονται έξω από τα δωμάτια (βλ. Σχήμα 3.2). Στους ακροδέκτες 0 έως 6 του Port 2 έχουμε συνδέσει τις εξόδους των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων που βρίσκονται μέσα από τα δωμάτια. Ο μικροελεγκτής θα μπορούσε να ελέγχει συνεχώς, σε ένα loop, τις τιμές των ακροδεκτών και μόλις η τιμή κάποιου ακροδέκτη γινόταν μηδέν θα σήμαινε ότι κάποιος πέρασε από το αντίστοιχο ζεύγος φωτοδιόδου-laser. Κάτι τέτοιο όμως δεν είναι αποδοτικό και δεν επιτρέπει τον μικροελεγκτή να εκτελεί εργασίες παράλληλα.

Ο μικροελεγκτής υλοποιεί τον έλεγχο εισόδου/εξόδου με τη μέθοδο των διακοπών. Όταν περάσει κάποιος από μία φωτοδίοδο (όταν λέμε φωτοδίοδο εννοούμε το ζεύγος φωτοδιόδου-laser) ενεργοποιείται μία διακοπή. Πιο συγκεκριμένα, ο μικροελεγκτής διαθέτει, όπως είδαμε στην παράγραφο 4.1, δύο διανύσματα εξωτερικών διακοπών το INT0 και το INT1 τα οποία ενεργοποιούνται από τους ακροδέκτες P3.2 και P3.3 αντίστοιχα. Στον ακροδέκτη P3.2 έχουμε συνδέσει μέσω μίας πύλης AND τις

εξόδους των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων που βρίσκονται έξω από τα δωμάτια. Όμοια, στον ακροδέκτη P3.3 έχουμε συνδέσει μέσω μίας πύλης AND τις εξόδους των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων που βρίσκονται μέσα από τα δωμάτια. Στο Σχήμα 5.10 βλέπουμε τις παραπάνω συνδέσεις. Όταν κάποιος κάτοικος περάσει από μία φωτοδίοδο η έξοδος του κυκλώματος μεταβαίνει από την κατάσταση 1 στην κατάσταση 0, άρα και η έξοδος της πύλης AND μεταβαίνει από το 1 στο 0. Μια μετάβαση από το 1 στο 0 στον ακροδέκτη P3.2 ή P3.3 έχει σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση των διακοπών INT0 ή INT1 αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο αναγνωρίζει ο μικροελεγκτής ότι κάποιος έχει περάσει από μία φωτοδίοδο που βρίσκεται έξω από το δωμάτιο, εάν ενεργοποιηθεί η διακοπή INT0, ή από μία φωτοδίοδο που βρίσκεται μέσα το δωμάτιο, εάν ενεργοποιηθεί η διακοπή INT1.



**Σχήμα 5.10** Σύνδεση των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων στους ακροδέκτες των εξωτερικών διακοπών

Το υποσύστημα διακοπών του μικροελεγκτή διαθέτει τους SFRs που είδαμε στην παράγραφο 4.1 οι οποίοι πρέπει να ρυθμιστούν κατάλληλα ώστε να αναγνωρίζονται οι εξωτερικές διακοπές με τον τρόπο που επιθυμούμε και να εκτελείται η *isr* της κάθε διακοπής με τη σωστή προτεραιότητα. Πρώτον, κάνουμε 1 το καθολικό bit διακοπών, δηλαδή το bit 7 του καταχωρητή IEN0. Στη συνέχεια κάνουμε enable της εξωτερικές διακοπές INT0 και INT1 γράφοντας 1 στα bits 0 και 2 του καταχωρητή IEN0. Επειδή οι διακοπές θέλουμε να ενεργοποιούνται όταν οι εξόδοι των κυκλωμάτων των φωτοδιόδων μεταβαίνουν από το 1 στο 0 γράφουμε 1 στα bits 0 και 2 του καταχωρητή TCON. Τέλος πρέπει να ορίσουμε την προτεραιότητα εξυπηρέτησης των διακοπών. Οι διακοπές INT0 και INT1 θέλουμε να έχουν την μέγιστη προτεραιότητα γιατί οι *isr* αυτών των διακοπών είναι υπεύθυνες για το άνοιγμα και σβήσιμο των λαμπτήρων του σπιτιού. Θέλουμε όταν κάτοικος μπαίνει σε ένα δωμάτιο, τα φώτα του δωματίου να ανοίγουν αμέσως. Επίσης, η διακοπή INT0 ενεργοποιείται όχι μόνο από τα κυκλώματα των φωτοδιόδων αλλά και από τους αισθητήρες καπνού και πλημμύρας, όπως θα δούμε παρακάτω, επομένως πρέπει να έχει μεγάλη προτεραιότητα έτσι ώστε να ενεργοποιηθεί γρήγορα η σειρήνα. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, οι υπόλοιπες διακοπές που χρησιμοποιούμε στο σύστημά μας δεν απαιτείται να έχουν προτεραιότητα μεγαλύτερη από τις INT0 και INT1. Δίνουμε, λοιπόν, στις INT0 και INT1 την μέγιστη

προτεραιότητα που είναι ίση με 3. Γράφουμε, δηλαδή, 1 στα bits 0 και 2 των καταχωρητών IPH0 και IPL0.

