



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Τηλεσκόπια: Σχεδιασμός και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης ουρανίων σωμάτων

Μπακόπουλος Κωνσταντίνος

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του
Πτυχίου Φυσικής

Λαμία, 2023

© Μπαχόπουλος Κωνσταντίνος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Φυσικής της Σχολής Θετικών Επιστημών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων):

Γεώργιος Βελντές, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής:

Άγγελος Αβραμόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής:

Νικόλαος Πετρόπουλος, Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Φυσικής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρώτα απ' όλα, θέλω να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρο Καθηγητή κ. Γεώργιο Βελντέ, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του κατά τη διάρκεια της δουλειάς μου. Επίσης, ευχαριστώ και τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής της διπλωματικής εργασίας μου, Επίκουρους Καθηγητές κ. Άγγελο Αβραμόπουλο και κ. Νικόλαο Πετρόπουλο για την προσεκτική ανάγνωση της εργασίας μου και για τις πολύτιμες υποδείξεις τους. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου και στον αδερφό μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξή τους όλα αυτά τα χρόνια. Αφιερώνω αυτή την εργασία στην μητέρα μου, στον πατέρα μου και στον αδερφό μου.

Κωνσταντίνος Μπακόπουλος

Τηλεσκοπία: Σχεδιασμός και ανάπτυξη αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης ουρανίων σωμάτων

Μπακόπουλος Κωνσταντίνος

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Φυσικής, 2023

Επιβλέπων Καθηγητής: Γεώργιος Βελντές, Επίκουρος Καθηγητής

Περίληψη

Στην συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία μελετήθηκε ο σχεδιασμός ενός αυτοματοποιημένου συστήματος παρακολούθησης ουρανίων σωμάτων, με την χρήση ενός μικροελεγκτή. Αρχικά έγινε αναφορά σε βασικές έννοιες των τηλεσκοπίων, κυρίως όσον αφορά στις στηρίξεις που χρησιμοποιούνται και στα συστήματα συντεταγμένων, καθώς και στο πρώτο ελληνικό ραδιοτηλεσκόπιο. Έπειτα έγινε αναφορά στον μικροελεγκτή που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του κυκλώματος, την αρχιτεκτονική, τον τρόπο λειτουργίας του αλλά και την διαχείριση της μνήμης και τον προγραμματισμό του. Ακόμα έγινε αναφορά στο λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του, καθώς και στον αντίστοιχο αποκωδικοποιητή που χρησιμοποιείται για την μετάβαση του κώδικα από τον υπολογιστή στον μικροελεγκτή. Στην συνέχεια πραγματοποιήθηκε ο σχεδιασμός του κυκλώματος της εργασίας με την χρήση λογισμικού για τον σχεδιασμό και την προσομοίωση κυκλωμάτων. Τέλος υλοποιήθηκε το τελικό κύκλωμα σε πλακέτα δοκιμών και προγραμματίστηκε ο μικροελεγκτής με τον αντίστοιχο κώδικα. Ο κώδικας ελέγχει την περιστροφή δύο βηματικών κινητήρων, έναν για την ρύθμιση του αζιμούθιου και έναν για το ύψος.

Λέξεις Κλειδιά: τηλεσκοπία, μικροελεγκτής, βηματικοί κινητήρες

Telescopes: Design and development of an autotracking celestial bodies system

Bakopoulos Konstantinos

University of Thessaly, Department of Physics, 2023

Supervisor: Georgios Veldes, Assistant Professor

Abstract

In this thesis the design of an automated system for the monitoring of celestial bodies, using a microcontroller, has been studied. Initially, the basic concepts of telescopes have been presented, mainly regarding the mounting system used and the coordinate systems, as well as the first Greek radio telescope. Then a reference has been made to the microcontroller used for the implementation of the circuit, its architecture, mode of operation, as well as the memory management and programming. A reference was also made to the software used for programming the microcontroller and the corresponding decoder used to transfer the code from the computer to the microcontroller. Then the circuit design of the work presented in this thesis was carried out using software for circuit design and simulation. Finally, the final circuit was implemented on a test board and the microcontroller was programmed with the corresponding code. The code controls the rotation of two stepper motors, one for azimuth adjustment and one for the altitude.

Keywords: telescopes, microcontroller, stepper motors

Περιεχόμενα

1	Τηλεσκόπια	1
1.1	Τύποι τηλεσκοπίων	1
1.1.1	Διοπτρικά τηλεσκόπια	2
1.1.2	Κατοπτρικά τηλεσκόπια	2
1.1.3	Καταδιοπτρικά τηλεσκόπια	3
1.2	Συστήματα συντεταγμένων	4
1.2.1	Οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων	6
1.2.2	Ισημερινό σύστημα συντεταγμένων	7
1.3	Στηρίξεις τηλεσκοπίων	8
1.4	Ραδιοτηλεσκόπια	11
1.4.1	Το πρώτο ελληνικό ραδιοτηλεσκόπιο	13
2	Μικροελεγκτές	15
2.1	Ο Μικροελεγκτής PIC16F877A	16
2.2	Αρχιτεκτονική του Μικροελεγκτή PIC16F877A	17
2.3	Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας CPU	20
2.4	Οι ακροδέκτες του PIC16F877A	21
2.4.1	Ακροδέκτες τροφοδοσίας	21
2.4.2	Ακροδέκτης εκκαθάρισης ή επαναφοράς	22
2.4.3	Κύκλωμα ταλαντωτή	23
2.4.4	Ακροδέκτες σύνδεσης περιφερειακών κυκλωμάτων	25
2.5	Οργάνωση της Μνήμης	27

Περιεχόμενα

2.5.1	Μνήμη Προγράμματος	28
2.5.2	Μνήμη RAM, EEPROM	28
2.6	Διαχείριση ψηφιακών εισόδων/εξόδων (I/O)	30
2.7	Χρονισμός	33
2.7.1	Κύκλος εκτέλεσης εντολής	33
2.7.2	Χρονοδιακόπτες (Timer modules)	34
2.7.3	Χρονισμός και καθυστέρηση της εκτέλεσης (delay)	36
3	Λογισμικό μικροελεγκτή	38
3.1	Λογισμικό MPLAB	38
3.2	PICkit™ 3	41
3.2.1	LEDs κατάστασης του PICkit™ 3	42
3.2.2	Το Push Button και η λειτουργία Programmer-To-Go	42
3.2.3	Σύνδεση του PICkit™ 3 με την πλακέτα	43
4	Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος	46
4.1	Σχεδιασμός του κυκλώματος και περιγραφή της λειτουργίας του	46
4.2	Προσομοίωση και περιγραφή της λειτουργίας του	48
4.3	Υλοποίηση του κυκλώματος	51
4.4	Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα	56
5	Παράρτημα Α'	57

Κατάλογος Σχημάτων

1.1	Τηλεσκόπιο Αστεροσκοπείου Υπάτης[1].	1
1.2	Το οπτικό σύστημα ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου[2].	2
1.3	Αρχή λειτουργίας διοπτρικού τηλεσκοπίου (αριστερά) και κατοπτρικού τηλεσκοπίου (δεξιά).	3
1.4	Αρχή λειτουργίας καταδιοπτρικού τηλεσκοπίου Maksutow-Newton [3].	4
1.5	Η σχέση μεταξύ σφαιρικών και καρτεσιανών συντεταγμένων [2].	5
1.6	Η ουράνια σφαίρα και τα χαρακτηριστικά της σημεία [2].	6
1.7	Το οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων [2].	7
1.8	Ο ορισμός της απόκλισης και της ωριαίας γωνίας [2].	8
1.9	Σχηματικό διάγραμμα ισημερινής στήριξης (α) και αλταζιμουθιακής στήριξης (β) [2].	9
1.10	Αλταζιμουθιακή στήριξη τηλεσκοπίου [4].	9
1.11	Ισημερινή στήριξη τηλεσκοπίου [4].	10
1.12	Το ραδιοτηλεσκόπιο του Ινστιτούτου Ραδιοαστρονομίας της Νέας Ζηλανδίας [5]. . .	11
1.13	Η κεραία του ηλιακού ραδιοφασματογράφου (ARTEMIS-IV) στις Θερμοπύλες, με κάτοπτρο απο μεταλλικό πλέγμα [6].	12
1.14	Το πρώτο ελληνικό ραδιοτηλεσκόπιο THERMOpYlae [9],[10].	14
2.1	Η βασική δομή ενός μικροελεγκτή [11].	15
2.2	Γενικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του μικροελεγκτή PIC16F877A [12].	19
2.3	Διάγραμμα ακροδεκτών του PIC16F877A [12].	22
2.4	Κύκλωμα επαναφοράς συνδεδεμένο στο <i>PIN1</i> του μικροελεγκτή [13].	23
2.5	Κύκλωμα ταλαντωτή κρυστάλλου [13].	24
2.6	Επιλογή κατάλληλου κεραμικού πυκνωτή για τον αντίστοιχο κρύσταλλο [12]. . . .	24

Κατάλογος Σχημάτων

2.7	Χάρτης μνήμης προγράμματος του PIC16F877A [12].	27
2.8	Χάρτης στατικής μνήμης RAM του PIC16F877A [12].	32
2.9	Timer modules Block Diagram [15].	34
2.10	Block Diagram of the Timer0/WDT prescaler [12].	35
2.11	Timer1 Block Diagram [12].	36
3.1	Το περιβάλλον του MPLAB X IDE.	39
3.2	Το περιβάλλον του MPLAB X IPE.	40
3.3	PICKit™ 3 MCU PROGRAMMER/DEBUGGER[16].	41
3.4	Το κύκλωμα διασύνδεσης του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή μας, (In-circuit programmer-debugger) PICKit™ 3 [16].	43
3.5	Σύνδεση PICKit™ 3 με την πλακέτα στόχο [16].	44
3.6	Σύνδεση PICKit™ 3 με τον μικροελεγκτή PIC16F877A.	45
4.1	Σχεδιάγραμμα κυκλώματος.	48
4.2	Η θέση των μοτέρ στις 06:30, όπου το αζιμούθιο είναι 64.41° και το ύψος είναι 3.14°.	49
4.3	Η θέση των μοτέρ στις 12:00, όπου το αζιμούθιο είναι 126.30° και το ύψος είναι 64.52°.	49
4.4	Η θέση των μοτέρ στις 17:00, όπου το αζιμούθιο είναι 265.13° και το ύψος είναι 41.78°.	50
4.5	Η θέση των μοτέρ στις 20:30, όπου το αζιμούθιο είναι 296.38° και το ύψος είναι 2.41°.	50
4.6	Σχεδιάγραμμα κυκλώματος.	52
4.7	Τελική υλοποίηση του κυκλώματος.	53
4.8	Σύνδεση του PICKit™ 3 στο MPLAB X IPE.	54
4.9	Σύνδεση με τον PICKit™ 3.	55
5.1	Πλακέτα δοκιμών τύπου (Breadboard).	57
5.2	Σχεδιάγραμμα μια πλακέτας breadboard[19].	59
5.3	Κρύσταλλος 20MHz.	59
5.4	Κεραμικός πυκνωτής 33pF.	60

Κατάλογος Σχημάτων

5.5	Κεραμικός πυκνωτής $100nF$.	60
5.6	Διακόπτης τύπου Push Button .	61
5.7	Κόκκινο LED .	61
5.8	Πράσινο LED .	62
5.9	Αντίσταση $4.7K\Omega$.	62
5.10	Αντίσταση $10K\Omega$.	62
5.11	Αντίσταση 470Ω .	63
5.12	Μονόκλιωνα καλώδια.	63

1 Τηλεσκόπια

1.1 Τύποι τηλεσκοπίων

Τα τηλεσκόπια είναι όργανα που χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση σωμάτων στον ουράνιο θόλο. Χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, τα οπτικά τηλεσκόπια και τα ραδιοτηλεσκόπια. Τα οπτικά τηλεσκόπια χωρίζονται σε τρεις υποκατηγορίες με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους. Συγκεκριμένα υπάρχουν τα διοπτρικά τηλεσκόπια που χρησιμοποιούν φακούς για την λειτουργία τους, τα κατοπτρικά που χρησιμοποιούν καθρέπτες και τα καταδιοπτρικά που χρησιμοποιούν και φακούς αλλά και καθρέπτες.

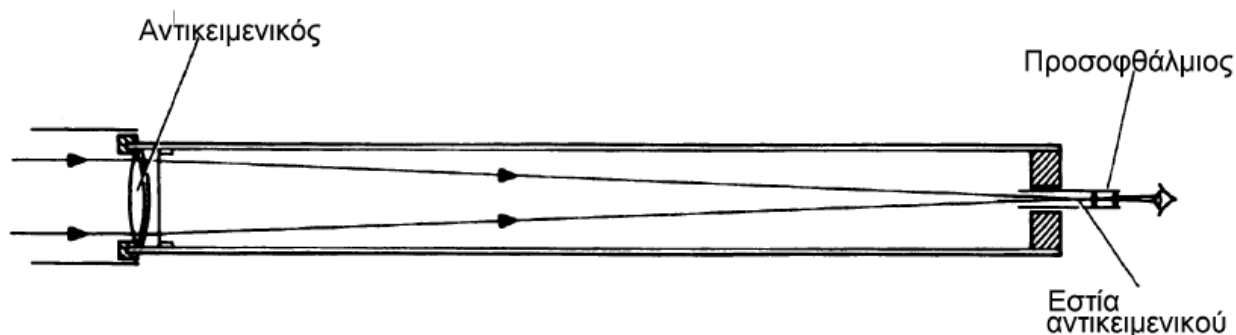


Σχήμα 1.1: Τηλεσκόπιο Αστεροσκοπείου Υπάτης[1].

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

1.1.1 Διοπτρικά τηλεσκόπια

Τα διοπτρικά τηλεσκόπια αποτελούν την πιο απλή μορφή τηλεσκοπίου καθώς επίσης είναι και το πρώτο τηλεσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε στην ιστορία από τον Γαλιλαίο για να παρατηρήσει τους τέσσερις μεγάλους δορυφόρους του Δία. Αποτελείται από έναν βασικό σωλήνα μέσα στον οποίο βρίσκονται τοποθετημένοι δύο φακοί, διαφορετικής εστιακής απόστασης, που καταφέρνουν και συγκλίνουν τις ακτίνες του φωτός που εισέρχονται στο τηλεσκόπιο έτσι ώστε να μπορέσει να τις δει το ανθρώπινο μάτι. Τα συναντάμε κυρίως με μικρές διαμέτρους φακού και σχετικά μεγάλο μήκος. Ένα βασικό μειονέκτημα των τηλεσκοπίων αυτών είναι ότι εμφανίζουν χρωματικό σφάλμα που συχνά παρατηρείται ως μια χρωματιστή άλως γύρω από το αντικείμενο που παρατηρούμε.



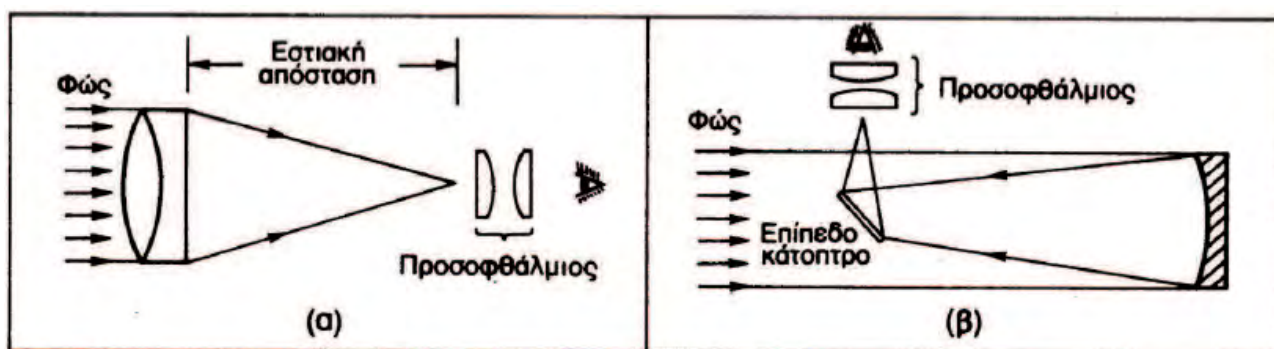
Σχήμα 1.2: Το οπτικό σύστημα ενός διοπτρικού τηλεσκοπίου[2].

1.1.2 Κατοπτρικά τηλεσκόπια

Αντίθετα τώρα τα κατοπτρικά τηλεσκόπια χρησιμοποιούν καθρέπτες αντί για φακούς όπως άλλωστε υποδηλώνει και το όνομά τους. Η λειτουργία τους είναι λίγο πιο πολύπλοκη από ότι στα διοπτρικά καθώς το φως ακολουθεί μια σύνθετη πορεία στο εσωτερικό τους. Αρχικά οι δέσμες φωτός ανακλώνται από ένα κάτοπτρο, το λεγόμενο πρωτεύον κάτοπτρο, που βρίσκεται στο βάθος του σωλήνα και στη συνέχεια κατευθύνονται προς ένα δεύτερο κάτοπτρο, το λεγόμενο δευτερεύον κάτοπτρο, από που ανακλώνται ξανά, και από μια κάθετη προς τον βασικό σωλήνα έξοδο, φτάνουν τελικά στο μάτι μας. Στα κατοπτρικά τηλεσκόπια η παρατήρηση δεν γίνεται από την άκρη του σωλήνα όπως γίνεται στα διοπτρικά αλλά από ένα άνοιγμα στο πλάι του βασικού σωλήνα.

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των κατοπτρικών τηλεσκοπίων έναντι των διοπτρικών είναι ότι με αντίστοιχο και ίσως και μικρότερο μήκος σωλήνα έχουμε μεγαλύτερη φωτοσυλλεκτική ικανότητα σε σχέση με ένα διοπτρικό τηλεσκόπιο αντίστοιχου μήκους σωλήνα. Επίσης σημαντικό είναι και το γεγονός ότι δεν εμφανίζουν χρωματικό σφάλμα όπως τα διοπτρικά. Μια βασική παρατήρηση όσον αφορά τα κατοπτρικά τηλεσκόπια είναι ότι τα είδωλα εμφανίζονται ανεστραμμένα γεγονός που καθιστά τα κατοπτρικά τηλεσκόπια ακατάλληλα για επίγεια παρατήρηση. Επίσης παρατηρείται το λεγόμενο σφάλμα κόμης κατά το οποίο τα αντικείμενα που βρίσκονται στα άκρα του οπτικού πεδίου εμφανίζονται ελαφρώς παραμορφωμένα, για το λόγο αυτό προτιμάμε να τοποθετούμε στο κέντρο της παρατήρησής μας το αντικείμενο που θέλουμε να παρατηρήσουμε. Τέλος ένα σημαντικό μειονέκτημα των κατοπτρικών τηλεσκοπίων είναι ότι χρειάζονται συντήρηση και κυρίως ευθυγράμμιση, ειδικότερα αν μεταφερθούν, καθώς μεταβάλλεται ο προσανατολισμός τους, επίσης χρειάζονται και καθαρισμό καθώς ο βασικός του σωλήνας είναι ανοιχτός.



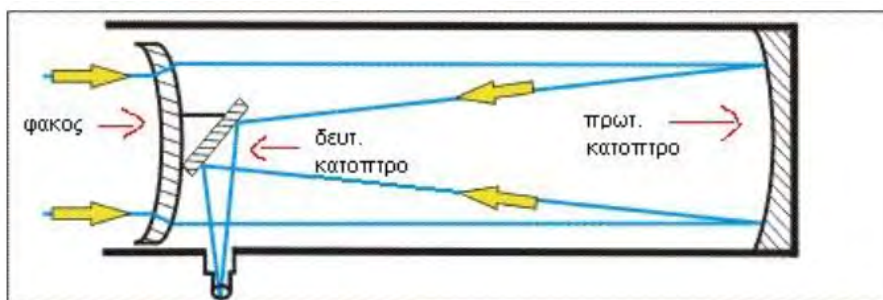
Σχήμα 1.3: Αρχή λειτουργίας διοπτρικού τηλεσκοπίου (αριστερά) και κατοπτρικού τηλεσκοπίου (δεξιά).

