



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
«ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗΣ  
ΑΝΤΑΝΑΚΛΑΣΤΙΚΩΝ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ  
ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ PIC»



Του φοιτητή  
Δελιανίδη Ορφέα  
Αρ. Μητρώου: 510314

Επιβλέπων  
Καζακόπουλος Αριστοτέλης  
Καθηγητής

Θεσσαλονίκη, Φεβρουάριος 2021

Σύστημα μέτρησης χρόνου αντίδρασης αντανακλαστικών ανθρώπου με χρήση μικροελεγκτή PIC

Κωδικός: 18155M

Δελιανίδης Ορφέας

Καζακόπουλος Αριστοτέλης

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε.: 30/10/18

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε.: 20/12/20

*Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.*

*Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Δελιανίδη Ορφέα που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.*

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

*«Στους δικούς μου ανθρώπους»*

## Πρόλογος

Ο λόγος που επέλεξα το συγκεκριμένο θέμα για την πτυχιακή μου εργασία ήταν αφενός ότι μου φάνηκε αρκετά ενδιαφέρον και αφετέρου ότι σχετίζεται, αν όχι με όλους, με ένα συνδυασμό τομέων της ηλεκτρονικής εμπεριέχοντας όλα τα στάδια της κατασκευής ενός συστήματος από το μηδέν στη θεωρητική σχεδίαση και μέχρι την κατασκευαστική υλοποίηση του. Τα οφέλη που προσκόμισα φυσικά ήταν πολλά διότι μου δόθηκε η δυνατότητα να αναπτύξω περισσότερο τις δεξιότητες μου σε τομείς όπως η σχεδίαση ενός κυκλώματος, η σχεδίαση μιας πλακέτας, ο προγραμματισμός αλλά και οι κολλήσεις. Τέλος διεύρυνα αρκετά θα έλεγα τις γνώσεις μου όσον αφορά τους μικροελεγκτές.

## Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των υποχρεώσεων μου ως προπτυχιακός φοιτητής του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνές Πανεπιστημίου της Ελλάδος. Αντικείμενο της παρούσης εργασίας αποτελεί ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη ενός συστήματος μέτρησης του χρόνου αντίδρασης των αντανακλαστικών του ανθρώπου. Στη συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία ασχολήθηκα με το ηλεκτρονικό μέρος του συστήματος δηλαδή τον μικροελεγκτή όπως επίσης και με την ανάπτυξη και σχεδίαση της PCB πλακέτας τυπωμένου κυκλώματος. Ο μικροελεγκτής που χρησιμοποιήθηκε είναι ο PIC18F4550. Σκοπός του συστήματος που κατασκεύασα είναι η εμφάνιση σε μια οθόνη LCD του χρόνου αντίδρασης ενός ατόμου από την στιγμή που θα δει το άναμμα ενός λαμπτήρα LED μέχρι τη στιγμή που θα πατήσει το κουμπί (push-button) που έχουμε συνδέσει.

# «HUMAN REFLEX REACTION TIME MEASUREMENT SYSTEM USING PIC MICROCONTROLLER»

«DELIANIDIS ORFEAS»

## **Abstract**

This dissertation was prepared in the context of my obligations as an undergraduate student of the Department of Computer Engineering and Electronic Systems of the International University of Greece. The subject of this paper is the design and development of a system for measuring the reaction time of human reflexes. In this particular dissertation I dealt with the electronic part of the system, ie the microcontroller, as well as with the development and design of the PCB board of a printed circuit board. The microcontroller used is the PIC18F4550. The purpose of the system I built is to display on an LCD screen the reaction time of a person from the moment he sees the light of an LED lamp until the moment he presses the push-button that we have connected.

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Καζακόπουλο Αριστοτέλη για την καθοδήγηση, τις υποδείξεις, την ανοχή του αλλά και την υπομονή του. Επίσης τους καθηγητές κ. Γιακουμή Άγγελο και κ. Παρασκευόπουλο Αχιλλέα για την πολύτιμη βοήθειά τους. Τέλος ευχαριστώ όσους συνέβαλαν, έστω και ελάχιστα, στην προσπάθεια ολοκλήρωσης αυτής της πτυχιακής εργασίας.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη .....	v
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες .....	vii
Περιεχόμενα .....	viii
Κατάλογος Σχημάτων .....	x
Κατάλογος Πινάκων .....	xxi
Συντομογραφίες.....	xiii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή στους μικροελεγκτές.....	13
1.1 Ορισμός του μικροελεγκτή.....	13
1.2 Η δομή του μικροελεγκτή.....	13
1.3 Διαφορές μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή.....	15
1.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μικροελεγκτών .....	16
1.5 Εφαρμογές μικροελεγκτών .....	17
1.6 Οι αρχιτεκτονικές Von-Neumann και Harvard.....	17
1.7 Αρχιτεκτονική CISC και RISC.....	18
1.8 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών .....	19
1.9 Κατασκευαστές μικροελεγκτών.....	20
1.10 Ιστορική αναδρομή μικροελεγκτών.....	21
Κεφάλαιο 2ο: Οι μικροελεγκτέςPIC.....	26
2.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτέςPIC .....	26
2.2 Δομή μικροελεγκτή PIC.....	27
2.2.1 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας .....	28
2.2.2 Μνήμη.....	29
2.2.3 Εντολές .....	30
2.2.4 Λειτουργίες διακοπών. ....	30
2.2.5 Περιφερειακές μονάδες.....	30
2.3 Καταχωρητές.....	31
2.4 Διάκριση των PIC μικροελεγκτών .....	32
2.4.1 Διάκριση με βάση το μέγεθος της λέξης εντολής που μπορούν να εκτελούν.....	32
2.4.2 Διάκριση με βάση τον αριθμό των ακίδων του ολοκληρωμένου .....	32
2.4.3 Διάκριση με βάση την συσκευασία .....	33
2.4.4 Διάκριση με βάση την ονομασία .....	34
2.5 Η «Οικογένεια» PIC18F .....	34
Κεφάλαιο 3ο: Hardware.....	36

3.1 Περιγραφή του συστήματος.....	36
3.2 Ο μικροελεγκτής PIC18F4550.....	36
3.3 Οθόνη LCD.....	41
3.4 Ισοσταθμιστής τάσης L78S05CV.....	43
3.5 Υπόλοιπα υλικά.....	44
Κεφάλαιο 4ο: Σχεδιασμός και κατασκευή της πλακέτας PCB.....	45
4.1 Εισαγωγή στις πλακέτες PCB.....	45
4.2 Ταξινόμηση των PCBs.....	46
4.2.1 Τυπωμένη πλακέτα μονής ή απλής όψης (single-sidedPCB).....	46
4.2.2 Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης (double-sidedPCB).....	46
4.2.3 Τυπωμένη πλακέτα πολλαπλών στρωμάτων (multi-layerPCB).....	46
4.3 Παραλλαγές σχεδίασης PCBs.....	47
4.4 Ο Σχεδιασμός, η τύπωση και η τελική μορφή της PCB.....	47
4.4.1 Το πρόγραμμα σχεδίασης CadSoft Eagle.....	47
4.4.2 Το σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας.....	47
4.4.3 PCBLayout.....	48
4.5 Τελική πλακέτα.....	51
Κεφάλαιο 5ο: Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή.....	53
5.1 Το περιβάλλον προγραμματισμού MPLAB.....	53
5.2 Η γλώσσα προγραμματισμού C.....	53
5.3 Διάγραμμα ροής.....	54
5.4 Ο κώδικας.....	56
5.5 Ο PICkit 3.....	59
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης.....	62
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	63

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1.1: Ένα τυπικό σχήμα μικροελεγκτή.....	14
Σχήμα 1.2: Οι δίαυλοι επικοινωνίας του μικροελεγκτή.....	14
Σχήμα 1.3: Σχέση μικροελεγκτή – μικροεπεξεργαστή.....	15
Σχήμα 1.4: Οι αρχιτεκτονικές Von-Neumann και Harvard.....	18
Σχήμα 1.5: Αριτεκτονική CISC και RISC.....	19
Σχήμα 1.6: Κατηγορίες μικροελεγκτών.....	19
Σχήμα 1.7: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής Intel 4004.....	21
Σχήμα 1.8: Ο πρώτος 8bit επεξεργαστής 8008.....	21
Σχήμα 1.9: Ο MOS 6502.....	22
Σχήμα 1.10: Ο Z80 της Zilog.....	22
Σχήμα 1.11: Ο MC68000 της Motorola.....	23
Σχήμα 1.12: Ο 8086 της Intel.....	23
Σχήμα 1.13: Είδη επεξεργαστών.....	24
Σχήμα 1.14: Είδη επεξεργαστών.....	25
Σχήμα 1.15: Ο Intel Xeon 5300.....	25
Σχήμα 2.1: Η δομή του μικροελεγκτή PIC.....	28
Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονικές μνήμης μικροελεγκτών.....	29
Σχήμα 2.3: Μνήμη δεδομένων.....	31
Σχήμα 2.4: Μικροελεγκτές PIC με διαφορετικό αριθμό ακίδων.....	32
Σχήμα 2.5: Συσκευασία DIP.....	33
Σχήμα 2.6: Συσκευασία PLCC.....	33
Σχήμα 2.7: Συσκευασία PQFP.....	34
Σχήμα 3.1: Ο μικροελεγκτής PIC18F4550.....	36
Σχήμα 3.2: Οι έξοδοι των ακίδων του PIC18F4550.....	37
Σχήμα 3.3: Εσωτερικό μπλοκ διάγραμμα.....	38
Σχήμα 3.4: Διάγραμμα clock.....	41
Σχήμα 3.5: Οθόνη LCD.....	42
Σχήμα 3.6: Τα pins της οθόνης LCD.....	43
Σχήμα 3.7: Voltage regulator L78S05CV.....	43
Σχήμα 4.1: Η δομή μιας PCB πλακέτας.....	45
Σχήμα 4.2: Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος.....	48
Σχήμα 4.3: Αρχικό PCB Layout με εξαρτήματα (top view).....	49
Σχήμα 4.4: Τελικό PCB Layout με εξαρτήματα (top view).....	49
Σχήμα 4.5: PCB Layout (bottom view).....	50
Σχήμα 4.6: Τελική τυπωμένη πλακέτα.....	51
Σχήμα 4.7: Η τελική πλακέτα με τα εξαρτήματα.....	52
Σχήμα 4.8: Η σύνδεση των υπόλοιπων εξαρτημάτων.....	52
Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής προγράμματος.....	55
Σχήμα 5.2: Ο PICkit 3.....	59
Σχήμα 5.3: Τα pins του PICkit 3.....	59
Σχήμα 5.4: Το πρόγραμμα του PICkit 3.....	60
Σχήμα 5.5: Η σύνδεση του PICkit στην πλακέτα.....	61

## **Κατάλογος Πινάκων**

Πίνακας 3.1: Τα χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή PIC18F4550.....	39
---	----

## Συντομογραφίες

ΔΠΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία
ΚΜΕ	Κεντρική Μονάδα Επεξεργασίας
CISC	Complex Instruction Set Computer
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RAM	Random Access Memory
ROM	Read-Only Memory
ALU	Arithmetic Logic Unit
MOS	Metal Oxide Semiconductor
PCB	Printed Circuit Board

# Κεφάλαιο 1ο

---

## 1. Εισαγωγή στους μικροελεγκτές

Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε μια γενική εισαγωγή στους μικροελεγκτές. Θα δούμε τι ακριβώς είναι ένας μικροελεγκτής και η αρχιτεκτονική του, ποια είναι τα πλεονεκτήματα χρήσης του, τις εφαρμογές στις οποίες χρησιμοποιείται, τις κατηγορίες των μικροελεγκτών και θα αναφέρουμε ενδεικτικά κάποιους από τους κατασκευαστές τους.

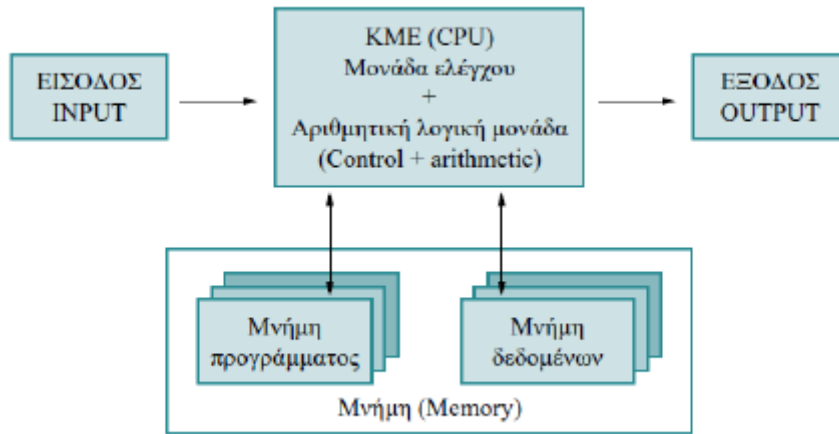
### 1.1 Ορισμός του μικροελεγκτή

Ο **μικροελεγκτής** είναι ένας τύπος επεξεργαστή, ουσιαστικά μια παραλλαγή μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου χαμηλού και μεσαίου κόστους, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έως παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές και κάθε είδους αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα.[1] Ένας μικροελεγκτής έχει τη δυνατότητα να εκτελεί διάφορα προγράμματα και να διαθέτει περιφερειακές συσκευές, επεξεργαστή και μνήμη, και μάλιστα σε ένα μόνο chip, ενώ η αποθήκευση των προγραμμάτων που εκτελεί γίνεται πάντα στη μνήμη προγράμματος.

### 1.2 Η δομή του μικροελεγκτή

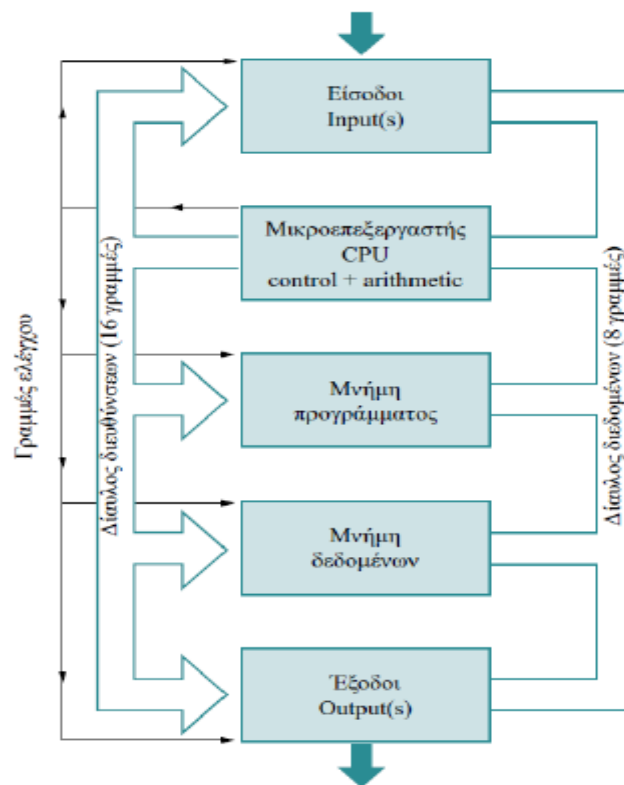
Η οργάνωση των μικροελεγκτών είναι παρόμοια με εκείνη των κλασικών υπολογιστικών συστημάτων (mainframe, mini). Αποτελούνται, όπως μπορείτε να παρατηρήσετε (Σχήμα 1.1), από τις παρακάτω λειτουργικές μονάδες[2]:

- Μονάδες εισόδου/εξόδου, με τις οποίες το σύστημα επικοινωνεί με το εξωτερικό του περιβάλλον.
- Το μικροεπεξεργαστή (ή αλλιώς κεντρική μονάδα επεξεργασίας), η οποία περιλαμβάνει την αριθμητική και λογική μονάδα, που επεξεργάζεται τα δεδομένα, τη μονάδα ελέγχου, που είναι υπεύθυνη για τον έλεγχο και το συντονισμό όλων των μονάδων του συστήματος, και τους καταχωρητές, που χρησιμεύουν για προσωρινή αποθήκευση.
- Την κύρια μνήμη, που χρησιμεύει για την αποθήκευση των εντολών του προγράμματος, των αρχικών δεδομένων και των ενδιάμεσων αποτελεσμάτων.



Σχήμα 1.1: Ένα τυπκό σχήμα μικροελεγκτή

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό σε σχέση με άλλα υπολογιστικά συστήματα είναι ότι ολόκληρη η μονάδα επεξεργασίας περιέχεται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, που κατασκευάζεται σε ένα μικρό κομμάτι πυριτίου και αναφέρεται σαν μικροεπεξεργαστής. Η ενσωμάτωση όλων των στοιχείων της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα, συνδυάζει τα πλεονεκτήματα του μικρού μεγέθους, της υψηλής αξιοπιστίας και του χαμηλού κόστους. Ο μικροεπεξεργαστής συνδέεται κατάλληλα με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της μνήμης και των μονάδων εισόδου/εξόδου, για να αποτελέσει το υπολογιστικό σύστημα που ονομάζουμε μικροελεγκτή. Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζονται οι δίαυλοι επικοινωνίας του μικροελεγκτή.

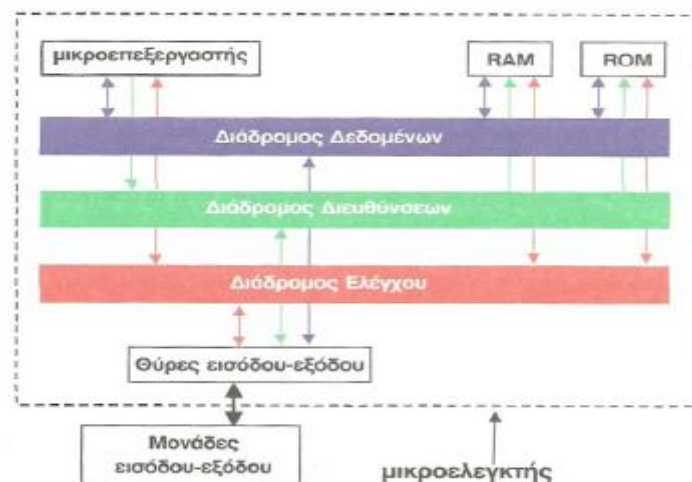


Σχήμα 1.2: Οι δίαυλοι επικοινωνίας του μικροελεγκτή

Η μεταφορά της δυαδικής πληροφορίας ανάμεσα στις διάφορες μονάδες του μικροελεγκτή γίνεται παράλληλα από ένα σύνολο γραμμών, που αναφέρονται σαν διάυλος δεδομένων (data bus). Οι γραμμές αυτές αναφέρονται σαν γραμμές δεδομένων (data lines). Ο διάυλος δεδομένων δε λύνει όλα τα προβλήματα μεταφοράς της πληροφορίας. Ο μικροεπεξεργαστής θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα επιλογής της μονάδας, με την οποία θα επικοινωνήσει, και να μπορεί να την ειδοποιήσει ότι θα στείλει ή θα πάρει δεδομένα από αυτή. Για το λόγο αυτό διαθέτει δύο ακόμα διαύλους, το διάυλο διευθύνσεων (address bus) και το διάυλο ελέγχου (control bus). Οι γραμμές των διαύλων αυτών λέγονται αντίστοιχα γραμμές διευθύνσεων (address lines) και γραμμές ελέγχου (control lines). Με τις γραμμές διευθύνσεων ο μικροεπεξεργαστής στέλνει τη δυαδική διεύθυνση της θέσης μνήμης ή της μονάδας εισόδου/εξόδου, με την οποία θέλει να επικοινωνήσει, και με τις γραμμές ελέγχου τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα για την ενεργοποίηση των επιθυμητών λειτουργιών της μνήμης ή των μονάδων εισόδου/εξόδου. Τέλος, η απαίτηση της ενεργοποίησης στοιχειωδών λειτουργιών σε προκαθορισμένα χρονικά διαστήματα, δημιουργεί την ανάγκη ύπαρξης μιας βάσης χρόνου, που αναφέρεται ως κύκλωμα χρονισμού (clock). Το κύκλωμα χρονισμού αποτελείται συνήθως από ένα κρυσταλλικό ταλαντωτή, που παράγει τετραγωνικούς παλμούς σταθερής συχνότητας. Η συχνότητα αυτή του ταλαντωτή καθορίζει και τη συχνότητα λειτουργίας του μικροεπεξεργαστή.

### 1.3 Διαφορές μικροελεγκτή και μικροεπεξεργαστή

Οι μικροελεγκτές και οι μικροεπεξεργαστές χρησιμοποιούνται ευρέως σε ενσωματωμένα συστήματα, αν και οι μικροελεγκτές προτιμώνται σε σχέση με τους μικροεπεξεργαστές λόγω της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Ένας μικροελεγκτής ενσωματώνει περισσότερες λειτουργίες απ' ότι ένας μικροεπεξεργαστής ο οποίος περιέχει μόνο κεντρική μονάδα επεξεργασίας όπως αυτοί που χρησιμοποιούνται στους υπολογιστές.[3] Ο μικροεπεξεργαστής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που έχει μόνο τη CPU στο εσωτερικό του δηλαδή μόνο τις εξουσίες επεξεργασίας, όπως το Pentium I,II,III,IV της Intel κλπ. Αυτοί οι μικροεπεξεργαστές δεν έχουν μνήμη RAM, ROM και άλλα περιφερειακά στο chip. Για να γίνει λειτουργικός ένας μικροεπεξεργαστής, ο σχεδιαστής του συστήματος πρέπει να τα προσθέσει στο εξωτερικό του. Σε αντίθεση ο μικροελεγκτής περιλαμβάνει CPU, μνήμη (RAM, ROM), θύρες εισόδου/εξόδου καθώς και θύρες παράλληλης και σειριακής επικοινωνίας, μονάδα αναγνώρισης διακοπών, μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και αντίστροφα, μετρητές χρόνου- χρονιστές (timers) όλα ενσωματωμένα σε ένα chip (Σχήμα 1.3).