Στην παράγραφο 3.2 περιγράψαμε τις ενέργειες που εκτελεί ο μικροελεγκτής κατά την είσοδο/έξοδο των κατοίκων στα δωμάτια. Είδαμε ότι ο μικροελεγκτής πρέπει να γνωρίζει, εκτός από το ότι κάποιος πέρασε την πόρτα, την κατεύθυνση προς την κινείται. Αυτό πρέπει να το γνωρίζει ο μικροελεγκτής για να ενημερώνει τον αριθμό κατοίκων του κάθε δωματίου και να υλοποιεί τα σενάρια φωτισμού. Ο μικροελεγκτής αναγνωρίζει την κατεύθυνση προς την οποία κινείται ο κάτοικος χρησιμοποιώντας μία σημαία (flag) για κάθε δωμάτιο. Η σημαία του κάθε δωματίου παίρνει δύο τιμές, 0 και 1. Οι σημαίες των δωματίων αποθηκεύονται στην μνήμη RAM, στις θέσεις 100 έως 106. Στη μνήμη RAM αποθηκεύουμε, επίσης, τους αριθμούς κατοίκων κάθε δωματίου. Οι αριθμοί αυτοί αποθηκεύονται στις θέσεις 107 έως 113.

Ας περιγράψουμε, λοιπόν, πώς ο μικροελεγκτής υλοποιεί τις ενέργειες που απαιτούνται, όταν ένας κάτοικος πηγαίνει από το δωμάτιο 6 στο δωμάτιο 1. Έστω ότι ένας κάτοικος ετοιμάζεται να πάει από το δωμάτιο 6 στο δωμάτιο 1. Πρώτα ο κάτοικος θα περάσει από το ζεύγος φωτοδιόδου-laser που βρίσκεται έξω από το δωμάτιο 1. Μόλις ανιχνευτεί η παραπάνω κίνηση, ξεκινάει η εκτέλεση της isr της διακοπής INT0. Στη συνέχεια ψάχνουμε να βρούμε πιο bit του PORT 1 έχει γίνει 0. Το bit που έχει γίνει 0 είναι το bit 1 αφού αναφερόμαστε στο δωμάτιο 1. Έπειτα ελέγχεται η σημαία του δωματίου 1 η οποία είναι αποθηκευμένη στη θέση 101. Η σημαία είναι 0 γιατί είναι το πρώτο από τα δύο ζεύγη φωτοδιόδου-laser που ενεργοποιείται. Κάνουμε 1 την σημαία και εκτέλεση της isr τερματίζει. Ο μικροελεγκτής μπαίνει σε κατάσταση idle ή εκτελεί κάποια άλλη εργασία. Μόλις ο κάτοικος περάσει από το δεύτερο ζεύγος φωτοδιόδου-laser, αυτό που βρίσκεται μέσα στο δωμάτιο 1, ξεκινάει η εκτέλεση της isr της διακοπής INT1. Ψάχνουμε να βρούμε πιο bit του PORT 2 έχει γίνει 0. Το bit που έχει γίνει 0 είναι το bit 1 αφού αναφερόμαστε στο δωμάτιο 1. Ελέγχουμε στη συνέχεια την σημαία του δωματίου 1. Η σημαία είναι 1 γιατί είναι το δεύτερο ζεύγος φωτοδιόδου-laser που ενεργοποιείται. Αν ήταν 0 θα σήμαινε ότι το συγκεκριμένο ζεύγος φωτοδιόδου-laser είναι το πρώτο που ενεργοποιείται, δηλαδή ότι κάποιος κάτοικος βγαίνει από το δωμάτιο. Κάνουμε τη σημαία 0 και ξεκινάμε τον timer 1. Ο timer 1 χρησιμοποιείται για να προκαλέσει καθυστέρηση 0,5 sec. Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα ο μικροελεγκτής δεν δέχεται τις διακοπές INT0 και INT1. Αυτό το κάνουμε για να μην αναγνωρίσει έναν κάτοικο ως δύο σε περίπτωση που περάσει πρώτα το χέρι του από τους αισθητήρες. Έπειτα αυξάνουμε τον αριθμό των κατοίκων του δωματίου 1 κατά ένα. Ο αριθμός αυτός είναι αποθηκευμένος στη θέση 108 της RAM. Μετά ελέγχουμε τις εξωτερικές συνθήκες φωτισμού. Αυτό γίνεται με την βοήθεια μιας φωτοδιόδου που έχουμε τοποθετήσει έξω από το σπίτι. Η φωτοδίοδος συνδέεται στον ακροδέκτη P2.7 μέσω του κυκλώματος στο Σχήμα 5.6 και ως τάση αναφοράς ( $V_{ref}$ ) βάζουμε την τάση που αντιστοιχεί στην ισχύ του εξωτερικού φωτισμού κάτω από την οποία θέλουμε να ανάβουν τα φώτα. Αν η τιμή στο bit 7 του PORT 2 είναι 0 ανάβει το φως του δωματίου 1. Στη συνέχεια ελέγχει τον αριθμό των κατοίκων του δωματίου 6. Ο αριθμός αυτός είναι αποθηκευμένος στη θέση 113 της RAM. Αν το δωμάτιο 6 είναι