1.1.3 Καταδιοπτρικά τηλεσκόπια

Τέλος τα καταδιοπτρικά τηλεσκόπια αποτελούν μια σύνθετη μορφή των τηλεσκοπίων που αναφέραμε παραπάνω, καθώς χρησιμοποιούν φακούς και κάτοπτρα. Αυτού του είδους τα τηλεσκόπια είναι σαφώς μικρότερα από τα δύο άλλα είδη τηλεσκοπίων καθώς το φως στα καταδιοπτρικά τηλεσκόπια διασχίζει τον τηλεσκοπικό σωλήνα τρεις φορές προτού φτάσει στο μάτι μας. Έτσι καταφέρνουμε να μειώσουμε κατά πολύ το μήκος του τηλεσκοπικού σωλήνα σε σχέση με το μήκος που θα είχε ο σωλήνας αυτός σε ένα διοπτρικό ή κατοπτρικό τηλεσκόπιο αντίστοιχης οπτικής ικανότητας. Πιο

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

συγκεκριμένα σε ένα καταδιопτρικό τηλεσκόπιο το φως που εισέρχεται αρχικά στο σωλήνα πέραν από ένα διορθωτικό φακό, ο οποίος εξαλείφει κάποια οπτικά σφάλματα, έπειτα προσπίπτει στο πρωτεύον κάτοπτρο που βρίσκεται στο βάθος του σωλήνα και από εκεί κατευθύνεται και πάλι πίσω και προσπίπτει πάνω στο δευτερεύον κάτοπτρο που είναι ένας καθρέπτης τοποθετημένος πάνω στον διορθωτικό φακό. Τέλος το φως επιστρέφει πίσω προς την έξοδο για να φτάσει τελικά στο μάτι μας. Τέτοιου είδους τηλεσκόπια δεν παρουσιάζουν καθόλου οπτικά σφάλματα και χρησιμοποιούνται και για ουράνια αλλά και για επίγεια παρατήρηση. Ένα βασικό τους μειονέκτημα είναι ότι το δευτερεύον κάτοπτρο είναι σχετικά μεγάλο με αποτέλεσμα να μειώνεται κατά ένα ποσοστό η φωτοσυλλεκτική ικανότητα του τηλεσκοπίου. Αυτού του είδους τα τηλεσκόπια είναι ακριβότερα σε σχέση με τα διοπτρικά και κατοπτρικά και χρειάζονται επίσης ευθυγράμμιση όπως και τα κατοπτρικά σε περίπτωση που μετακινηθούν.

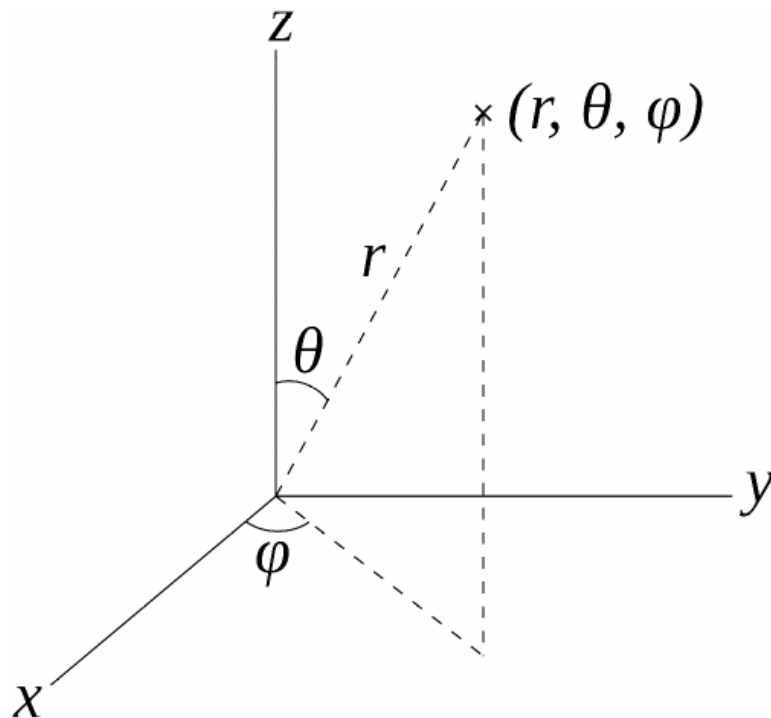


Σχήμα 1.4: Αρχή λειτουργίας καταδιопτρικού τηλεσκοπίου *Maksutov-Newton* [3].

1.2 Συστήματα συντεταγμένων

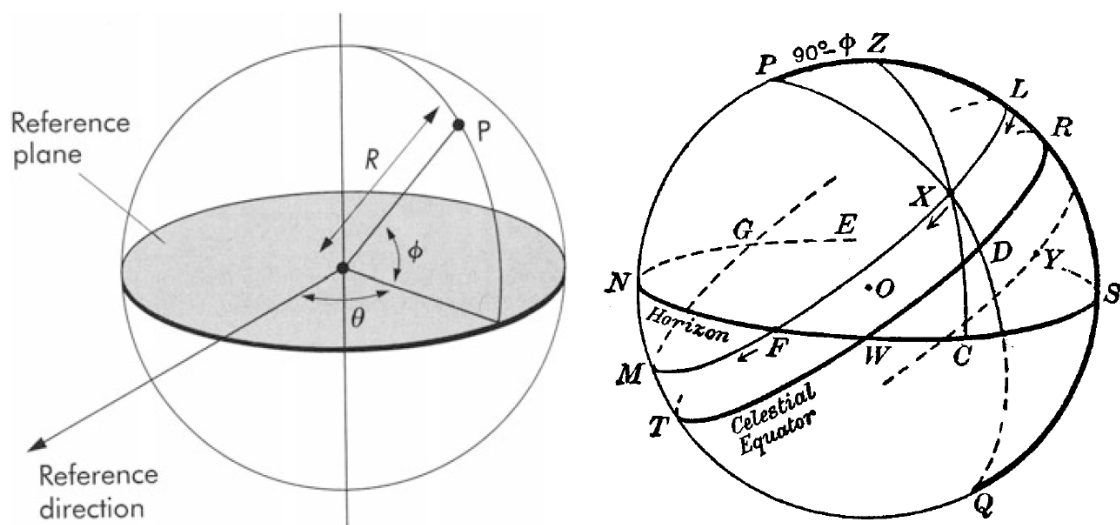
Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα τηλεσκόπια σωστά και να παρατηρήσουμε ουράνια σώματα θα πρέπει να γνωρίζουμε καλά τη θέση του αντικειμένου στον ουρανό, κάτι που δεν είναι καθόλου εύκολο καθώς απαιτεί πρώτα από όλα να ορίσουμε ένα σύστημα αναφοράς και να είμαστε σε θέση να προσδιορίσουμε τη θέση του αντικειμένου σε κάθε χρονική στιγμή. Το πρόβλημα αυτό είναι σύνθετο καθώς εμπλέκει το χρόνο, την κίνηση της γης και διάφορα άλλα φαινόμενα. Παρατηρώντας κάποιος από την Γη, το σύστημα συντεταγμένων που θα χρησιμοποιήσει είναι το σφαιρικό, καθώς όπως γνωρίζουμε η θέση ενός αντικειμένου στον ουράνιο θόλο προσδιορίζεται από την απόσταση από την αρχή των αξόνων (ρ), την πολική γωνία (θ) και την αζιμουθιακή γωνία (φ).

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία



Σχήμα 1.5: Η σχέση μεταξύ σφαιρικών και καρτεσιανών συντεταγμένων [2].

Επειδή δεν γνωρίζουμε την απόσταση του αντικειμένου μας μπορούμε να προσδιορίσουμε μόνο τη διεύθυνσή του με τις δυο γωνιακές συντεταγμένες, την πολική γωνία και την αζιμουθιακή γωνία. Για το λόγο αυτό θεωρούμε ότι όλα τα ουράνια αντικείμενα προβάλλονται στην επιφάνεια μιας σφαίρας με μοναδιαία ακτίνα, η οποία ονομάζεται ουράνια σφαίρα. Με σκοπό να γίνει πιο εύκολος ο προσδιορισμός της θέσης ενός αντικειμένου στον ουράνιο θόλο έχουμε ορίσει κάποια βασικά σημεία όπως για παράδειγμα το σημείο του ζενίθ, που ορίζεται ως η τομή της κάθετης διεύθυνσης με την ουράνια σφαίρα. Το κάθετο επίπεδο ως προς τη διεύθυνση της βαρύτητας είναι το οριζόντιο επίπεδο και η τομή του με την ουράνια σφαίρα είναι ο μέγιστος κύκλος, η τομή δηλαδή μιας σφαίρας από επίπεδο που περνά από το κέντρο της, ονομάζεται ορίζοντας και χωρίζει την ουράνια σφαίρα σε δύο ημισφαίρια, το ορατό και το αόρατο.



Σχήμα 1.6: Η ουράνια σφαίρα και τα χαρακτηριστικά της σημεία [2].

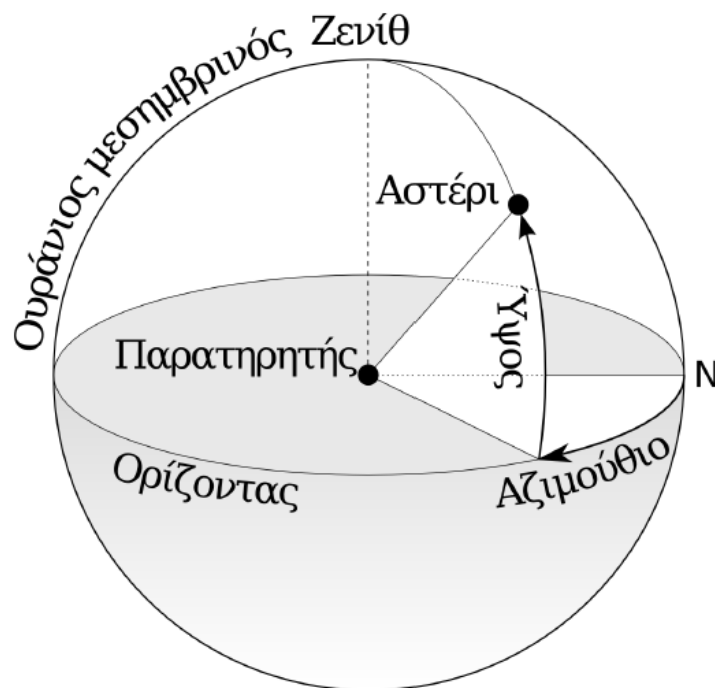
Οι μέγιστοι κύκλοι που περνούν από το ζενίθ ονομάζονται κάθετοι κύκλοι. Εξίσου σημαντικός είναι και ο βόρειος ουράνιος πόλος, που είναι το σημείο που τέμνει την ουράνια σφαίρα ο άξονας περιστροφής της Γης στη διεύθυνση του βορρά. Αντίστοιχα υπάρχει και ο νότιος ουράνιος πόλος ο οποίος βρίσκεται στην αντίθετη διεύθυνση. Ο μέγιστος κύκλος που περνά από τον πόλο και το ζενίθ ονομάζεται κεντρικός μεσημβρινός και το επίπεδο του ονομάζεται μεσημβρινό επίπεδο. Το μεσημβρινό επίπεδο τέμνει τον ορίζοντα στα σημεία του βορρά και του νότου και το κάθετο προς το επίπεδο στα σημεία της ανατολής και της δύσης. Τέλος, το επίπεδο του ισημερινού της Γης, δηλαδή το κάθετο επίπεδο προς τον άξονα περιστροφής τέμνει την ουράνια σφαίρα στον ουράνιο ισημερινό.

1.2.1 Οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων

Ένας απλός τρόπος για να ορίσουμε τη θέση ενός αντικειμένου στον ουράνιο θόλο είναι να ορίσουμε ως αρχή του συστήματός μας τον τόπο στον οποίο βρίσκεται ο παρατηρητής και να πάρουμε τον πολικό άξονα στη διεύθυνση του ζενίθ έτσι ώστε το επίπεδο αναφοράς να συμπίπτει με το επίπεδο του ορίζοντα. Έτσι η πολική γωνία που σχηματίζεται ονομάζεται συνήθως απόσταση, ωστόσο συχνά χρησιμοποιείται αντί για αυτή το ύψος πάνω από τον ορίζοντα, που στην πραγματικότητα είναι η συμπληρωματική της γωνία. Στο σύστημα το οποίο έχουμε ορίσει σημαντικό ρόλο παίζει

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

και το αζιμούθιο δηλαδή η αζιμουθιακή γωνία που μετράτε από το βορρά προς τη διεύθυνση της ανατολής και παίρνει τιμές από 0-360°. Το σύστημα το οποίο περιγράψαμε ονομάζεται οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων.



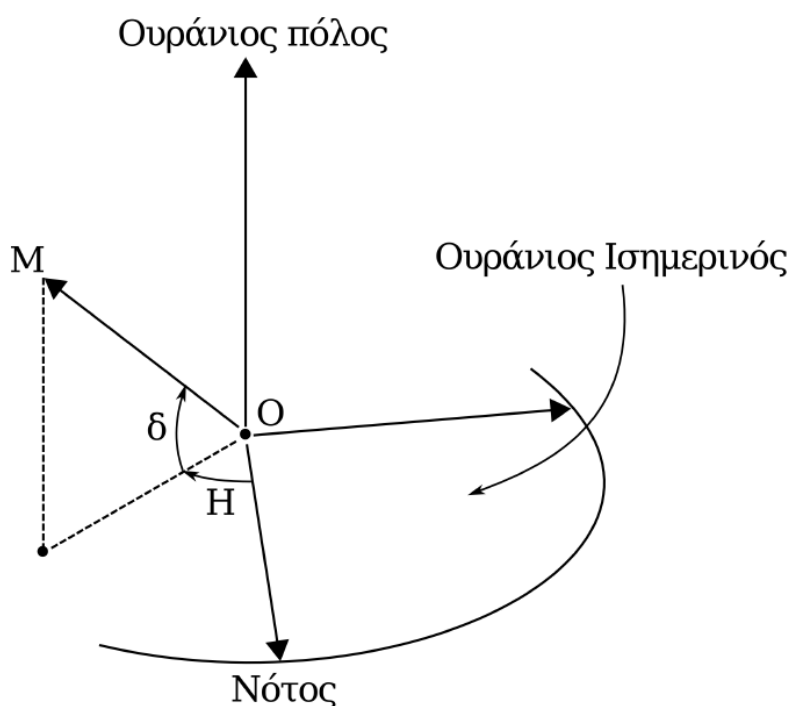
Σχήμα 1.7: Το οριζόντιο σύστημα συντεταγμένων [2].

1.2.2 Ισημερινό σύστημα συντεταγμένων

Παρατηρώντας κάποιος τον ουράνιο θόλο, εύκολα θα καταλάβει, ότι λόγω της καμπυλότητας της γης οι οριζόντιες συντεταγμένες που έχει ένα αστέρι σε μια χρονική στιγμή είναι διαφορετικές από τόπο σε τόπο. Έτσι προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κατάλληλο σύστημα συντεταγμένων τοποθετήθηκε ως αρχή του το κέντρο της γης και επιλέχθηκε ο πολικός του άξονας παράλληλα στη διεύθυνση του άξονα περιστροφής της γης. Έτσι στο νέο πλέον σύστημα συντεταγμένων η θέση ενός αντικειμένου στον ουράνιο θόλο προσδιορίζεται από τη συμπληρωματική της πολιτικής γωνίας που ονομάζεται απόκλιση ενώ η αζιμουθιακή γωνία μετράτε από τη διεύθυνση του νότου και ονομάζεται πλέον ωριαία γωνία. Η απόκλιση δηλαδή είναι η γωνία μεταξύ της διεύθυνσης

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

του αντικειμένου και του ουράνιου ισημερινού ενώ η ορθή αναφορά είναι η γωνία ανάμεσα στο μεσημβρινό που περνά από το αντικείμενο και τον κεντρικό μεσημβρινό. Πιο συγκεκριμένα όταν θα αναφερόμαστε στην ωριαία γωνία θα την εκφράζουμε σε ώρες ($1h = 15^\circ$, $1^\circ = 4min$) και θα είναι θετική όταν το αντικείμενο βρίσκεται δυτικά του κεντρικού μεσημβρινού και αρνητική όταν βρίσκεται ανατολικά. Έτσι η απόκλιση θα μετράτε πλέον σε μοίρες πρώτα λεπτά και δεύτερα λεπτά.

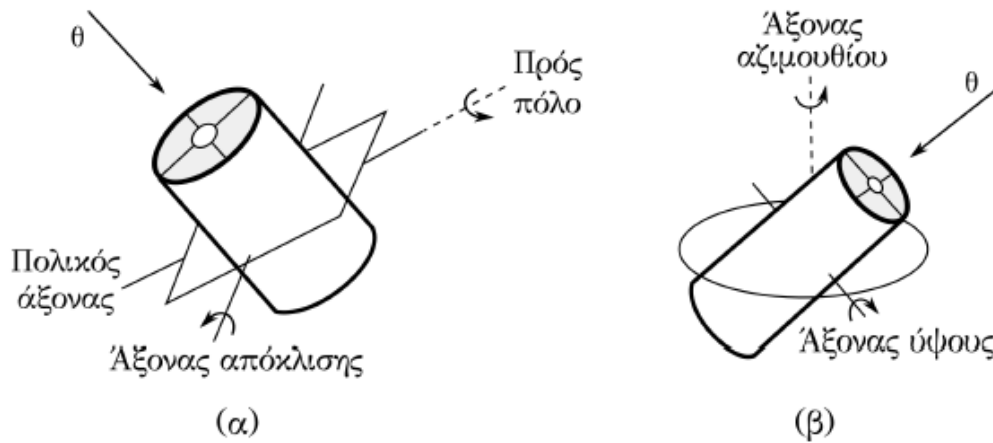


Σχήμα 1.8: Ο ορισμός της απόκλισης και της ωριαίας γωνίας [2].

1.3 Στήριξεις τηλεσκοπίων

Η στήριξη ενός τηλεσκοπίου αποτελεί βασικό κομμάτι στην παρατήρηση μας. Μια όχι και τόσο καλή στήριξη μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην παρατήρηση μας, καθώς με ένα απλό άγγιγμα μπορεί να κάνει τα αντικείμενα που παρατηρούμε να τρεμοπαίζουν. Οι στήριξεις των τηλεσκοπίων χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τις αλταζιμουθιακές και τις ισημερινές στήριξεις.

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία



Σχήμα 1.9: Σχηματικό διάγραμμα ισημερινής στήριξης (α) και αλταζιμουθιακής στήριξης (β) [2].

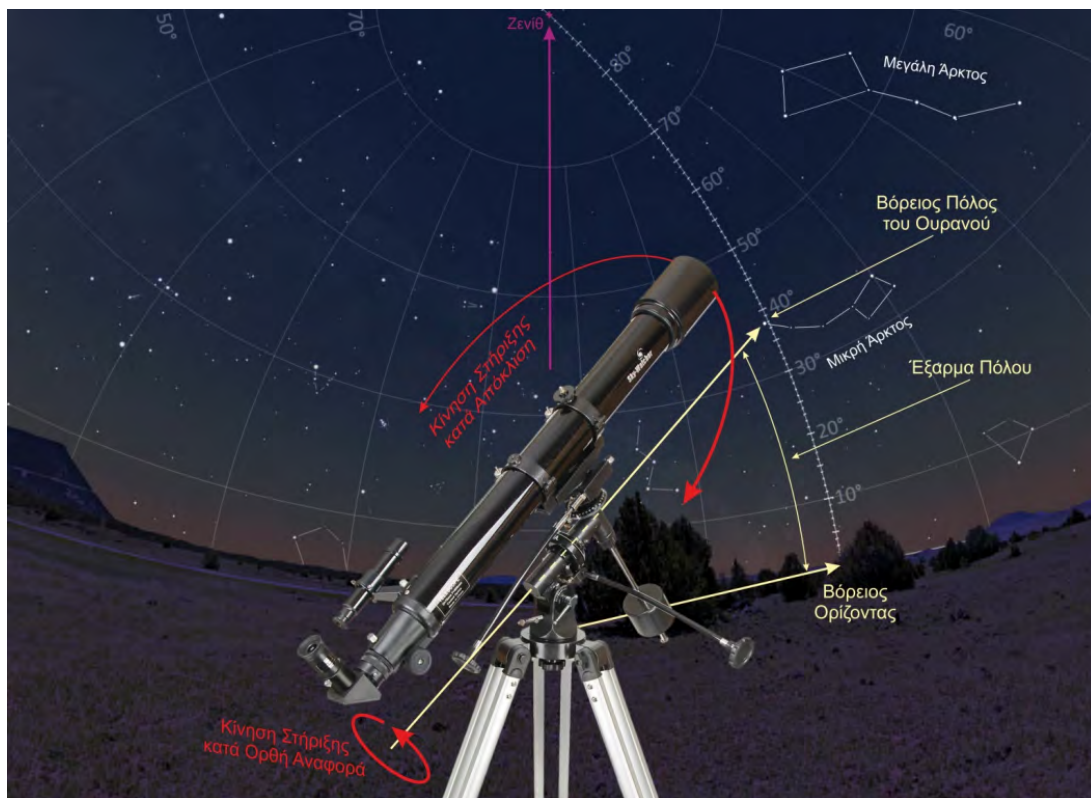
Οι αλταζιμουθιακές αποτελούν τον πιο απλό, κατά την χρήση, τρόπο στήριξης ενός τηλεσκοπίου που επιτρέπει την κίνηση του τηλεσκοπίου οριζόντια και κατακόρυφα.



Σχήμα 1.10: Αλταζιμουθιακή στήριξη τηλεσκοπίου [4].