Σχήμα 1.3: Σχέση μικροελεγκτή – μικροεπεξεργαστή

Οι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για να εκτελούν συγκεκριμένες διεργασίες, είναι το κύριο στοιχείο σε πολλά είδη ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Ένα τυπικό σπίτι στο δυτικό κόσμο είναι πιθανό να περιλαμβάνει μόνο έναν ή δύο γενικού σκοπού μικροεπεξεργαστές αλλά περισσότερους από είκοσι μικροελεγκτές. Μικροελεγκτές απαντώνται σε οποιονδήποτε τύπο ηλεκτρικής συσκευής, πλυντήρια ρούχων, φούρνους μικροκυμάτων, τηλέφωνα κ.λπ. Ενώ οι μικροεπεξεργαστές βρίσκουν εφαρμογές όπου τα καθήκοντα είναι αόριστα όπως η ανάπτυξη λογισμικού, παιχνίδια, ιστοσελίδες, δημιουργία εγγράφων κ.λπ. Η ταχύτητα ρολογιού του μικροεπεξεργαστή είναι αρκετά υψηλή σε σύγκριση με του μικροελεγκτή. Ενώ οι μικροελεγκτές λειτουργούν από μερικά MHz έως 30 με 50 MHz, οι σημερινοί μικροεπεξεργαστές λειτουργούν πάνω από 1GHz, δεδομένου ότι εκτελούν πολύπλοκα καθήκοντα. Η σύγκριση του μικροελεγκτή και του μικροεπεξεργαστή όσον αφορά το κόστος δεν είναι δικαιολογημένη. Αναμφίβολα ένας μικροελεγκτής είναι πολύ φθηνότερος από έναν μικροεπεξεργαστή. Ωστόσο ένας μικροελεγκτής δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη θέση ενός μικροεπεξεργαστή και αντίστοιχα η χρήση ενός μικροεπεξεργαστή δε συνιστάται στη θέση ενός μικροελεγκτή, καθώς κάνει την εφαρμογή αρκετά δαπανηρή.[4]

## 1.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα μικροελεγκτών

Αναλυτικά, τα πλεονεκτήματα των μικροελεγκτών είναι[5]:

- Αυτονομία, μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας. Έτσι πολλοί μικροελεγκτές δεν χρειάζονται κανένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για να λειτουργήσουν.
- Η ενσωμάτωση περιφερειακών σημαίνει ευκολότερη υλοποίηση εφαρμογών λόγω των απλούστερων διασυνδέσεων.
- Χαμηλό κόστος. Είναι ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά που κάποιος σχεδιαστής λαμβάνει υπόψη. Η συνεχής απελευθέρωση στην αγορά μικροελεγκτών από διάφορες εταιρίες βελτίωσαν την ποιότητα αυτών και μείωσαν τις τιμές λόγω ανταγωνισμού.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία, και πάλι λόγω των λιγότερων διασυνδέσεων.
- Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και μειωμένη ευαισθησία σε αντίστοιχες παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει από το μικρότερο αριθμό και μήκος εξωτερικών διασυνδέσεων καθώς και τις χαμηλότερες ταχύτητες λειτουργίας.
- Περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες για ψηφιακές εισόδους-εξόδους (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος), λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
- Μικρότερο μέγεθος συνολικού υπολογιστικού συστήματος. Η ολοκλήρωση των βασικών στοιχείων από τα οποία απαρτίζεται, μείωσε τις διαστάσεις σε σχέση με τη χρήση των επιμέρους στοιχείων ως σύνολο.
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος. Το γεγονός ότι οι μικροελεγκτές λειτουργούν σε συγκριτικά χαμηλές συχνότητες που φτάνουν τα 32KHz, οδηγεί στη κατανάλωση μικρών ποσών ισχύος της τάξης των mW ακόμα και  $\mu$ W. Επιπλέον έχουν τη δυνατότητα να εισέρχονται σε κατάσταση αναμονής (sleep mode), καταστέλλουν προσωρινά τη λειτουργία της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και των περιφερειακών, οπότε αυτό μπορεί να γίνει μειώνοντας κατά πολύ την κατανάλωση ισχύος του μικροελεγκτή. Έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές με αυστηρές απαιτήσεις ως προς αυτή την παράμετρο.
- Επίτευξη ελέγχου ή μετρήσεων σε πραγματικό χρόνο. Ενώ οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές πρέπει να τρέχουν λειτουργικά συστήματα πραγματικού χρόνου (όπως RT-Linux, QNXκ.ά.) για να το επιτύχουν, οι μικροελεγκτές δεν απαιτούν επιπλέον λογισμικό.

Τα μειονεκτήματα των μικροελεγκτών τώρα είναι:

- Η δυσκολία του προγραμματισμού του.
- Η μη αλλαγή του προγράμματος για το λόγο ότι είναι γραμμένο στην ROM.
- Έχει μεγάλο χρόνο ανάπτυξης. Για να ολοκληρωθεί ένα προϊόν μπορεί να απαιτηθεί από 1 εβδομάδα μέχρι 1 χρόνο.

## 1.5 Εφαρμογές μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές βρίσκουν εφαρμογή στα παρακάτω πεδία[6]:

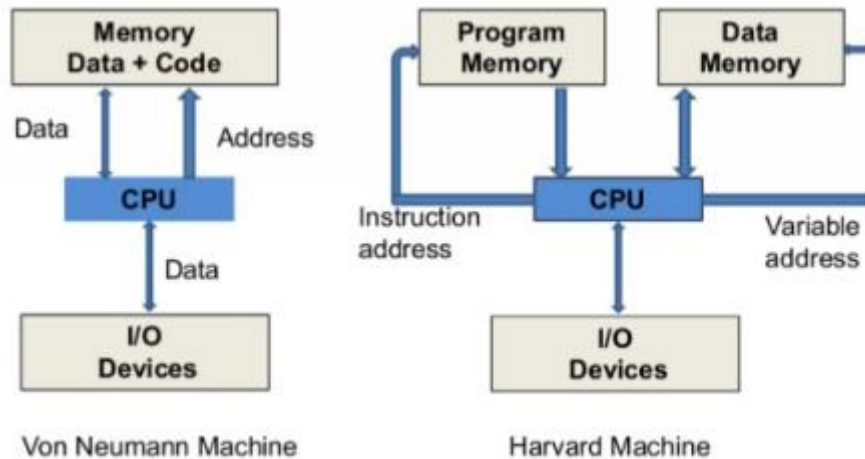
- Σε συστήματα αυτοματισμών
- Σε κυκλώματα τηλεπικοινωνιών
- Στις ηλεκτρονικές συσκευές
- Στις ηλεκτρικές συσκευές
- Σε συστήματα τηλεματικής
- Σε συστήματα συλλογής δεδομένων
- Σε εφαρμογές ηλεκτρονικών ισχύος
- Σε συστήματα διασύνδεσης
- Σε εφαρμογές δικτύων, γενικότερα οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται οπουδήποτε απαιτείται έλεγχος συστημάτων.

## 1.6 Οι αρχιτεκτονικές Von-Neumann και Harvard

Υπάρχουν κυρίως δύο κατηγορίες επεξεργαστών, αυτοί με αρχιτεκτονική Von-Neumann και αυτοί με αρχιτεκτονική Harvard. Αυτές οι δύο αρχιτεκτονικές διαφέρουν στον τρόπο που γίνεται η αποθήκευση και η προσπέλαση των δεδομένων και του προγράμματος.

Οι μικροελεγκτές που βασίζονται στην αρχιτεκτονική Von-Neumann έχουν ένα ενιαίο δίαυλο δεδομένων που χρησιμοποιείται για να μεταφέρει μαζί οδηγίες και δεδομένα. Οι οδηγίες και τα δεδομένα του προγράμματος είναι αποθηκευμένα σε μία κύρια κοινή μνήμη. Όταν ένας τέτοιος μικροελεγκτής διευθύνει μια κύρια κοινή μνήμη, πρώτα μεταφέρει μια εντολή και μετά προσκομίζει τα δεδομένα για να υποστηρίξει την εντολή. Οι δύο ξεχωριστές μεταφορές επιβραδύνουν την λειτουργία του ελεγκτή. Το κύριο πλεονέκτημα της αρχιτεκτονικής Von-Neumann είναι ότι απλοποιεί το σχεδιασμό του μικροελεγκτή επειδή μόνο μία μνήμη είναι προσβάσιμη.

Οι μικροελεγκτές που βασίζονται στην αρχιτεκτονική Harvard έχουν χωριστό δίαυλο δεδομένων και δίαυλο εντολών. Αυτό επιτρέπει την εκτέλεση να συμβεί παράλληλα. Καθώς μια εντολή είναι pre-fetched (προ-μεταφερόμενη), η τρέχουσα εντολή εκτελείται στο δίαυλο δεδομένων. Μόλις η τρέχουσα εντολή ολοκληρωθεί, η επόμενη εντολή είναι έτοιμη να ξεκινήσει. Αυτή η pre-fetched επιτρέπει μια πολύ γρηγορότερη εκτέλεση από ότι στην αρχιτεκτονική Von-Neumann. Η αρχιτεκτονική Harvard εκτελεί τις εντολές σε λιγότερους κύκλους εντολών από ότι η αρχιτεκτονική Von-Neumann.

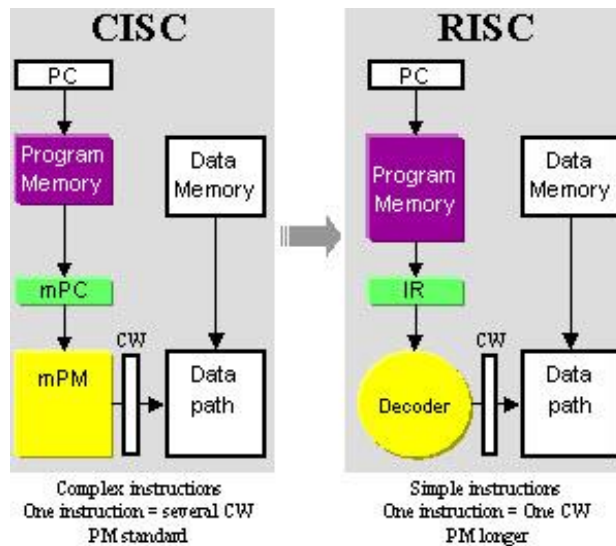


Σχήμα 1.4: Οι αρχιτεκτονικές Von-Neumann και Harvard

## 1.7 Αρχιτεκτονική CISC και RISC

Η αρχιτεκτονική CISC (Complex Instruction Set Computer)[7], δηλαδή **υπολογιστής συνθέτου συνόλου εντολών**, βασίζεται στη στρατηγική της ύπαρξης ενός μεγάλου συνόλου εντολών, στο οποίο συμπεριλαμβάνονται και σύνθετες. Ο προγραμματισμός σε CISC είναι πιο εύκολος από ότι στον άλλο σχεδιασμό, επειδή υπάρχει μια εντολή για κάθε απλή ή σύνθετη εργασία. Συνεπώς, οι προγραμματιστές δεν χρειάζεται να γράφουν σύνολα εντολών για να πραγματοποιήσουν κάποια σύνθετη εργασία. Η πολυπλοκότητα του συνόλου εντολών έχει ως αποτέλεσμα το ηλεκτρονικό κύκλωμα της ΚΜΕ και της μονάδας ελέγχου να είναι υπερβολικά σύνθετα. Για την μείωση αυτής της πολυπλοκότητας, οι σχεδιαστές της αρχιτεκτονικής CISC έχουν καταλήξει στην ακόλουθη λύση: Ο προγραμματισμός γίνεται σε δύο επίπεδα. Οι εντολές σε γλώσσα μηχανής δεν εκτελούνται κατευθείαν από την ΚΜΕ. Αυτό προϋποθέτει την προσθήκη ενός ειδικού τύπου μνήμης, τη μικρομνήμη, στην οποία αποθηκεύεται το σύνολο των εντολών κάθε σύνθετης εντολής του μηχανήματος. Αυτού του είδους ο προγραμματισμός, ο οποίος χρησιμοποιεί μικροεντολές, ονομάζεται μικροπρογραμματισμός. Ένα μειονέκτημα της αρχιτεκτονικής CISC είναι ο επιπλέον φόρτος που σχετίζεται με το μικροπρογραμματισμό και την προσπέλαση της μικρομνήμης. Ωστόσο, οι υπέρμαχοι της αρχιτεκτονικής υποστηρίζουν ότι αυτό αντισταθμίζεται από τα οφέλη που παρέχουν τα μικρότερα προγράμματα σε επίπεδο μηχανής.

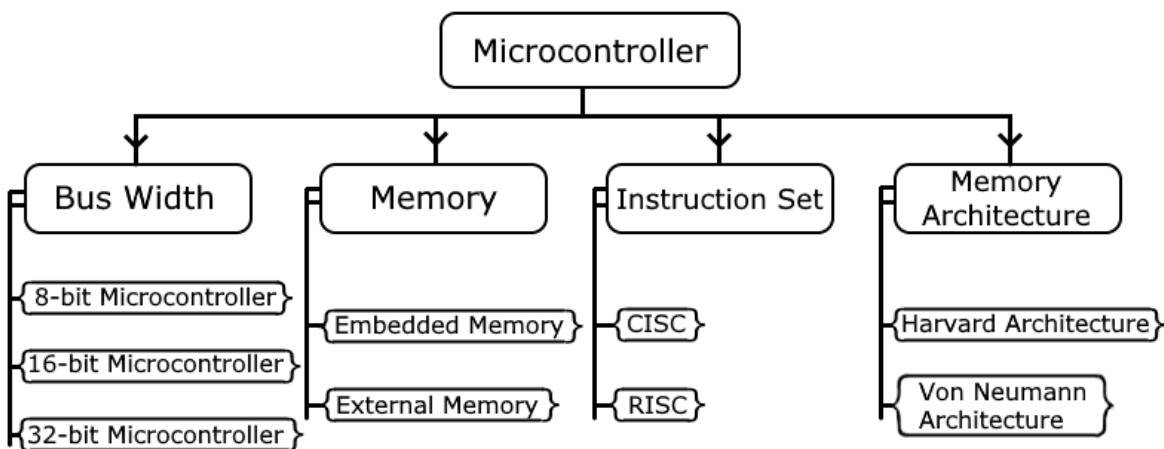
Η αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computer)[8], δηλαδή **υπολογιστής περιορισμένου συνόλου εντολών**, βασίζεται στη στρατηγική της ύπαρξης ενός μικρού συνόλου εντολών, οι οποίες πραγματοποιούν ένα ελάχιστο πλήθος απλών λειτουργιών. Οι σύνθετες εντολές προσομοιώνονται με τη χρήση ενός υποσυνόλου απλών εντολών. Ο προγραμματισμός σε RISC είναι πιο δύσκολος και χρονοβόρος από ότι στον άλλο σχεδιασμό, επειδή οι πιο σύνθετες εντολές προσομοιώνονται από απλές.



Σχήμα 1.5: Αρχιτεκτονική CISC και RISC

### 1.8 Διαδεδομένες κατηγορίες μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές ταξινομούνται αναλόγως, το εύρος διαύλου, το σετ εντολών, την αρχιτεκτονική μνήμης, τη γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται κ.α. Έτσι διακρίνονται οι εξής κυρίως κατηγορίες[9]:



Σχήμα 1.6: Κατηγορίες μικροελεγκτών

- Μικροελεγκτές (καμμία φορά 4-bit αλλά συνήθως 8-bit) πολύ χαμηλού κόστους, γενικής χρήσης, με πολύ μικρό αριθμό ακροδεκτών (ακόμη και λιγότερους από 8). Σχεδιάζονται με έμφαση στη χαμηλή κατανάλωση ισχύος και την αυτάρκεια, ώστε να χρειάζονται ελάχιστα ή και καθόλου εξωτερικά εξαρτήματα και να μη μπορεί να αντιγραφεί εύκολα το εσωτερικό λογισμικό τους. Απουσιάζει η δυνατότητα επέκτασης της μνήμης τους. Μερικά μοντέλα είναι ευρέως γνωστά στους ερασιτέχνες ηλεκτρονικούς, όπως πχ οι περισσότεροι μικροελεγκτές των σειρών PIC (Microchip), AVR (Atmel) και 8051 (Intel, Atmel, Dallas κα).
- Μικροελεγκτές (συνήθως 8-bit αλλά και 16 ή 32-bit) χαμηλού κόστους, γενικής χρήσης, με μέτριο έως σχετικά μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Διαθέτουν μεγάλο αριθμό κοινών περιφερειακών, όπως θύρες UART, I<sup>2</sup>C, SPI ή CAN, μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό και ψηφιακού σε αναλογικό. Στους κατασκευαστές της Απω Ανατολής (Ιαπωνία, Κορέα),

συνηθίζεται η ενσωμάτωση ελεγκτών οθόνης υγρών κρυστάλλων και ηλεκτρολογίου. Μερικές φορές παρέχουν δυνατότητα εξωτερικής επέκτασης της μνήμης τους.

- Μικροελεγκτές (κυρίως 32-bit) μέσου κόστους, γενικής χρήσης, με μεγάλο αριθμό ακροδεκτών. Χαρακτηρίζονται από έμφαση στην ταχύτητα εκτέλεσης εντολών, υψηλή αυτάρκεια περιφερειακών και μεγάλες δυνατότητες εσωτερικής ή εξωτερικής μνήμης προγράμματος (FLASH) και RAM. Στο χώρο αυτό έχουν ισχυρή παρουσία οι αρχιτεκτονικές με υψηλή μεταφερισιμότητα λογισμικού (portability) από τον ένα στον άλλο κατασκευαστή. Πχ μεταξύ των μικροελεγκτών τύπου ARM ή MIPS, το σύνολο των βασικών εντολών που αναγνωρίζει η ALU είναι ακριβώς το ίδιο, μειώνοντας έτσι τις μεγάλες αλλαγές στο λογισμικό, όταν στο μέλλον ο πελάτης υιοθετήσει ένα μικροελεγκτή άλλου κατασκευαστή (αρκεί, φυσικά, να υποστηρίζει κι αυτός το σύνολο εντολών ARM ή MIPS, αντίστοιχα).
- Μικροελεγκτές εξειδικευμένων εφαρμογών, οι οποίοι ενσωματώνουν συνήθως κάποιο εξειδικευμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας το οποίο υλοποιείται πάντοτε σε hardware. Τέτοιοι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές συσκευές όπως τα μόντεμ.

Η μεγάλη μερίδα πωλήσεων των μικροελεγκτών εξακολουθεί να αφορά αυτούς των 8-bit, καθώς είναι η κατηγορία με το χαμηλότερο κόστος και το μικρότερο μέγεθος λογισμικού για το ίδιο αποτέλεσμα, ιδίως επειδή οι σύγχρονες οικογένειες μικροελεγκτών 8-bit έχουν πολύ βελτιωμένες επιδόσεις σε σχέση με το παρελθόν.

## 1.9 Κατασκευαστές μικροελεγκτών

Μερικοί από τους γνωστότερους κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι:

- ARM (δεν κατασκευάζει αλλά παραχωρεί δικαιώματα χρήσης του πυρήνα)
- Atmel
- Epson
- FreescaleSemiconductor (πρώην Motorola)
- Hitachi
- Maxim (μετά την εξαγορά της Dallas)
- Microchip
- NEC
- Toshiba
- TexasInstruments

## 1.10 Ιστορική αναδρομή μικροελεγκτών

Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής αναπτύχθηκε από, την Intel στις αρχές της δεκαετίας του '70.

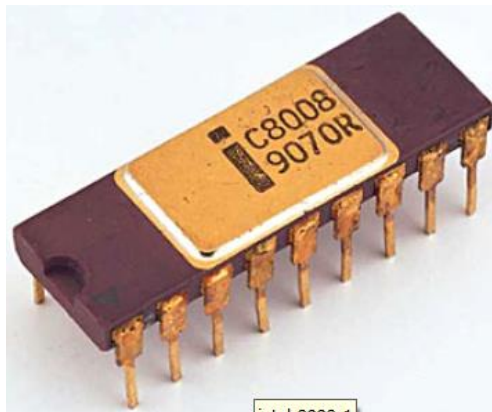


Σχήμα 1.7: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής Intel 4004

Το **1971** έχουμε την παρουσίαση του πρώτου μικροεπεξεργαστή Intel 4004 από τον Ted Hoff και τον συνεργάτη του Stan Mazor. Ο Intel 4004 ήταν ένας 4bit επεξεργαστής ο οποίος αποτελούνταν από 2.300 τρανζίστορ με συχνότητα ρολογιού 108KHz, εκτελούσε 60.000 πράξεις το δευτερόλεπτο και μπορούσε να δει 640 bytes μνήμης.

Αρχικά εφαρμόστηκε για τη δημιουργία αριθμομηχανών ενώ το Νοέμβριο του 1971 η Intel ανακοίνωσε τον πρώτο μικροϋπολογιστή.

Μέσα στην επόμενη χρονιά (**1972**) εμφανίζεται ο διάδοχος του ο 8008, ο παγκόσμια πρώτος 8bit μικροεπεξεργαστής.



Σχήμα 1.8: Ο πρώτος 8bit επεξεργαστής 8008

Το **1974** έχουμε την εμφάνιση του 8 bit μικροεπεξεργαστή Intel 8080 που ήταν αποτέλεσμα εξέλιξης του 8008. Αποτελούνταν από 6.000 τρανζίστορ με συχνότητα λειτουργίας 2MHz. Την ίδια περίοδο η Motorola παρουσίασε τον 6800 που χρησιμοποιήθηκε σε υπολογιστές, σε όλα τα pinball- παιχνίδια καθώς και σε βιομηχανικές συσκευές ελέγχου. Είχε 4.000 τρανζίστορ, 78 εντολές, σήμα χρονισμού στα 1 ή 2 MHz και 16 bit πλάτος διαύλου διευθύνσεων.