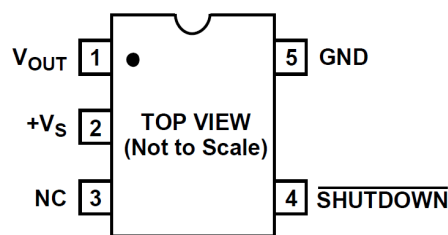
άδειο σβήνει τους λαμπτήρες του δωματίου. Όμοια υλοποιούνται και οι ενέργειες που κάνει ο μικροελεγκτής όταν ένας κάτοικος βγαίνει από ένα δωμάτιο.

## 5.2 Παρακολούθηση και ρύθμιση θερμοκρασίας

Η θερμοκρασία των δωματίων ελέγχεται, όπως είπαμε, αποκλειστικά από τον μικροελεγκτή. Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε αρχικά το αισθητήριο που χρησιμοποιούμε για να μετρήσουμε την θερμοκρασία. Η τάση στα άκρα του αισθητηρίου θερμοκρασίας μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Η αναλογική τιμή της τάσης πρέπει να μετατραπεί σε ψηφιακή έτσι ώστε να γίνει η επεξεργασία της από τον μικροελεγκτή. Θα δούμε, λοιπόν, πως παίρνουμε τη ψηφιακή τιμή χρησιμοποιώντας τον Analog-to-Digital converter (ADC) του μικροελεγκτή. Τέλος θα παρουσιάσουμε λεπτομερώς την υλοποίηση της διαδικασίας ρύθμισης της θερμοκρασίας.

### 5.2.1 Αισθητήριο θερμοκρασίας

Στο σύστημά μας χρησιμοποιήσαμε το αισθητήριο θερμοκρασίας TMP37 της εταιρείας Analog Devices. Το TMP37 διατίθεται σε μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος. Στο Σχ. 5.11 βλέπουμε την διάταξη των ακροδεκτών του. Το TMP37 παρέχει τάση εξόδου που είναι ανάλογη της θερμοκρασίας στην περιοχή  $0^{\circ}\text{C}$  έως  $100^{\circ}\text{C}$ . Ο ρυθμός μεταβολής της τάσης σε αυτή την θερμοκρασιακή περιοχή είναι  $20^{\circ}\text{mV/C}$  και η τάση εξόδου στους  $25^{\circ}\text{C}$  είναι  $500\text{mV}$ . Επίσης, χωρίς εξωτερικό καλιμπράρισμα παρέχει τυπική ακρίβεια  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  στους  $25^{\circ}\text{C}$ . Η τάση λειτουργίας του μπορεί να είναι από  $2,7\text{V}$  έως  $5,5$ . Το ρεύμα λειτουργίας του είναι μικρότερο από  $50\mu\text{A}$ , έτσι το TMP37 δεν ζεσταίνεται πολύ από το ρεύμα λειτουργίας του (η θερμοκρασία του αυξάνεται περίπου  $0,1^{\circ}\text{C}$ ).

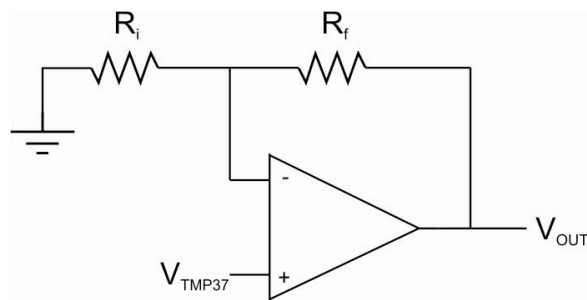


Σχήμα 5.11 Το αισθητήριο θερμοκρασίας TMP37

Κάθε δωμάτιο του σπιτιού έχει ένα TMP37 για την μέτρηση της θερμοκρασίας το οποίο συνδέεται μέσω ενός κυκλώματος προσαρμογής στους ακροδέκτες 0 έως 6 του PORT 0. Το κύκλωμα προσαρμογής το χρησιμοποιούμε για να μετατοπίσουμε την τάση εξόδου του TMP37 σε μια επιθυμητή περιοχή τιμών. Η έξοδος του ADC δίνεται όπως είδαμε από τον τύπο (2) της παραγράφου 4.4. Με κατάλληλη μετατόπιση της τάσης εξόδου του TMP37, το αποτέλεσμα της μετατροπής του ADC θα έχει θετική τιμή για το εύρος θερμοκρασιών που μας ενδιαφέρει και θα χωράει στο DADL (low byte του αποτελέσματος του ADC). Με την παραπάνω προσαρμογή διευκολύνουμε τους μετέπειτα υπολογισμούς μας, οι οποίοι περιλαμβάνουν το αποτέλεσμα του ADC.