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία

Οι ισημερινές αντίθετα αποτελούν δυσκολότερη στην χρήση στήριξη καθώς προσανατολίζονται με βάση την περιστροφή της Γης, καθιστώντας όμως ευκολότερη την παρατήρηση ουράνιων σωμάτων κατά την κίνηση του ουράνιου θόλου.



Σχήμα 1.11: Ισημερινή στήριξη τηλεσκοπίου [4].

Ένα βασικό πρόβλημα που αντιμετωπίζουν όλες οι στήριξεις είναι ότι τα αντικείμενα κινούνται πολύ γρήγορα μέσα στο οπτικό πεδίο του τηλεσκοπίου, ειδικότερα σε μεγάλες μεγεθύνσεις, με αποτέλεσμα να χάνουμε εύκολα τα αντικείμενα που παρατηρούμε και να χρειάζεται συνεχή εστίαση. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν οι στήριξεις με μοτέρ, οι οποίες μπορούν να ακολουθούν το αντικείμενο και να διατηρούν το τηλεσκόπιο καρφωμένο πάνω του. Ένα διαδεδομένο είδος τέτοιων τηλεσκοπίων με μοτέρ αποτελούν τα ρομποτικά τηλεσκόπια τα οποία διαθέτουν ενσωματωμένο μικροϋπολογιστή που καθιστά το τηλεσκόπιο ικανό να βρίσκει μόνο του το στόχο που του δίνει ο χρήστης. Τέτοιου είδους τηλεσκόπια είναι πολύ διαδεδομένα κυρίως στην αστροφωτογραφία όπου η κίνηση πρέπει να είναι συνεχή για να μην χάνουμε τα ουράνια σώματα από το οπτικό μας πεδίο.

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

1.4 Ραδιοτηλεσκόπια

Τα ραδιοτηλεσκόπια αποτελούν το βασικό όργανο παρατήρησης στα ραδιοκύματα. Η κατασκευή ενός ραδιοτηλεσκοπίου διαφέρει σημαντικά από την κατασκευή ενός οπτικού τηλεσκοπίου ωστόσο όμως τα βασικά τους μέρη εκτελούν παρόμοιες λειτουργίες. Η κλασική διάταξη που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της ακτινοβολίας με ραδιοκύματα αποτελείται από τον συλλέκτη της ακτινοβολίας που είναι συνήθως ένα παραβολικό κάτοπτρο στην εστία του οποίου σχηματίζεται η εικόνα του προς παρατήρηση αντικειμένου. Στο κέντρο της εστίας βρίσκεται τοποθετημένη μια κεραία η οποία μετατρέπει την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο στη συνέχεια ενισχύεται και μετατρέπεται στο τελικό σήμα που μετράται και ψηφιοποιείται. Σε αντίθεση με αυτό που βλέπουν τα οπτικά τηλεσκόπια μια κεραία μπορεί να δει μόνο ένα σημείο της εικόνας. Για να πάρουμε μια εικόνα δύο διαστάσεων, σαν αυτή που μας δίνουν τα οπτικά τηλεσκόπια, πρέπει να σαρώσουμε την πηγή μας μετακινώντας το κάτοπτρο του ραδιοτηλεσκοπίου μας και χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνικές που ονομάζονται τεχνικές σύνθεσης ανοίγματος ώστε τελικά να δημιουργήσουμε μια δισδιάστατη εικόνα του αντικειμένου που παρατηρούμε.



Σχήμα 1.12: Το ραδιοτηλεσκόπιο του Ινστιτούτου Ραδιοαστρονομίας της Νέας Ζηλανδίας [5].

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκόπια

Η βασική διαφορά του παραβολικού κατόπτρου που χρησιμοποιείται σε ένα οπτικό τηλεσκόπιο και σε ένα ραδιοτηλεσκόπιο είναι ότι τα κάτοπτρα των ραδιοτηλεσκοπίων είναι μεταλλικά και όχι γυάλινα όπως είναι στα οπτικά τηλεσκόπια. Τα κάτοπτρα των ραδιοτηλεσκοπίων είναι αρκετά μεγαλύτερα από τα κάτοπτρα των οπτικών τηλεσκοπίων γεγονός που οφείλεται στο ότι τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος σημαντικά μεγαλύτερο από ότι τα οπτικά μήκη κύματος. Επίσης η επιφάνεια του κατόπτρου σε ένα ραδιοτηλεσκόπιο μπορεί να μην είναι συμπαγής αλλά να σχηματίζεται από ένα συρμάτινο πλέγμα με τη βασική όμως προϋπόθεση η μέγιστη διάσταση των κενών χώρων που δημιουργούνται να είναι μικρότερη από $\lambda/20$, όπου λ το μήκος κύματος των ραδιοκυμάτων. Τέλος για να θεωρηθεί ένα κάτοπτρο κατάλληλο για ένα ραδιοτηλεσκόπιο πρέπει να ανακλά όλη την ακτινοβολία που προσπίπτει σε αυτό για το συγκεκριμένο μήκος κύματος που γίνεται η παρατήρηση και ταυτόχρονα να είναι όσο γίνεται πιο ελαφρύ ώστε να στρέφεται εύκολα και να μην παραμορφώνεται.



Σχήμα 1.13: Η κεραία του ηλιακού ραδιοφασματογράφου (*ARTEMIS-IV*) στις Θερμοπύλες, με κάτοπτρο από μεταλλικό πλέγμα [6].

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία

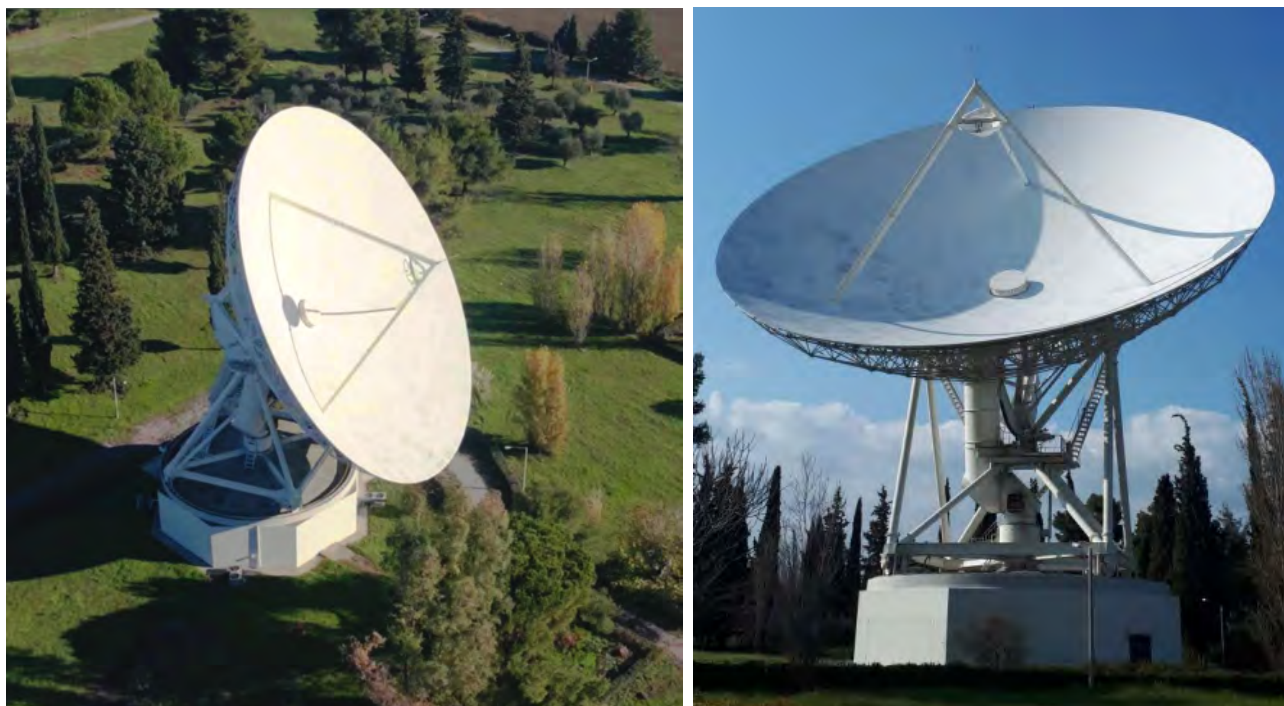
Σχετικά με τη στήριξη των ραδιοτηλεσκοπίων, συνήθως χρησιμοποιούμε ισημερινή ή αλταζιμουθιακή στήριξη όπως ακριβώς και στα οπτικά τηλεσκόπια, ωστόσο υπάρχουν και ραδιοτηλεσκόπια συνήθως μεγαλύτερων διαστάσεων τα οποία δεν στρέφονται και παραμένουν ακίνητα, έχοντας τη δυνατότητα να παρατηρούν μόνο αντικείμενα που περνούν από το τοπικό μεσημβρινό επίπεδο.

1.4.1 Το πρώτο ελληνικό ραδιοτηλεσκόπιο

Το ραδιοτηλεσκόπιο **THERMOpYlae** είναι το πρώτο ραδιοτηλεσκόπιο στην Ελλάδα και στο νοτιότερο άκρο της Ευρώπης. Δημιουργείται αυτή τη στιγμή στο πλαίσιο μιας ερευνητικής συνεργασίας με τη συμμετοχή του εργαστηρίου **Heron Lab** από το Τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τη Σχολή Θετικών Επιστημών και Τεχνολογίας του Ελληνικού Ανοικτού Πανεπιστημίου με υπεύθυνους επιστήμονες τον Επίκουρο Καθηγητή Γεώργιο Βελντέ και την Επίκουρη Καθηγήτρια - Ραδιοαστρονόμο Νεκταρία Γκιζάνη, αντίστοιχα. Η κεραία του ραδιοτηλεσκοπίου 1.14 είναι μια προσφορά από τον Οργανισμό Τηλεπικοινωνιών Ελλάδος (ΟΤΕ) προς την ακαδημαϊκή κοινότητα. Η υποδομή είναι μια παραβολική κεραία 32 μέτρων, με κυματοδηγό δέσμης σε μια υψοαζιμουθιακή βάση. Βρίσκεται στο Κέντρο Δορυφορικών Επικοινωνιών **Thermopile**, στο νοτιοανατολικό σημείο της Ευρώπης, στην περιοχή της Σκάρφειας Λοκρίδας και έχει παραχωρηθεί με σκοπό να μετατραπεί για να λαμβάνει ραδιοσήματα από το Σύμπαν. Παρόμοια μετατροπή έχει πραγματοποιηθεί και στο **Warkworth** της Νέας Ζηλανδίας, όπου πέτυχαν τη μετατροπή μιας κεραίας πανομοιότυπης με την Ελληνική, αλλά νεότερης 1.12. Το όργανο διαθέτει μια κεραία κυματοδηγού δέσμης **Cassegrain**, ένα διπλό σύστημα κίνησης με ηλεκτρικό σερβομηχανισμό για το σύστημα κίνησης κατά της αναπήδησης, συχνότητα εκπομπής $6GHz$ και λήψης $4GHz$ στη **C band**, διάμετρο πρωτεύοντος κατόπτρου $32m$ και διάμετρο υπο-κατόπτρου $2,9m$. Το αζιμούθιο εύρος λειτουργίας του είναι μεταξύ -180° έως $+180^\circ$, περίπου στο κέντρο της αζιμουθιακής διαδρομής και το εύρος ανύψωσης μεταξύ 2° έως 92° . Οι ραδιοαστρονομικές παρατηρήσεις θα ξεκινήσουν με τη χρήση του υπάρχοντος συστήματος τροφοδοσίας της **C band**, την εγκατάσταση ενός δέκτη διπλής πόλωσης **6 GHz** με ενισχυτές χαμηλού θορύβου και τη διενέργεια μετρήσεων και ρυθμίσεων του πλάτους και της φάσης του στίγματος και της ευαισθησίας. Το εύρος ζώνης του δέκτη των **300MHz** είναι επαρκές για επαγγελματικές παρατηρήσεις. Όταν λειτουργήσει, το **THERMOpYlae** θα εκτελεί παρατηρήσεις με ένα πιάτο καθώς και παρεμβολικές παρατηρήσεις ολικής έντασης και πόλωσης. Η παρουσία της ελληνικής κεραίας στο

Κεφάλαιο 1. Τηλεσκοπία

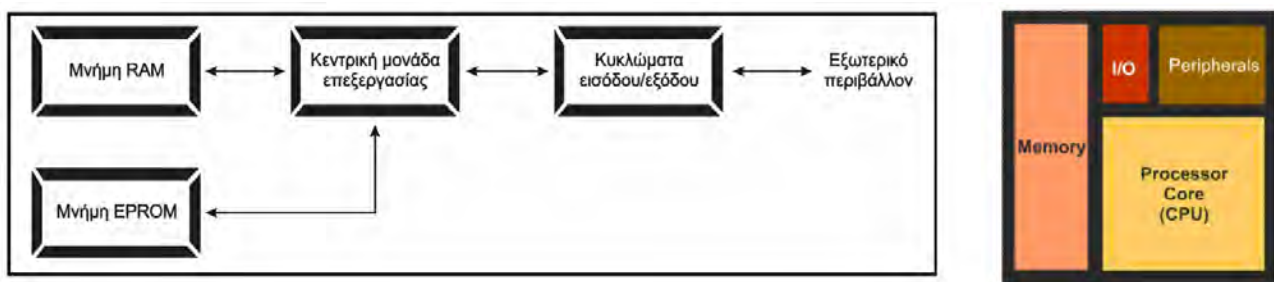
συμβολόμετρο **VLBI** γεμίζει την εσωτερική περιοχή της δομής του υπεριώδους, ενισχύοντας έτσι τη δομή μεγάλης κλίμακας της ραδιοπηγής [7],[8].



Σχήμα 1.14: Το πρώτο ελληνικό ραδιοτηλεσκόπιο *THERMOpylae* [9],[10].

2 Μικροελεγκτές

Ο μικροελεγκτής είναι ένας ολόκληρος μικροϋπολογιστής σχεδιασμένος πάνω σ' ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα που περιλαμβάνει τον μικροεπεξεργαστή αλλά και έχει ενσωματωμένη μνήμη **RAM**, μνήμη **ROM**, χρονιστές-απαριθμητές, **UARTs**, πόρτες και άλλες κοινές περιφερειακές λειτουργίες εισόδου-εξόδου ώστε να μπορεί να επικοινωνεί με εξωτερικές συσκευές.



Σχήμα 2.1: Η βασική δομή ενός μικροελεγκτή [11].

Ο μικροελεγκτής, όπως και ο μικροεπεξεργαστής, είναι σχεδιασμένος με σκοπό να ανακαλεί δεδομένα από την μνήμη του, να κάνει πάνω σ' αυτά περιορισμένες πράξεις και να ελέγχει το περιβάλλον του. Η κύρια χρήση ενός μικροελεγκτή είναι να ελέγχει τη λειτουργία μιας μηχανής χρησιμοποιώντας ένα πρόγραμμα, που είναι αποθηκευμένο στη μνήμη **ROM** του μικροελεγκτή και δεν αλλάζει, παρά μόνο αν προγραμματιστεί εξ αρχής ο μικροελεγκτής με σκοπό να εκτελεί μια διαφορετική λειτουργία.

Η οικογένεια των μικροελεγκτών **PIC** είναι αρκετά δημοφιλής τόσο σε φοιτητές όσο και σε βιομηχανικές δουλειές καθώς αποτελεί μια εύκολη λύση λόγω του χαμηλού κόστους, της δυνατότητας σειριακού προγραμματισμού και της εύκολης διαθεσιμότητάς του. Στο εμπόριο θα βρει κάποιος δεκάδες τύπους μικροελεγκτών ανάλογά με τις ανάγκες της εφαρμογής που θέλουμε να εκτελεί. Οι μικροελεγκτές τύπου **8-bit PIC** χωρίζονται σε 4 κατηγορίες με βάση τα ενσωματωμένα ειδικά χαρακτηριστικά τους:

- **PIC10FXXX series**

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

- PIC12FXXX series
- PIC16FXXX series
- PIC18FXXX series

Βέβαια η εταιρεία **Microchip** παρέχει επίσης κι άλλες σειρές μικροελεγκτών όπως οι **PIC32**, **PIC24** και **DSPic**. Ωστόσο η σειρά **PIC16** ή **PIC18** είναι η πλέον κατάλληλη ειδικότερα για κάποιον που είναι αρχάριος στον προγραμματισμό με **Microchip**.

2.1 Ο Μικροελεγκτής **PIC16F877A**

Στη συγκεκριμένη εργασία θα ασχοληθούμε με την οικογένεια μικροελεγκτών **PIC16FXXX** (**Peripheral Interface Controller**) της εταιρείας **Microchip** και συγκεκριμένα με τον μικροελεγκτή **PIC16F877A**, τεχνολογίας **CMOS**, που αποτελεί έναν από τους πιο δημοφιλείς μικροελεγκτές της εταιρείας. Ένα χαρακτηριστικό που κάνει τον μικροελεγκτή **PIC16F877A**, καθώς και γενικότερα τους μικροελεγκτές που ανήκουν στην κατηγορία **PIC16F87x**, ιδιαίτερα ελκυστικό και κατάλληλο για απλές εφαρμογές είναι η δυνατότητα που έχει να διαγράφεται η μνήμη του προγράμματος και να επαναπρογραμματίζεται μέσω κατάλληλων ηλεκτρικών σημάτων. Πιο συγκεκριμένα η μνήμη προγράμματος ονομάζεται **Flash EEPROM** (η λέξη **flash** μας δηλώνει ότι η μνήμη λειτουργεί με υψηλή ταχύτητα κατά τη διαγραφή και τον προγραμματισμό της) και είναι ηλεκτρικά διαγραφόμενη και προγραμματιζόμενη. Για τον λόγο αυτό το ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο στην ανάπτυξη πιλοτικού προγράμματος όσο και στην ανάπτυξη του πρωτότυπου προγράμματος και κατ' επέκταση και στην τελική υλοποίηση του κυκλώματος που θα τεθεί σε χρήση για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Επίσης αξίζει να αναφερθεί ότι η διαγραφή της μνήμης και ο προγραμματισμός του ολοκληρωμένου κυκλώματος μπορούν να πραγματοποιηθούν χιλιάδες φορές. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή είναι σχετικά απλός καθώς έχει τη δυνατότητα να προγραμματίζεται από απλούς προγραμματιστές, δηλαδή κυκλώματα, σχεδιασμένα από την ίδια εταιρεία, που από τη μια μεριά συνδέονται σε σειριακή ή θύρα **USB** με τον προσωπικό μας υπολογιστή και από την άλλη μεριά συνδέονται σε ορισμένους αχροδέκτες του μικροελεγκτή που θέλουμε να προγραμματίσουμε. Επίσης η εταιρεία **Microchip** εκτός από τα ολοκληρωμένα κυκλώματα και τους προγραμματιστές διαθέτει και ειδικό πρόγραμμα (**MPLAB X**) με το οποίο μπορούμε να συντάξουμε τον κώδικα για

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή καθώς επίσης και να διαβιβάσουμε τον κώδικά μας μέσω του προγραμματιστή στον μικροελεγκτή μας.

2.2 Αρχιτεκτονική του Μικροελεγκτή **PIC16F877A**

Η βασική αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών είναι παρόμοια με αυτή των μικροεπεξεργαστών. Ωστόσο ένα από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά της αρχιτεκτονικής πολλών μικροελεγκτών είναι το ότι διαθέτουν διαφορετικό χώρο μνήμης για τις εντολές (μνήμη προγράμματος) και διαφορετικό χώρο μνήμης δεδομένων, για τα διάφορα δεδομένα και αποτελέσματα της επεξεργασίας, κάτι που δεν συναντάμε στους συνηθισμένους μικροεπεξεργαστές. Η αρχιτεκτονική αυτή των μικροελεγκτών είναι γνωστή και ως αρχιτεκτονική **Harvard**.