Το **1975** η MOS Technology κατασκεύασε τον 6502 σαν ανταγωνιστικό επεξεργαστή για τον Intel 8080. Χρησιμοποιήθηκε σε πολύ γνωστά micros όπως τα, Acorn BBC, Apple II, Commodore PET κτλ.



Σχήμα 1.9: Ο MOS 6502

Το **1976** η Zilog φτιάχνει τον Z80 έναν 8bit μικροεπεξεργαστή βασισμένο στον 8080 του οποίου η γλώσσα μηχανής είναι υπερσύνολο αυτής της Intel 8080. Το σήμα χρονισμού του ήταν στα 3.5MHz με 16bit πλάτος διευθύνσεων ενώ μπορούσε να δει 64 Kbytes μνήμης. Κατά την δεκαετία του 80 είχε την μεγαλύτερη δημοτικότητα καθώς επικεντρώθηκε στο χαμηλό κόστος σε συνδυασμό με τη μικρή συσκευασία, τις χαμηλές απαιτήσεις και τον συνυπολογισμό των στοιχείων κυκλώματος που κανονικά θα έπρεπε να παρασχεθούν σε ένα χωριστό τσιπ.



Σχήμα 1.10: Ο Z80 της Zilog

Το **1978** εμφανίζονται οι πρώτοι 16 bit μικροεπεξεργαστές (δηλαδή ο διάυλος δεδομένων τους έχει πλάτος 16 bit). Η Intel παρουσιάζει τον 8086/8088, του οποίου η συχνότητα λειτουργίας έχει ανέβει πλέον στα 10MHz και η κατασκευή του απαιτεί 29.000 τρανζίστορ. Αντίστοιχα η Motorola εμφανίζει τον 68000 με συχνότητα λειτουργίας 8MHz, ο οποίος περιέχει 68.000 τρανζίστορ (από αυτό το γεγονός πήρε και το όνομα του). Ο συνδυασμός της υψηλής ταχύτητας, του μεγάλου χώρου αποθήκευσης (16Mbytes) και του αρκετού χαμηλού κόστους, τον έκανε τον δημοφιλέστερο μικροεπεξεργαστή με αποτέλεσμα να χρησιμοποιηθεί στους υπολογιστές Apple Lisa και Macintosh.



Σχήμα 1.11: Ο MC68000 της Motorola



Σχήμα 1.12: Ο 8086 της Intel

Το **1982** εμφανίζεται ο Intel 80286, ο οποίος περιέχει 134.000 τρανζίστορ και έχει συχνότητα λειτουργίας 12,5MHz. Περιελάμβανε δίαυλο δεδομένων 16 bit, δίαυλο διευθύνσεων 24 bit και μπορούσε να δει μέχρι 16Mbytes μνήμης. Είχε δυνατότητα να λειτουργεί στην κατάσταση protectedmode (προστατευμένη κατάσταση λειτουργίας). Αντίστοιχα, η Motorola εμφανίζει τον MC68010 με αποτέλεσμα την προσθήκη υποστήριξης της εικονικής μνήμης.

Το **1985** εμφανίζονται οι πρώτοι 32bit μικροεπεξεργαστές. Από τη μία ο Intel 80386, ο οποίος περιέχει 275.000 τρανζίστορ και συχνότητα λειτουργίας 33MHz και από την άλλη ο Motorola 68020 με 200.000 τρανζίστορ και 16 MHz, έγινε ιδιαίτερα δημοφιλής στην αγορά micro computer Unix ενώ πολλές μικρές επιχειρήσεις παρήγαγαν τα συστήματα desktop.

Το **1989** εμφανίζεται ο 32 bit μικροεπεξεργαστής Intel 80486, ο οποίος έχει 1.200.000 τρανζίστορ και συχνότητα λειτουργίας 50 MHz.

Το **1990** η IBM εισάγει τη τεχνολογία PowerPC επεξεργαστών στη σειρά RS/6000 servers, workstations και supercomputers. Αργότερα, οι PowerPC επεξεργαστές της IBM, θα χρησιμοποιηθούν σε υπολογιστές από την ίδια και την Apple.

Το **1993** εμφανίζεται ο Intel Pentium, ο οποίος περιέχει 3.100.000 τρανζίστορ και η συχνότητα λειτουργίας του έχει φτάσει στα 166MHz.

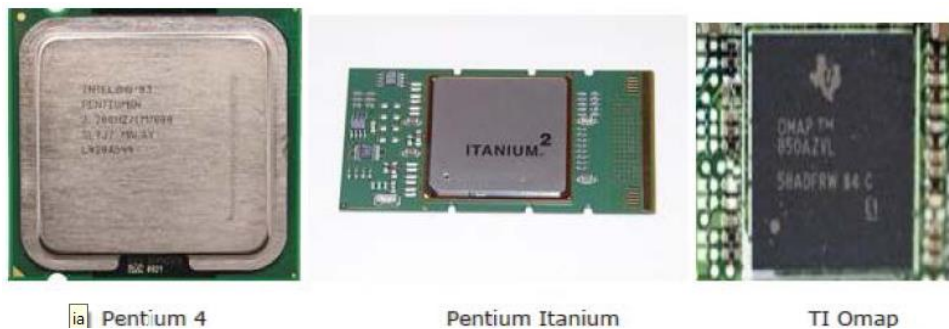
Το **1997** η Intel ανακοινώνει τον Pentium II. Η συχνότητα λειτουργίας του βρίσκεται στα 300 MHz και το ολοκληρωμένο κύκλωμα του αποτελείται από 7.700.000 τρανζίστορ. Χρονιζόταν από τα 233 MHz έως τα 450 MHz.

Το **1999** η Intel ανακοινώνει τον Pentium III με συχνότητα λειτουργίας 450 MHz (σήμερα έχει φτάσει στο 1.13GHz). Το ολοκληρωμένο κύκλωμα αποτελείται από 9.500.000 τρανζίστορ, ήταν ένας

αναβαθμισμένος Pentium II και ο πρώτος που εισήγαγε τις εντολές SSE της Intel. Χρονιζόταν από τα 400 MHz μέχρι τα 1.4GHz. Παράλληλα ο Athlon της AMD, ήταν ο πρώτος επεξεργαστής ο οποίος ξεπέρασε τους Intel επεξεργαστές σε απόδοση. Κατασκευασμένος από 22 εκατομμύρια τρανζίστορ, χρονιζόταν από τα 500 MHz μέχρι το 1GHz.

Το **2000** η Intel παρουσίασε τον Pentium 4, ένας ακόμα σημαντικός σταθμός στη σχεδίαση των επεξεργαστών, ήταν η εισαγωγή της Netburst αρχιτεκτονικής στους Intel Pentium 4. Κατασκευασμένος από 42 εκατομμύρια τρανζίστορ, χρονιζόταν από τα 1.4 GHz μέχρι τα 3.8 GHz.

Το **2001** η Intel παρουσίασε τον Itanium. Η συνεργασία της Intel και της HP, μας έδωσε τον Itanium ο οποίος ήταν ένας 64bit non-x86 αρχιτεκτονικής επεξεργαστής.



Σχήμα 1.13: Είδη επεξεργαστών

Σχεδιασμένος για παράλληλη επεξεργασία, στόχευε στη χρήση του από τους enterprise servers. Η σειρά Itanium δεν κατάφερε να έχει μεγάλη επιτυχία.

Το **2002** η Intel παρουσίασε τον XScale ARM. Σε συνέχεια της StrongARM σειράς επεξεργαστών, η Intel σχεδίασε τη σειρά XScale ARM, οι οποίοι για πολλά χρόνια χρησιμοποιήθηκαν σε PDAs. Παρ'όλα αυτά η Intel πούλησε αργότερα την XScale στη Marvell το 2006. Παράλληλα η Texas Instruments (TI) έγινε από τις μεγαλύτερες κατασκευάστριες system-on-a-chip επεξεργαστών για χρήση στα smartphones και τα PDAs με τη σειρά OMAP. Η σειρά OMAP, συνδύαζε ARM επεξεργαστή μαζί με άλλα κυκλώματα όπως GSM επεξεργαστές.

Το **2003** η Intel παρουσίασε το Pentium-M που σχεδιάστηκε αποκλειστικά για χρήση σε laptop υπολογιστές. Αποτελούνταν από 77 εκατομμύρια τρανζίστορ και χρονιζόταν από τα 900 MHz. Ενώ η AMD με τον Opteron, παρουσίασε τον πρώτο 64bit x86 αρχιτεκτονικής επεξεργαστή, ο οποίος σημείωσε επιτυχία στους servers και workstations. Ήταν κατασκευασμένος από 105 εκατομμύρια τρανζίστορ.

Το **2005** η Intel παρουσίασε τον Pentium D. Τη χρονιά αυτή η Intel παρουσίασε τον πρώτο dual-core επεξεργαστή, ξεκινώντας με την Pentium Extreme έκδοση.



Σχήμα 1.14: Είδη επεξεργαστών

Το **2006** η AMD αγοράζει την ATI (σχεδιαστή και κατασκευαστή chipsets και καρτών γραφικών) και ανακοινώνει φιλόδοξα σχέδια για συνδυασμό x86 επεξεργαστών με ATI graphics επεξεργαστές. Παράλληλα, η Intel σχεδιάζει τον Xeon 5300. Οι πρώτοι τετραπλού πυρήνα επεξεργαστές ήταν της σειράς Xeon 5300 για servers και workstations. Στην πραγματικότητα το chip περιείχε δύο διπύρηνους πυρήνες συνδεδεμένους μεταξύ τους και αποτελούνταν από 582 εκατομμύρια τρανζίστορ.



Σχήμα 1.15: Ο Intel Xeon 5300

Το **2008** η εταιρία ασύρματης τεχνολογίας Qualcomm, ξεκίνησε την παραγωγή υψηλής απόδοσης επεξεργαστών για smartphones, βασισμένους στην αρχιτεκτονική ARM. Ο Snapdragon επεξεργαστής είναι χρονισμένος στο 1GHz και είναι κατασκευασμένος από 200 εκατομμύρια τρανζίστορ.

Τέλος από το **2011** και μετά η Intel παρουσιάζει τους Core i3, i5, i7. Οι τελευταίοι επεξεργαστές της Intel, είναι σχεδιασμένοι με την αρχιτεκτονική Sandy Bridge. Οι επεξεργαστές της desktop σειράς, έχουν μέχρι 8 πυρήνες σε ένα chip και μέχρι 1.45 δισεκατομμύρια τρανζίστορ ενώ η ARM ανακοινώνει την ARMv8 64bit αρχιτεκτονική. Η ARM παρουσίασε τις προδιαγραφές για τα μελλοντικά 64 bit chips. Με την αρχιτεκτονική ARMv8, θα μπορούσαμε να έχουμε επεξεργαστές με έως και 128 πυρήνες.

## Κεφάλαιο 2ο

---

### 2. Οι μικροελεγκτές PIC

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γνωρίσουμε ειδικότερα τους μικροελεγκτές PIC. Θα δούμε τη δομή τους και από τι αποτελείται, τις κατηγορίες που τους διακρίνουμε, ενώ θα μιλήσουμε ακόμα πιο συγκεκριμένα για την «οικογένεια» του μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε σε αυτήν την εργασία.

#### 2.1 Εισαγωγή στους μικροελεγκτές PIC

Οι PIC είναι ολοκληρωμένα κυκλώματα που ανήκουν στην κατηγορία των μικροελεγκτών. Πήραν το όνομα τους από τα αρχικά των λέξεων Peripheral Interface Controller (Ελεγκτής Περιφερειακής Διεπαφής) και στη συνέχεια μετονομάστηκαν σε Programmable Intelligent Computer. Περιλαμβάνουν όλα τα απαραίτητα στοιχεία για την κατασκευή ενός ψηφιακού προγραμματιζόμενου συστήματος: κεντρική μονάδα επεξεργασίας, θύρες εισόδου-εξόδου για επικοινωνία με περιφερειακά συστήματα και μνήμη. Ορισμένοι μικροελεγκτές διαθέτουν επίσης μετατροπείς A/D και D/A, καθώς και τυπικά κανάλια επικοινωνίας, όπως UART ή I2C. Έτσι, μπορούν να παίξουν τον ρόλο της κεντρικής μονάδας ελέγχου ενός συστήματος. Εξωτερικά μοιάζουν με απλά ψηφιακά ολοκληρωμένα, όμως μέσα τους κρύβουν ένα μικρό υπολογιστή. Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούν την αρχιτεκτονική Harvard για την επικοινωνία μεταξύ της CPU και της μνήμης. Ο προγραμματισμός των μικροελεγκτών μπορεί να γίνει είτε με γλώσσες χαμηλού επιπέδου (π.χ. Assembly), είτε με γλώσσες υψηλού επιπέδου (π.χ. C, Pascal, κ.α.).

Οι μικροελεγκτές PIC ανήκουν στην οικογένεια Harvard architecture microcontrollers και κατασκευάζονται από την εταιρεία Microchip Technology. Ο πρώτος μικροελεγκτής PIC1640 κατασκευάστηκε από την εταιρεία General Instrument's Microelectronics Division. Στα τέλη της δεκαετίας του '70 η General Instruments σχεδίασε και κατασκεύασε τους επεξεργαστές PIC 1650 και 1655. Παρόλο που το μοντέλο ήταν σχετικά χοντροκομμένο και ανορθόδοξο, ήταν απολύτως αυτόνομο, και διέθετε μερικά σημαντικά και προνοητικά χαρακτηριστικά. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας ήταν δομής RISC, με έναν καταχωρητή και 30 μόλις εντολές. Ήδη τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του PIC που προκύπταν ήταν απλότητα, αυτονομία, υψηλή ταχύτητα και χαμηλότερο κόστος. Μερικές δεκαετίες μετρά, στα τέλη της δεκαετίας του '90, ο αριθμός των διάφορων διαθέσιμων Μικροελεγκτών PIC αυξήθηκε, με αποτέλεσμα ο PIC να ξεπεράσει αρκετά τους αντίστοιχους ανταγωνιστές στον χώρο των Μικροελεγκτών. Σε αντίθεση με άλλες εταιρίες, η Microchip έκανε τα εργαλεία προγραμματισμού απλά, και φτηνά ή δωρεάν για διάθεση. Παράλληλα κράτησε σταθερή παρουσία στον χώρο των 8-bit. Παρά την τεράστια πρόοδο που έχουν γίνει, μπορούμε ακόμα να δούμε τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του παλαιού μικροελεγκτή της General Instruments, ακόμη και στα πιο πρόσφατα σχέδια. Επιχειρώντας να αριθμήσουμε τους Μικροελεγκτές PIC στις μέρες μας θα δούμε ότι είναι κυριολεκτικά αμέτρητοι. Υπάρχουν εκατοντάδες διαφορετικά μοντέλα, διαθέσιμα σε διαφορετικές συσκευασίες, για την υλοποίηση διάφορων εφαρμογών. Όλοι οι Μικροελεγκτές PIC είναι χαμηλού κόστους, αυτόνομοι, 8-bit, ακολουθούν την δομή Harvard, RISC, και με έναν καταχωρητή W (Working).

Στις μέρες μας, η Microchip διαθέτει πέντε κύριες οικογένειες Μικροελεγκτών. Η οικογένεια του μοντέλου προσδιορίζεται από τα πρώτα δύο ψηφία του κωδικού της συσκευής. Το γράμμα που ακολουθεί δηλώνει την τεχνολογία που χρησιμοποιεί το κύκλωμα. Για παράδειγμα το γράμμα 'C' αναφέρεται στην τεχνολογία CMOS, η πλέον κύρια τεχνολογία ημιαγωγών για κατασκευή συστημάτων ψηφιακής λογικής χαμηλής ισχύος. Το γράμμα 'F' δηλώνει την χρήση της τεχνολογίας μνήμης flash. Το γράμμα 'A' μετά από τον κωδικό του ολοκληρωμένου δηλώνει κάποια τεχνολογική αναβάθμιση επάνω στο προηγούμενο μοντέλο. [10], [11], [12], [13]

## 2.2 Δομή μικροελεγκτή PIC

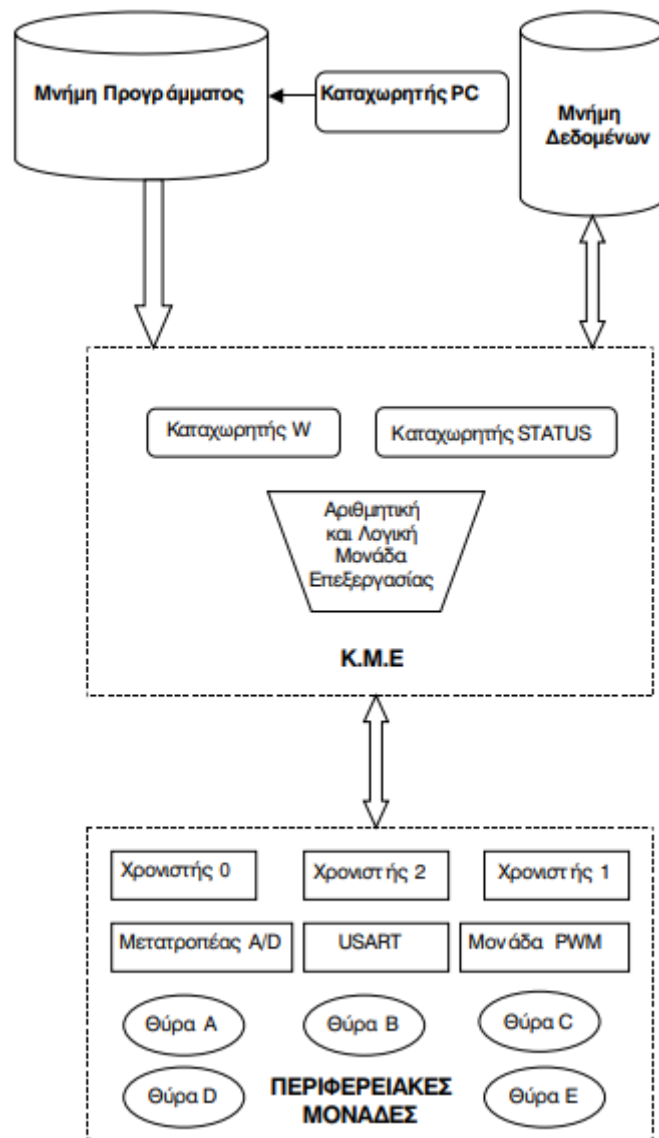
Η δομή του μικροελεγκτή PIC μπορεί να χωριστεί σε δύο μέρη, τον πυρήνα (core) και τις περιφερειακές μονάδες του (peripheral units). Ο πυρήνας του μικροελεγκτή αποτελείται από όλα εκείνα τα στοιχεία τα οποία είναι απολύτως απαραίτητα για την λειτουργία του. Οι περιφερειακές μονάδες βρίσκονται ενσωματωμένες στον μικροελεγκτή και είναι αυτές που τον κάνουν να διαφέρει από έναν μικροεπεξεργαστή.[14]

Στον πυρήνα του PIC ανήκουν οι:

- Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
- Μνήμη
- Εντολές
- Λειτουργίες διακοπών

Στις περιφερειακές μονάδες ανήκουν:

- Οι θύρες εισόδου / εξόδου γενικής χρήσης
- Οι μετρητές χρόνου (τρεις μονάδες)
- Η μονάδα διαμόρφωσης πλάτους
- Οι θύρες σειριακής επικοινωνίας (τρεις θύρες)
- Η θύρα παράλληλης επικοινωνίας
- Η μονάδα παραγωγής τάσης αναφοράς
- Οι συγκριτές
- Ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό



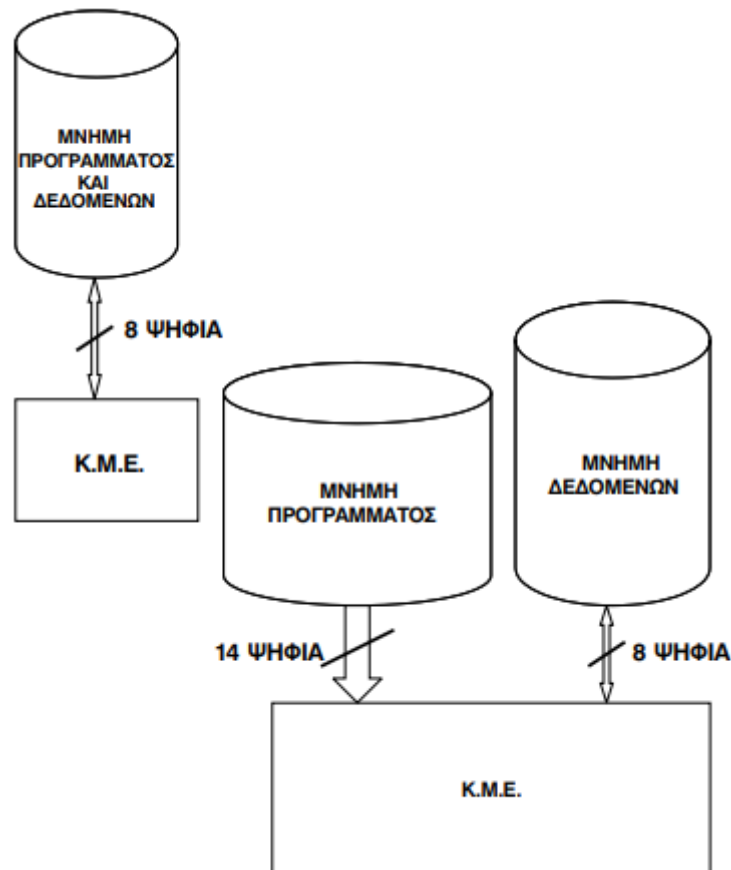
Σχήμα 2.1: Η δομή του μικροελεγκτή PIC

### 2.2.1 Κεντρική μονάδα επεξεργασίας

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας, γνωστή ως CPU (Central Process Unit), είναι ο εγκέφαλος που διαχειρίζεται και εκτελεί τις εντολές του προγράμματος που έχουμε αποθηκεύσει σε μια μνήμη η οποία ονομάζεται μνήμη προγράμματος. Από τη μνήμη αυτή η κεντρική μονάδα επεξεργασίας φέρνει με τη σειρά εντολές του προγράμματος, τις αποκωδικοποιεί και τις εκτελεί. Μέσα στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας βρίσκεται η αριθμητική και η λογική μονάδα. Οι αριθμητικές πράξεις που μπορεί να εκτελεί είναι η πρόσθεση και η αφαίρεση. Επίσης έχει τη δυνατότητα να εκτελεί λογικές πράξεις. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας χρησιμοποιεί ένα μετρητή προγράμματος για τη σωστή ανεύρεση των εντολών που πρέπει να εκτελεστούν. Στην πραγματικότητα πρόκειται για έναν καταχωρητή ο οποίος περιέχει τη διεύθυνση της μνήμης στην οποία βρίσκεται αποθηκευμένη η εντολή που πρέπει να εκτελεσθεί. Ο καταχωρητής αυτός ονομάζεται Program Counter (PC).[15]