Το κύκλωμα προσαρμογής αποτελείται από έναν τελεστικό ενισχυτή σε συνδεσμολογία ενισχυτή χωρίς αναστροφή. Το κύκλωμα προσαρμογής φαίνεται στο Σχήμα 5.12. Η έξοδος του TMP37 συνδέεται στην μη αναστρέφουσα είσοδο του τελεστικού ενισχυτή και η έξοδος του κυκλώματος συνδέεται στον μικροελεγκτή. Η συγκεκριμένη συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή ενισχύει το σήμα που εισάγεται στην μη αναστρέφουσα είσοδο. Η ενίσχυση εξαρτάται από τις τιμές των αντιστάσεων  $R_f$  και  $R_i$  και είναι ίση με  $(1 + \frac{R_f}{R_i})$ . Επιλέξαμε τις τιμές των αντιστάσεων έτσι ώστε η έξοδος του TMP37 να μετατοπίζεται στην επιθυμητή περιοχή, όπως εξηγήσαμε παραπάνω. Επιλέξαμε  $R_f=4R_i$ , επομένως  $V_{OUT}=5V_{TMP37}$ . Με αυτήν την ενίσχυση η  $V_{OUT}$  είναι ίση με 2500 mV στους 25° C.



Σχήμα 5.12 Κύκλωμα προσαρμογής του TMP37

## 5.2.2 Ρύθμιση του ADC

Οι ιδιότητες του ADC του μικροελεγκτή μπορούν να ρυθμιστούν, όπως είδαμε στην παράγραφο 4.4, από τους καταχωρητές DADC και DADI. Οι προεπιλεγμένες τιμές που έχουν κάποια bit αυτών των καταχωρητών είναι αυτές που χρειαζόμαστε οπότε δεν τις αλλάζουμε. Στο bit 4 του DADC γράφουμε 1 για να ενεργοποιήσουμε τον ADC. Επίσης στο bit 0 του DADC γράφουμε 1 για να επιλέξουμε την τιμή  $f_{osc}/2$  ως τη συχνότητα του ρολογιού του ADC. Τον DADI τον χρησιμοποιούμε κατά την διαδικασία ρύθμισης της θερμοκρασίας την οποία θα περιγράψουμε παρακάτω.

## 5.2.3 Ρύθμιση του Timer 0

Η παρακολούθηση και ρύθμιση της θερμοκρασίας των δωματίων δεν απαιτεί γρήγορη απόκριση. Έτσι έχουμε προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να κάνει αυτή τη διαδικασία κάθε ένα λεπτό. Για να μετρήσουμε το χρονικό διάστημα του ενός λεπτού χρησιμοποιήσαμε τον Timer 0.

Από τον τύπο (1) της παραγράφου 4.4 υπολογίζουμε το μέγιστο χρονικό διάστημα για την υπερχείλιση (overflow) του timer 0. Το μέγιστο χρονικό διάστημα το έχουμε για την μέγιστη τιμή του TPS η οποία είναι 15 και την ελάχιστη τιμή του reload value η οποία είναι το 0. Αντικαθιστώντας αυτές τις τιμές στον τύπο έχουμε:

$$T_{max} = \frac{65536 - 0}{20 \cdot 10^6} \cdot (15 + 1)$$

$$T_{max} = 0,052428 \text{ s} = 52428 \mu\text{s}$$

Παρατηρούμε ότι η μέγιστη χρονική διάρκεια για ένα overflow του timer είναι 52428  $\mu$ s. Εμείς όμως θέλουμε να μετρήσουμε χρονική διάρκεια ενός λεπτού αφού η ρουτίνα παρακολούθησης και ρύθμισης της θερμοκρασίας πρέπει να εκτελείται κάθε ένα λεπτό. Ένα λεπτό θα περάσει μετά από  $60/0,052428=1144$  overflows του timer. Επομένως μετράμε τα overflows του timer και μόλις γίνουν 1144 overflows εκτελούμε την ρουτίνα ελέγχου της θερμοκρασίας. Παρακάτω βλέπουμε την isr του timer 0 η οποία υλοποιεί την παραπάνω διαδικασία. Στους καταχωρητές R3 και R4 αποθηκεύουμε τον αριθμό των overflows του timer 0.

```

TIMER0:                ;timer 0 isr
INC R4                 ;R3, R4 hold the number of timer 0 overflows.
CJNE R4,#0x00,TIEL    ;If this number is equal to 1144, 1 minute passed.
INC R3
AJMP TIMEROEND
TIEL:
CJNE R4,#0x78,TIMEROEND
CJNE R3,#0x04,TIMEROEND
CLR TCON.4           ;stop timer 0
CALL TEMPCON         ;1 minute passed. Execute temperature, tent and
CALL TENTCON         ;alarm control routines.
CALL ALARMCON
MOV R3,#0x00         ;reset timer 0
MOV R4,#0x00
MOV TL0,#0x00
MOV TH0,#0x00
SETB TCON.4         ;start timer 0
TIMEROEND:
RETI