Ο μικροελεγκτής **PIC16F877A** αποτελείται από διάφορα στοιχεία όπως φαίνεται στο μπλοκ διάγραμμα του 2.2, όπου παρουσιάζεται η δομή του μικροελεγκτή. Σε αυτά περιλαμβάνονται:

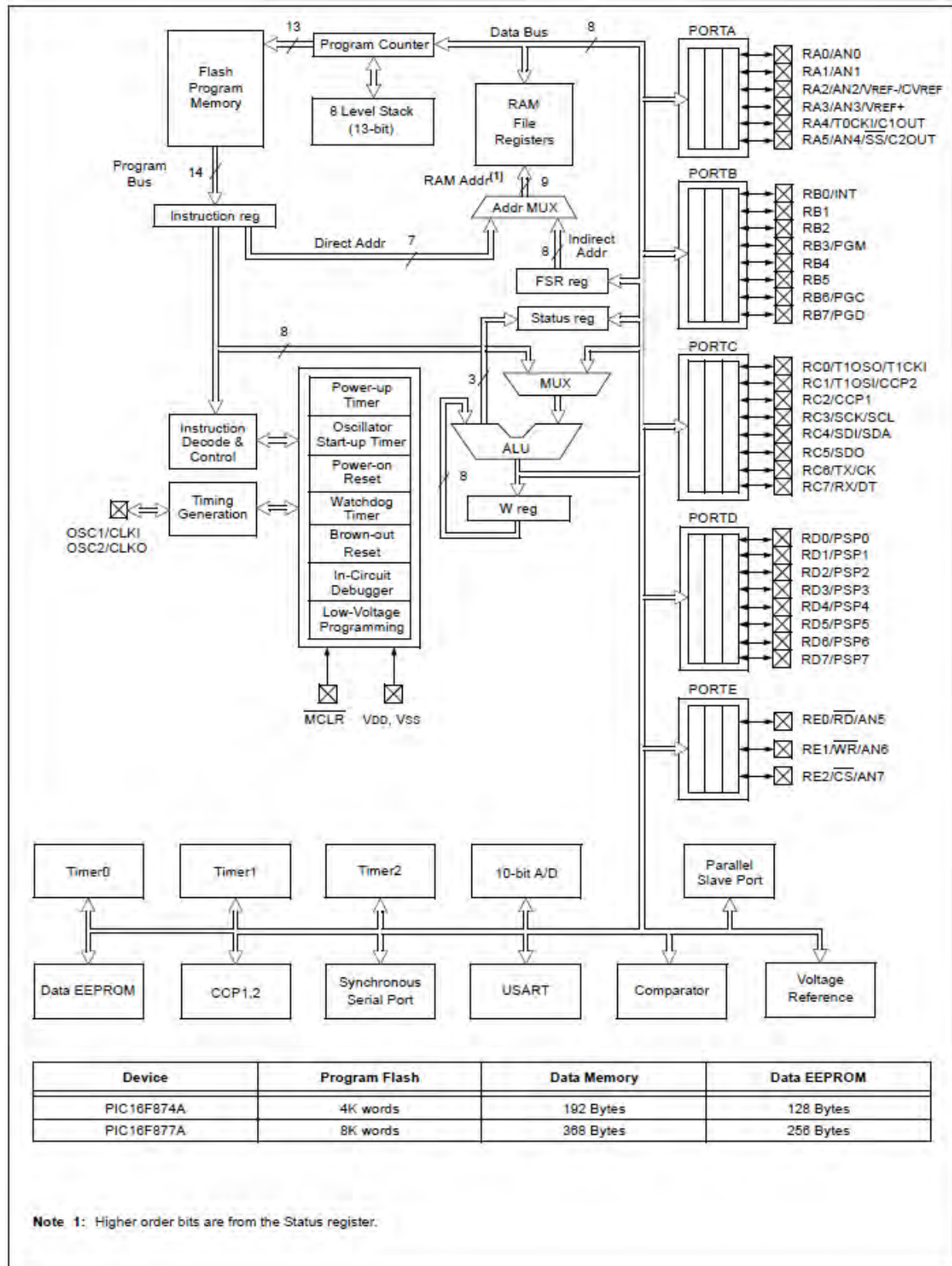
- **Κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU):** Η CPU είναι ο εγκέφαλος του μικροελεγκτή και είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση εντολών.
- **Αρχιτεκτονική 8-bit:** Ο PIC16F877A είναι ένας μικροελεγκτής 8-bit, που σημαίνει ότι μπορεί να επεξεργάζεται δεδομένα σε κομμάτια των 8-bit.
- **Αρχιτεκτονική Harvard:** Ο PIC16F877A βασίζεται στην αρχιτεκτονική **Harvard**, πράγμα που σημαίνει ότι διαθέτει ξεχωριστούς χώρους μνήμης για τη μνήμη προγράμματος και τη μνήμη δεδομένων. Αυτό επιτρέπει την ταχύτερη και αποτελεσματικότερη επεξεργασία δεδομένων.
- **Αρχιτεκτονική RISC:** Ο PIC16F877A χρησιμοποιεί αρχιτεκτονική **RISC (Reduced Instruction Set Computing)**, που σημαίνει ότι διαθέτει ένα μικρό και βελτιωμένο σύνολο εντολών. Αυτό το καθιστά πιο αποδοτικό και ταχύτερο από άλλες αρχιτεκτονικές που διαθέτουν πιο σύνθετα σύνολα εντολών.
- **Μνήμη:** Ο μικροελεγκτής διαθέτει 14 Kbytes μνήμης flash για την αποθήκευση προγράμματος την λεγόμενη μνήμη προγράμματος (**ROM**) και 368 bytes για την αποθήκευση δεδομένων την λεγόμενη μνήμη δεδομένων (**RAM**). Η μνήμη προγράμματος χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του κώδικα του προγράμματος, ενώ η μνήμη δεδομένων χρησιμοποιείται για την

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

προσωρινή αποθήκευση δεδομένων κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος. Διαθέτει επίσης **256 bytes** ηλεκτρικά διαγράψιμης προγραμματιζόμενης μνήμης μόνο για ανάγνωση (EEPROM).

- **Θύρες εισόδου/εξόδου (I/O):** Ο μικροελεγκτής διαθέτει 33 ακίδες εισόδου/εξόδου (I/O), οι οποίες μπορούν να διαμορφωθούν για μια ποικιλία λειτουργιών όπως τη διασύνδεση με εξωτερικές συσκευές, αισθητήρες, διακόπτες, λυχνίες **LED** και οθόνες, ψηφιακή είσοδος/έξοδος, αναλογική είσοδος και έξοδος **PWM** (διαμόρφωση εύρους παλμών). Διαθέτει επίσης μια ποικιλία περιφερειακών συσκευών, όπως χρονοδιακόπτες, **USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter)**, **SPI (Serial Peripheral Interface)** και **I2C (Inter-Integrated Circuit)**.
- **Αναλογικό-ψηφιακός μετατροπέας (ADC):** Ο **ADC** χρησιμοποιείται για τη μετατροπή αναλογικών σημάτων (όπως αυτά που προέρχονται από αισθητήρες) σε ψηφιακά σήματα που μπορούν να επεξεργαστούν από τον μικροελεγκτή.
- **Χρονοδιακόπτες/μετρητές:** Ο μικροελεγκτής διαθέτει διάφορους χρονοδιακόπτες/μετρητές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ποικίλες εργασίες, όπως η μέτρηση χρονικών διαστημάτων, η παραγωγή σημάτων **PWM** και η καταμέτρηση συμβάντων.
- **Διασύνδεση σειριακής επικοινωνίας (SCI):** Η **SCI** χρησιμοποιείται για σειριακή επικοινωνία με άλλες συσκευές, όπως ένας υπολογιστής ή ένας άλλος μικροελεγκτής.
- **Ταλαντωτής:** Ο ταλαντωτής παρέχει το σήμα ρολογιού στον μικροελεγκτή, το οποίο χρησιμοποιείται για τον συγχρονισμό της λειτουργίας της **CPU** και άλλων στοιχείων. Ο **PIC16F877A** λειτουργεί σε μέγιστη συχνότητα ρολογιού **20 MHz**, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να εκτελέσει έως και **20 εκατομμύρια εντολές ανά δευτερόλεπτο**.

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές



Σχήμα 2.2: Γενικό διάγραμμα της αρχιτεκτονικής του μικροελεγκτή *PIC16F877A* [12].

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

2.3 Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας CPU

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) είναι η κύρια μονάδα επεξεργασίας ενός μικροελεγκτή, συμπεριλαμβανομένου του PIC16F877A. Αποτελείται από τον καταχωρητή W γνωστός και ως συσσωρευτής, όπου αποθηκεύονται τα δεδομένα μετά από την επεξεργασία με αριθμητικές και λογικές πράξεις. Η επεξεργασία αυτή γίνεται στην αριθμητική και λογική μονάδα (ALU) που διαθέτει και είναι υπεύθυνη για την εκτέλεση εντολών, την εκτέλεση αριθμητικών και λογικών πράξεων και τον έλεγχο της ροής δεδομένων μέσα και έξω από τον μικροελεγκτή. Η CPU είναι ένας μικροελεγκτής 8 bit, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να επεξεργάζεται δεδομένα σε κομμάτια των 8 bit.

Βασίζεται στην αρχιτεκτονική RISC (Reduced Instruction Set Computing), που σημαίνει ότι διαθέτει ένα μικρό και βελτιωμένο σύνολο εντολών. Αυτό την καθιστά πιο αποτελεσματική και ταχύτερη από άλλες αρχιτεκτονικές που διαθέτουν πιο σύνθετα σύνολα εντολών. Η CPU του PIC16F877A έχει ταχύτητα ρολογιού έως και 20 MHz, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να εκτελέσει έως και 20 εκατομμύρια εντολές ανά δευτερόλεπτο. Διαθέτει επίσης διάφορα ενσωματωμένα χαρακτηριστικά υλικού, όπως χρονιστές, μετρητές και διακοπές, που της επιτρέπουν να εκτελεί διάφορες λειτουργίες και να αλληλεπιδρά με το εξωτερικό της περιβάλλον. Η CPU προσφέρει και κάποια ειδικά χαρακτηριστικά για την απαλοιφή όσο το δυνατό περισσότερων περιφερειακών συστημάτων, όπως:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™) via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

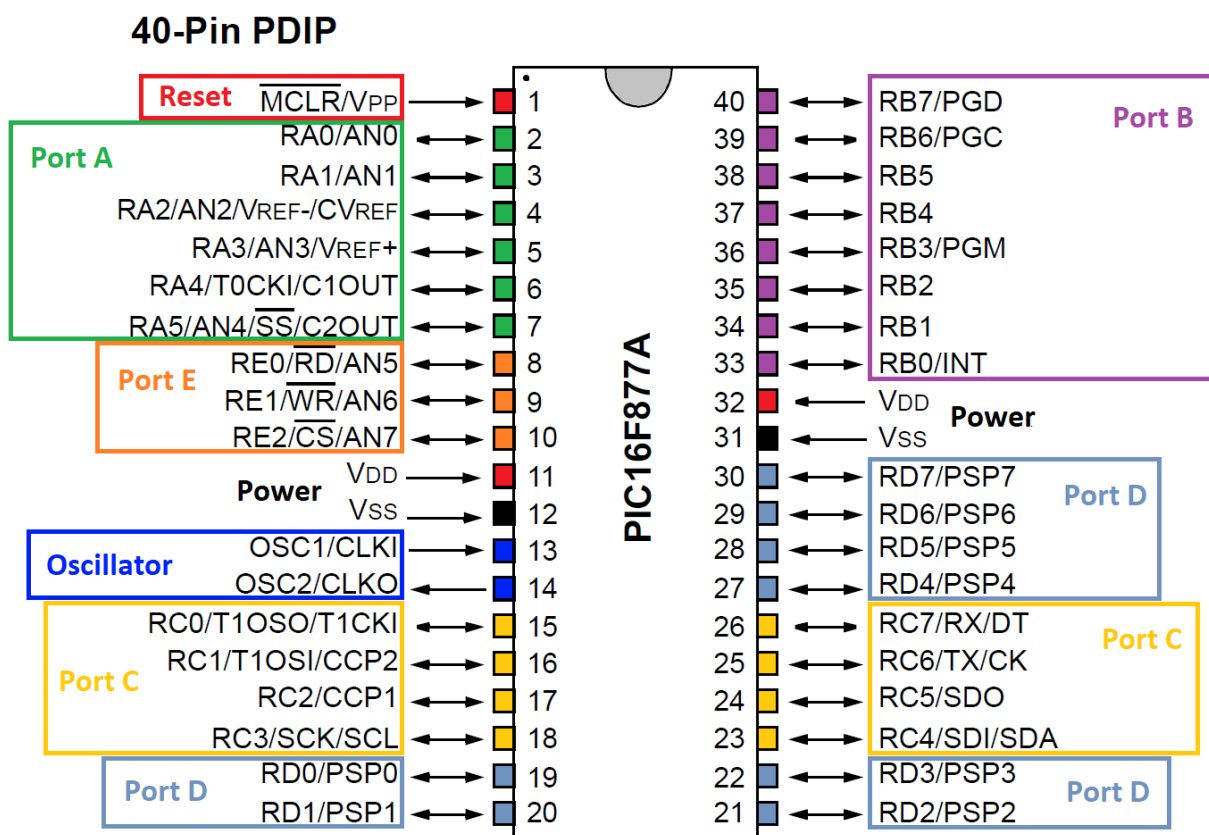
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

2.4 Οι ακροδέκτες του **PIC16F877A**

Παρακάτω απεικονίζονται ορισμένες από τις λειτουργίες του μικροελεγκτή καθώς και η διαμόρφωση των ακροδεκτών του. Αρχικά πρόκειται για έναν μικροελεγκτή 40 ακίδων (40-Pin PDIP) με τις βασικότερες να είναι οι ακίδες τροφοδοσίας V_{DD} (τροφοδοσία ρεύματος) και V_{SS} (γείωση). Οι ακροδέκτες είναι τοποθετημένοι σε μορφή διπλής γραμμικής συσκευασίας (DIP), η οποία είναι μια κοινή μορφή για ηλεκτρονικά εξαρτήματα διαμπερούς οπής. Πριν όμως αναφερθούν αναλυτικά οι ακροδέκτες του ολοκληρωμένου κυκλώματος θα πρέπει να κατανοηθεί ο τρόπος με τον οποίο αριθμούνται οι ακροδέκτες σε όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα του εμπορίου. Αρχικά όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα οποιουδήποτε σχήματος (τετράγωνο ή ορθογώνιο) υποδεικνύουν τον ακροδέκτη PIN 1 με μια χαρακτηριστική "τελεία" που βρίσκεται πάνω δεξιά στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Επίσης το επάνω μέρος του κυκλώματος υποδεικνύεται με μια χαρακτηριστική ελλειψοειδή εγκόπη. Αφού βρεθούν τα δυο αυτά χαρακτηριστικά πάνω σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, μπορεί να ξεκινήσει η αρίθμηση πηγαίνοντας από την "τελεία" προς τα κάτω και στη συνέχεια η αρίθμηση περνάει από τα αριστερά προς τα δεξιά και συνεχίζει προς τα πάνω. Αφού λοιπόν κατανοήθηκε η αρίθμηση του μικροελεγκτή ως αναφερθούμε στην λειτουργία των ακροδεκτών του. Αρχικά πρέπει να αναφερθεί πως από τους 40 συνολικά ακροδέκτες του κυκλώματος οι 33 αποτελούν ακροδέκτες εισόδου και εξόδου.

2.4.1 Ακροδέκτες τροφοδοσίας

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα 2.3 οι ακροδέκτες τροφοδοσίας V_{DD} είναι οι ακροδέκτες PIN 11 και PIN 32 στους οποίους εφαρμόζουμε τάση +5V από μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας. Συνήθως χρησιμοποιούνται και οι δυο ακίδες για την παροχή τροφοδοσίας σε αυτού του είδους τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Ομοίως οι ακροδέκτες PIN 12 και PIN 31 αποτελούν τους δυο ακροδέκτες γείωσης του ολοκληρωμένου κυκλώματος και συνδέονται στη γείωση της τροφοδοσίας μας.

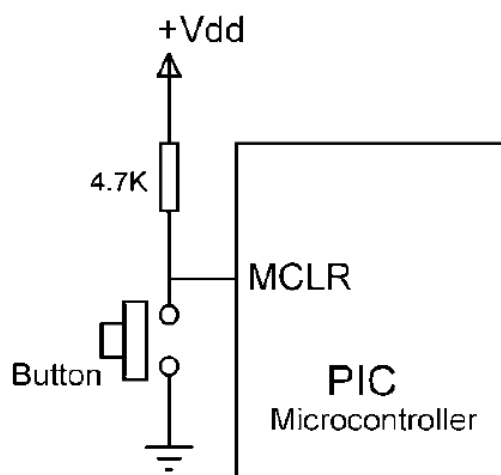


Σχήμα 2.3: Διάγραμμα ακροδεκτών του *PIC16F877A* [12].

2.4.2 Ακροδέκτης εκκαθάρισης ή επαναφοράς

Ο μικροελεγκτής διαθέτει επίσης ένα κεντρικό ακροδέκτη εκκαθάρισης ή ακροδέκτη επαναφοράς. Ο συγκεκριμένος ακροδέκτης **PIN 1** χρησιμοποιείται στην περίπτωση που απαιτηθεί να γίνει επαναφορά στον μικροελεγκτή μας όπως και όταν γίνεται επαναφορά ή επανεκκίνηση στον υπολογιστή μας. Ο ακροδέκτης αυτός έχει το χαρακτηριστικό να είναι ενεργά χαμηλός, δηλαδή πρέπει να του δίνετε συνεχώς μια τάση 5V. Στην περίπτωση που του δοθεί τάση 0V τότε ο ελεγκτής μηδενίζεται, αναστέλλει δηλαδή όλες τις λειτουργίες του και τον επαναφέρει στην πρώτη γραμμή του κώδικα του προγράμματος που έχει ενσωματωθεί στη μνήμη του ολοκληρωμένου κυκλώματος.

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές



Σχήμα 2.4: Κύκλωμα επαναφοράς συνδεδεμένο στο *PIN1* του μικροελεγκτή [13].

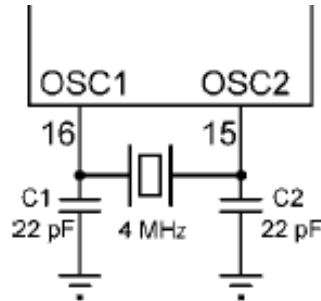
Στο παραπάνω σχήμα 2.4 φαίνεται το κύκλωμα που χρησιμοποιείται για την επαναφορά του μικροελεγκτή. Το συγκεκριμένο κύκλωμα χρησιμοποιεί ένα **push button** το οποίο συνδέεται με το **PIN 1** του μικροελεγκτή και τη γείωση. Ο ακροδέκτης του ολοκληρωμένου κυκλώματος είναι εξ αρχής συνδεδεμένος με σταθερή τάση 5V. Όταν χρειαστεί να επαναφερθεί το κύκλωμα το μόνο που πρέπει να γίνει είναι να πατηθεί το κουμπί, το οποίο θα φέρει τον ακροδέκτη **MCLR** σε δυναμικό μηδέν και με αυτό τον τρόπο θα επαναφερθεί ο μικροελεγκτής.

2.4.3 Κύκλωμα ταλαντωτή

Ο μικροελεγκτής διαθέτει επίσης ακροδέκτες για τη σύνδεση εξωτερικού κυκλώματος ταλαντωτή. Τέτοιοι ακροδέκτες είναι ο **PIN 13** και **PIN 14**, οι λεγόμενοι **OSC1** και **OSC2**, πάνω στους οποίους μπορεί να συνδεθεί ένα κρυσταλλικό αντηχείο για την παροχή εξωτερικού ρολογιού στον μικροελεγκτή. Το ¼ της συχνότητας του **OSC1** εξάγεται από τον **OSC2** σε περίπτωση λειτουργίας **RC**. Αυτό υποδεικνύει το ρυθμό κύκλου εντολών. Ο μικροελεγκτής όπως σχεδόν όλα τα ολοκληρωμένα κυκλώματα της εταιρείας υποστηρίζουν και εσωτερικό ταλαντωτή και έτσι δεν χρειάζεται πάντα να συνδέσουμε έναν εξωτερικό. Ωστόσο ο εσωτερικός κρυσταλλικός ταλαντωτής υποστηρίζει συνήθως χαμηλές συχνότητες λειτουργίας. Έτσι σε περίπτωση που απαιτηθεί να χρησιμοποιηθούν υψηλότερες συχνότητες λειτουργίας είναι απαραίτητη η σύνδεση ενός εξωτερικού κρυστάλλου με δυο κεραμικούς πυκνωτές ώστε να δημιουργηθεί ο δικός μας εξωτερικός ταλαντωτής κρυστάλλου

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 2.5.



Σχήμα 2.5: Κύκλωμα ταλαντωτή κρυστάλλου [13].

Ο συγκεκριμένος μικροεπεξεργαστής μπορεί να λειτουργήσει με τέσσερις διαφορετικές λειτουργίες ταλαντωτή. Οι λειτουργίες αυτές είναι:

- LP Low-Power Crystal
- XT Crystal/Resonator
- HS High-Speed Crystal/Resonator
- RC Resistor/Capacitor

Στην συγκεκριμένη εργασία θα χρησιμοποιηθεί η λειτουργία **HS**, δηλαδή θα συνδεθεί ένας εξωτερικός κρύσταλλος υψηλής συχνότητας (20MHz) μαζί με δύο κεραμικούς πυκνωτές, η επιλογή των οποίων έγινε με βάση των παρακάτω πίνακα 2.6 που δίνεται στο **Datasheet** του μικροελεγκτή.