## 2.2.2 Μνήμη

Στη σχεδίαση μικροεπεξεργαστών και μικροελεγκτών ακολουθούνται δύο αρχιτεκτονικές. Στην πρώτη χρησιμοποιείται μία μνήμη τόσο για την αποθήκευση του προγράμματος όσο και για την αποθήκευση των δεδομένων. Στη δεύτερη χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστές μνήμες. Η μία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος και λέγεται μνήμη προγράμματος ενώ η άλλη για την αποθήκευση των δεδομένων και λέγεται μνήμη δεδομένων. Τις δύο αρχιτεκτονικές αυτές βλέπουμε στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Αρχιτεκτονικές μνήμης μικροελεγκτών

Ο μικροελεγκτής PIC ακολουθεί την αρχιτεκτονική Harvard, κάτι που σημαίνει ότι το πρόγραμμα και τα δεδομένα βρίσκονται σε ξεχωριστές μνήμες. Ένας μικροελεγκτής έχει ενσωματωμένες μνήμες RAM και ROM. Το πρόγραμμα που γράφει ο χρήστης αποθηκεύεται στην μνήμη ROM. Το μέγεθος της μνήμης προγράμματος κυμαίνεται από 2 έως 8Kbytes, η οποία συνήθως είναι τύπου flash άρα επιτρέπει την εγγραφή και το σβήσιμο της μνήμης να γίνεται με ηλεκτρικό τρόπο καθώς ο μικροελεγκτής βρίσκεται συνδεδεμένος στο κύκλωμα της εκάστοτε εφαρμογής. Το μέγεθος της μνήμης αποτελείται από τρία τμήματα 128 Bytes έκαστος, δηλαδή 384 Bytes συνολικά. Το κάθε τμήμα αποτελείται από καταχωρητές γενικού αλλά και ειδικού σκοπού, όπου κάποιοι χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του πυρήνα του PIC και άλλοι για τον έλεγχο των περιφερειακών του.[16]

### 2.2.3 Εντολές

Ο μικροελεγκτής PIC ακολουθεί την αρχιτεκτονική RISC με αποτέλεσμα να διαθέτει μικρό αριθμό εντολών οι οποίες όμως μπορούν να ικανοποιήσουν όλες τις πιθανές απαιτήσεις προγραμματισμού. Ο μικροελεγκτής PIC έχει συνολικά 35 εντολές, μήκους μίας λέξης (14bit). Έτσι εκτελεί την κάθε εντολή σε έναν κύκλο μηχανής, με αποτέλεσμα τη σημαντική βελτίωση της ταχύτητας επεξεργασίας. Μοναδική εξαίρεση αποτελούν οι εντολές διακλάδωσης, οι οποίες εκτελούνται σε δύο κύκλους μηχανής.[17] Η δομή της λέξης διαφέρει από εντολή σε εντολή, όμως σε όλες τις λέξεις το πρώτο τμήμα περιέχει τον κωδικό της εντολής (OPCODE), ενώ το υπόλοιπο έχει πληροφορίες για την εκτέλεση της συγκεκριμένης εντολής. Αυτός ο κωδικός είναι καθορισμένος από την αρχιτεκτονική του συστήματος και είναι μοναδικός για κάθε εντολή. Η κεντρική μονάδα του επεξεργαστή διαβάζοντας τον κωδικό μιας εντολής γνωρίζει ακριβώς τις εργασίες που πρέπει να κάνει, ενώ οι υπόλοιπες πληροφορίες βρίσκονται στην υπόλοιπη λέξη. Τους κωδικούς των εντολών κάθε μικροελεγκτή PIC, μπορούμε να τους βρούμε στο manual του. Εν τέλει, οι εντολές των PIC χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

- Εντολές επεξεργασίας Byte (byte-oriented)
- Εντολές επεξεργασίας Bit (bit-oriented)
- Εντολές άλματος (αλλαγή ροής προγράμματος)
- Υπόλοιπες εντολές

### 2.2.4 Λειτουργίες διακοπών

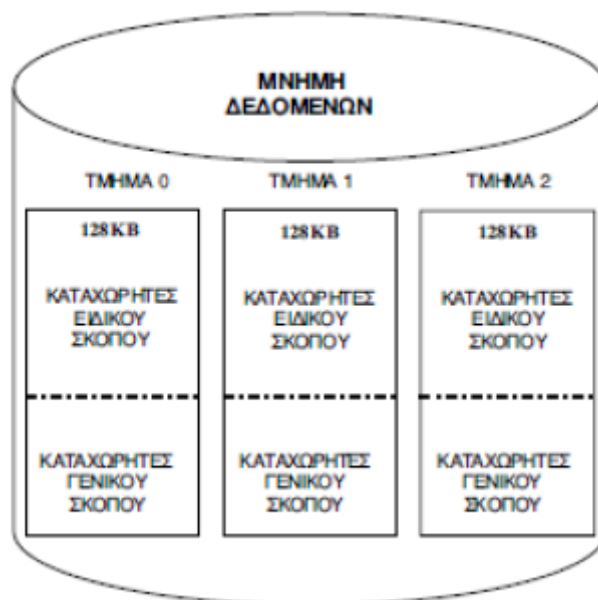
Καθώς ο PIC εκτελεί ένα πρόγραμμα που του έχουμε δώσει, μπορεί να συμβούν διάφορα γεγονότα στο περιβάλλον που αυτός ελέγχει. Ανάλογα με τη σημασία του κάθε γεγονότος, ενδεχομένως, να χρειαστεί να διακόψει την εκτέλεση του κυρίως προγράμματος για να ασχοληθεί με το γεγονός αυτό. Ο PIC για να αντιληφθεί την ύπαρξη των γεγονότων αυτών έχει αναθέσει σε κάποιες από τις περιφερειακές του μονάδες να διενεργούν διάφορους ελέγχους. Αυτό μπορεί να γίνεται ανεξάρτητα από τις λοιπές λειτουργίες του μικροελεγκτή. Όταν μία από τις μονάδες εντοπίσει το γεγονός, τότε, στέλνει ένα σήμα στην ΚΜΕ του μικροελεγκτή να διακόψει την εκτέλεση του προγράμματος που εκτελεί. Το σήμα αυτό λέγεται διακοπή και προκαλεί την άμεση εκτέλεση ενός τμήματος κώδικα, το οποίο λέγεται ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής. Ο PIC δέχεται ένα πλήθος διακοπών, οι οποίες κατά βάση προέρχονται από τις διάφορες περιφερειακές μονάδες. Συνήθως μία περιφερειακή μονάδα μπορεί να δώσει ένα σήμα διακοπής, ωστόσο υπάρχει μονάδες που δίνουν περισσότερες διακοπές.[18]

### 2.2.5 Περιφερειακές Μονάδες

Η κύρια διαφορά των μικροελεγκτών από τους μικροεπεξεργαστές είναι ότι οι πρώτοι έχουν ενσωματωμένα περιφερειακά. Αυτό τους κάνει κατάλληλους για πολλές εφαρμογές όπου το ζητούμενο είναι η χρήση περιφερειακών μονάδων, όπως A/D μετατροπέας (Analog to Digital), η θύρα σειριακής επικοινωνίας, κτλ. Πολλές φορές, ένας μικροελεγκτής επιλέγεται για μία εφαρμογή με γνώμονα το είδος και τις δυνατότητες των περιφερειακών που διαθέτει. Ο μικροελεγκτής PIC έχει ενσωματωμένα αρκετά περιφερειακά που του δίνουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για ένα πλήθος εφαρμογών.[19]

## 2.3 Καταχωρητές

Οι καταχωρητές είναι ένα από τα βασικότερα στοιχεία της αρχιτεκτονικής ενός μικροελεγκτή. Η ευκολία και οι δυνατότητες προγραμματισμού του μικροελεγκτή έχουν άμεση σχέση με το πλήθος, το είδος και τις δυνατότητες των καταχωρητών του. Κάθε εντολή ενός προγράμματος χρησιμοποιεί έναν τουλάχιστον καταχωρητή. Ο μικροελεγκτής PIC χρησιμοποιεί δύο ομάδες καταχωρητών, τις οποίες μπορούμε να αναζητήσουμε στη μνήμη δεδομένων του PIC, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3: Μνήμη δεδομένων

Η πρώτη ομάδα, που βρίσκεται στις χαμηλότερες διευθύνσεις, περιέχει καταχωρητές ειδικών λειτουργιών (special function registers), όπως αυτών του ελέγχου των περιφερειακών που βρίσκονται ενσωματωμένα στον μικροελεγκτή. Η δεύτερη ομάδα περιέχει καταχωρητές γενικής χρήσης και αναφέρεται ως αρχείο καταχωρητών γενικού σκοπού (general purpose register file). Εκτός από αυτούς, ο μικροελεγκτής διαθέτει και τους καταχωρητές W και PC. Ο καταχωρητής W λέγεται και καταχωρητής εργασίας, ενώ είναι ανεξάρτητος από τους υπόλοιπους και βρίσκεται άμεσα συνδεδεμένος με την αριθμητική και λογική μονάδα του PIC. Αυτό του δίνει κάποια πλεονεκτήματα, με αποτέλεσμα να είναι απαραίτητος για την εκτέλεση κάποιων εντολών. Παραδείγματος χάρη μπορούμε να δώσουμε εντολή πρόσθεσης ή αφαίρεσης δύο καταχωρητών μόνο εάν ο ένας από αυτούς είναι ο W. Ο μετρητής προγράμματος PC, είναι κοινό στοιχείο της αρχιτεκτονικής όλων των μικροελεγκτών. Στην ουσία, είναι ο μόνος τρόπος με τον οποίο η κεντρική μονάδα επεξεργασίας μπορεί να βρει στη μνήμη την επόμενη εντολή που πρέπει να εκτελέσει. Ο PC σε κάθε εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί, αυξάνεται κατά 1 ώστε να κρατάει την διεύθυνση της κάθε εντολής. Πολλές φορές είναι αναγκαίο να εκτελεστεί μία εντολή που βρίσκεται αποθηκευμένη αρκετές θέσεις μνήμης μακριά από την τελευταία εντολή που εκτελέστηκε. Αυτό επιτυγχάνεται με μία εντολή άλματος, η οποία αλλάζει τη ροή εκτέλεσης του προγράμματος, κι έτσι ο PC καταχωρεί τη διεύθυνση της εντολής που πρέπει να εκτελεστεί. Ο καταχωρητής STATUS είναι επίσης πολύ σημαντικός και ανήκει στην κατηγορία των καταχωρητών ειδικών λειτουργιών.[20]

## 2.4 Διάκριση των PIC μικροελεγκτών

Τους PIC μικροελεγκτές μπορούμε να τους διακρίνουμε σε τέσσερις κατηγορίες[21]:

- Διάκριση με βάση το μέγεθος της λέξης εντολής που μπορούν να εκτελούν
- Διάκριση με βάση τον αριθμό των ακίδων του ολοκληρωμένου
- Διάκριση με βάση την συσκευασία
- Διάκριση με βάση την ονομασία

### 2.4.1 Διάκριση με βάση το μέγεθος της λέξης εντολής που μπορούν να εκτελούν

Σ' αυτή την κατηγορία διάκρισης των μικροελεγκτών υπάρχουν τρεις υποκατηγορίες:

- Βασική κατηγορία με μήκος εντολής 12 ψηφίων
- Μεσαία κατηγορία με μήκος εντολής 14 ψηφίων
- Υψηλή κατηγορία με μήκος εντολής 16 ψηφίων

Έτσι θα πρέπει να έχουμε για κάθε κατηγορία ίδιο μέγεθος διαύλου και μνήμης προγράμματος έτσι ώστε κάθε εντολή που κωδικοποιείτε να διαρκεί ένα κύκλο και να καταλαμβάνουν μία θέση μνήμης. Βέβαια υπάρχει και η δυνατότητα το μήκος των εντολών να είναι μεγαλύτερο από μία λέξη όμως αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου (κύκλου) εκτέλεσης.

### 2.4.2 Διάκριση με βάση τον αριθμό των ακίδων του ολοκληρωμένου

Μπορούμε να κάνουμε διάκριση των μικροελεγκτών με βάση τον αριθμό των ακίδων (pins) και αυτό γίνεται διότι υπάρχουν μικροελεγκτές οι οποίοι έχουν 8 pins, 14 pins, 28 pins, 40 pins ή ακόμη και με 84 pins.



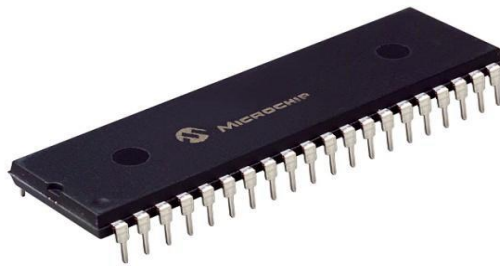
Σχήμα 2.4: Μικροελεγκτές PIC με διαφορετικό αριθμό ακίδων

### 2.4.3 Διάκριση με βάση την συσκευασία

Υπάρχουν διάφορων ειδών συσκευασίες των μικροελεγκτών PIC όπως για παράδειγμα:

- DIP (Dual In Line)
- PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier)
- PQFP (Plastic Quad Flat Pack)

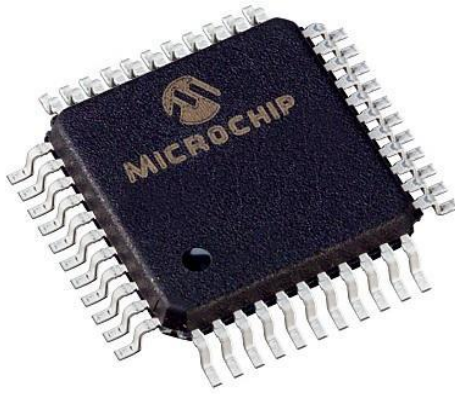
Έτσι βάση της συσκευασίας έχουμε και διαφορετική διάταξη των ακίδων (pins) όπως φαίνεται και στις εικόνες.



Σχήμα 2.5: Συσκευασία DIP



Σχήμα 2.6: Συσκευασία PLCC



Σχήμα 2.7: Συσκευασία PQFP

#### 2.4.4 Διάκριση με βάση την ονομασία

Για την ονομασία των μικροελεγκτών PIC η εταιρία Microchip χρησιμοποιεί μία κωδικοποίηση για την περιγραφή κάποιων χαρακτηριστικών του μικροελεγκτή. Για παράδειγμα:

- Το πρώτο γράμμα (μετά τον αριθμό) που συναντάμε σε ένα όνομα μικροελεγκτή συμβολίζει τον τύπο μνήμης που χρησιμοποιείτε στο μικροελεγκτή (π.χ. PIC16XX). Έτσι όταν βλέπουμε το γράμμα **C** σημαίνει ότι ο μικροελεγκτής έχει μνήμη προγράμματος τύπου EPROM (π.χ. PIC16CXXX). Τα γράμματα **CR** συμβολίζουν τους μικροελεγκτές που έχουν μνήμη προγράμματος τύπου ROM (π.χ. PIC16CRXXX). Συναντώντας το γράμμα **F** μπορούμε να καταλάβουμε πως ο μικροελεγκτής έχει μνήμη προγράμματος τύπου FLASH (π.χ. PIC16FXXX).
- Ο αριθμός που συναντάμε (π.χ. PIC16, PIC12) μπορεί να συμβολίζει τον αριθμό των ακίδων που έχει ο μικροελεγκτής ή το μήκος της εντολής που χρησιμοποιείται (π.χ. PIC12XXX έχει 8 ακίδες). Μικροελεγκτές που έχουν πάνω από 8 ακίδες και 12-ψήφιο ή 14-ψήφιο μήκος εντολής έχουν τον αριθμό 16 στο όνομα τους (π.χ. PIC16XXX). Ενώ αυτοί με συμβολισμό το 17 ή 18 έχουν 16-ψήφιο μήκος εντολής (π.χ. PIC17XXX ή PIC18XXX).
- Νεότερες εκδόσεις παλιών μικροελεγκτών συμβολίζονται με το γράμμα **A** στο τέλος του ονόματος τους (π.χ. PIC16F84A).

#### 2.5 Η «Οικογένεια» PIC18F

Οι μικροελεγκτές της οικογένειας PIC18F ανεπτύχθησαν από την εταιρία Microchip Inc προκειμένου να δώσουν λύσεις σε περιπτώσεις κυκλωμάτων υψηλής πυκνότητας, με ανάγκη μεγάλου αριθμού I/O pins, δηλαδή σε μεγάλες και περίπλοκες εφαρμογές.[22] Είναι ιδανικοί για περιπτώσεις όπου το firmware (πρόγραμμα για τον μικροελεγκτή) γράφεται σε κώδικα C και ειδικότερα στις περιπτώσεις που χρησιμοποιείται λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου (RTOS) σε συνδυασμό με περίπλοκα πρωτόκολλα επικοινωνίας, όπως TCP/IP, CAN, USB ή ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας όπως το ZigBee. Οι βασικές δυνατότητες των μικροελεγκτών της οικογένειας είναι:

- 77 εντολές (RISC)
- Συμβατότητα κώδικα μεταξύ των οικογενειών PIC18F και PIC16
- Χωρητικότητα μνήμης προγράμματος έως 2Mbyte
- Χωρητικότητα μνήμης δεδομένων έως 4Kbytes
- Συχνότητα χρονισμού από DC έως 40MHz
- Βαθμίδα πολλαπλασιαστή 8x8 bit
- Επιλογή προτεραιότητας στις αιτήσεις διακοπής
- Εύρος εντολών 16bit, εύρος δεδομένων 8bit
- Διαθέτουν έως τρεις χρονιστές/απαριθμητές εύρους 16bit
- Διαθέτουν έως δυο χρονιστές/απαριθμητές εύρους 8bit
- Έχουν τέσσερις εξωτερικές πηγές αιτήσεων διακοπής
- Παροχή/απορρόφηση ρεύματος ανά pin (25mA)
- Έως πέντε βαθμίδες capture/compare/PWM
- Βαθμίδα σύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (SPI και I2C)
- Έως δυο βαθμίδες ασύγχρονης σειριακής επικοινωνίας (USART)
- Παράλληλη πόρτα τύπου Slave
- Βαθμίδα αναλογικού σε ψηφιακό σήμα εύρους 10bit, υψηλής ταχύτητας.
- Προγραμματιζόμενη βαθμίδα ανίχνευσης χαμηλής τάσης (LVD)
- Βαθμίδα μηδενισμού κατά την εκκίνηση (POR), χρονιστής εκκίνησης (PWRT) και χρονιστής εκκίνησης ταλαντωτή (OST)
- Χρονιστής watchdogtimer με ενσωματωμένο ταλαντωτή RC
- Δυνατότητα προγραμματισμού του μικροελεγκτή εντός κυκλώματος

Επιπρόσθετα κάποιοι μικροελεγκτές της οικογένειας έχουν εσωτερικές βαθμίδες τύπου:

- CAN 2.0
- USB 2.0
- LCD control
- TCP/IP
- ZigBee
- Directmotorcontrol

## Κεφάλαιο 3ο

---

### 3. Hardware

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγράψουμε τη λειτουργία του συστήματος και θα αναφερθούμε στα βασικά εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του.