```

Πριν ξεκινήσει η διαδικασία χρονομέτρησης, πρέπει να ρυθμίσουμε κατάλληλα τον timer 0. Πρώτον, καθιστούμε ενεργές τις διακοπές από τον timer 0 γράφοντας 1 στο bit 1 του καταχωρητή IEN0. Έπειτα πρέπει να ρυθμίσουμε το ρολόι σύμφωνα με το οποίο θα αλλάζει η τιμή του timer. Κάνουμε 1 το bit 1 του καταχωρητή CKCON0 έτσι ώστε να χρησιμοποιείται ο prescaler του timer 0 και στον καταχωρητή CLKREG αποθηκεύουμε την τιμή του prescaler. Όπως είπαμε παραπάνω στον prescaler δίνουμε την τιμή 15. Την τιμή αυτή αποθηκεύουμε στα 4 high bits του CLKREG. Τέλος πρέπει να επιλέξουμε το mode λειτουργίας του timer 0. Ο timer 0 θέλουμε να λειτουργεί ως ένας 16-bit μετρητής, επομένως επιλέγουμε το mode 1. Αυτό γίνεται γράφοντας 1 στο bit 1 του καταχωρητή TMOD.

#### 5.2.4 Έλεγχος θερμοκρασίας

Η ρουτίνα έλεγχου της θερμοκρασίας εκτελείται κάθε ένα λεπτό και ρυθμίζει την θερμοκρασία του κάθε δωματίου στην επιθυμητή. Η κλήσης της συνάρτησης που υλοποιεί την ρουτίνα ελέγχου γίνεται από την isr του timer 0 με την εντολή CALL TEMPCON, όπως βλέπουμε παραπάνω. Η ρουτίνα ελέγχου της θερμοκρασίας παίρνει την θερμοκρασία κάθε δωματίου μέσω του ADC, την συγκρίνει με την επιθυμητή θερμοκρασία κάθε δωματίου και κλείνει ή ανοίγει τις ηλεκτροβάνες των δωματίων ανάλογα με το αν έχει φτάσει ή όχι την επιθυμητή θερμοκρασία αντίστοιχα. Θα

περιγράψουμε στη συνέχεια αναλυτικά τις ενέργειες που εκτελεί η ρουτίνα ελέγχου της θερμοκρασίας.

Αρχικά αποσυνδέουμε το κανάλι που ήταν συνδεδεμένο στον ADC. Κάθε χρονική στιγμή ένα κανάλι είναι συνδεδεμένο στην είσοδο του ADC. Το κανάλι που θα συνδεθεί επιλέγεται από έναν πολυπλέκτη ανάλογα με την τιμή που έχουν τα bits 0, 1, 2 και 3 του καταχωρητή DADI, όπως είδαμε στην παράγραφο 4.5. Στην είσοδο του πολυπλέκτη συνδέονται οι ακροδέκτες 0 έως 6 του PORT 0, στους οποίους όπως είπαμε έχουμε συνδέσει τις εξόδους των κυκλωμάτων προσαρμογής των TMP37 των δωματίων. Έπειτα επιλέγουμε το επόμενο κανάλι που θέλουμε να συνδέσουμε. Η αποσύνδεση γίνεται γράφοντας 0 στο bit 7 του καταχωρητή DADI. Στην συνέχεια επιλέγουμε το νέο κανάλι που θέλουμε να συνδέσουμε στον ADC γράφοντας τον αριθμό του δωματίου του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία στα bits 0,1 και 2 του καταχωρητή DADI. Έπειτα συνδέουμε το νέο κανάλι στον ADC γράφοντας 1 στο bit 7 του καταχωρητή DADI. Ο ADC έχει τώρα στην είσοδο του την τάση εξόδου του κυκλώματος προσαρμογής του TMP37 του δωματίου που θέλουμε να μετρήσουμε την θερμοκρασία. Το μόνο που μένει είναι να ξεκινήσουμε την μετατροπή. Γράφουμε 1 στο bit 6 του DADC για να ξεκινήσει η μετατροπή. Σε ένα loop περιμένουμε να τελειώσει η μετατροπή. Όταν η μετατροπή τελειώσει το bit 7 του DADC γίνεται 1 και το bit 6 γίνεται 0. Όταν αναγνωρίσουμε ότι ολοκληρώθηκε η μετατροπή μηδενίζουμε το bit 7 του DADC. Ο κώδικας που υλοποιεί αυτές τις ενέργειες φαίνεται παρακάτω.

```
MOV DADI,#0x00          ;disconnect input channel from ADC
MOV DADI,R5             ;select ADC input channel
ORL DADI,#0b10000000    ;connect input channel to ADC
ORL DADC,#0b01000000    ;start conversion
WAITCONV:
MOV A,DADC
CJNE A,#0b10010001,WAITCONV ;wait for conversion
ANL DADC,#0b01111111    ;clear ADC interrupt flag
```