Osc Type	Crystal Freq.	Cap. Range C1	Cap. Range C2
LP	32 kHz	33 pF	33 pF
	200 kHz	15 pF	15 pF
XT	200 kHz	47-68 pF	47-68 pF
	1 MHz	15 pF	15 pF
	4 MHz	15 pF	15 pF
HS	4 MHz	15 pF	15 pF
	8 MHz	15-33 pF	15-33 pF
	20 MHz	15-33 pF	15-33 pF

Σχήμα 2.6: Επιλογή κατάλληλου κεραμικού πυκνωτή για τον αντίστοιχο κρύσταλλο [12].

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

2.4.4 Ακροδέκτες σύνδεσης περιφερειακών κυκλωμάτων

Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση των υπόλοιπων ακροδεκτών του μικροελεγκτή και των λειτουργιών τους[14]:

- **PIN 2: RA0/AN0:** Η PORTA αποτελείται από 6 ακίδες, από την ακίδα 2 έως την ακίδα 7, όλες αυτές είναι αμφίδρομες ακίδες εισόδου/εξόδου. Ο ακροδέκτης 2 είναι ο πρώτος ακροδέκτης αυτής της θύρας. Αυτός ο ακροδέκτης μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως αναλογικός ακροδέκτης AN0. Είναι ενσωματωμένος αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέα.
- **PIN 3: RA1/AN1:** Αυτή μπορεί να είναι η αναλογική είσοδος 1.
- **PIN 4: RA2/AN2/ $V_{REF} - /CV_{REF}$:** Μπορεί επίσης να λειτουργήσει ως αναλογική είσοδος 2. Ή μπορεί να του δοθεί αρνητική αναλογική τάση αναφοράς.
- **PIN 5: RA3/AN3/ $V_{REF} +$:** Μπορεί να λειτουργήσει ως αναλογική είσοδος 3. Ή μπορεί να λειτουργήσει ως η αναλογική θετική τάση αναφοράς.
- **PIN 6: RA0/T0CKI/C1OUT:** Στον χρονοδιακόπτη 0 αυτός ο ακροδέκτης μπορεί να λειτουργήσει ως ακροδέκτης εισόδου ρολογιού, ο τύπος εξόδου είναι **open drain**.
- **PIN 7: RA5/AN4/SS/C2OUT:** Αυτός μπορεί να είναι η αναλογική είσοδος 4. Υπάρχει επίσης σύγχρονη σειριακή θύρα στον ελεγκτή και αυτός ο ακροδέκτης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως **slave select** για την εν λόγω θύρα.
- **PIN 8: RE0/RD/AN5:** Η PORTE ξεκινά από την ακίδα 8 έως την ακίδα 10 και αυτή είναι επίσης μια αμφίδρομη θύρα εισόδου/εξόδου. Μπορεί να είναι η αναλογική είσοδος 5 ή για την παράλληλη θύρα **slave** μπορεί να λειτουργήσει ως ακροδέκτης "ελέγχου ανάγνωσης" που θα είναι ενεργά χαμηλός.
- **PIN 9: RE1/WR/AN6:** Μπορεί να είναι η αναλογική είσοδος 6. Και για την παράλληλη θύρα **slave** μπορεί να λειτουργήσει ως "έλεγχος εγγραφής", ο οποίος θα είναι ενεργά χαμηλός.

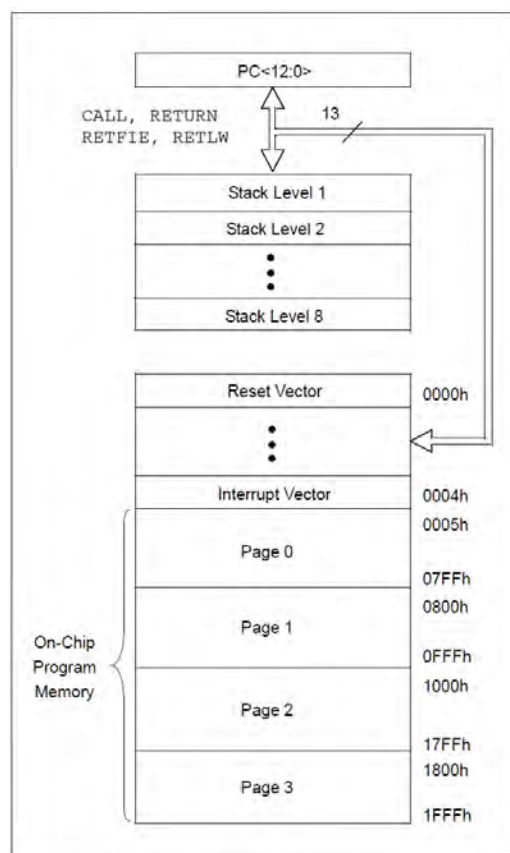
Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

- **PIN 10: RE2/CS/AN7:** Μπορεί να είναι η αναλογική είσοδος 7, ή για την παράλληλη θύρα slave μπορεί να λειτουργήσει ως "επιλογή ελέγχου", η οποία θα είναι επίσης ενεργά χαμηλή όπως και οι ακίδες ελέγχου ανάγνωσης και εγγραφής.
- **PIN 15: RC0/T1OCO/T1CKI:** Η PORTC αποτελείται από 8 ακροδέκτες. Είναι επίσης μια αμφίδρομη θύρα εισόδου/εξόδου. Από αυτούς, ο ακροδέκτης 15 είναι ο πρώτος. Μπορεί να είναι η είσοδος ρολογιού του χρονοδιακόπτη 1 ή η έξοδος ταλαντωτή του χρονοδιακόπτη 2.
- **PIN 16: RC1/T1OSI/CCP2:** Μπορεί να είναι η είσοδος ταλαντωτή του χρονοδιακόπτη 1 ή η είσοδος σύλληψης 2/έξοδος σύγκρισης 2/έξοδος PWM 2.
- **PIN 17: RC2/CCP1:** Μπορεί να είναι η είσοδος σύλληψης 1/ η έξοδος σύγκρισης 1/ η έξοδος PWM 1.
- **PIN 18: RC3/SCK/SCL:** Μπορεί να είναι η έξοδος για τις λειτουργίες SPI ή I2C και μπορεί να είναι η είσοδος/έξοδος για το σύγχρονο σειριακό ρολόι.
- **PIN 23: RC4/SDI/SDA:** Μπορεί να είναι ο ακροδέκτης δεδομένων SPI. Ή στη λειτουργία I2C μπορεί να είναι ακροδέκτης εισόδου/εξόδου δεδομένων.
- **PIN 24: RC5/SDO:** Μπορεί να είναι η έξοδος δεδομένων του SPI στη λειτουργία SPI.
- **PIN 25: RC6/TX/CK:** Μπορεί να είναι το σύγχρονο ρολόι ή ο ασύγχρονος ακροδέκτης μετάδοσης USART.
- **PIN 26: RC7/RX/DT:** Μπορεί να είναι ο σύγχρονος ακροδέκτης δεδομένων ή ο ακροδέκτης λήψης USART.
- **PIN 19-22,27-30:** Όλοι αυτοί οι ακροδέκτες ανήκουν στο PORTD που είναι και πάλι μια αμφίδρομη θύρα εισόδου και εξόδου. Όταν πρόκειται να διασυνδεθεί ο διάυλος μικροεπεξεργαστή, μπορεί να λειτουργήσει ως παράλληλη θύρα slave.
- **PIN 33-40:** Όλοι αυτοί οι ακροδέκτες ανήκουν στη θύρα PORTB. Εκ των οποίων ο PB0 μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ακροδέκτης εξωτερικής διακοπής και οι PB6 και PB7 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ακροδέκτες εντοπισμού σφαλμάτων εντός του κυκλώματος.

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

2.5 Οργάνωση της Μνήμης

Ο Μετρητής Προγράμματος (PC) είναι ένας ειδικός καταχωρητής σε έναν μικροελεγκτή που περιέχει τη διεύθυνση της επόμενης εντολής που πρόκειται να εκτελεστεί. Στον μικροελεγκτή **PIC16F877A**, ο μετρητής προγράμματος είναι ένας καταχωρητής **13 bit** που μπορεί να διευθυνσιοδοτήσει έως και **8 Kbytes** μνήμης προγράμματος. Όταν ο μικροελεγκτής ενεργοποιείται ή μηδενίζεται, ο μετρητής προγράμματος αρχικοποιείται στην τιμή **0x0000** (η πρώτη εντολή στη μνήμη προγράμματος). Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του προγράμματος, ο μετρητής προγράμματος αυξάνεται αυτόματα μετά την εκτέλεση κάθε εντολής, έτσι ώστε να δείχνει την επόμενη εντολή στη μνήμη. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο μετρητής προγράμματος είναι ένα κρίσιμο στοιχείο της ροής ελέγχου του μικροελεγκτή και πρέπει να διαχειρίζεται προσεκτικά για να διασφαλιστεί η σωστή εκτέλεση του προγράμματος. Τέλος αποτελεί βασικό συστατικό της λειτουργίας του μικροελεγκτή, επιτρέποντάς του να εκτελεί εντολές με διαδοχικό και ελεγχόμενο τρόπο.



Σχήμα 2.7: Χάρτης μνήμης προγράμματος του **PIC16F877A** [12].

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

2.5.1 Μνήμη Προγράμματος

Στον μικροελεγκτή **PIC16F877A**, η μνήμη προγράμματος είναι ένα κρίσιμο στοιχείο καθώς περιέχει τις εντολές και τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του μικροελεγκτή. Η μνήμη προγράμματος είναι οργανωμένη σε **8K** λέξεις (όπου κάθε λέξη είναι **14 bits**) μνήμης **Flash** και μπορεί να προγραμματιστεί και να επαναπρογραμματιστεί ηλεκτρικά. Η δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της μνήμης προγράμματος επιτρέπει την ευελιξία στο σχεδιασμό του προγράμματος και τη δυνατότητα ενημέρωσης ή τροποποίησης του προγράμματος κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

Η μνήμη προγράμματος είναι οργανωμένη με γραμμικό τρόπο, ξεκινώντας από τη διεύθυνση **0x0000** και καταλήγοντας στη διεύθυνση **0x1FFF**. Η μνήμη προγράμματος προσπελάσσεται από την **CPU** μέσω του διαύλου προγράμματος, ο οποίος είναι ξεχωριστός από το δίαυλο δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι η μνήμη προγράμματος και η μνήμη δεδομένων δεν μπορούν να προσπελαστούν ταυτόχρονα. Οι εντολές στη μνήμη προγράμματος εκτελούνται διαδοχικά, με τον μετρητή προγράμματος (**PC**) να δείχνει την επόμενη εντολή που πρόκειται να εκτελεστεί. Η μνήμη προγράμματος μπορεί να προγραμματιστεί με τη χρήση ειδικών εργαλείων προγραμματισμού και λογισμικού που παρέχει ο κατασκευαστής, ενώ μπορεί επίσης να διαγραφεί και να επαναπρογραμματιστεί πολλές φορές.

Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι ο μικροελεγκτής **PIC16F877A** εξαιτίας της αρχιτεκτονικής **Harvard** που χρησιμοποιεί του επιτρέπεται ταχύτερη και αποτελεσματικότερη πρόσβαση και στους δύο τύπους μνήμης (μνήμη προγράμματος και μνήμη δεδομένων), καθώς η **CPU** μπορεί να έχει πρόσβαση και στους δύο χώρους μνήμης ταυτόχρονα.

2.5.2 Μνήμη **RAM**, **EEPROM**

Η μνήμη δεδομένων χωρίζεται σε πολλαπλές τράπεζες οι οποίες περιέχουν τους καταχωρητές γενικού σκοπού και τους καταχωρητές ειδικών λειτουργιών. Πιο συγκεκριμένα η μνήμη δεδομένων αποτελείται από 4 επιμέρους περιοχές μνήμης, της λεγόμενες τράπεζες:

- **Bank0** (από **h'00** έως **h'7F'**)
- **Bank1** (από **h'80** έως **h'FF'**)
- **Bank2** (από **h'100'** έως **h'17F'**)

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

- **Bank3** (από h'180' έως h'1FF')

Κάθε τράπεζα εκτείνεται έως 7Fh, αποτελείται δηλαδή από 128 Bytes και η συνολική χωρητικότητα της μνήμης δεδομένων ανέρχεται σε 512 Bytes. Η προσπέλαση των περιοχών μνήμης γίνεται με ειδική ρύθμιση του STATUS. Τα bits RP1 (Status<6>) και RP0 (Status<5>) είναι τα bit επιλογής τράπεζας. Η RAM και η EEPROM είναι δύο τύποι μνήμης στον μικροελεγκτή PIC16F877A και χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση δεδομένων και μεταβλητών κατά την εκτέλεση του προγράμματος.

Ο PIC16F877A διαθέτει 368 bytes μνήμης τυχαίας προσπέλασης (RAM). Είναι οργανωμένη σε 224 bytes μνήμης γενικής χρήσης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο για αποθήκευση δεδομένων όσο και για μνήμη προγράμματος. Επιπλέον, ο μικροελεγκτής διαθέτει 128 bytes χώρου καταχωρητών ειδικών λειτουργιών (SFR) που περιέχουν διάφορους καταχωρητές για τον έλεγχο των περιφερειακών της συσκευής. Η μνήμη RAM του PIC16F877A είναι πτητική, πράγμα που σημαίνει ότι απαιτεί συνεχή παροχή ρεύματος για να διατηρήσει τα περιεχόμενά της. Όταν η συσκευή απενεργοποιείται ή επανεκκινείται, τα περιεχόμενα της RAM χάνονται. Η πρόσβαση στη μνήμη RAM γίνεται με τη μέθοδο άμεσης διεύθυνσης, που σημαίνει ότι τα δεδομένα αποθηκεύονται και ανακτώνται χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη διεύθυνση μνήμης. Τα δεδομένα μπορούν να αποθηκευτούν και να ανακτηθούν χρησιμοποιώντας εντολές όπως MOV, ADD, SUB και άλλες.

Η EEPROM ή Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory είναι ένας τύπος μη πτητικής μνήμης που επιτρέπει την αποθήκευση δεδομένων που θα παραμείνουν ακόμη και όταν απενεργοποιηθεί το ρεύμα. Στον μικροελεγκτή PIC16F877A, η EEPROM είναι ένας ξεχωριστός χώρος μνήμης από τη μνήμη RAM και τη μνήμη προγράμματος. Ο PIC16F877A διαθέτει 256 bytes μνήμης EEPROM, στην οποία μπορείτε να έχετε πρόσβαση χρησιμοποιώντας συγκεκριμένες διευθύνσεις μνήμης. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της μνήμης EEPROM είναι ότι μπορεί να εγγραφεί και να διαγραφεί ηλεκτρονικά, πράγμα που σημαίνει ότι μπορεί να ενημερωθεί χωρίς να χρειάζεται να αφαιρούνται και να αντικαθίστανται τα τσιπ. Αυτό την καθιστά πολύ χρήσιμη για την αποθήκευση ρυθμίσεων και άλλων δεδομένων που μπορεί να χρειάζεται να αλλάζουν ή να ενημερώνονται περιοδικά. Η πρόσβαση στην EEPROM του PIC16F877A γίνεται με τη χρήση ειδικών εντολών, όπως οι εντολές ανάγνωσης και εγγραφής EEPROM. Υπάρχουν έξι ειδικοί καταχωρητές SFRs που χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση και εγγραφή αυτής της μνήμης:

- **EECON1**

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

- **EECON2**
- **EEDATA**
- **EEDATH**
- **EEADR**
- **EEADRH**

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η **EEPROM** έχει περιορισμένη διάρκεια ζωής και η υπερβολική ανάγνωση και εγγραφή σε αυτήν μπορεί να προκαλέσει ταχύτερη φθορά της, επομένως είναι σημαντικό να χρησιμοποιείται την **EEPROM** προσεκτικά και με φειδώ. Η μνήμη **EEPROM** χρησιμοποιείται συνήθως για την αποθήκευση ρυθμίσεων διαμόρφωσης και άλλων δεδομένων που πρέπει να διατηρούνται ακόμη και όταν η τροφοδοσία είναι απενεργοποιημένη.

Τόσο η **RAM** όσο και η **EEPROM** μπορούν να προσπελαστούν και να χειριστούν από την **CPU** χρησιμοποιώντας ειδικές εντολές που παρέχονται από το σύνολο εντολών του **PIC16F877A**. Αυτές οι εντολές επιτρέπουν στη **CPU** να διαβάζει, να γράφει και να τροποποιεί δεδομένα που είναι αποθηκευμένα στη **RAM** και την **EEPROM**.

2.6 Διαχείριση ψηφιακών εισόδων/εξόδων (**I/O**)

Ο **PIC16F887A** διαθέτει πέντε θύρες εισόδου/εξόδου. Οι θύρες **PORTB**, **PORTC** και **PORTD** περιλαμβάνουν οκτώ ακροδέκτες η κάθε μία ενώ η θύρα **PORTA** περιλαμβάνει έξι ακροδέκτες και η θύρα **PORTE** τρεις. Η κάθε θύρα μπορεί να διαχειρισθεί με τη χρήση δύο καταχωρητών εύρους τόσων bit όσος είναι ο αριθμός των ακροδεκτών που διαθέτει. Ποιο συγκεκριμένο η θύρα **PORTA** διαχειρίζεται από τους καταχωρητές **TRISA** και **PORTA** οι οποίοι είναι εύρους 6 bit. Οι θύρες **PORTB**, **PORTC** και **PORTD** διαχειρίζονται από τους καταχωρητές **PORTB**, **TRISB**, **PORTC**, **TRISC** και **PORTD**, **TRISD** εύρους 8 bit και η θύρα **PORTE** από τους καταχωρητές **TRISE** και **PORTE** που είναι εύρους 3 bit.

Κάθε bit των καταχωρητών **TRISx**, **PORTx** (x=A, B, C, D, E) αντιστοιχεί σε έναν ακροδέκτη του **PIC16F887A**. Το χαμηλότερης τάξης bit του καταχωρητή **TRISA** (bit 0) αντιστοιχεί στο **RA0**, το αμέσως πιο σημαντικό bit1 αντιστοιχεί στο **RA1** κλπ. Αν κάποιο bit του καταχωρητή **TRISx**

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

βρίσκεται στο λογικό '1' τότε ο ακροδέκτης στον οποίο αντιστοιχεί αποτελεί ψηφιακή είσοδο για τον μικροελεγκτή ενώ αν βρίσκεται στο λογικό '0' τότε αποτελεί ψηφιακή έξοδο. Στην περίπτωση που κάποιο bit του καταχωρητή **TRISx** είναι στο λογικό '0' (έξοδος) τότε η κατάσταση στην έξοδο για τον ακροδέκτη που αντιστοιχεί, καθορίζεται από το αντίστοιχο bit του καταχωρητή **PORTx**. Αν το bit του **PORTx** είναι στο λογικό '0' τότε στην έξοδο θα παρατηρηθεί χαμηλό επίπεδο τάσης (συνήθως 0V) ενώ αν το bit αυτό είναι στο λογικό '1' τότε θα παρατηρηθεί υψηλό επίπεδο τάσης (συνήθως 5V).

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

File Address	File Address	File Address	File Address
Indirect addr. ^(*) 00h	Indirect addr. ^(*) 80h	Indirect addr. ^(*) 100h	Indirect addr. ^(*) 180h
TMR0 01h	OPTION_REG 81h	TMR0 101h	OPTION_REG 181h
PCL 02h	PCL 82h	PCL 102h	PCL 182h
STATUS 03h	STATUS 83h	STATUS 103h	STATUS 183h
FSR 04h	FSR 84h	FSR 104h	FSR 184h
PORTA 05h	TRISA 85h	105h	185h
PORTB 06h	TRISB 86h	PORTB 106h	TRISB 186h
PORTC 07h	TRISC 87h	107h	187h
PORTD ⁽¹⁾ 08h	TRISD ⁽¹⁾ 88h	108h	188h
PORTE ⁽¹⁾ 09h	TRISE ⁽¹⁾ 89h	109h	189h
PCLATH 0Ah	PCLATH 8Ah	PCLATH 10Ah	PCLATH 18Ah
INTCON 0Bh	INTCON 8Bh	INTCON 10Bh	INTCON 18Bh
PIR1 0Ch	PIE1 8Ch	EEDATA 10Ch	EECON1 18Ch
PIR2 0Dh	PIE2 8Dh	EEADR 10Dh	EECON2 18Dh
TMR1L 0Eh	PCON 8Eh	EEDATH 10Eh	Reserved ⁽²⁾ 18Eh
TMR1H 0Fh	8Fh	EEADRH 10Fh	Reserved ⁽²⁾ 18Fh
T1CON 10h	90h	110h	190h
TMR2 11h	SSPCON2 91h	111h	191h
T2CON 12h	PR2 92h	112h	192h
SSPBUF 13h	SSPAD 93h	113h	193h
SSPCON 14h	SSPSTAT 94h	114h	194h
CCPR1L 15h	95h	115h	195h
CCPR1H 16h	96h	116h	196h
CCP1CON 17h	97h	117h	197h
RCSTA 18h	TXSTA 98h	General Purpose Register 118h	General Purpose Register 198h
TXREG 19h	SPBRG 99h	16 Bytes 119h	16 Bytes 199h
RCREG 1Ah	9Ah	11Ah	19Ah
CCPR2L 1Bh	9Bh	11Bh	19Bh
CCPR2H 1Ch	CMCON 9Ch	11Ch	19Ch
CCP2CON 1Dh	CVRCON 9Dh	11Dh	19Dh
ADRESH 1Eh	ADRESL 9Eh	11Eh	19Eh
ADCON0 1Fh	ADCON1 9Fh	11Fh	19Fh
20h	A0h	120h	1A0h
General Purpose Register 96 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes	General Purpose Register 80 Bytes
7Fh	EFh	16Fh	1EFh
Bank 0	accesses 70h-7Fh	accesses 70h-7Fh	accesses 70h-7Fh
	F0h	170h	1F0h
	FFh	17Fh	1FFh
Bank 1		Bank 2	Bank 3

■ Unimplemented data memory locations, read as '0'.
 * Not a physical register.