#### 3.1 Περιγραφή του συστήματος

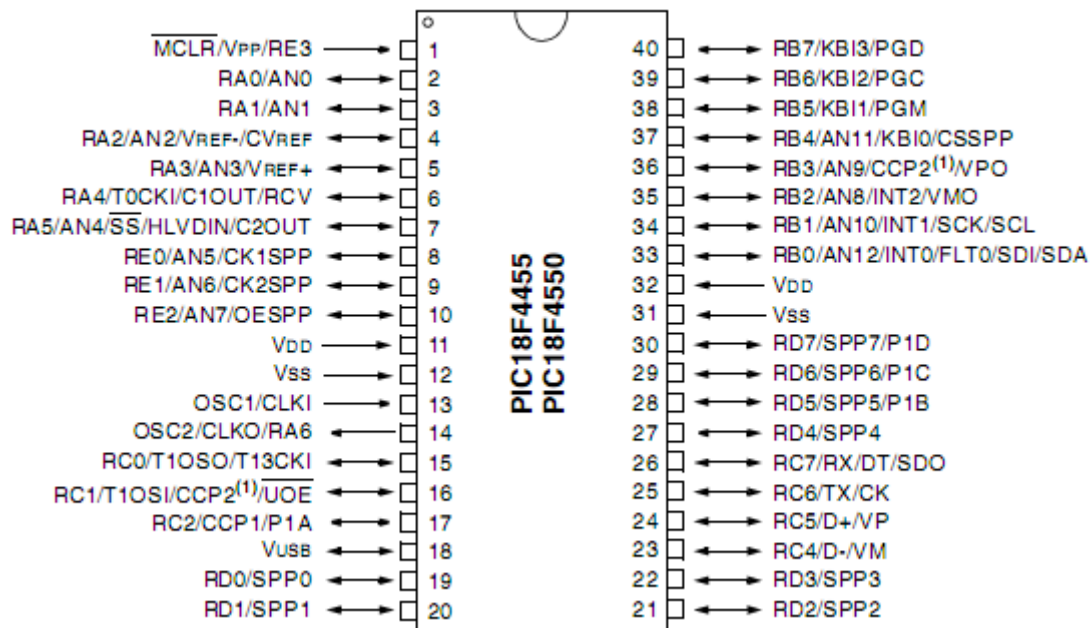
Το σύστημα που σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε έχει σκοπό στην ουσία να καταγράψει το χρόνο αντίδρασης των αντανακλαστικών του ανθρώπου όταν αυτός δεχτεί ένα εξωτερικό ερέθισμα. Στο συγκεκριμένο σύστημα αυτό το ερέθισμα είναι το άναμμα ενός λαμπτήρα LED. Όταν αυτός ο λαμπτήρας ανάψει σε κάποιο τυχαίο χρόνο τότε θα πρέπει να πατηθεί όσο το δυνατόν πιο γρήγορα το push-button (κουμπί) που διαθέτει το σύστημα, έτσι ώστε να καταγραφεί στην οθόνη LCD ο χρόνος που μεσολάβησε από το άναμμα του LED μέχρι το πάτημα του push-button.

#### 3.2 Ο μικροελεγκτής PIC18F4550



Σχήμα 3.1: Ο μικροελεγκτής PIC18F4550

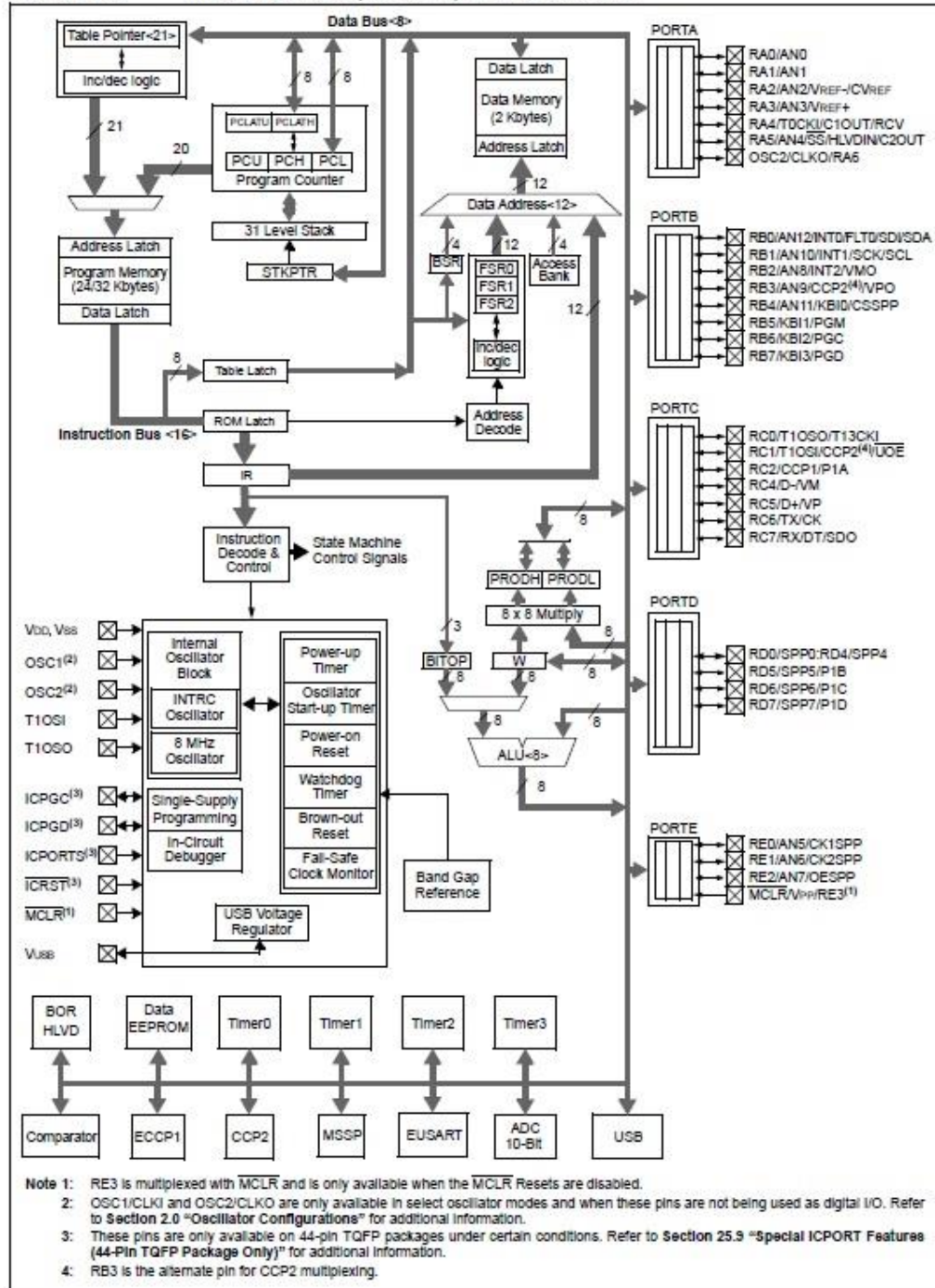
Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής PIC18F4550 ο οποίος ανήκει στην οικογένεια PIC18F της εταιρίας Microchip. Θεωρείται ένας αρκετά ικανός μικροελεγκτής καθώς έχει μεγάλη πληθώρα από λειτουργίες. Είναι αρκετά διάσημος μεταξύ χομπιστών και αρχαρίων, καθώς διαθέτει δυνατότητα διασύνδεσης μέσω USB, καθώς επίσης και ADC λειτουργία. Ο αριθμός των ακροδεκτών του είναι 40 και διατίθεται σε πακέτα DIP, QPF και QPN. Ο PIC18F4550 είναι ένας 8-bit μικροελεγκτής και ανήκει στην γενιά των μικροελεγκτών που χρησιμοποιούν NANOWATT τεχνολογία δηλαδή, απαιτείται ελάχιστη ισχύς από μερικά mW έως ελάχιστα  $\mu$ W για τη λειτουργία του.[23] Στο σχήμα 3.2 βλέπουμε τις εξόδους των ακροδεκτών του.



Σχήμα 3.2: Οι εξοδοί των ακίδων του PIC18F4550

Στο σχήμα 3.3 απεικονίζεται το εσωτερικό μπλοκ διάγραμμα του μικροελεγκτή. Στο κέντρο βρίσκεται η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU), η οποία αποτελείται από μία λογική και αριθμητική μονάδα των 8-bit (ALU), έναν 8x8 hardware πολλαπλασιαστή και έναν καταχωρητή w (Working Register) των 8-bit. Εάν θελήσουμε να στείλουμε μια τιμή σε μία θέση μνήμης θα πρέπει πρώτα να την φορτώσουμε στον καταχωρητή w και μετά να την στείλουμε στην συγκεκριμένη διεύθυνση που θέλουμε. Επίσης ο καταχωρητής w μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση μίας τιμής κατά την εκτέλεση μιας αριθμητικής ή λογικής πράξης.

FIGURE 1-2: PIC18F4455/4550 (40/44-PIN) BLOCK DIAGRAM



Σχήμα 3.3: Εσωτερικό μπλοκ διάγραμμα

Ο παρακάτω πίνακας συνοψίζει τα χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή PIC18F4550.[24]

Features	PIC18F2455	PIC18F2550	PIC18F4455	PIC18F4550
Operating Frequency	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz	DC – 48 MHz
Program Memory (Bytes)	24576	32768	24576	32768
Program Memory (Instructions)	12288	16384	12288	16384
Data Memory (Bytes)	2048	2048	2048	2048
Data EEPROM Memory (Bytes)	256	256	256	256
Interrupt Sources	19	19	20	20
I/O Ports	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, (E)	Ports A, B, C, D, E	Ports A, B, C, D, E
Timers	4	4	4	4
Capture/Compare/PWM Modules	2	2	1	1
Enhanced Capture/Compare/PWM Modules	0	0	1	1
Serial Communications	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART	MSSP, Enhanced USART
Universal Serial Bus (USB) Module	1	1	1	1
Streaming Parallel Port (SPP)	No	No	Yes	Yes
10-Bit Analog-to-Digital Module	10 Input Channels	10 Input Channels	13 Input Channels	13 Input Channels
Comparators	2	2	2	2
Resets (and Delays)	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT	POR, BOR, RESET Instruction, Stack Full, Stack Underflow (PWRT, OST), MCLR (optional), WDT
Programmable Low-Voltage Detect	Yes	Yes	Yes	Yes
Programmable Brown-out Reset	Yes	Yes	Yes	Yes
Instruction Set	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled	75 Instructions; 83 with Extended Instruction Set enabled
Packages	28-pin PDIP 28-pin SOIC	28-pin PDIP 28-pin SOIC	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP	40-pin PDIP 44-pin QFN 44-pin TQFP

Πίνακας 3.1: Τα χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή PIC18F4550

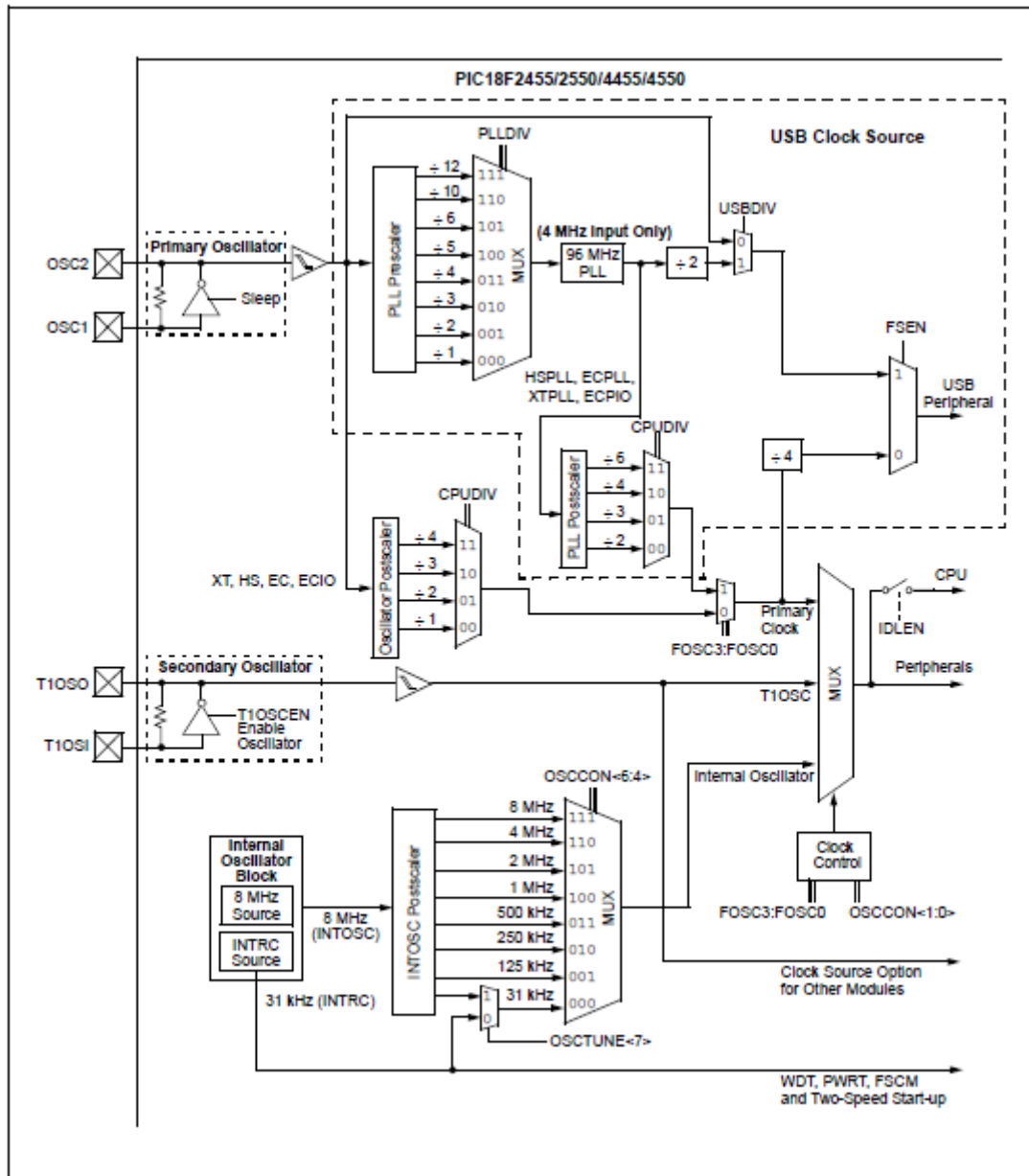
Από τον πίνακα 3.1 καταλαβαίνουμε ότι η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας είναι 48MHz. Η μνήμη προγράμματος φτάνει στα 32KBytes άρα αποθηκεύονται σε αυτήν 16384 εντολές εύρους 16bit. Η μνήμη δεδομένων φτάνει σε χωρητικότητα τα 2048byte, ενώ η εσωτερική μνήμη EEPROM τα 256byte. Οι πηγές που μπορούν να δημιουργήσουν αιτήσεις διακοπής είναι 20 στο σύνολο και στον αριθμό αυτόν περιλαμβάνονται οι εσωτερικές και οι εξωτερικές πηγές. Οι θύρες επικοινωνίας του μικροελεγκτή με το περιβάλλον είναι πέντε (A, B, C, D, E) και το σύνολο των I/O pins είναι 32. Οι βαθμίδες απαρίθμησης χρόνου (timers) είναι τέσσερις στον αριθμό (timer0, timer1, timer2, timer3). Επίσης έχει μία βαθμίδα Capture/Compare/PWM και μία Enhanced Capture/Compare/PWM. Ο μικροελεγκτής έχει ενσωματώσει στις εσωτερικές βαθμίδες του 13 κανάλια Analog-to-Digital Converter (A/D) Module με εύρος 10bit η κάθε μία. Στις εσωτερικές βαθμίδες του μικροελεγκτή περιλαμβάνεται η βαθμίδα σειριακής επικοινωνίας (USART) που μπορεί να λειτουργήσει και

σύγχρονα. Επίσης βλέπουμε ότι το σύνολο εντολών είναι 75 και μπορεί να φτάσει και τις 83. Ακόμα, οι λόγοι που μπορούν να οδηγήσουν τον μικροελεγκτή σε μηδενισμό (cold start) είναι:

- Power-on Reset (POR)
- MCLR Reset during normal operation
- MCLR Reset during power-managed modes
- Watchdog Timer (WDT) Reset (during execution)
- Programmable Brown-out Reset (BOR)
- RESET Instruction
- Stack Full Reset
- Stack Underflow Reset

Τέλος από το datasheet του μικροελεγκτή [25] βλέπουμε ότι το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας του κυμαίνεται από  $-40^{\circ}\text{C}$  έως  $85^{\circ}\text{C}$ , ενώ η τάση λειτουργίας του κυμαίνεται από τα  $+4,2\text{V}$  μέχρι τα  $+5,5\text{V}$ .

Ο PIC18F4550 έχει ενσωματώσει ένα διαφορετικό ταλαντωτή και σύστημα ρολογιού (clock) μικροελεγκτή από τους προηγούμενους PIC18F. Η προσθήκη της μονάδας USB η οποία απαιτεί μια σταθερή πηγή ρολογιού, κάνει απαραίτητη την ύπαρξη μιας ξεχωριστής πηγής ρολογιού που είναι συμβατή με τις δύο προδιαγραφές χαμηλής και πλήρους ταχύτητας της USB. Για την ικανοποίηση αυτών των απαιτήσεων ο PIC18F4550 περιλαμβάνει ένα νέο κλάδο ρολογιού για να παρέχει έναν ρολόι των 48MHz για τη λειτουργία της πλήρους ταχύτητας της USB. Δεδομένου ότι οδηγείται από την κύρια πηγή ρολογιού, ένα πρόσθετο σύστημα prescalers και postscalers έχει προστεθεί για να φιλοξενήσει ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων του ταλαντωτή. Μια επισκόπηση της δομής του ταλαντωτή φαίνεται στο σχήμα 3.4.[26]



Σχήμα 3.4: Διάγραμμα clock

### 3.3 Οθόνη LCD

Στο σύστημα για την απεικόνιση του χρόνου αντίδρασης χρησιμοποιείται μια οθόνη LCD τύπου Character LCD με μπλε φόντο και άσπρους χαρακτήρες της εταιρείας Raystar.[27] Λειτουργεί με τροφοδοσία 5V ενώ μαζί της χρησιμοποιείται και ένα τρίμετρο (ποτενσιόμετρο) των 10Kohm για την ρύθμιση του contrast (αντίθεσης) της οθόνης.



Σχήμα 3.5: Οθόνη LCD

Η οθόνη υγρών κρυστάλλων αποτελεί ένα Module ηλεκτρονικής απεικόνισης. Διαθέτει δύο σειρές συμβολοσειρών, όπου η κάθε μια χωράει μέχρι 16 χαρακτήρες. Κάθε χαρακτήρας εμφανίζεται σε ένα πλαίσιο 5\*7 pixel. Αποτελείται από δύο καταχωρητές, αυτόν για τις εντολές (Command) και αυτόν για τα δεδομένα (Data). Ο πρώτος αποθηκεύει τις εντολές που δίνονται στην LCD οθόνη. Κάθε εντολή που δίνεται έχει ένα προκαθορισμένο έργο. Για παράδειγμα μπορεί να αρχικοποιεί την οθόνη, να την καθαρίζει, να θέτει τον κέρσορα σε μια συγκεκριμένη θέση, να αλλάζει το χρώμα στο φόντο κλπ. Από την άλλη πλευρά, ο Data καταχωρητής αποθηκεύει τα δεδομένα που θα εμφανιστούν στην LCD οθόνη. Τα δεδομένα μετατρέπονται σε ASCII μορφή και αποθηκεύονται αντίστοιχα. Μπορεί να συνδεθεί τόσο με αναλογικές όσο και με ψηφιακές εισόδους. Έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι των 7-Segment οθονών, καθώς μπορεί να εμφανίσει οποιοδήποτε χαρακτήρα και δεν περιορίζεται στα αριθμητικά ψηφία 0-9. Ακόμα, είναι οικονομική και προγραμματίζεται εύκολα.

Η διασύνδεση της οθόνης είναι parallel (παράλληλη) και διαθέτει, όπως θα δούμε και στην εικόνα, τα παρακάτω pins (ακροδέκτες):

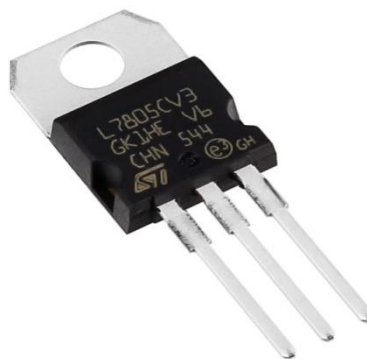
- Γείωση (GND)
- Τροφοδοσία (VCC)
- Ρύθμιση αντίθεσης (VEE)
- Register Select (RS)
- Read/Write (R/W)
- Enable Pin (EN)
- (DB0 – DB7)
- Φωτισμός LED A(+)/K(-)



Σχήμα 3.6: Τα pins της οθόνης LCD

### 3.4 Ισοσταθμιστής τάσης L78S05CV

Για την τροφοδοσία του συστήματος χρησιμοποιούμε μια μπαταρία των 9V. Επειδή όμως ο μικροελεγκτής λειτουργεί στα 5V χρησιμοποιήσαμε έναν ισοσταθμιστή τάσης (voltage regulator) και συγκεκριμένα το L78S05CV της εταιρείας STMicroelectronics. Το συγκεκριμένο regulator έχει τη δυνατότητα να αποδίδει σταθερά τάση 5V.



Σχήμα 3.7: Voltagerregulator L78S05CV

Επιπλέον κάποια χαρακτηριστικά του ολοκληρωμένου [28]:

- Polarity: Positive
- Output voltage: 5V
- Output current: 2A

- Input Voltage MAX: 35 V
- Input Voltage MIN: 8 V
- Mounting Style: Through Hole
- Case: TO220
- Minimum Operating Temperature: 0 C
- Maximum Operating Temperature: + 150 C
- Load Regulation: 100 mV
- Line Regulation: 100 mV
- PSRR / Ripple Rejection - Typ: 60 dB
- Number of Outputs: 1 Output

### **3.5 Υπόλοιπα υλικά**

Στα υπόλοιπα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συστήματος συμπεριλαμβάνονται οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές, τα LED, η κλέμα, οι πινοσειρές, το pushbutton, ένας διακόπτης on/off και τέλος ένας κρύσταλλος στα 20MHz.

## Κεφάλαιο 4ο

### 4. Σχεδιασμός και κατασκευή της πλακέτας PCB

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε το τι είναι μια πλακέτα PCB και στη συνέχεια θα δούμε πως έγινε η σχεδίαση και η υλοποίηση της συγκεκριμένης πλακέτας. Θα δούμε το σχηματικό της πλακέτας αλλά και την τελική τυπωμένη πλακέτα.