Μετά την ολοκλήρωση της μετατροπής η θερμοκρασία του δωματίου είναι αποθηκευμένη στον καταχωρητή DADL. Η τιμή που είναι αποθηκευμένη στον DADL δεν είναι η θερμοκρασία σε δυαδική μορφή. Η τιμή που είναι αποθηκευμένη είναι η έξοδος του ADC για την τάση εξόδου του κυκλώματος προσαρμογής του TMP37, του συγκεκριμένου δωματίου, στη θερμοκρασία του δωματίου. Η έξοδος του ADC υπολογίζεται από τον τύπο (2) της παραγράφου 4.5. Ως  $V_{in}$ , στον τύπο, θεωρούμε την τάση εξόδου του κυκλώματος προσαρμογής του TMP37. Για παράδειγμα, στους  $25^{\circ}\text{C}$  η τάση εξόδου του κυκλώματος προσαρμογής του TMP37 θα είναι 500 mV. Επομένως με εφαρμογή του τύπου για  $V_{DD}=4\text{ V}$  και  $V_{REF}=V_{DD}/2$  η έξοδος του ADC, δηλαδή η τιμή που θα έχει ο DADL, είναι 128. Έχουμε κάνει τον παραπάνω υπολογισμό για όλο το εύρος τιμών θερμοκρασίας που μας ενδιαφέρει. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον Πίνακα 5.1. Τα αποτελέσματα αυτά τα έχουμε αποθηκεύσει σε ένα look-up table στην μνήμη προγράμματος. Το look-up table ξεκινάει από την θέση 1024 της μνήμης προγράμματος και το περιεχόμενό του είναι η έξοδος του ADC για τις θερμοκρασίες από  $13^{\circ}\text{C}$  έως  $30^{\circ}\text{C}$ .

Πίνακας 5.1 Έξοδος κυκλώματος προσαρμογής TMP37 και ADC για θερμοκρασία από 13-30° C

°C	mV	Έξοδος ADC
13	2260	66
14	2280	72
15	2300	77
16	2320	82
17	2340	87
18	2360	92
19	2380	97
20	2400	102
21	2420	107
22	2440	112
23	2460	118
24	2480	123
25	2500	128
26	2520	133
27	2540	138
28	2560	143
29	2580	148
30	2600	153

Στη συνέχεια ο μικροελεγκτής υπολογίζει την επιθυμητή θερμοκρασία του δωματίου. Όπως είδαμε στην παράγραφο 3.3, ως επιθυμητή θεωρούμε την θερμοκρασία του επιλογέα θερμοκρασίας όταν το δωμάτιο είναι γεμάτο, ενώ όταν το δωμάτιο είναι άδειο ως επιθυμητή θεωρούμε την θερμοκρασία του επιλογέα θερμοκρασίας μείον 2° C. Ο επιλογέας θερμοκρασίας είναι ένας κυκλικός επιλογέας 16 καταστάσεων. Έχει τέσσερις ακροδέκτες εξόδου στους οποίους υπάρχει κωδικοποιημένη η θερμοκρασία που έχει επιλεγεί. Οι θερμοκρασίες που μπορούν να επιλεγούν είναι από 15° C έως 30° C. Στην έξοδο του επιλογέα η θερμοκρασία 15° C αντιστοιχεί στο 0 σε δυαδική μορφή και η θερμοκρασία 30° C στο 15 σε δυαδική μορφή. Η αντιστοίχιση είναι προφανής για τις ενδιάμεσες θερμοκρασίες. Οι ακροδέκτες εξόδου του επιλογέα θερμοκρασίας συνδέονται στους ακροδέκτες 4 έως 7 του PORT 3 του μικροελεγκτή. Αφού υπολογίσει την επιθυμητή θερμοκρασία, ο μικροελεγκτής βρίσκει από το look-up table σε ποιά έξοδο του ADC αντιστοιχεί. Τέλος, συγκρίνει την έξοδο του ADC με την επιθυμητή έξοδο του ADC (η έξοδος που αντιστοιχεί στην επιθυμητή θερμοκρασία). Αν η έξοδος του ADC είναι μικρότερη από την επιθυμητή ανοίγει την ηλεκτροβάννα του δωματίου, ενώ εάν είναι μεγαλύτερη ή ίση κλείνει την ηλεκτροβάννα. Οι ηλεκτροβάννες ανοίγουν και κλείνουν μέσω των ρελέ που είναι συνδεδεμένα με κάθε ηλεκτροβάννα. Τα ρελέ όπως και στους λαμπτήρες δεν συνδέονται κατευθείαν στον μικροελεγκτή. Τα ρελέ συνδέονται στον αποπολυπλέκτη που συνδέονται και οι λαμπτήρες, στις εξόδους 7 έως 13.