Note 1: These registers are not implemented on the PIC16F876A.
Note 2: These registers are reserved; maintain these registers clear.

Σχήμα 2.8: Χάρτης στατικής μνήμης RAM του PIC16F877A [12].

2.7 Χρονισμός

2.7.1 Κύκλος εκτέλεσης εντολής

Σε έναν μικροελεγκτή ο κύκλος εκτέλεσης εντολών (**instruction cycle**) είναι η βασική ακολουθία λειτουργιών που εκτελεί ο επεξεργαστής για την εκτέλεση μιας εντολής. Ο κύκλος εκτέλεσης εντολών αποτελείται συνήθως από τέσσερα στάδια ή φάσεις, άρα κάθε εντολή ολοκληρώνεται σε τέσσερις περιόδους του εξωτερικού ρολογιού. Πρίν αναφερθεί αναλυτικά ο χρονισμός πρέπει να ξεκαθαρισθεί ότι ως f_{osc} εννοείται η συχνότητα του εξωτερικού ρολογιού και ως T_{osc} η συχνότητα της περιόδου. Αναλυτικά τα στάδια εκτέλεσης εντολών είναι:

1. Λήψη εντολής (**Instruction Fetch**): Σε αυτό το στάδιο, ο επεξεργαστής αναχτά την εντολή και τους τελεστές που απαιτούνται για την εκτέλεσή της από τη μνήμη ή την κρυφή μνήμη εντολών και τη φορτώνει σε έναν εσωτερικό καταχωρητή εντολών.

2. Αποκωδικοποίηση εντολής (**Instruction Decode**): Σε αυτό το στάδιο, ο επεξεργαστής αποκωδικοποιεί την εντολή και καθορίζει ποια πράξη πρέπει να εκτελέσει και σε ποιους τελεστές.

3. Εκτέλεση (**Execution**): Σε αυτό το στάδιο, ο επεξεργαστής εκτελεί τη λειτουργία που ορίζει η εντολή χρησιμοποιώντας τους τελεστές που φορτώθηκαν σε προηγούμενο στάδιο.

4. Επιστροφή εγγραφής (**Store**): Σε αυτό το στάδιο, το αποτέλεσμα της πράξης εγγράφεται πίσω στη μνήμη ή στους εσωτερικούς καταχωρητές, ανάλογα με την εντολή.

Ο κύκλος εκτέλεσης εντολών επαναλαμβάνεται για κάθε εντολή του προγράμματος, επιτρέποντας στον επεξεργαστή να εκτελεί σύνθετες εργασίες εκτελώντας μια ακολουθία απλών πράξεων. Η διάρκεια του κύκλου εκτέλεσης εντολών ορίζεται ως $4 \cdot T_{osc}$ και εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η συχνότητα ρολογιού του επεξεργαστή, η πολυπλοκότητα της εκτελούμενης εντολής και η αποτελεσματικότητα της εσωτερικής αρχιτεκτονικής του επεξεργαστή. Η χρονική διάρκεια (T) κάθε εντολής μπορεί να υπολογισθεί αν γνωρίζουμε την συχνότητα του εξωτερικού ταλαντωτή, σύμφωνα με τη σχέση:

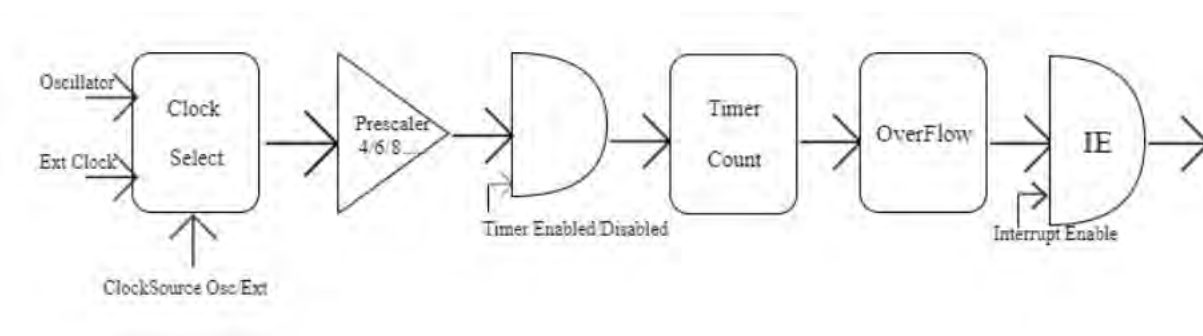
$$T = 4/f_{osc} \quad (2.1)$$

Για παράδειγμα για έναν εξωτερικό κρύσταλλο $20MHz$ η διάρκεια του κύκλου εντολής σύμφωνα με την σχέση 2.1 θα είναι $0,2\mu sec$. Ο κύκλος εκτέλεσης εντολών αποτελεί βασική έννοια στην αρχιτεκ-

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

τονική υπολογιστών και χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης των μικροελεγκτών. Βελτιώνοντας την αποδοτικότητα του κύκλου εκτέλεσης εντολών, είναι δυνατόν να αυξηθεί η ταχύτητα και η απόδοση ενός επεξεργαστή, μειώνοντας παράλληλα την κατανάλωση ενέργειας και το κόστος του.

2.7.2 Χρονοδιακόπτες (Timer modules)

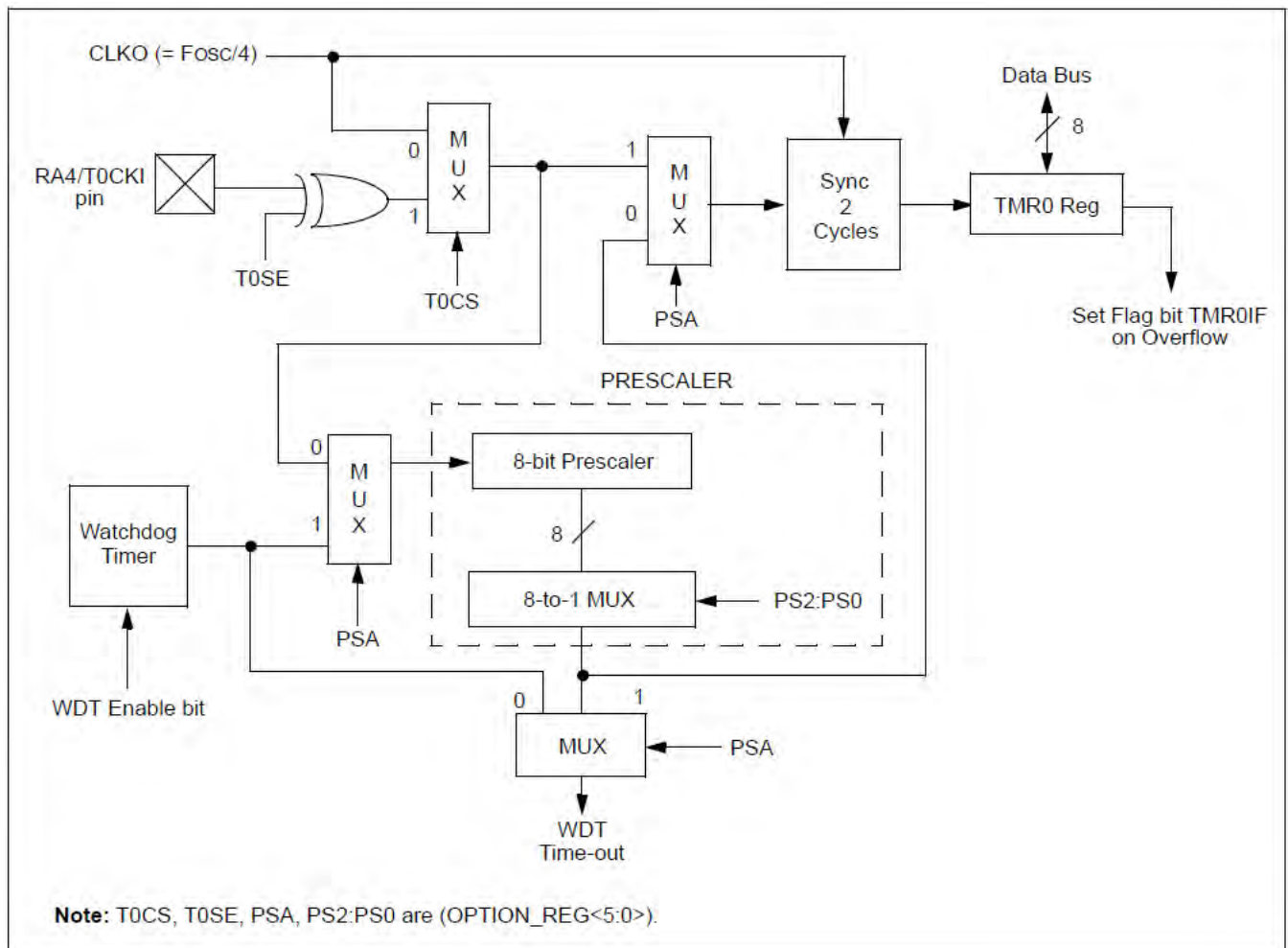


Σχήμα 2.9: *Timer modules Block Diagram [15].*

Ο μικροελεγκτής PIC16F877A διαθέτει τρεις ενσωματωμένους χρονοδιακόπτες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες λειτουργίες χρονισμού. Αυτοί οι χρονιστές είναι οι **Timer0**, **Timer1** και **Timer2**, ο καθένας με διαφορετικές δυνατότητες και τρόπους λειτουργίας. Ακολουθεί μια επισκόπηση των χρονιστών του PIC16F877A:

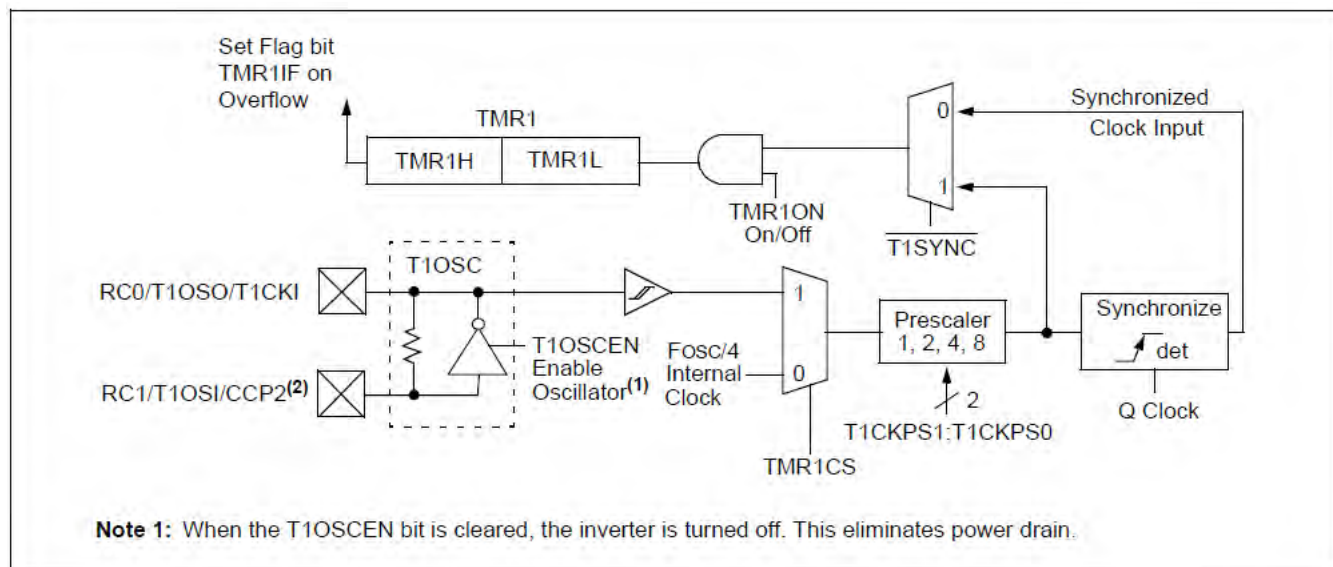
1. **Timer0**: Πρόκειται για έναν χρονοδιακόπτη 8-bit που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χρονικών καθυστερήσεων ή ως μετρητής για την καταμέτρηση εξωτερικών συμβάντων. Μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να λειτουργεί σε τέσσερις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας: Λειτουργία χρονοδιακόπτη, Λειτουργία μετρητή, Λειτουργία σύγχρονου μετρητή και Λειτουργία PWM. Στη λειτουργία **Timer Mode**, ο **Timer0** μπορεί να χρονιστεί χρησιμοποιώντας μια εσωτερική πηγή ρολογιού ή μια εξωτερική πηγή. Στη λειτουργία **Counter Mode**, ο **Timer0** μετράει εξωτερικά συμβάντα στον αχροδέκτη εισόδου του και στη λειτουργία **Synchronous Counter Mode**, μπορεί να συγχρονιστεί με μια εξωτερική πηγή ρολογιού. Στη λειτουργία **PWM**, ο **Timer0** μπορεί να παράγει ένα σήμα PWM με μεταβλητό κύκλο λειτουργίας.

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές



Σχήμα 2.10: *Block Diagram of the Timer0/WDT prescaler [12].*

2. **Timer1:** Πρόκειται για έναν χρονοδιακόπτη 16 bit που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χρονικών καθυστερήσεων, τη μέτρηση της διάρκειας εξωτερικών συμβάντων ή ως μετρητής. Μπορεί να διαμορφωθεί ώστε να λειτουργεί σε τέσσερις διαφορετικούς τρόπους λειτουργίας: Λειτουργία χρονοδιακόπτη, λειτουργία μετρητή, λειτουργία σύλληψης και λειτουργία **PWM**. Στη λειτουργία **Timer Mode**, ο **Timer1** μπορεί να χρονιστεί χρησιμοποιώντας μια εσωτερική πηγή ρολογιού ή μια εξωτερική πηγή. Στη λειτουργία **Counter Mode**, ο **Timer1** μετράει εξωτερικά συμβάντα στον ακροδέκτη εισόδου του και στη λειτουργία **Capture Mode**, μπορεί να καταγράψει την τιμή ενός εξωτερικού συμβάντος. Στη λειτουργία **PWM**, ο **Timer1** μπορεί να παράγει ένα σήμα **PWM** με μεταβλητό κύκλο λειτουργίας.



Σχήμα 2.11: *Timer1 Block Diagram [12].*

3. **Timer2:** Πρόκειται για έναν χρονοδιακόπτη 8 bit που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία χρονικών καθυστερήσεων ή ως μετρητής. Διαθέτει σταθερή προβαθμονόμηση 1:4 και μπορεί να χρονιστεί χρησιμοποιώντας μια εσωτερική πηγή ρολογιού ή μια εξωτερική πηγή. Ο Timer2 μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία σήματος PWM με μεταβλητό κύκλο λειτουργίας. Οι χρονιστές στο PIC16F877A μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μια ποικιλία εφαρμογών, όπως ο έλεγχος της ταχύτητας ενός κινητήρα, η μέτρηση της συχνότητας ενός σήματος ή η δημιουργία ακριβών χρονικών καθυστερήσεων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με άλλα χαρακτηριστικά υλικού του μικροελεγκτή, όπως οι διακοπές και οι θύρες I/O, για την εκτέλεση πιο σύνθετων εργασιών.

2.7.3 Χρονισμός και καθυστέρηση της εκτέλεσης (delay)

Ο χρόνος καθυστέρησης είναι μια κοινή έννοια στα ενσωματωμένα συστήματα και αναφέρεται στο χρόνο μεταξύ της εκτέλεσης δύο εντολών ή λειτουργιών. Στους περισσότερους μικροελεγκτές και CPU, ο χρόνος καθυστέρησης καθορίζεται από τη συχνότητα ρολογιού του επεξεργαστή και τον αριθμό των κύκλων ρολογιού που απαιτούνται για την εκτέλεση μιας εντολής ή λειτουργίας. Ο χρόνος καθυστέρησης χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές όπου ο χρονισμός είναι κρίσιμος, όπως ο έλεγχος της ταχύτητας ενός κινητήρα, η δημιουργία ακριβών χρονικών καθυστερήσεων ή

Κεφάλαιο 2. Μικροελεγκτές

ο συγχρονισμός της λειτουργίας πολλαπλών συσκευών. Για την επίτευξη ακριβούς χρονισμού σε τέτοιες εφαρμογές, είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη ο χρόνος καθυστέρησης κατά τη σχεδίαση του συστήματος και να χρησιμοποιούνται χρονιστές υλικού και διακοπές για τον συγχρονισμό της εκτέλεσης των λειτουργιών. Σε αυτό το σημείο είναι σημαντικό να κατανοηθεί πώς υπολογίζεται η χρονική καθυστέρηση από τον χρονοδιακόπτη, δεδομένου ότι η ακριβής παραγωγή καθυστέρησης είναι η πιο συνηθισμένη εφαρμογή του χρονοδιακόπτη. Για να κατανοηθεί ευκολότερα θα χρησιμοποιηθεί ένα παράδειγμα: Έστω ότι πρέπει να παραχθεί μια χρονική καθυστέρηση $10ms$ και στον μικροελεγκτή PIC είναι συνδεδεμένος ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής $20MHz$ πρέπει να ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία. Αρχικά ο χρονοδιακόπτης σχετίζεται με την εσωτερική συχνότητα η οποία είναι πάντα $F_{osc}/4$.