#### 4.1 Εισαγωγή στις πλακέτες PCB

Μια πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος[29] (PCB Printed Circuit Board ή PWB Printed Wiring Board ή Perforated Circuit Board), είναι μια πλακέτα η οποία χρησιμοποιείται για την υποστήριξη και διασύνδεση ηλεκτρονικών στοιχείων μέσω αγώγιμων μονοπατιών τα οποία τυπώνονται πάνω στην πλακέτα. Τα ηλεκτρονικά αυτά στοιχεία συγκολλούνται στις νησίδες ή πίστες (pads), οι οποίες είναι τμήματα των αγώγιμων μονοπατιών με αρκετό χώρο για την πραγματοποίηση μιας επαφής κόλλησης (soldered joint) μεταξύ του στοιχείου και του αγώγιμου μονοπατιού. Οι πίστες μπορεί να έχουν τρύπες οι οποίες διαπερνούν την πλακέτα για να επιτυγχάνεται η στήριξη των στοιχείων (through-hole technology) ή το στοιχείο τοποθετείται και γίνεται η κόλλησή του απευθείας στην πίστα (τεχνολογία επιφανειακής στήριξης surface-mount technology). Ο πιο συνηθισμένος τρόπος κατασκευής πλακετών βασίζεται στην φωτολιθογραφία (photolithography). Πιο συγκεκριμένα, οι ανεπιθύμητες περιοχές χαλκού ορίζονται μέσω στρώσεων φωτοευαίσθητης ουσίας όπου με την έκθεσή της σε υπεριώδη ακτινοβολία είναι δυνατή η απομάκρυνσή της. Με την απομάκρυνση της φωτοευαίσθητης ουσίας ο ανεπιθύμητος χαλκός είναι δυνατόν να αφαιρεθεί μέσω ειδικών χημικών διεργασιών, συνήθως εφαρμόζοντας ένα μίγμα υπεροξειδίου του υδρογόνου και υδροχλωρικού οξέος. Με αυτόν τον τρόπο παραμένουν μόνον οι επιθυμητές περιοχές χαλκού που ορίζουν και το ηλεκτρονικό μας κύκλωμα.

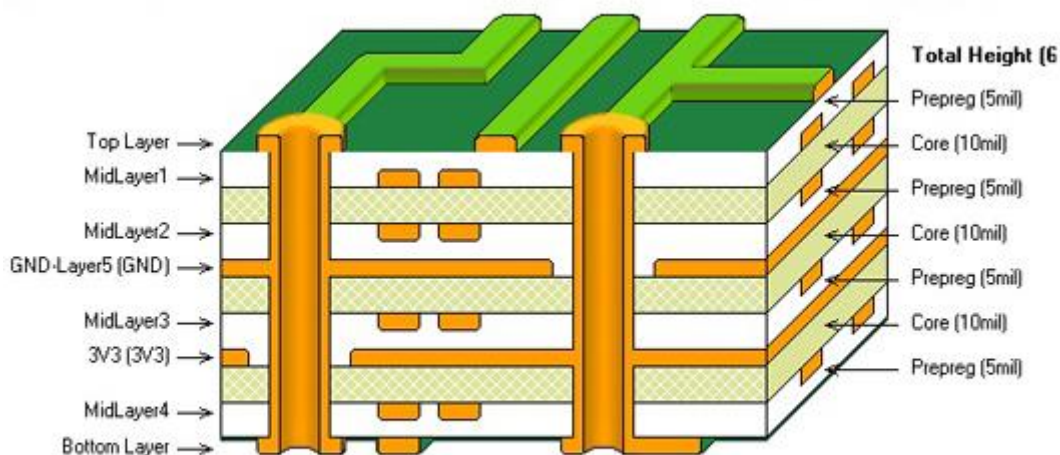


Image courtesy Terry Kozlyk

(c) VentureOutsource.com

Σχήμα 4.1: Η δομή μιας PCB πλακέτας

## 4.2 Ταξινόμηση των PCBs

Οι συνεχείς βελτιώσεις στην τεχνολογία κατασκευής PCB έχουν σαν αποτέλεσμα μια ποικιλία στους τύπους των PCB που ταιριάζουν καλύτερα με τα νέα σχέδια των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Έτσι μπορούμε να ταξινομήσουμε τις PCB σε τρεις κατηγορίες[30]:

- Τυπωμένη πλακέτα μονής ή απλής όψης (single-sided PCB)
- Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης (double-sided PCB)
- Τυπωμένη πλακέτα πολλαπλών στρωμάτων (multi-layer PCB)

### 4.2.1 Τυπωμένη πλακέτα μονής ή απλής όψης (single-sided PCB)

Σε μία τυπωμένη πλακέτα μονής όψης συνήθως όλες οι αγωγίμες διαδρομές (tracks) βρίσκονται σε μία πλευρά ενώ τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα βρίσκονται στην άλλη πλευρά. Σε κάποιες περιπτώσεις τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα μπορούν να βρίσκονται στην ίδια πλευρά με τις διαδρομές ή και στις δύο πλευρές ανάλογα με το πόσο σύνθετο είναι το σχέδιο.

### 4.2.2 Τυπωμένη πλακέτα διπλής όψης (double-sided PCB)

Οι PCBs αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν αγωγίμες διαδρομές σε κάθε πλευρά της πλακέτας. Και σε αυτή την κατηγορία τα εξαρτήματα μπορούν να τοποθετηθούν είτε στη μία είτε στην άλλη πλευρά είτε και στις δύο. Το συνδυασμένο αυτό αποτέλεσμα εξασφαλίζει μεγαλύτερη πυκνότητα εξαρτημάτων συγκριτικά με τις PCBs μονής όψης. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των αγωγίμων διαδρομών στα δύο επίπεδα επιτυγχάνεται με έναν αριθμό από μεθόδους όπως, ακίδες μεταξύ των επιπέδων, καλώδια, τους ακροδέκτες των εξαρτημάτων και επιμεταλλωμένες τρύπες (plated through holes). Η τελευταία μέθοδος είναι σήμερα η συνηθέστερη και υλοποιείται με την επικάλυψη του τοιχώματος της οπής με αγωγίμο υλικό. Οι επιμεταλλωμένες τρύπες οι οποίες χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την διασύνδεση αγωγίμων διαδρομών μεταξύ των δύο αντίθετων επιπέδων της πλακέτας είναι γνωστές σαν περάσματα (vias).

### 4.2.3 Τυπωμένη πλακέτα πολλαπλών στρωμάτων (multi-layer PCB)

Όπως προκύπτει από την ονομασία οι πλακέτες αυτές έχουν πολλαπλά επίπεδα με αγωγίμες διαδρομές, δύο από τις οποίες βρίσκονται στις επιφάνειες της πλακέτας. Τα υπόλοιπα επίπεδα βρίσκονται στο εσωτερικό της πλακέτας η οποία κατασκευάζεται με έναν αριθμό αγωγίμων διαδρομών που συνδυάζονται με μονωτικά επίπεδα. Οι συνδέσεις μεταξύ των αγωγίμων διαδρομών υλοποιείται με περάσματα μεταξύ των επιπέδων (through via) είτε με κρυφά περάσματα (buried vias).

Ένα πέρασμα μεταξύ των επιπέδων απλά διαπερνά την πλακέτα ενώ ένα κρυφό πέρασμα διασυνδέει εσωτερικές αγωγίμες διαδρομές.

### 4.3 Παραλλαγές σχεδίασης PCBs

Οι παραλλαγές στην σχεδίαση των PCBs σύμφωνα με τα παραπάνω είναι οι ακόλουθες:

- Κυκλώματα με σπές μεταξύ των επιπέδων (through-hole circuits)
- Κυκλώματα με εξαρτήματα επιφανειακής στήριξης (surface mounted circuits)
- Υβριδικά κυκλώματα (hybrid circuits)

### 4.4 Ο Σχεδιασμός, η τύπωση και η τελική μορφή της PCB

Παρακάτω θα δούμε πως έγινε το ηλεκτρονικό σχέδιο της πλακέτας με τη χρήση ενός προγράμματος σχεδίασης. Επίσης θα δούμε την τελική τυπωμένη πλακέτα αλλά και την πλακέτα με την τοποθέτηση όλων των εξαρτημάτων.

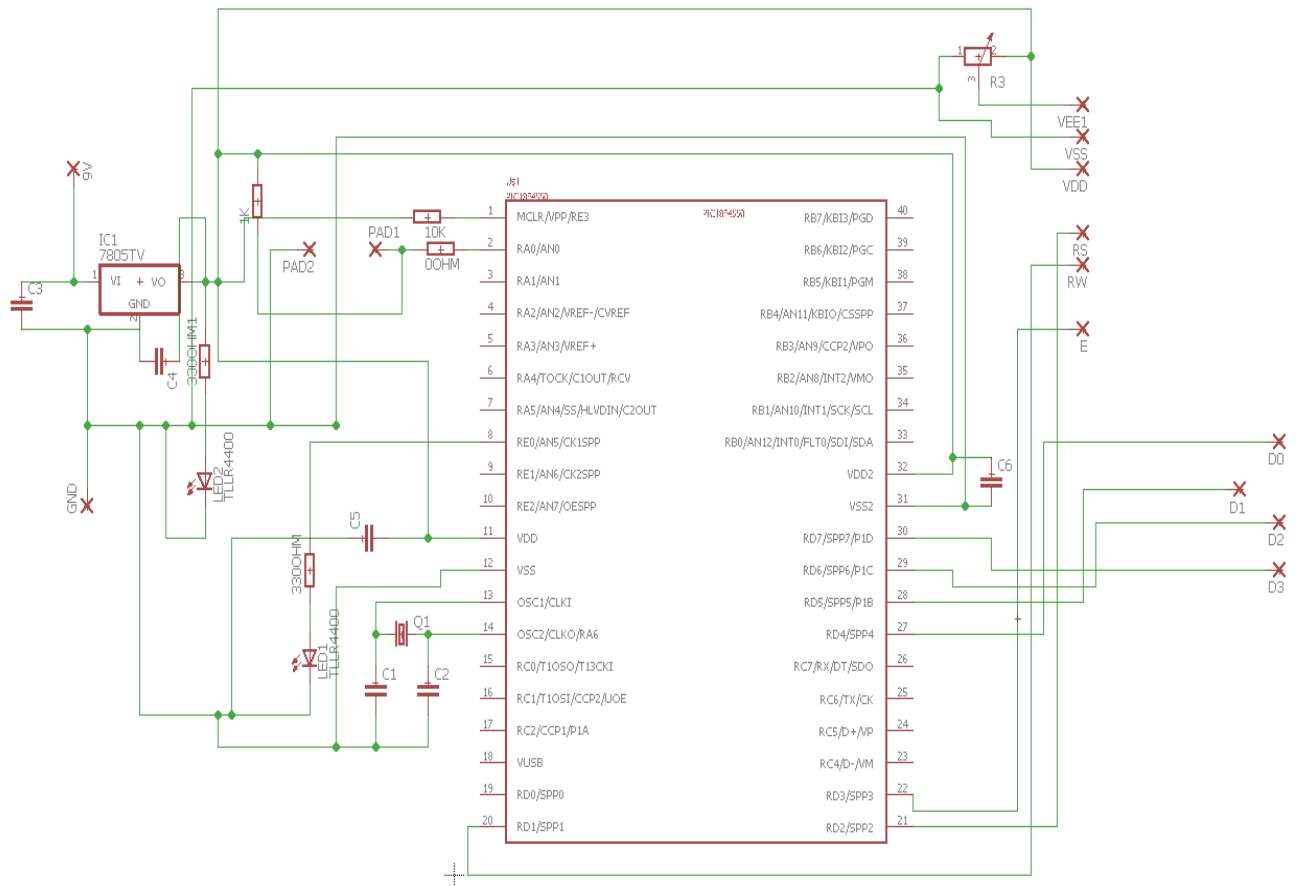
#### 4.4.1 Το πρόγραμμα σχεδίασης CadSoft Eagle

Το πρόγραμμα Eagle της εταιρείας CadSoft είναι ένα περιβάλλον σχεδίασης σχηματικών ηλεκτρονικών διαγραμμάτων και πλακετών. Μεταξύ άλλων περιλαμβάνει ένα σχεδιαστή διαγραμμάτων, ένα σχεδιαστή πλακέτας και τον αυτόματο δρομολογητή λωρίδων χαλκού. Η κατασκευή μιας πλακέτας ξεκινάει από τη δημιουργία του σχηματικού διαγράμματος του κυκλώματος, του οποίου θέλουμε να φτιάξουμε την πλακέτα, με τη βοήθεια του σχεδιαστή διαγραμμάτων. Στη συνέχεια δημιουργούμε το σχέδιο των λωρίδων χαλκού με τη βοήθεια του σχεδιαστή πλακέτας. Κάποιος μπορεί να ορίσει μόνος του τις διαδρομές του χαλκού ή να χρησιμοποιήσει τον αυτόματο δρομολογητή χάλκινων λωρίδων. Εάν το κύκλωμα είναι σχετικά μικρό, τότε κάποιος μπορεί να δημιουργήσει το σχέδιο της πλακέτας απευθείας στο σχεδιαστή πλακέτας χωρίς την δημιουργία σχηματικού διαγράμματος. Τέλος το σχέδιο αποτυπώνεται πάνω σε μια πλακέτα με διάφορες μεθόδους και ακολουθεί η αποχάλκωσή της.

#### 4.4.2 Το σχηματικό διάγραμμα της πλακέτας

Παρακάτω έχουμε το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος της πλακέτας που σχεδιάστηκε μέσω του προγράμματος CadSoft Eagle. Το κέντρο του κυκλώματος είναι ο μικροελεγκτής PIC18F4550 και γύρω από αυτόν αναπτύσσεται το υπόλοιπο κύκλωμα. Κατ' αρχήν στην τροφοδοσία του μικροελεγκτή έχουμε συνδέσει μια πηγή των 9V η οποία στη δική μας περίπτωση είναι μια μπαταρία, αλλά λόγω του ότι εμείς θέλουμε τάση 5V για τη λειτουργία του μικροελεγκτή συνδέουμε την μπαταρία με τον ισοσταθμιστή τάσης L78S05CV μαζί με δύο πυκνωτές των 100nF και έτσι έχουμε σταθερά την τροφοδοσία που θέλουμε στα 5V. Επίσης στην αρχή του κυκλώματος έχουμε συνδέσει

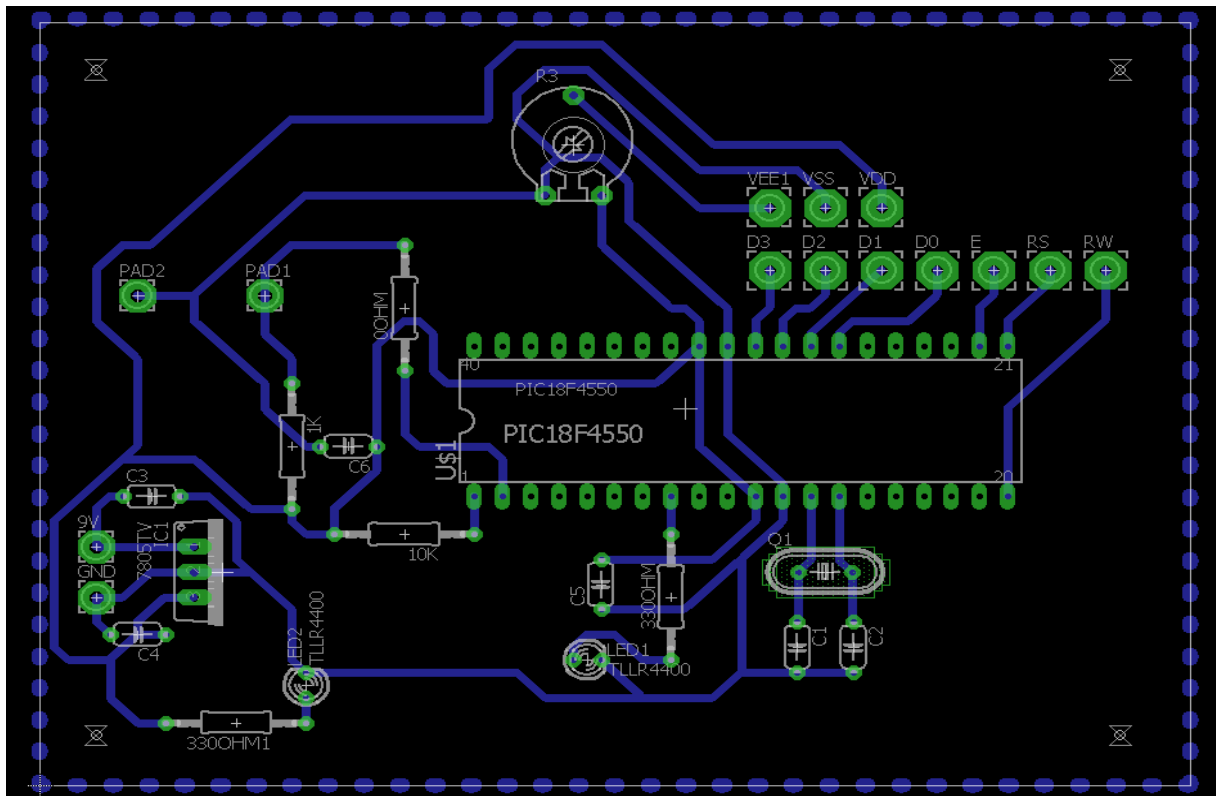
ένα LED πράσινου χρώματος με μια αντίσταση των 330Ω το οποίο μας δείχνει αν το κύκλωμα παίρνει την τροφοδοσία που του δίνουμε. Ακόμα, έχουμε τη σύνδεση ενός κρυστάλλου των 20MHz σε συνδυασμό με δύο πυκνωτές των 22pF, ένα δεύτερο LED με μια αντίσταση των 330Ω το οποίο θα ανάβει σε τυχαίο χρόνο καθώς και ένα push-button το οποίο θα πατάει ο χρήστης. Τέλος έχουμε τη σύνδεση της οθόνης LCD με τον μικροελεγκτή για την απεικόνιση του χρόνου αντίδρασης και μαζί της ένα τρίμερ των 10KΩ για την ρύθμιση της αντίθεσης της οθόνης.



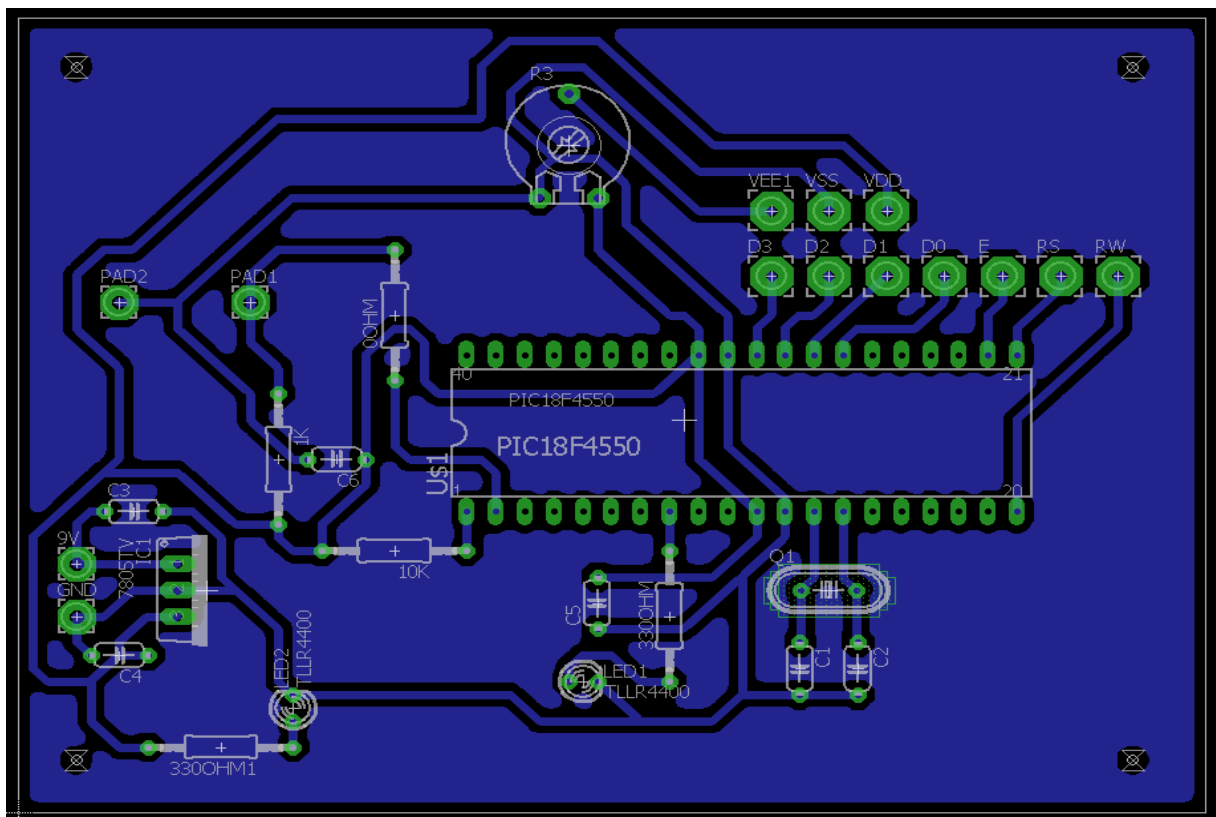
Σχήμα 4.2: Σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος

#### 4.4.3 PCB Layout

Εφόσον έχουμε ολοκληρώσει το σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος το Eagle μας δίνει τη δυνατότητα να το μετατρέψουμε σε αυτό που ονομάζουμε PCB layout. Το layout του κυκλώματος, περιέχει όλες τις ηλεκτρικές συνδέσεις μεταξύ των στοιχείων του κυκλώματος και πρέπει να αποτυπωθεί πάνω στην επιφάνεια χαλκού της πλακέτας. Σε αυτό βλέπουμε τις τελικές θέσεις που θα έχουν τα εξαρτήματα πάνω στη πλακέτα καθώς και τους αγωγούς που υλοποιούν τις συνδέσεις του κυκλώματος. Η τύπωση, δηλαδή η αποτύπωση του layout πάνω στην πλακέτα, γίνεται με χρήση ειδικής φωτοευαίσθητης πλακέτας και μιας χημικής διαδικασίας η οποία επιτυγχάνει την αφαίρεση του χαλκού από τις μη-αγώγιμες περιοχές. Στις εικόνες παρακάτω βλέπουμε το PCB layout όπου οι μπλε γραμμές δείχνουν τους αγωγούς και τα πράσινα σημεία μας δείχνουν τα pad κάθε στοιχείου.