### 5.3 Ανίχνευση πυρκαγιάς και πλημμύρας

Το σπίτι διαθέτει αισθητήρα ανίχνευσης καπνού και αισθητήρες ανίχνευσης πλημμύρας. Οι αισθητήρες αυτοί έχουν μία έξοδο η οποία όταν γίνει 0 σημαίνει ότι έχουν ενεργοποιηθεί. Η έξοδος τους κανονικά είναι σε κατάσταση 1. Η έξοδος τους συνδέεται στην πύλη OR που φαίνεται στο Η έξοδος αυτής της πύλης συνδέεται, όπως είδαμε, στον ακροδέκτη P3.2. Επομένως η ενεργοποίηση των αισθητήρων καπνού και πλημμύρας, δηλαδή η μετάβαση της εξόδου τους από 1 σε 0 έχει σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της διακοπής INT0. Όταν ενεργοποιηθεί η isr της INT0 ελέγχει εάν ενεργοποιήθηκε από τους αισθητήρες στις πόρτες ή από τους αισθητήρες καπνού και πλημμύρα. Οι έξοδοι των ανιχνευτών καπνού και πλημμύρας συνδέονται και σε μία δεύτερη πύλη OR, η έξοδος της οποίας συνδέεται στον ακροδέκτη P3.1 του μικροελεγκτή. Η isr της INT0 μπορεί, λοιπόν, να αναγνωρίσει εάν ενεργοποιήθηκαν οι αισθητήρες καπνού και πλημμύρας βλέποντας την κατάσταση του ακροδέκτη P3.1. Αν ο ακροδέκτης P3.1 είναι 0 σημαίνει ότι έχουν ενεργοποιηθεί, επομένως ενεργοποιεί την σειρήνα για να ειδοποιήσει για πυρκαγιά ή πλημμύρα. Η σειρήνα είναι συνδεδεμένη στον ακροδέκτη P3.0 μέσω ενός ρελέ.

### 5.4 Έλεγχος τέντας

Στα μπαλκόνια του σπιτιού υπάρχουν τέντες. Όταν η ισχύς του εξωτερικού φωτισμού είναι χαμηλή ο μικροελεγκτής στέλνει σήμα για να κλείσουν οι τέντες, ενώ όταν η ισχύς του εξωτερικού φωτισμού είναι υψηλή ο μικροελεγκτής ανοίγει τις τέντες. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της κάθε τέντας γίνεται με την χρήση ενός ρελέ που είναι συνδεδεμένο σε σειρά με όλες τις τέντες. Άρα όλες οι τέντες ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα. Η μέτρηση της ισχύς του εξωτερικού φωτισμού γίνεται με την βοήθεια του κυκλώματος της φωτοδιόδου που είναι συνδεδεμένο στον ακροδέκτη P2.7. Όταν η έξοδος του κυκλώματος της φωτοδιόδου είναι 0, ο μικροελεγκτής γράφει 0 στο bit 7 του PORT 0, όπου είναι συνδεδεμένες οι τέντες, έτσι ώστε να κλείσουν. Αντίθετα, όταν η έξοδος του κυκλώματος της φωτοδιόδου είναι 1, ο μικροελεγκτής γράφει 1 έτσι ώστε να ανοίξουν οι τέντες. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της τέντας ελέγχεται κάθε ένα λεπτό από την ρουτίνα έλεγχου που ρυθμίζει και τις θερμοκρασίες.

## Κεφάλαιο 6: Συμπεράσματα

Κατά τις διαδικασίες της ανάλυσης, σχεδίασης και υλοποίησης του συστήματος βγάλαμε χρήσιμα συμπεράσματα για τις δυνατότητες που μπορεί να έχει ένα έξυπνο σπίτι και για την χρήση μικροελεγκτών στην ανάπτυξη συστημάτων.