Η συχνότητα πηγής ρολογιού (κρύσταλλος) είναι:

$$F_{osc} = 20MHz = 20 \cdot 10^6 Hz$$

Επομένως, η συχνότητα του χρονοδιακόπτη θα είναι:

$$F_{timer} = F_{osc}/4 = 20 \cdot 10^6 / 4 = 5 \cdot 10^6 Hz = 5MHz$$

Εάν $Prescaler = 1 : 32$, τότε

$$F_{timer} = 5 \cdot 10^6 / 256 = 19531,25Hz$$

Έτσι, η τιμή του καταχωρητή TMRO θα είναι:

$$TMRO = 256 - ((Delay \cdot F_{osc}) / (Prescaler \cdot 4))$$

Άρα

$$TMRO = 256 - ((10ms \cdot 20MHz) / (32 \cdot 4)) = 256 - 156 = 100$$

3 Λογισμικό μικροελεγκτή

3.1 Λογισμικό **MPLAB**

Αφού αναλύθηκε η αρχιτεκτονική του μικροελεγκτή **PIC16F877A**, ήρθε η ώρα να αναφερθούν τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ώστε να μπορέσουμε να αναπτύξουμε πρακτικές εφαρμογές, προγραμματίζοντας τον μικροελεγκτή με κατάλληλο τρόπο. Αρχικά το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην συγκεκριμένη εργασία για την ανάπτυξη της εφαρμογής και του κώδικα είναι το **MPLAB X IDE v6.05** καθώς επίσης και το **MPLAB IPE v6.05** για την φόρτωση του κώδικα στον μικροελεγκτή μας. Το **MPLAB X IDE v6.05** είναι ένα ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης για μικροελεγκτές που έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με την οικογένεια μικροελεγκτών της **Microchip Technology**. Πρόκειται για ένα εργαλείο λογισμικού που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη και την αποσφαλμάτωση ενσωματωμένων εφαρμογών και παρέχει ένα ολοκληρωμένο σύνολο λειτουργιών για την ανάπτυξη λογισμικού, όπως η επεξεργασία κώδικα με ενσωματωμένο κειμενογράφο (**editor**), μεταγλωττιστή ή μεταφραστή (**assembler**) και προσομοιωτή (**simulator**) για την απασφαλμάτωση των προγραμμάτων. Αναλυτικά τα παραπάνω:

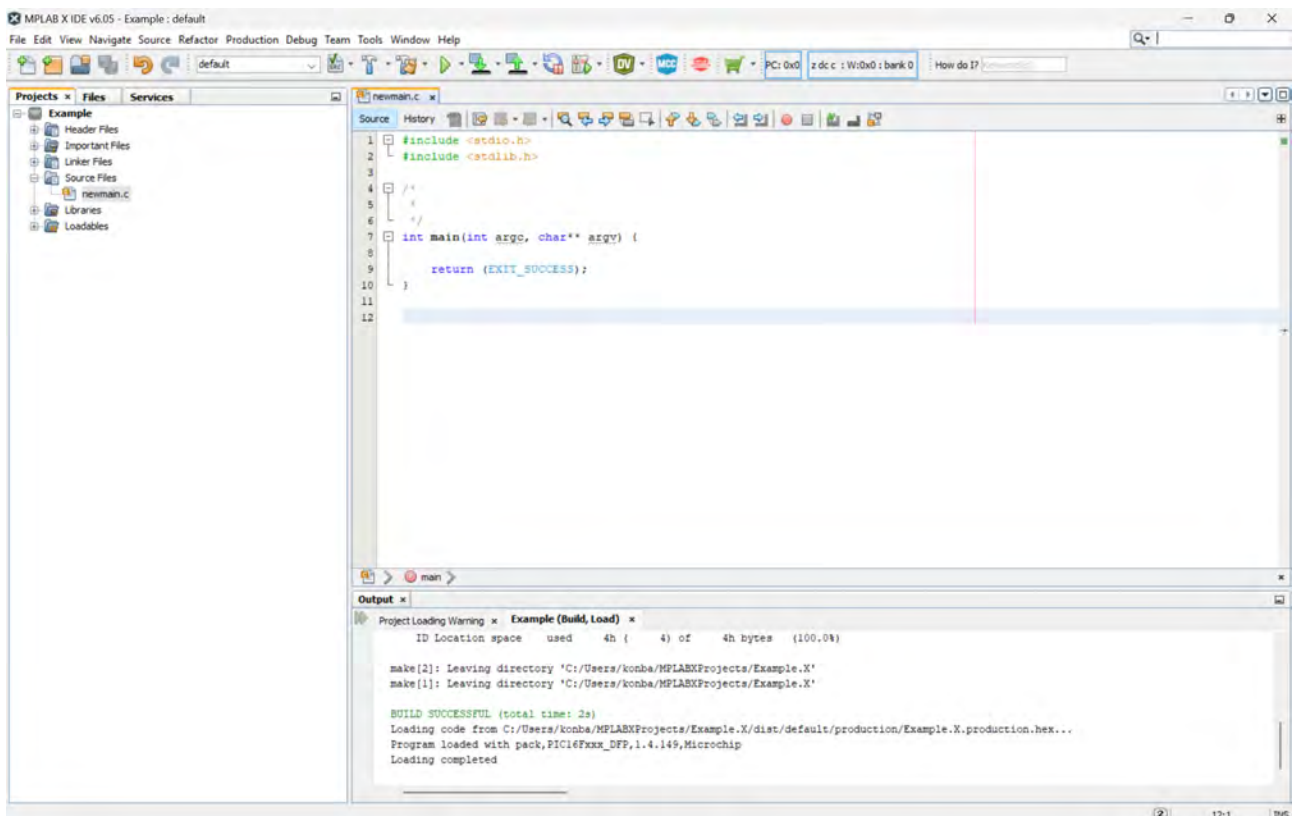
- Ο κειμενογράφος (text editor) του MPLAB X IDE v6.05: είναι ένας κειμενογράφος κώδικα που παρέχει μια σειρά χαρακτηριστικών για την επεξεργασία και τον χειρισμό του πηγαίου κώδικα. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του **MPLAB X IDE v6.05** περιλαμβάνουν έναν ισχυρό επεξεργαστή με επισήμανση κώδικα και αυτόματη συμπλήρωσή του που τον καθιστούν έναν εύκολο και ταυτόχρονα αποτελεσματικό κειμενογράφο.
- Ο μεταγλωττιστής (assembler): λειτουργεί συνήθως διαβάζοντας ένα αρχείο κειμένου που περιέχει κώδικα γλώσσας συναρμολόγησης και μετατρέποντάς τον σε κώδικα μηχανής, ο οποίος είναι μια δυαδική αναπαράσταση των εντολών που μπορεί να εκτελέσει ο μικροελεγκτής.

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

Ο κώδικας μηχανής αποθηκεύεται στη συνέχεια σε ένα αρχείο με επέκταση **.HEX**, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

- Ο προσομοιωτής (simulator): αποτελεί προαιρετικό πρόγραμμα για κάποιον που προγραμματίζει έναν μικροελεγκτή. Χρησιμοποιείται κυρίως για να δοκιμαστεί και να αποσφαλματωθεί ο κώδικάς μας πριν αναπτυχθεί σε φυσικό υλικό.

Όλα τα παρακάτω χαρακτηριστικά βρίσκονται σε όλα τα ολοκληρωμένα εργαλεία λογισμικού όπως και στο **MPLAB**.

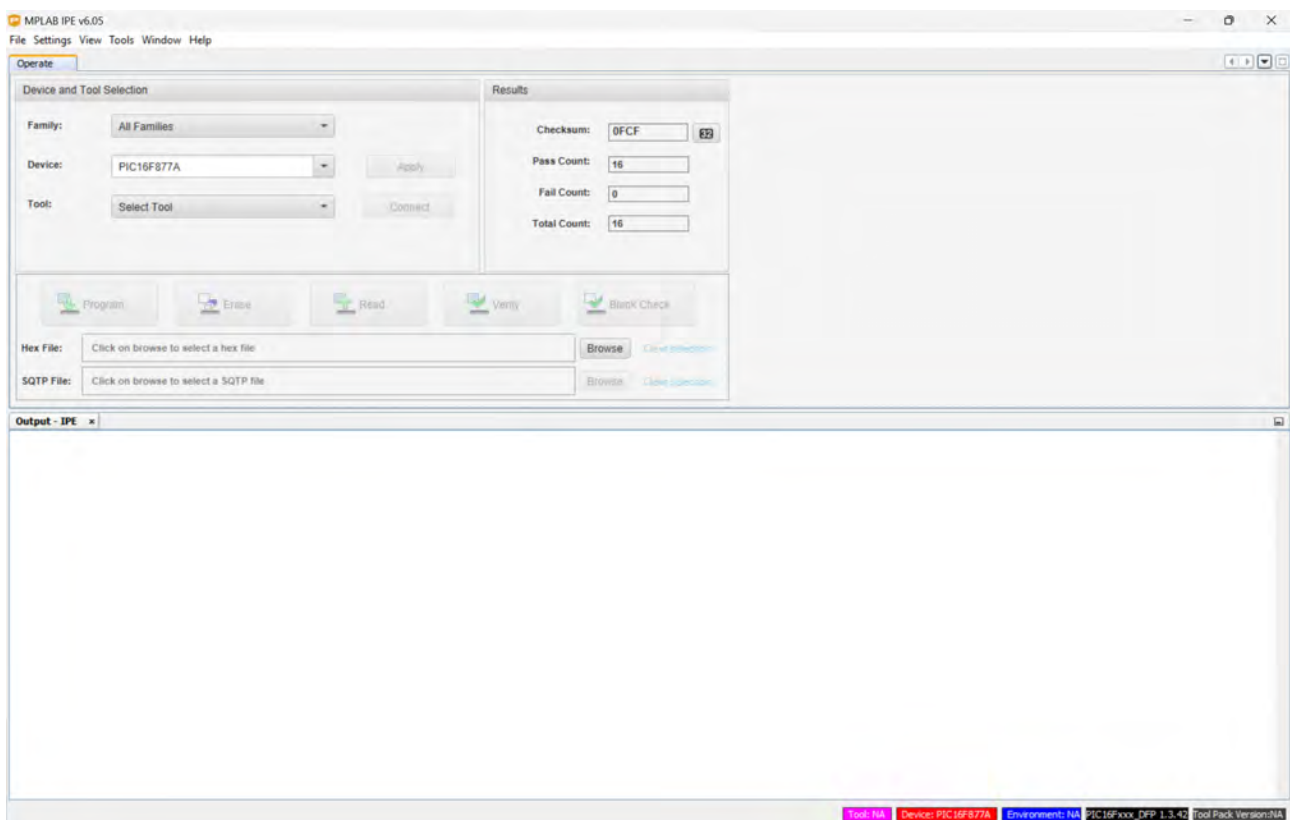


Σχήμα 3.1: Το περιβάλλον του **MPLAB X IDE**.

Στην παραπάνω εικόνα 3.1 φαίνεται το περιβάλλον λειτουργίας του προγράμματος **MPLAB X IDE** με τον κειμενογράφο (πάνω δεξιά), την κονσόλα που παράγονται τα μηνύματα λάθους (κάτω δεξιά) και την λίστα με τα αρχεία και τους κώδικες (αριστερά). Όσον αφορά το περιβάλλον λειτουργίας του **MPLAB X IDE 3.2** αυτό είναι πολύ πιο απλό καθώς εδώ παρατηρείται μόνο ένα παράθυρο εξόδου στο κάτω μέρος, όπου μας δίνονται πληροφορίες για την διαδικασία της μετάβασης του κώδικα μας

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

στον μικροελεγκτή μέσω του ειδικού κύκλωματος (π.χ. **PICkit™ 3**) καθώς επίσης και πληροφορίες που αφορούν τον μικροελεγκτή και την κατάσταση της μνήμης του. Ωστόσο πριν από την σύνδεση του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή και κατ' επέκταση την εφαρμογή, θα πρέπει να γίνουν κάποιες ρυθμίσεις στο πάνελ πάνω αριστερά που αφορούν στην συσκευή που χρησιμοποιείται (μικροελεγκτής) καθώς επίσης και τον τρόπο διασύνδεσης του με τον υπολογιστή, που στην προκειμένη περίπτωση είναι το κύκλωμα του **PICkit™ 3 3.4**.



Σχήμα 3.2: Το περιβάλλον του *MPLAB X IPE*.

Τέλος αξίζει να αναφερθεί ότι το **MPLAB X IDE v6.05** έχει επίσης σχεδιαστεί για να συνεργάζεται με άλλα εργαλεία ανάπτυξης της **Microchip**, όπως μεταγλωττιστές, αποσφαλμάτωση και προγραμματιστές, ώστε να παρέχει μια απρόσκοπτη εμπειρία ανάπτυξης. Είναι διαθέσιμο για λειτουργικά συστήματα **Windows**, **macOS** και **Linux** και μπορεί να το διανεμηθεί δωρεάν από την ιστοσελίδα της εταιρίας **Microchip**.

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

3.2 PICKit™ 3

Το PICKit™ 3 είναι ένας χαμηλού κόστους αποσφαλματωτής και προγραμματιστής κυκλώματος για την οικογένεια μικροελεγκτών PIC της Microchip. Χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό και την αποσφαλμάτωση μικροελεγκτών PIC που χρησιμοποιούν μια σειρά από διεπαφές προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων των JTAG, ICSP και SWD.



Σχήμα 3.3: PICKit™ 3 MCU PROGRAMMER/DEBUGGER[16].

Το PICKit™ 3 παρέχει προηγμένα χαρακτηριστικά αποσφαλμάτωσης, όπως αποσφαλμάτωση σημείων διακοπής, αποσφαλμάτωση ενός βήματος και αποσφαλμάτωση σε πραγματικό χρόνο. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό μη πτητικής μνήμης (EEPROM) και για την ανάγνωση και εγγραφή καταχωρητών απευθείας στη συσκευή. Επιπλέον, μπορεί να παρέχει ρεύμα στην προς προγραμματισμό συσκευή, επιτρέποντας τον προγραμματισμό και την αποσφαλμάτωση της χωρίς

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

εξωτερική παροχή ρεύματος. Το PICKit™ 3 είναι επίσης συμβατό με το MPLAB® Integrated Development Environment (IDE) και το MPLAB® Integrated Programming Environment (IPE).

3.2.1 LEDs κατάστασης του PICKit™ 3

Οι λυχνίες LED κατάστασης (5) 3.3 υποδεικνύουν την κατάσταση του PICKit™ 3, όταν αυτό συνδεθεί κατάλληλα με τον μικροελεγκτή και τον υπολογιστή μας. Είναι σημαντικά για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή καθώς μας υποδεικνύουν σημαντικές πληροφορίες όπως:

1. Τροφοδοσία (Power) (πράσινο): Το PICKit™ 3 τροφοδοτείται με ρεύμα μέσω της θύρας USB.

2. Ενεργό (Active) (μπλε): Το PICKit™ 3 έχει σύνδεση με τη θύρα USB του υπολογιστή και η σύνδεση επικοινωνίας είναι ενεργή.

3. Κατάσταση (Status):

(κίτρινο): Το PICKit™ 3 είναι απασχολημένο με μια λειτουργία σε εξέλιξη, όπως προγραμματισμός.

(κόκκινο): Το PICKit™ 3 αντιμετώπισε κάποιο σφάλμα.

3.2.2 Το Push Button και η λειτουργία Programmer-To-Go

Όσον αφορά το κουμπί (6) 3.3 (τύπου Push Button) χρησιμοποιείται για την χρήση της λειτουργίας Programmer-To-Go.

Το Programmer-To-Go είναι ένα χαρακτηριστικό του PICKit™ 3 που επιτρέπει να προγραμματίζεται και να αποσφαλματώνεται ένας μικροελεγκτής χωρίς την χρήση υπολογιστή. Δίνεται η δυνατότητα αποθήκευσης ενός αρχείου HEX (τον μεταγλωττισμένο κώδικα προγράμματος) στο PICKit™ 3 που στη συνέχεια να χρησιμοποιείται από το PICKit™ 3 για να προγραμματιστεί απευθείας ο μικροελεγκτής, χωρίς να χρειάζεται υπολογιστή ή οποιοδήποτε άλλο λογισμικό.

Για να χρησιμοποιηθεί το Programmer-To-Go, πρέπει πρώτα να συνδεθεί το PICKit™ 3 στον υπολογιστή μας και να χρησιμοποιηθεί το MPLAB X IDE για να δημιουργηθεί και να μεταγλωττιστεί ο κώδικας του προγράμματός μας. Στη συνέχεια, πρέπει να αποθηκευτεί το αρχείο HEX στο PICKit™ 3 χρησιμοποιώντας το MPLAB X IDE.

Μόλις αποθηκευτεί το αρχείο HEX στο PICKit™ 3, μπορεί να αποσυνδεθεί το PICKit™ 3 από τον υπολογιστή και να το συνδεθεί στην πλακέτα-στόχο που διαθέτει τον μικροελεγκτή που πρόκειται

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

να προγραμματιστεί. Στη συνέχεια, πρέπει απλώς να επιλεχθεί η λειτουργία **Programmer-To-Go** στο **PICKit™ 3** και να χρησιμοποιηθούν τα ενσωματωμένα στην πλακέτα κουμπιά για να επιλεχθεί και να προγραμματισθεί το αρχείο **HEX** στον μικροελεγκτή.

Η λειτουργία **Programmer-To-Go** είναι χρήσιμη σε περιπτώσεις όπου δεν υπάρχει πρόσβαση σε υπολογιστή ή όταν πρέπει να προγραμματισθούν πολλές πλακέτες-στόχοι με τον ίδιο κώδικα γρήγορα και εύκολα.

3.2.3 Σύνδεση του **PICKit™ 3** με την πλακέτα

Η συσκευή συνδέεται στην πλακέτα, πάνω στην οποία βρίσκεται τοποθετημένος ο μικροελεγκτής, μέσω μιας κεφαλίδας **ICSP (In-Circuit Serial Programming)** 6 ακίδων και στην συνέχεια με τον υπολογιστή μας, μέσω ενός καλωδίου **Mini-USB to USB**.



Σχήμα 3.4: Το κύκλωμα διασύνδεσης του μικροελεγκτή με τον υπολογιστή μας, (*In-circuit programmer-debugger*) **PICKit™ 3** [16].

Για να συνδεθεί το **PICKit™ 3** με την πλακέτα, πρέπει πρώτα να επιβεβαιωθεί ότι η πλακέτα διαθέτει συμβατή κεφαλίδα **ICSP**, σε άλλη περίπτωση (π.χ. η πλακέτα να είναι ένα απλό **breadboard**) οι συνδέσεις πρέπει να πραγματοποιηθούν διαφορετικά.

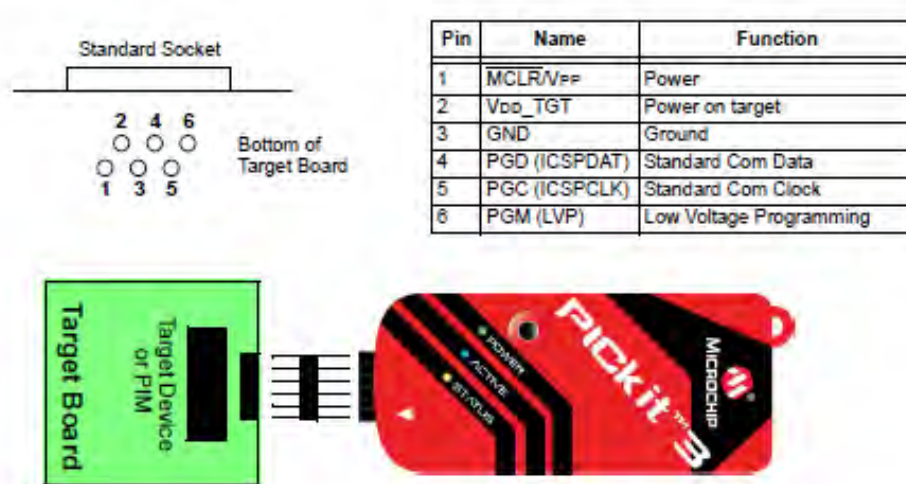
Η κεφαλίδα έχει έξι ακροδέκτες, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.5, με τις ενδείξεις:

- $MCLR/V_{pp}$
- $V_{DD}Target$

Κεφάλαιο 3. Λογισμικό μικροελεγκτή

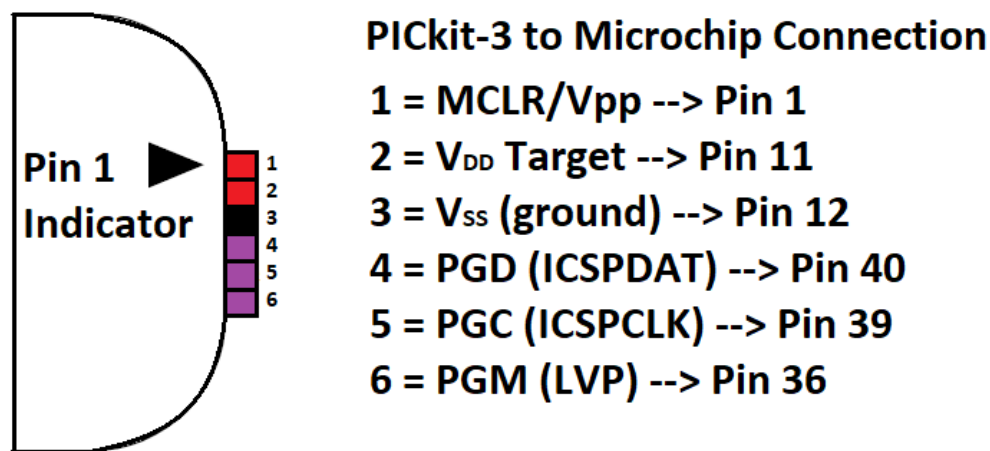
- $V_{SS}(\text{ground})$
- $PGD(ICS\text{PDAT})$
- $PGC(ICS\text{PCLK})$ και
- $PGM(LVP)$

Οι ακροδέκτες αυτοί συνδέονται με τους αντίστοιχους ακροδέκτες της συσκευής **PICkit™ 3**.



Σχήμα 3.5: Σύνδεση **PICkit™ 3** με την πλακέτα στόχο [16].

Για να υλοποιηθεί η σύνδεση, θα πρέπει να συνδεθεί ένα καλώδιο **ICSP 6** ακίδων στο **PICkit™ 3** και στην κεφαλίδα **ICSP** της πλακέτας-στόχου. Στην περίπτωση που το κύκλωμά μας έχει δημιουργηθεί σε διάτρητη πλακέτα τύπου **breadboard** οι συνδέσεις πρέπει να γίνουν ξεχωριστά με απλά μονόκλιωνα καλώδια, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 3.6.



Σχήμα 3.6: Σύνδεση *PICkit™* 3 με τον μικροελεγκτή *PIC16F877A*.

Οι ακροδέκτες V_{DD} και V_{SS} παρέχουν τροφοδοσία και γείωση στην πλακέτα-στόχο, ενώ οι ακροδέκτες PGD (δεδομένα προγράμματος) και PGC (ρολόι προγράμματος) χρησιμοποιούνται για τον προγραμματισμό και την αποσφαλμάτωση του μικροελεγκτή. Ο ακροδέκτης MCLR (Master Clear) χρησιμοποιείται για την επαναφορά της πλακέτας-στόχου, ενώ ο ακροδέκτης PGM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, όπως ο προγραμματισμός σε χαμηλή τάση.