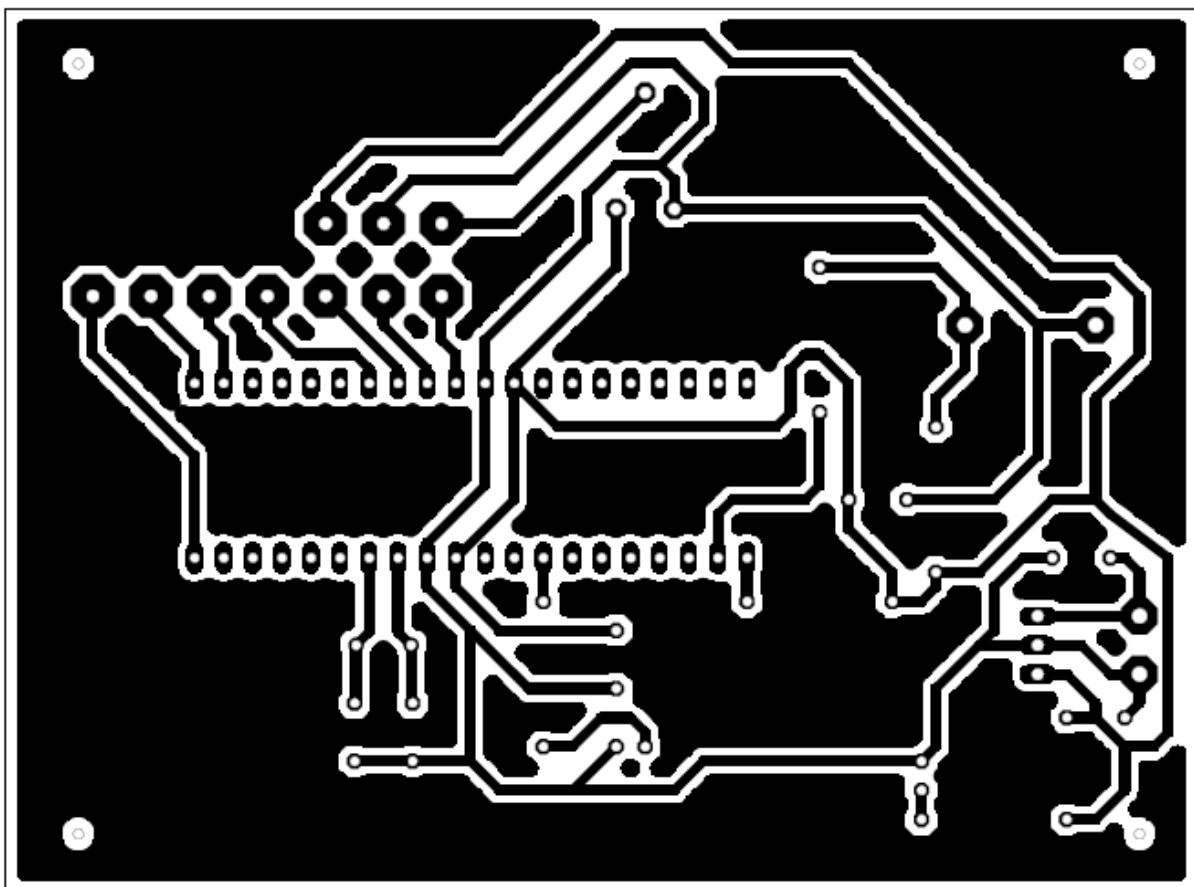


Σχήμα 4.3: Αρχικό PCB Layout με εξαρτήματα (top view)

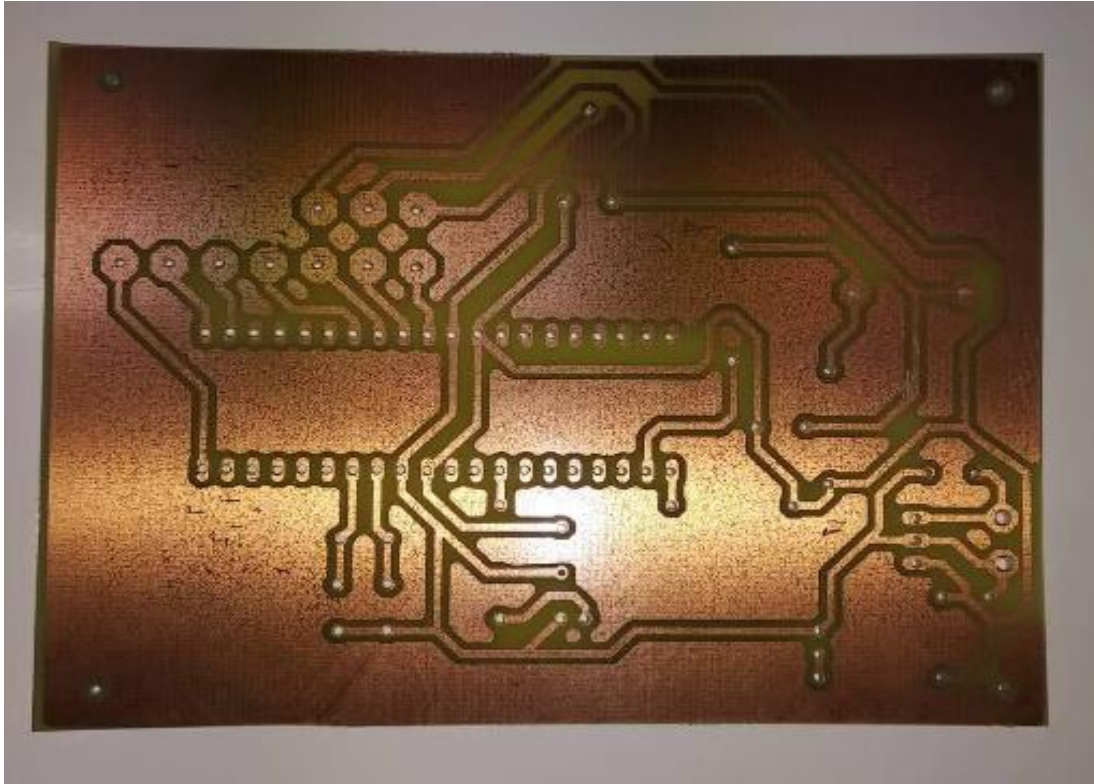


Σχήμα 4.4: Τελικό PCB Layout με εξαρτήματα (top view)

Λόγο του ότι επιλέχθηκε η μέθοδος της φωτοευαίσθητης πλακέτας για την τύπωση του κυκλώματος χρειάζεται να τυπωθεί από το Eagle η πλακέτα σε διαφάνεια πολύ καλής ποιότητας. Στη διαφάνεια θα πρέπει να φαίνονται μόνο οι αγωγοί τα pads και το κομμάτι του χαλκού που θέλουμε να μείνει στην πλακέτα. Ταυτόχρονα η διαφάνεια θα πρέπει να τυπωθεί αντεστραμμένη (mirrored) διότι σε αντίθετη περίπτωση η πλακέτα θα ήταν ανάποδη με αποτέλεσμα την αποτυχία κατασκευής. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαφάνεια πρέπει να τυπωθεί με scale factor = 1. Αυτή είναι η πιο σημαντική ρύθμιση καθώς ρυθμίζει τις διαστάσεις της πλακέτας να είναι 1/1. Αν αλλάξουμε τιμή στον scale factor τότε δε θα ευθυγραμμιστούν τα στοιχεία με τις τρύπες στην πλακέτα με αποτέλεσμα την αχρήστευση της πλακέτας. Παρακάτω θα δούμε το bottom layout της πλακέτας που στάλθηκε σε ιδιωτικό εργαστήριο για να γίνει η τύπωσή του στην πλακέτα αλλά και την τελική τυπωμένη πλακέτα χωρίς τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα.



Σχήμα 4.5: PCB Layout (bottom view)



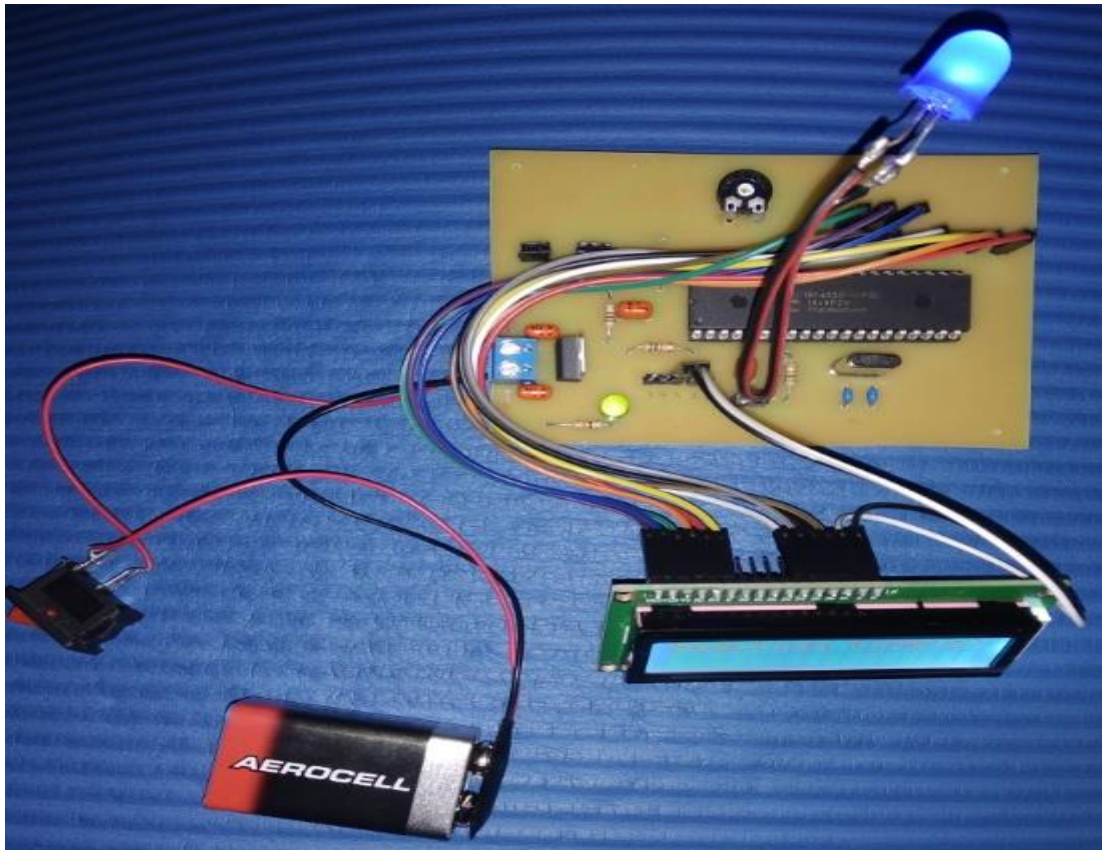
Σχήμα 4.6: Τελική τυπωμένη πλακέτα

#### 4.5 Τελική πλακέτα

Στις επόμενες εικόνες θα δούμε την τελική πλακέτα με τα εξαρτήματα επάνω. Θα δούμε ότι έχουν τοποθετηθεί pins αρσενικά και θηλυκά για τη σύνδεση της οθόνης LCD, του δεύτερου LED και του push-button. Ακόμα έχουν προστεθεί 5pins για τη σύνδεση του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή για την φόρτωση του προγράμματος μέσω μιας συσκευής προγραμματισμού.



Σχήμα 4.7: Η τελική πλακέτα με τα εξαρτήματα



Σχήμα 4.8: Η σύνδεση των υπόλοιπων εξαρτημάτων

## Κεφάλαιο 5ο

---

### 5. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε το περιβάλλον προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, την γλώσσα προγραμματισμού και αναλυτικά τον πηγαίο κώδικα που γράφτηκε και χρησιμοποιήθηκε.

#### 5.1 Το περιβάλλον προγραμματισμού MPLAB

Για την υλοποίηση του πηγαίου κώδικα χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα MPLAB το οποίο είναι ένα πρόγραμμα εξομοίωσης που διατίθεται δωρεάν από την εταιρία Microchip. Το MPLAB είναι στην πραγματικότητα ένα πολλαπλό εργαλείο ανάπτυξης στο οποίο εμπεριέχονται τα προγράμματα:

- Assembler για τη μετάφραση του αρχείου προγράμματος .asm σε γλώσσα μηχανής
- Μετατροπέας του αρχείου στην κατάλληλη μορφή .hex για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή
- Εξομοιωτής προγραμματισμού της μνήμης ROM του μικροελεγκτή

Η διαδικασία προγραμματισμού μέσω του MPLAB ξεκινάει με την δημιουργία ενός νέου project το οποίο θα αποθηκευτεί σε έναν ξεχωριστό φάκελο που θα δημιουργήσουμε στον υπολογιστή. Μετά από μερικά ακόμα βήματα που απαιτούνται φτάνουμε στο σημείο να δημιουργήσουμε και να εμφανίσουμε ένα άδειο αρχείο στο οποίο εμείς θα γράψουμε τον πηγαίο κώδικα. Αφού γραφτεί το πρόγραμμα θα πρέπει να σωθεί και κατόπιν να μεταφραστεί σε γλώσσα μηχανής από την επιλογή Build All. Ο assembler και ο linker είναι δύο από τα προγράμματα που μετέχουν στη λειτουργία αυτή. Ο assembler μεταφράζει τον κώδικα που είναι σε μνημονική γλώσσα assemble (ή C στην περίπτωση μας) και έχει κατάληξη .asm σε γλώσσα μηχανής. Τα αρχεία που δημιουργούνται θα έχουν το ίδιο όνομα αλλά κατάληξη hex και Ist. Το αρχείο hex χρειάζεται ο προγραμματιστής για να περάσει τον κώδικα στο chip. Το αρχείο με κατάληξη Ist είναι βοηθητικό αρχείο και χρησιμεύει για τον έλεγχο του προγράμματος που έχουμε γράψει για συντακτικά λάθη και όχι για λάθη λογικής. Αν υπάρχουν λάθη που πρέπει να διορθωθούν θα εμφανιστεί το μήνυμα Build Failed. Εφόσον διορθωθούν ή δεν υπήρχαν από την αρχή εμφανίζεται το μήνυμα Build Succeeded. Για να περάσουμε τώρα αυτό το πρόγραμμα στον PIC18F4550 το MPLAB μας δίνει μέσω του μενού Programmer διάφορες επιλογές μια από τις οποίες είναι ο προγραμματιστής PICkit 3 που χρησιμοποιήσαμε και θα δούμε παρακάτω.

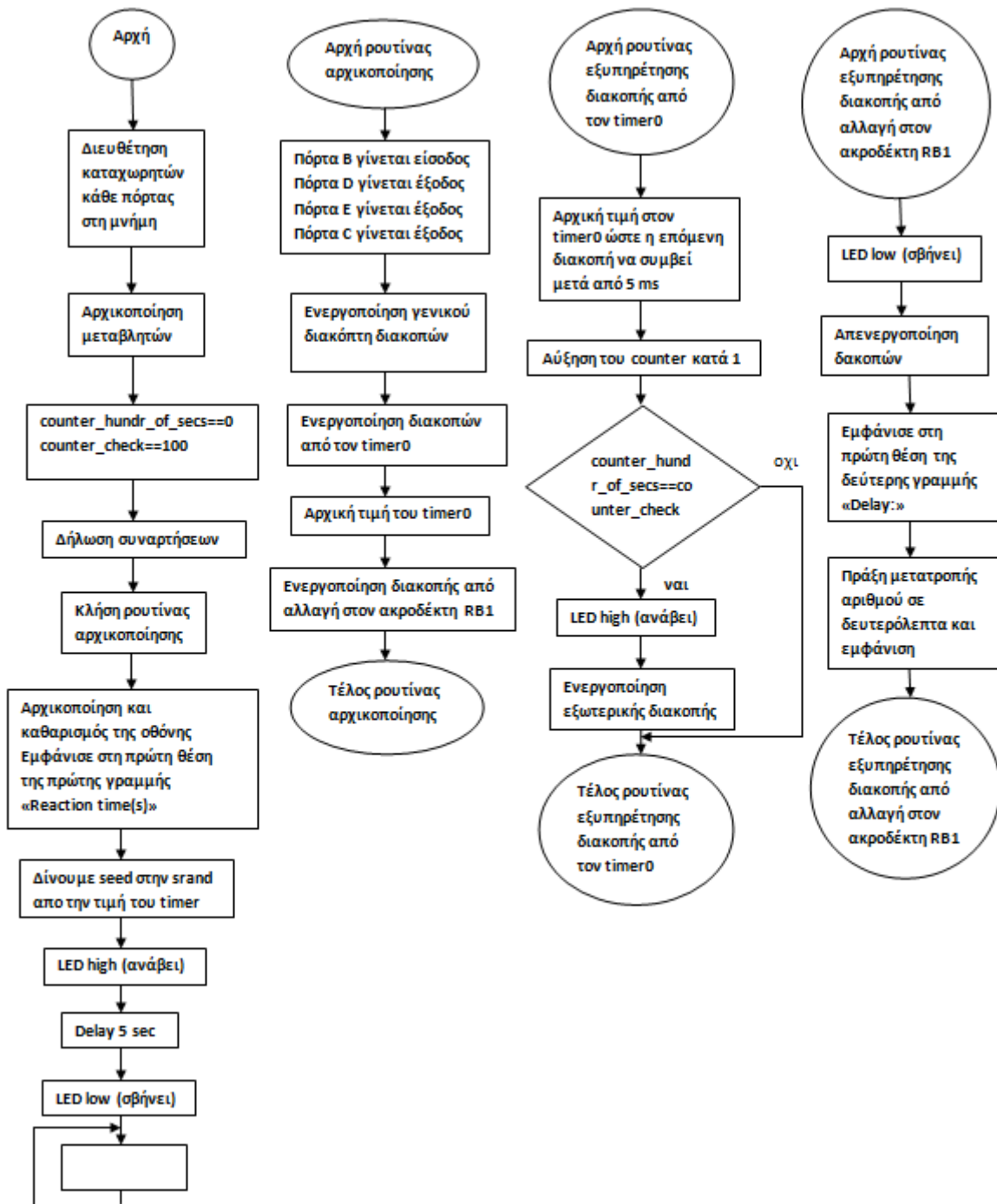
#### 5.2 Η γλώσσα προγραμματισμού C

Ο πηγαίος κώδικας του προγράμματος που φορτώθηκε στον μικροελεγκτή γράφτηκε στην γλώσσα προγραμματισμού C.[31] Η C είναι μια διαδικαστική γλώσσα προγραμματισμού γενικής χρήσης, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά, μεταξύ του 1969 και του 1973, από τον Ντένις Ρίτσι στα εργαστήρια AT&T BellLabs για να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη του λειτουργικού

συστήματος UNIX. Όπως οι περισσότερες διαδικαστικές γλώσσες προγραμματισμού που ακολουθούν την παράδοση της ALGOL, η C έχει δυνατότητες δομημένου προγραμματισμού και επιτρέπει τη χρήση αναδρομής (αλλά όχι και εμφωλευμένων συναρτήσεων), ενώ, ο στατικός ορισμός του τύπου των μεταβλητών που επιβάλλει, προλαμβάνει πολλά σφάλματα κατά την χρήση τους. Ο σχεδιασμός της περιλαμβάνει δομές που μεταφράζονται αποδοτικά σε τυπικές εντολές μηχανής (machine instructions) και εξ αιτίας αυτού χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές που παλιότερα γράφονταν σε συμβολική γλώσσα (assembly language). Αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό της, που έχει σαν συνέπεια και την αυξημένη ταχύτητα εκτέλεσης των εφαρμογών που γράφονται σε αυτή, καθώς και το γεγονός ότι είναι διαθέσιμη στα περισσότερα σημερινά λειτουργικά συστήματα, συνέβαλε κατά πολύ στην καθιέρωση της και την χρήση της για ανάπτυξη λειτουργικών συστημάτων και λοιπών προγραμμάτων συστήματος (system software), αλλά και απλών εφαρμογών. Η C συγκαταλέγεται πλέον στις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες γλώσσες προγραμματισμού όλων των εποχών και πολλές νεότερες γλώσσες έχουν επηρεαστεί άμεσα ή έμμεσα από αυτήν. Η C είναι μια σχετικά μινιμαλιστική γλώσσα προγραμματισμού. Ανάμεσα στους σχεδιαστικούς στόχους που έπρεπε να καλύψει η γλώσσα περιλαμβανόταν το ότι θα μπορούσε να μεταγλωττιστεί άμεσα με τη χρήση μεταγλωττιστή ενός περάσματος (single-pass compiler), με άλλα λόγια, ότι θα απαιτούνταν μόνο ένας μικρός αριθμός από εντολές σε γλώσσα μηχανής για κάθε βασικό στοιχείο της, χωρίς εκτεταμένη υποστήριξη στον χρόνο εκτέλεσης. Ως αποτέλεσμα, είναι δυνατό να γραφτεί κώδικας σε C σε χαμηλό επίπεδο προγραμματισμού με ακρίβεια ανάλογη της συμβολικής γλώσσας, στην πραγματικότητα η C ορισμένες φορές αποκαλείται «συμβολική γλώσσα υψηλού επιπέδου» («high-level assembly») ή «φορητή συμβολική γλώσσα» («portable assembly»).