Η χρήση μικροελεγκτών στην ανάπτυξη συστημάτων αυξάνει την ταχύτητα υλοποίησης και μειώνει το κόστος ανάπτυξης. Ο προγραμματισμός των μικροελεγκτών έτσι ώστε να εκτελούν τις λειτουργίες του συστήματος δεν απαιτεί γνώσεις σχεδίασης ψηφιακών συστημάτων. Οι μικροελεγκτές εκτελούν κάποιο πρόγραμμα που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη προγράμματος, το οποίο μπορεί να γραφεί είτε σε γλώσσα assembly ή για μεγαλύτερη ευκολία σε μια γλώσσα υψηλού επιπέδου (π.χ. C). Τα ενσωματωμένα περιφερειακά και υποσυστήματα που διαθέτουν, όπως ο ADC, οι Timers κ.α., διευκολύνουν την ανάπτυξη και μειώνουν το κόστος σύνδεσης εξωτερικών περιφερειακών.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα των μικροελεγκτών είναι η ταχύτητα. Εάν το σύστημα μας απαιτεί χρόνο απόκρισης σε μία είσοδο της τάξης μερικών microseconds, η χρήση μικροελεγκτή δεν ενδείκνυται. Σε αυτές τις περιπτώσεις η υλοποίηση θα μπορούσε να γίνει με PLD, ASIC ή FPGAs. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι το κόστος αγοράς. Οι μικροελεγκτές, όπως είδαμε, περιλαμβάνουν αρκετά υποσυστήματα και περιφερειακά. Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματός μας, κάθε φορά χρησιμοποιούμε ένα υποσύνολο αυτών. Άρα στο κόστος αγοράς ενός μικροελεγκτή περιλαμβάνεται λειτουργικότητα η οποία δεν θα χρησιμοποιηθεί στο σύστημα μας.

Όσον αφορά το έξυπνο σπίτι συμπεράναμε ότι με κατάλληλη χρήση της διαθέσιμης τεχνολογίας μπορούμε να κατασκευάσουμε ένα πιο ασφαλές, πιο άνετο και πιο οικονομικό κατάλυμα σε σχέση με μια συνηθισμένη κατοικία. Ένα έξυπνο σπίτι μπορεί να είναι όσο σύνθετο ή όσο απλό θέλουμε. Σε κάθε περίπτωση, η βασική ιδέα πίσω από το έξυπνο σπίτι και τον κτιριακό αυτοματισμό γενικότερα, είναι να τροφοδοτήσουμε μια κατοικία με αισθητήρες και συστήματα ελέγχου και σύμφωνα με αυτά να έχουμε παροχή θερμότητας, φωτισμού και πολλών άλλων υπηρεσιών.

Φυσικά η μετάβαση από το παραδοσιακό στο έξυπνο σπίτι απαιτεί κάποια διαδικασία. Έχει γίνει πολλή δουλειά από τις επιχειρήσεις παροχής υπηρεσιών έξυπνου σπιτιού, έτσι ώστε η αγορά να είναι έτοιμη να υποδεχτεί όλες τις νέες τεχνολογίες. Το αν θα καταφέρει το έξυπνο σπίτι να αποτελέσει κάποια μέρα την πρώτη επιλογή για μια κατοικία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Γεγονός είναι ότι ήδη πολλά σπίτια έχουν ενσωματώσει μέρος των τεχνολογιών. Το ζητούμενο όμως είναι η ολοκλήρωση των υπηρεσιών σε πλήρη μορφή. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί σχετικά εύκολα όταν ένα κτίριο σχεδιασθεί εξ αρχής με αυτόν τον προσανατολισμό, έτσι ώστε κατά την κατασκευή να εγκατασταθεί το απαραίτητο hardware. Τα πράγματα γίνονται λίγο πιο δύσκολα όταν παρεμβαίνει κανείς σε ένα υπάρχον σπίτι. Εκτός αυτού βέβαια υπάρχουν και άλλοι παράγοντες, όπως είναι το κόστος. Ευτυχώς μέρα με τη μέρα οι τεχνολογίες του έξυπνου σπιτιού γίνονται όλο και πιο προσιτές και αναμένεται αυτή η τάση να διατηρηθεί και στο μέλλον. Από εκεί και πέρα, ας μην ξεχνάμε ότι υπηρεσίες όπως το

τηλέφωνο, η τηλεόραση και το διαδίκτυο συνεχίζουν να παρουσιάζουν εξελίξεις και αλλαγές, που είναι συνυφασμένες με αυτό που σήμερα αποκαλούμε έξυπνο σπίτι.

## Βιβλιογραφία

- [KON04] I.M. Κοντολέων. Ανάλυση και σχεδίαση ψηφιακών κυκλωμάτων, 2004.
- [KON06] I.M. Κοντολέων. Ηλεκτρονική Τόμος 2, 2006.
- [KON06] I.M. Κοντολέων. Ηλεκτρονική Τόμος 3, 2006.
- [ΠΕΤ86] Β. Πετρίδης. Συστήματα μετρήσεων, 1986.
- [GAD01] Dhananjay V. Gadre. Προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή AVR, 2001.
- [TZA10] Χριστίνα Σ. Τζανετοπούλου. Έξυπνο Σπίτι με χρήση του Προτύπου Konnex και Εξοικονόμηση Ενέργειας, 2010.
- [WEB99] John G. Webster. The Measurement, Instrumentation and Sensors Handbook, 1999.
- [ATM11] Atmel Corporation. 8-bit Flash Microcontroller with 64K bytes Program Memory, 2011.
- [ATM07] Atmel Corporation. Atmel 8051 Microcontrollers Hardware Manual, 2007.