### 5.3 Διάγραμμα ροής

Διάγραμμα ροής [32] είναι ένα κοινού τύπου διάγραμμα που αναπαριστά έναν αλγόριθμο ή μια διαδικασία, δείχνοντας τα βήματα ως κουτιά διαφόρων ειδών που συνδέονται μεταξύ τους με βέλη. Αυτή η διαγραμματική παρουσίαση μπορεί να δώσει λύση βήμα προς βήμα σε ένα γνωστό πρόβλημα. Τα δεδομένα αναπαρίστανται σε κουτιά και τα βέλη δείχνουν τη ροή των δεδομένων. Τα διαγράμματα ροής χρησιμοποιούνται στην ανάλυση, το σχεδιασμό, την τεκμηρίωση ή τον έλεγχο μιας διαδικασίας ή ενός προγράμματος σε διάφορα πεδία. Πριν από κάθε σύνθεση προγράμματος επιβάλλεται πάντοτε η κατασκευή ενός διαγράμματος ροής. Το διάγραμμα ροής μας δίνει την δυνατότητα να βάλουμε σε σειρά τις σκέψεις για την σύνθεση του κώδικα δίνοντας μας παράλληλα μια οπτική σε όλο το φάσμα του προγράμματος. Το διάγραμμα ροής του προγράμματος παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα ροής προγράμματος

## 5.4 Ο κώδικας

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τον πηγαίο κώδικα που φορτώθηκε στον μικροελεγκτή.

```
#include <main.h>

#define RAND_MAX 1000 //από 0 έως RAND_MAX είναι η περιοχή παραγωγής τυχαίων αριθμών
                        //από την γεννήτρια τυχαίων αριθμών rand(). Το RAND_MAX το
                        //βάζουμε πριν την #include<STDLIB.H>. Έτσι δεν χρησιμοποιείται η
                        //default τιμή τηςSTDLIB που είναι 32767. Αν βάλουμε την #define
                        //RAND_MAX μετά την #include<STDLIB.H> χρησιμοποιείται για
                        //RAND_MAX η default τιμή 32767.

#include <STDLIB.H>

#include <flex_lcd.h> //πρόγραμμα εμφάνισης σε οθόνη LCD δύο γραμμών

#define PORTB=0xf81 //στη θέση 0xf81 είναι ο καταχωρητής δεδομένων της πόρτας B
#define PORTD=0xf83 //στη θέση 0xf83 είναι ο καταχωρητής δεδομένων της πόρτας D

//Δήλωση μεταβλητών
float delay_in_seconds; //Μεταβλητή για την καθυστέρηση σε δευτερόλεπτα
int32 counter_hundr_of_secs=0; //Μετρητής διακοπών (προγραμματίστηκαν κάθε 10 ms)
int32 counter_check=100; //Μετρητής ελέγχου διακοπών. Όταν ο μετρητής διακοπών γίνει ίσος
                        //με τον μετρητή ελέγχου διακοπών θα ανάψει το LED.

//Δήλωση συναρτήσεων
void timer0_int (void); //Ρουτίνα διακοπών από τον timer0
void init (void); //Ρουτίνα αρχικών ρυθμίσεων
void ext_int0 (void); //Ρουτίνα διακοπών από αλλαγή κατάστασης στον ακροδέκτη RB0/INT0

void main()
{
    init(); //Κλήση της ρουτίνας αρχικοποίησης
    lcd_init(); //Αρχικοποίηση της οθόνης
```

```

lcd_putc("\f"); //Καθαρισμός της οθόνης
lcd_gotoxy(1,1); //Πήγαινε στην 1η θέση της πρώτης γραμμής της οθόνης
lcd_putc("Reaction time(s)"); //Εμφάνισε αυτό το μήνυμα
srand(get_timer0()); //Δίνουμε σπόρο (seed) στη γεννήτρια τυχαίων αριθμών από την τιμή του timer
output_high(PIN_E0); //Ανάβει το LED στο ξεκίνημα για να ελέγξουμε ότι δουλεύει
delay_ms(5000); //Μένει αναμμένο για 5 δευτερόλεπτα
output_low(PIN_E0); //Σβήνει το LED
while(TRUE) //Ατέρμων βρόχος
{
}
} //Κλείνει τη main

//Ρουτίνα διακοπής από τον timer0
#INT_TIMER0 //Directive οδηγία προς τονcompiler. Δηλώνει ότι η επόμενη ρουτίνα είναι
//ρουτίνα διακοπών από τον timer0.
void timer0_int(void)
{
set_timer0(5536); //Αρχική τιμή του μετρητή
counter_hundr_of_secs++; //Αύξηση του μετρητή διακοπών κατά 1 κάθε 1/100 του δευτερολέπτου
if(counter_hundr_of_secs==counter_check) //Όταν ο μετρητής διακοπών γίνει ίσος με τον μετρητή
//ελέγχου θα ανάψει το LED
{
output_high(PIN_E0); //Το LED ανάβει
enable_interrupts(INT_EXT); //Ενεργοποίηση διακοπών
}
}

#INT_EXT //Εξωτερική διακοπή που προκαλείται από την αλλαγή κατάστασης στο RB1/INT1
void ext_int0() //Αρχή ρουτίνας διακοπής
{
output_low(PIN_E0); //Το LED σβήνει
disable_interrupts(INT_EXT); //Απενεργοποίηση διακοπών
lcd_gotoxy(1,2); //Πήγαινε στη 1η θέση της δεύτερης γραμμής
lcd_putc("Delay: "); //Εμφάνισε αυτό το μήνυμα
delay_in_seconds=(float)((((counter_hundr_of_secs)-(counter_check)))/100; //Πράξη μετατροπής της

```

//τιμής σε δευτερόλεπτα

```
printf(lcd_putc,"%f",delay_in_seconds); //Εμφάνιση στην οθόνη  
counter_hundr_of_secs=0; //Μηδενίζει ο μετρητής διακοπών  
counter_check=rand(); //Ο μετρητής ελέγχου παίρνει μια τυχαία τιμή  
}
```

//Ρουτίνα αρχικοποίησης

```
void init (void)
```

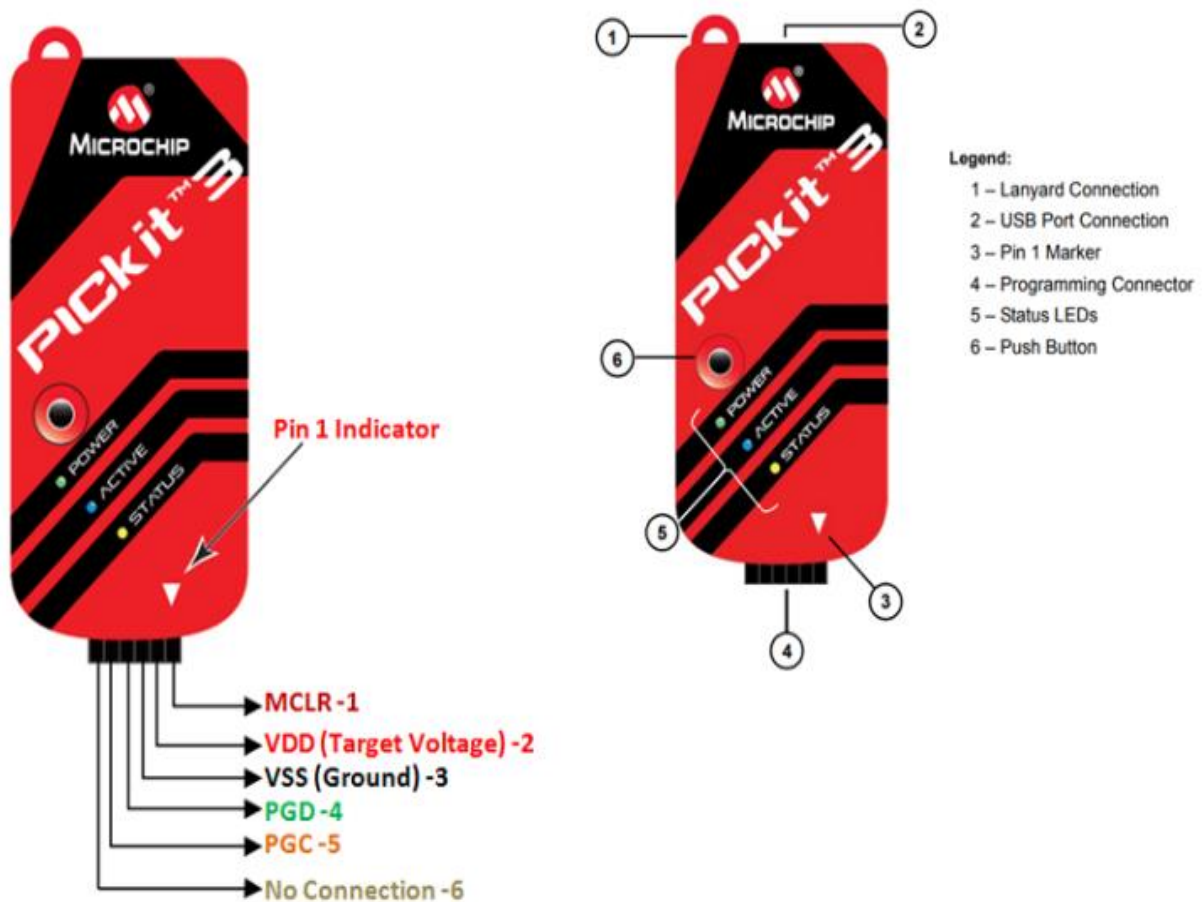
```
{  
set_tris_b(0xFF); //Καθορισμός της πόρτας B ως εισόδου  
set_tris_d(0x00); //Καθορισμός της πόρτας D ως εξόδου  
set_tris_e(0x00); //Καθορισμός της πόρτας E ως εξόδου  
set_tris_c(0x00); //Καθορισμός της πόρτας C ως εξόδου  
enable_interrupts(GLOBAL); //Ενεργοποίηση γενικού διακόπτη διακοπών  
enable_interrupts(INT_TIMER0); //Ενεργοποίηση της διακοπής του timer0  
SETUP_TIMER_0(T0_INTERNAL | T0_DIV_2); //Prescaler=1/2  
    set_timer0(5536); //Αρχική τιμή του μετρητή timer0 για διακοπές κάθε 1/100=10ms  
enable_interrupts(INT_EXT); //Ενεργοποίηση διακοπών  
ext_int_edge(0, H_TO_L); //Ενεργοποίηση της διακοπής από RB1/INT1  
    // κατα τη μετάβαση από 1 σε 0  
}
```

## 5.5 Ο PICKit 3



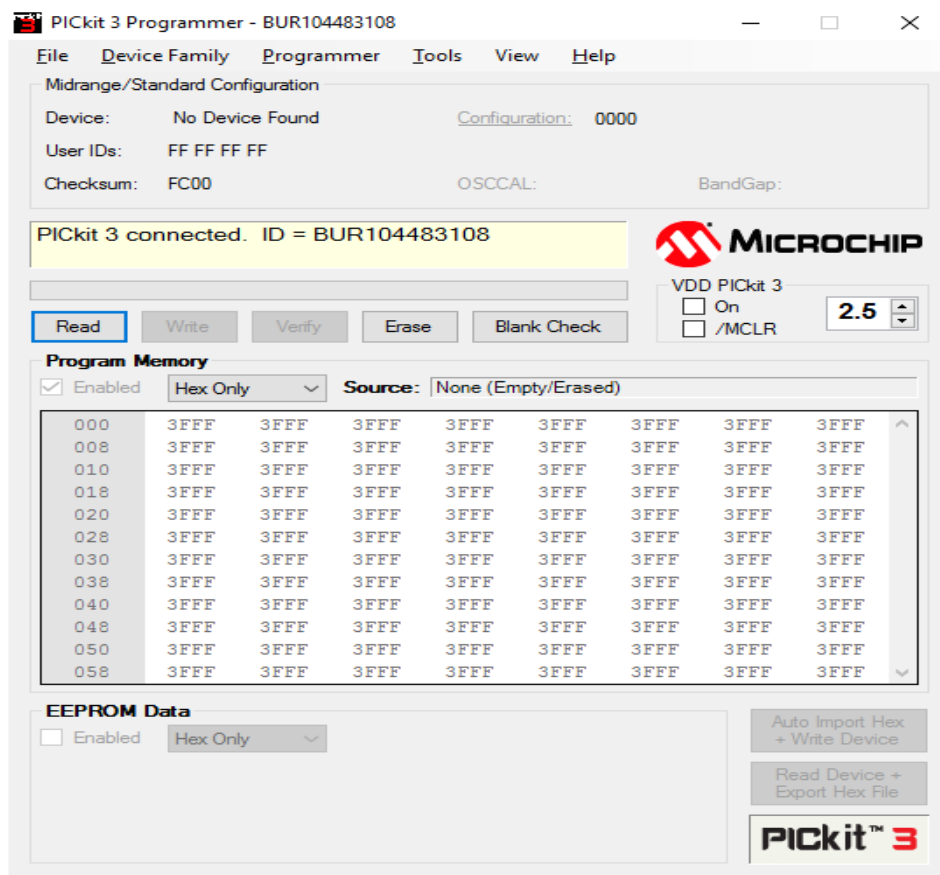
Σχήμα 5.2: Ο PICKit 3

Για την φόρτωση του προγράμματος στον μικροελεγκτή χρησιμοποιήθηκε ο προγραμματιστής PICKit 3[23] της εταιρείας Microchip. Ο PICKit συνδέεται μέσω καλωδίου στη θύρα USB του υπολογιστή και με την πλακέτα του συστήματός μας μέσω μιας καλωδιωταινίας η οποία κουμπώνει στα 5 pins που προσθέσαμε στην κατασκευή της πλακέτας. Έτσι μέσω του περιβάλλοντος του MPLAB γίνεται η σύνδεση με την πλακέτα, η οποία χάρη στον PICKit μπορεί να λάβει απευθείας την τροφοδοσία των 5V που χρειάζεται για την λειτουργία της, και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή.



Σχήμα 5.3: Τα pins του PICKit 3

Η φόρτωση του προγράμματος στον μικροελεγκτή μπορεί να γίνει και μέσω ενός προγράμματος που έχει δημιουργηθεί αποκλειστικά για το PICkit (Σχήμα 5.4). Η διαδικασία είναι απλή, μόλις γίνουν οι απαραίτητες συνδέσεις συνδέουμε το PICkit στον υπολογιστή και ανοίγουμε το πρόγραμμα. Το πρόγραμμα θα εμφανίσει τα στοιχεία του μικροελεγκτή. Στη συνέχεια πατάμε το κουμπί Read για να διαβάσουμε το περιεχόμενο της μνήμης του μικροελεγκτή και έπειτα το Erase για να το διαγράψουμε. Το επόμενο βήμα είναι να φορτώσουμε στο πρόγραμμα το αρχείο .hex στο οποίο βρίσκεται ο κώδικας σε δεκαεξαδική μορφή. Αυτό γίνεται από την επιλογή File > Import Hex. Το πρόγραμμα θα μας ειδοποιήσει ότι φορτώθηκε το αρχείο και το τελικό βήμα είναι να πατηθεί το κουμπί Write για να φορτωθεί το αρχείο στον μικροελεγκτή. Μετά το τέλος της διαδικασίας μας ειδοποιεί το πρόγραμμα και το αποσυνδέουμε από τον μικροελεγκτή.



Σχήμα 5.4: Το πρόγραμμα του PICkit 3



Σχήμα 5.5: Η σύνδεση του PICkit στην πλακέτα

## Κεφάλαιο 6ο

---

### 6. Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

Με την ολοκλήρωση της εργασίας και της κατασκευής του συστήματος μέτρησης χρόνου αντανακλαστικών του ανθρώπου το βασικό συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε είναι οι μεγάλες δυνατότητες που μας δίνει η χρήση των μικροελεγκτών. Βλέπουμε ότι η χρήση των μικροελεγκτών γενικά, στην δικιά μας περίπτωση του PIC18F4550, σε συνδυασμό με κάποιες βασικές γνώσεις ηλεκτρονικών όπως η σχεδίαση κυκλωμάτων, η τύπωση και η κατασκευή πλακετών και φυσικά ο προγραμματισμός μας δίνουν την δυνατότητα να δημιουργήσουμε εφαρμογές από τις πιο απλές μέχρι και τις πιο πολύπλοκες που μπορεί να φανταστεί ο ανθρώπινος νους στα πλαίσια πάντα που αυτές φτάνουν στο όριο του υλοποιήσιμου. Στο σύστημα που κατασκεύασα βλέπουμε ότι ο μικροελεγκτής μας προσφέρει πολύ μεγάλη ακρίβεια στο αποτέλεσμά του κάνοντας έτσι την εφαρμογή αυτή ρεαλιστική στη χρήση της σε συνθήκες και τομείς της καθημερινής μας ζωής. Ένας τέτοιος τομέας θα μπορούσε να είναι η ιατρική όπου σε πολλές περιπτώσεις γίνονται κάποια τεστ αντανακλαστικών σε ανθρώπους για την εξαγωγή συμπερασμάτων κάποιων ερευνών ή ακόμα και για τη διάγνωση ασθενειών.

Όσον αφορά στη βελτίωση του συγκεκριμένου συστήματος θα μπορούσαμε να εστιάσουμε σε δύο τομείς. Πρώτον στον όγκο, τόσο της πλακέτας η οποία θα μπορούσε να σχεδιαστεί σε μικρότερη κλίμακα και ίσως με τη χρήση κάποιων άλλων εξαρτημάτων που θα τον περιόριζαν, όσο και στο μέγεθος του κουτιού στο οποίο τοποθετήθηκε η πλακέτα και τα υπόλοιπα εξαρτήματα που συνεπώς θα μπορούσε να ήταν μικρότερο. Δεύτερον στο πρόγραμμα της εφαρμογής, δηλαδή τον πηγαίο κώδικα, ο οποίος θα μπορούσε να τροποποιηθεί ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη και να μας δώσει και άλλα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα θα μπορούσε να εμφανίζει τον μέσο όρο αντίδρασης μετά την ολοκλήρωση ενός συγκεκριμένου αριθμού πατημάτων του push-button από τον χρήστη.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

[11] Gadre, Dhananjay V. *Programming and customizing the AVR microcontroller*, McGraw-Hill, 2000

[3], [5] Arnold, Ken. *Embedded controller hardware design*, Newnes, 2001

[6] Behrouz A. Forouzan, «Εισαγωγή στην Επιστήμη των Υπολογιστών», Επιμέλεια Γιώργος Στεφανίδης, Αλέξανδρος Χατζηγεωργίου, Εκδόσεις Κλειδάριθμος

### Data Sheet

[24], [25], [26] PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet, microchip.com

[27] <http://grobotronics.com/images/datasheets/RC1602B-BIW-CSX.pdf>

[28] <http://grobotronics.com/images/companies/1/datasheets/l78s-974158.pdf?1511166669713>

[33] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/51795B.pdf>

### Internet Site

[1] <https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>

[1], [5], [9]  
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CE%B3%CE%BA%CF%84%CE%AE%CF%82>

[2], [4], [5]  
<http://apothesis.teicm.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/2602/Nikolaidou.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[7] [https://el.wikipedia.org/wiki/Complex\\_instruction\\_set\\_computer](https://el.wikipedia.org/wiki/Complex_instruction_set_computer)

[8] [https://el.wikipedia.org/wiki/Reduced\\_instruction\\_set\\_computer](https://el.wikipedia.org/wiki/Reduced_instruction_set_computer)

[6] <http://aesop.iep.edu.gr/node/18509>

[10] [https://elearning.teicm.gr/file.php/502/Erg1\\_new1.pdf](https://elearning.teicm.gr/file.php/502/Erg1_new1.pdf)

[14], [22] <https://dspace.lib.uom.gr/bitstream/2159/13593/1/ChatzigianakoglouMsc2009.pdf>

[14-18] [http://users.sch.gr/jabatzo/files/articles/PIC\\_theory.pdf](http://users.sch.gr/jabatzo/files/articles/PIC_theory.pdf)

[17], [18], [19], [20]  
<http://okeanis.lib2.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/3524/%ce%91%ce%a3%ce%a5%ce%a1%ce%9c%ce%91%ce%a4%ce%9f%ce%a3%20%ce%95%ce%9b%ce%95%ce%93%ce%a7%ce%9f%ce%a3%20%ce%9f%ce%99%ce%9a%ce%99%ce%91%ce%9a%ce%a9%ce%9d%20%ce%a3%ce%a5%ce%a3%ce%9a%ce%95%ce%a5%ce%a9%ce%9d%20%281%29.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

[12], [21] <https://apothetirio.teiep.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/4925/1233.pdf?sequence=1>

[16] [https://en.wikipedia.org/wiki/PIC\\_microcontrollers](https://en.wikipedia.org/wiki/PIC_microcontrollers)

[29] [https://en.wikipedia.org/wiki/Printed\\_circuit\\_board](https://en.wikipedia.org/wiki/Printed_circuit_board)

[29],

[30]

[http://www.electronics.teipir.gr/personalpages/papageorgas/download/2/shmeiwseis/pcb\\_fuse\\_translation\\_3.pdf](http://www.electronics.teipir.gr/personalpages/papageorgas/download/2/shmeiwseis/pcb_fuse_translation_3.pdf)

[31] [https://en.wikipedia.org/wiki/C\\_\(programming\\_language\)](https://en.wikipedia.org/wiki/C_(programming_language))

[23] <https://microcontrollerslab.com/introduction-pic18f4550-microcontroller/>

[32]

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1\\_%CF%81%CE%BF%CE%AE%CF%82#cite\\_note-SSEV-1](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%AC%CE%B3%CF%81%CE%B1%CE%BC%CE%BC%CE%B1_%CF%81%CE%BF%CE%AE%CF%82#cite_note-SSEV-1)