Μόλις δημιουργηθεί η σύνδεση, μπορεί πλέον να χρησιμοποιηθεί το *PICkit™* 3 για τον προγραμματισμό και την απασφαλμάτωση του μικροελεγκτή στην πλακέτα-στόχο. Αυτό μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας το *MPLAB X IDE* όπως αναφέραμε παραπάνω.

Συνολικά, το *PICkit™* 3 είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για μηχανικούς, ερασιτέχνες και φοιτητές που εργάζονται με την οικογένεια μικροελεγκτών PIC της Microchip, καθώς παρέχει μια οικονομικά αποδοτική λύση για τον προγραμματισμό και την αποσφαλμάτωση αυτών των συσκευών.

4 Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

Για την μελέτη και το σχεδιασμό του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα προσομοίωσης **Proteus 8 Professional** με σκοπό να σχεδιαστεί το κύκλωμα του μικροελεγκτή και στη συνέχεια να προσομοιωθεί η λειτουργία του κώδικα. Το **Proteus 8 Professional** είναι ένα λογισμικό για το σχεδιασμό και την προσομοίωση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Αναπτύσσεται από την **Labcenter Electronics** και χρησιμοποιείται ευρέως από μηχανικούς και φοιτητές για τη δημιουργία κυκλωματικών διαγραμμάτων, την προσομοίωση της συμπεριφοράς των κυκλωμάτων και τη δοκιμή των σχεδίων πριν από τη φυσική κατασκευή τους. Ορισμένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του περιλαμβάνουν μια ενότητα σχεδιασμού για τη δημιουργία και την επεξεργασία κυκλωματικών διαγραμμάτων, μια ενότητα προσομοίωσης για τη δοκιμή και την επαλήθευση της συμπεριφοράς του κυκλώματος και μια ενότητα διάταξης **PCB** για το σχεδιασμό της φυσικής διάταξης μιας πλακέτας κυκλώματος. Το λογισμικό περιλαμβάνει επίσης μια ολοκληρωμένη βιβλιοθήκη εξαρτημάτων με πάνω από 30.000 συσκευές και σύμβολα. Το **Proteus 8 Professional** υποστηρίζει επίσης ένα ευρύ φάσμα οικογενειών μικροελεγκτών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σχεδίαση ενσωματωμένων συστημάτων, συμπεριλαμβανομένου του προγραμματισμού και της αποσφαλμάτωσης μικροελεγκτών. Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι όλη η διαδικασία της υλοποίησης του κυκλώματος έγινε χωρίς την χρήση κινητήρων λόγω της μη διαθεσιμότητάς τους. Για το λόγο αυτό αντί για κινητήρες χρησιμοποιήθηκαν απλά **LEDs** με σκοπό να είναι εμφανές το αποτέλεσμα του κώδικα. Ωστόσο κατά την διαδικασία της προσομοίωσης χρησιμοποιήθηκαν κανονικά κινητήρες.

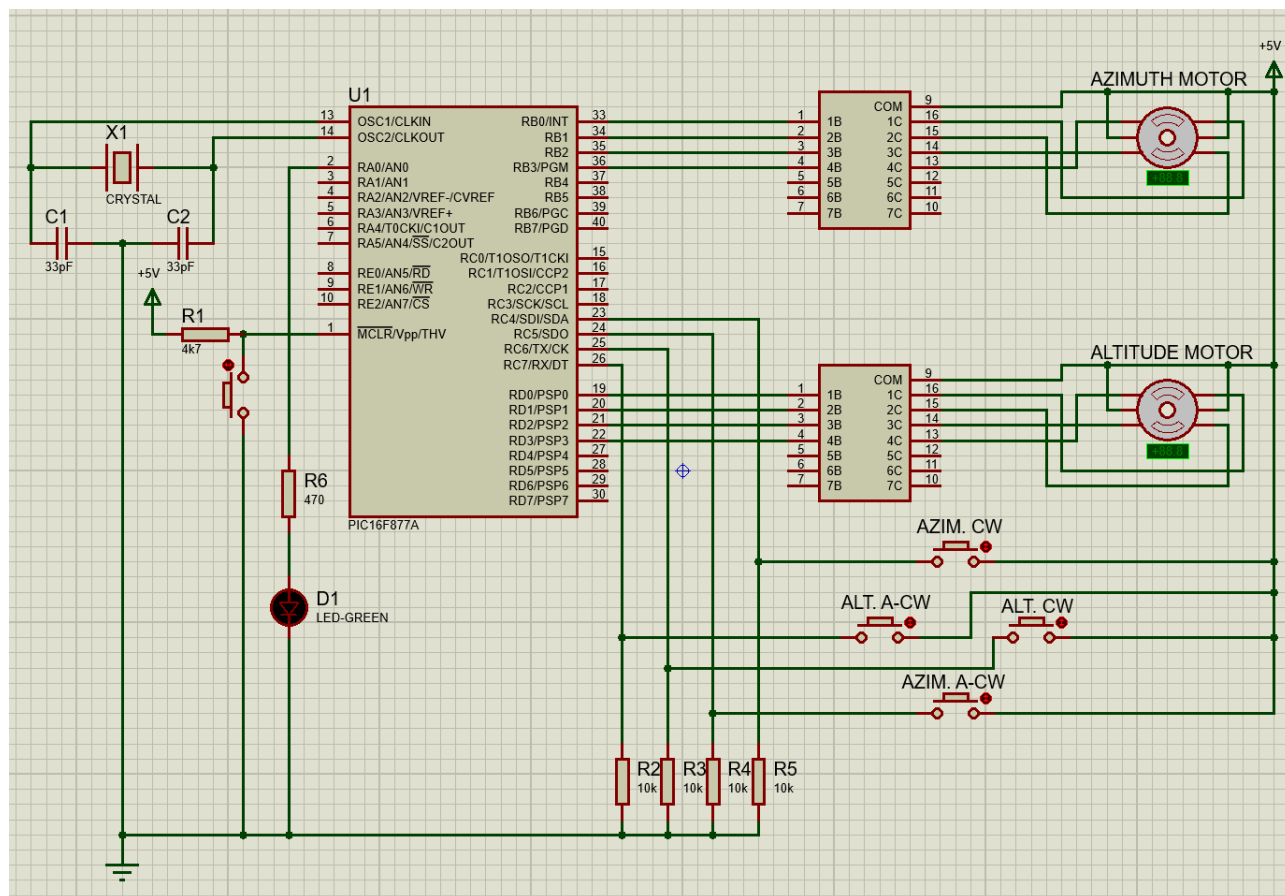
4.1 Σχεδιασμός του κυκλώματος και περιγραφή της λειτουργίας του

Για τον σχεδιασμό του κυκλώματος του συστήματος παρακολούθησης ουρανίων σωμάτων, χρησιμοποιήθηκαν δύο μονοπολικοί βηματικοί κινητήρες συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους οδηγούς

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

κινητήρων ULN2003A. Οι οδηγοί με την σειρά τους συνδέθηκαν στον μικροελεγκτή PIC16F877A απο όπου δίνονται όλες οι εντολές για την λειτουργία των μοτέρ. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι ως σύστημα στήριξης του τηλεσκοπίου χρησιμοποιήθηκε το αλταζιμουθιακό και ορίστηκαν τα μοτέρ, ένα για τον έλεγχο του αζιμούθιου και ένα για τον έλεγχο του ύψους. Ωστόσο με μικρές αλλαγές στον κώδικα του μικροελεγκτή, μπορεί να λειτουργήσει και για ισημερινή στήριξη. Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, σχεδιάστηκε κώδικας στο **MPLAB X IDE** ο οποίος περιστρέφει τους κινητήρες σε προκαθορισμένες θέσεις (που προσδιορίζονται απο αστρονομικές εφαρμογές ή ακόμα και απο απλό κώδικα γραμμένο σε **Python**). Επίσης υπάρχει η δυνατότητα και χειροκίνητης περιστροφής του τηλεσκοπίου χρησιμοποιώντας 4 **push button** (δύο για κάθε κινητήρα) ως συσκευές εισόδου για τον έλεγχο των κινητήρων και την περιστροφή τους με την φορά του ρολογιού και αντίθετα απο αυτή. Για την υλοποίηση αυτή δόθηκε η εντολή στον κώδικα ώστε η **PORTC** του μικροελεγκτή να γίνει πύλη εισόδου στο κύκλωμα και να συνδεθούν τα **push button**. Επίσης οι πύλες **PORTB** και **PORTD** ορίστηκαν ως πύλες εξόδου πάνω στις οποίες θα συνδεθούν τα μοτέρ (ένα σε κάθε πύλη). Η παραπάνω διαδικασία επιτρέπει στα μοτέρ να κινούνται με εντολές που δίνονται απευθείας απο τον χρήστη σε πραγματικό χρόνο, απο τα **push buttons**. Εκτός απο την λειτουργία αυτή υπάρχει και μια δεύτερη χρήση του μικροελεγκτή με σκοπό την αυτοματοποιημένη κίνηση των μοτέρ, ώστε να ακολουθούν αυτόματα έναν στόχο στον ουράνιο θόλο (π.χ. την παρακολούθηση του Ήλιου). Για τον λόγο αυτό δημιουργήθηκε κατάλληλος κώδικας γραμμένος σε γλώσσα προγραμματισμού **Python**, ο οποίος δέχεται ως είσοδο την θέση του τηλεσκοπίου, δηλαδή το γεωγραφικό μήκος και πλάτος της περιοχής που είναι τοποθετημένο και υπολογίζει την θέση του Ήλιου στον ουράνιο θόλο. Ο κώδικας βασίζεται στην βιβλιοθήκη **PyEphem** [17] που υλοποιεί αστρονομικούς αλγόριθμους για τη γλώσσα προγραμματισμού **Python**. Η βιβλιοθήκη είναι γραμμένη σε **Python** και **C**, και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των θέσεων των σωμάτων με βάση τα δεδομένα που λαμβάνονται απο το **XEphem**. Έτσι δίνεται η θέση του Ήλιου (αζιμούθιο και ύψος) στον κώδικα του μικροελεγκτή και με κατάλληλες εντολές, τα μοτέρ στρέφουν το τηλεσκόπιο στην σωστή θέση, δηλαδή το μοτέρ που ρυθμίζει την θέση του αζιμούθιου στρέφεται στις μοίρες που έχουν οριστεί για το αζιμούθιο και το μοτέρ του ύψους στις αντίστοιχες μοίρες που ορίζουν το ύψος. Παρακάτω φαίνεται το σχεδιάγραμμα του κυκλώματος με τους βηματικούς κινητήρες 4.1, όπως έγινε για την προσομοίωση της λειτουργίας του κώδικα με την εφαρμογή **Proteus 8 Professional**.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος



Σχήμα 4.1: Σχεδιάγραμμα κυκλώματος.

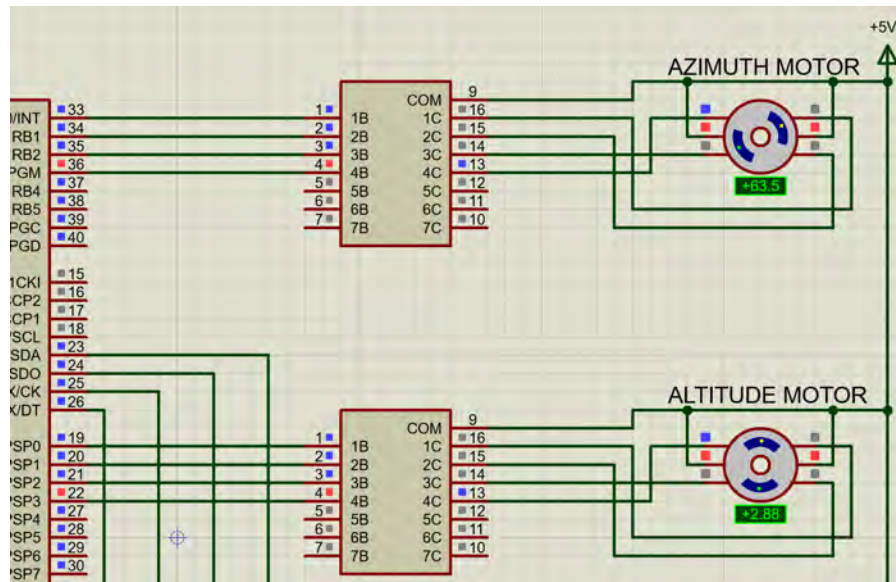
4.2 Προσομοίωση και περιγραφή της λειτουργίας του

Αφού σχεδιάστηκε το κύκλωμα και ο κώδικας του μικροελεγκτή, μπορεί πλέον να προσομοιωθεί η λειτουργία του. Απο την προσομοίωση φαίνεται ότι τα μοτέρ του τηλεσκοπίου ρυθμίζονται σωστά με βάση τα δεδομένα που έχουν δοθεί και δεν παρατηρούνται μεγάλες αποκλίσεις από τις θέσεις που ορίζονται κατά τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή. Πιο συγκεκριμένα πάρθηκε για παράδειγμα η θέση του Ήλιου σε 4 διαφορετικές φάσεις κατά την διάρκεια της ημέρας. Για τον προσδιορισμό της θέσης του ήλιου χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη PyEphem [17] και ταυτόχρονα επιβεβαιώθηκαν τα δεδομένα και από την αστρονομική πλατφόρμα SunCalc [18].

Αρχικά πάρθηκε η θέση του Ήλιου λίγο μετά την ανατολή του. Συγκεκριμένα την Δευτέρα 29 Μαΐου 2023 και ώρα 06:30 το αζιμούθιο είναι 64.41° και το ύψος είναι 3.14° . Εφαρμόζοντας τις τιμές αυτές στον κώδικα του μικροελεγκτή παρατηρήθηκε ότι το μοτέρ του αζιμούθιου στρέφεται 63.5°

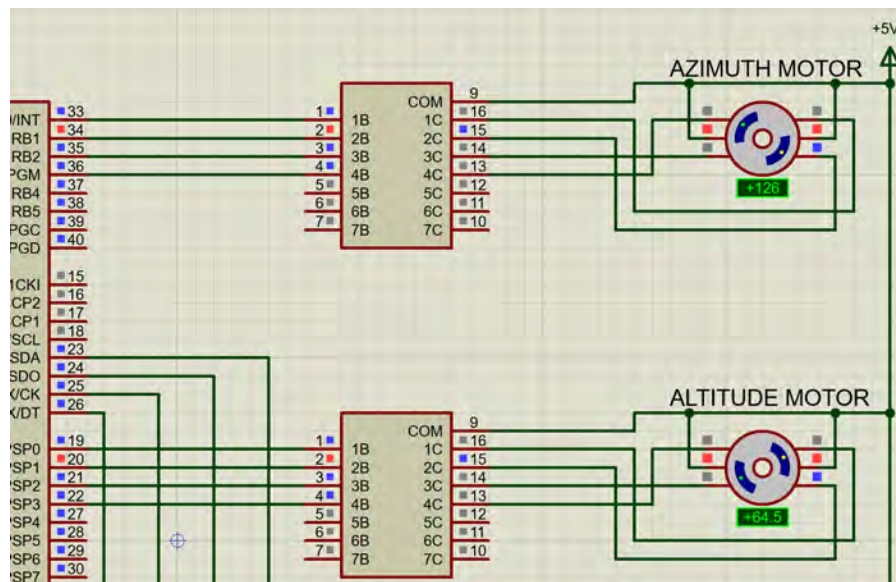
Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

και το μοτέρ του ύψους 2.88° 4.2.



Σχήμα 4.2: Η θέση των μοτέρ στις 06:30, όπου το αζιμούθιο είναι 64.41° και το ύψος είναι 3.14° .

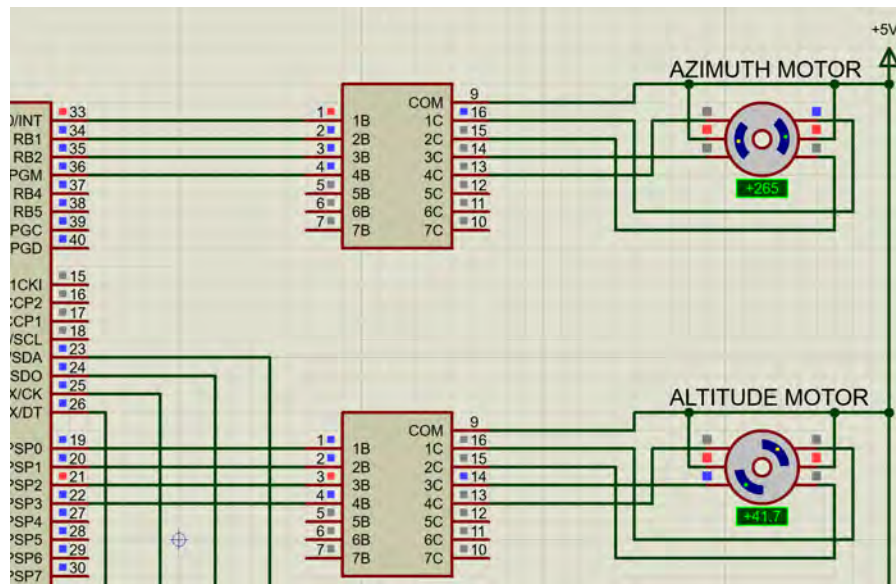
Αντίστοιχα την ίδια μέρα στις 12:00 το αζιμούθιο είναι 126.30° και το ύψος είναι 64.52° . Τα μοτέρ στρέφονται στις θέσεις 126° και 64.5° αντίστοιχα 4.3.



Σχήμα 4.3: Η θέση των μοτέρ στις 12:00, όπου το αζιμούθιο είναι 126.30° και το ύψος είναι 64.52° .

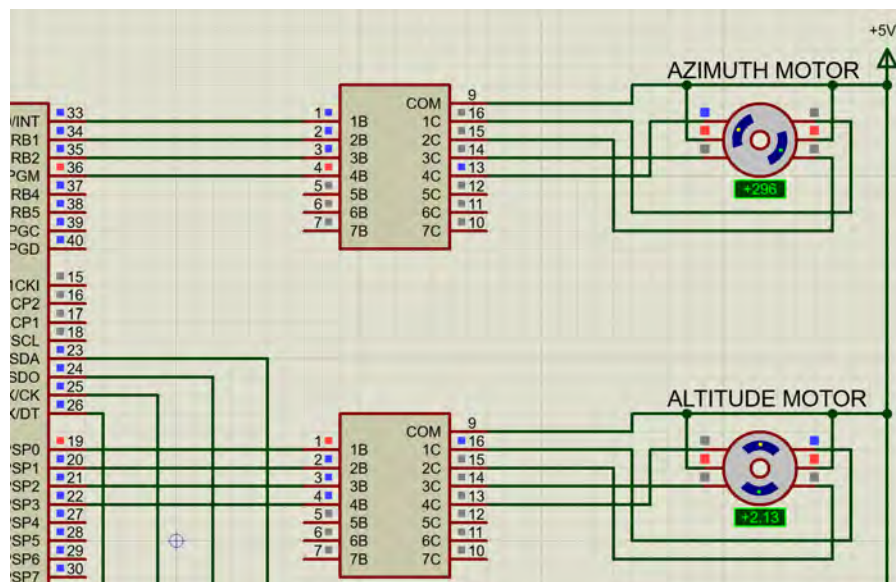
Επίσης στις 17:00 το αζιμούθιο είναι 265.13° και το ύψος είναι 41.78° . Το αποτέλεσμα είναι το μοτέρ του αζιμούθιο να στρέφεται στις 265° και του ύψους στις 41.7° 4.4.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος



Σχήμα 4.4: Η θέση των μοτέρ στις 17:00, όπου το αζιμούθιο είναι 265.13° και το ύψος είναι 41.78° .

Τέλος λίγο πριν το ηλιοβασίλεμα στις 20:30 το αζιμούθιο είναι 296.38° και το ύψος είναι 2.41° , με τα μοτέρ να στρέφονται στις 296° και 2.13° αντίστοιχα 4.5.



Σχήμα 4.5: Η θέση των μοτέρ στις 20:30, όπου το αζιμούθιο είναι 296.38° και το ύψος είναι 2.41° .

Παρατηρήθηκε ότι ο κώδικας λειτουργεί σωστά, με τα μοτέρ να περιστρέφονται στις θέσεις που έχουν οριστεί. Ωστόσο παρατηρήθηκε και μια μικρή απόκλιση, κυρίως για μικρές γωνίες περιστροφής των μοτέρ, κάτι που πιθανόν οφείλεται στην ακρίβεια των μοτέρ όσον αφορά στις μοίρες που

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

περιστρέφεται σε κάθε βήμα κίνησης. Το γεγονός αυτό δεν μας προβληματίζει καθώς σε πραγματική εφαρμογή τα μοτέρ θα εκτελούν πολλά περισσότερα βήματα ώστε τελικά να φτάσουν στην επιθυμητή θέση. Συνεπώς σε μία πραγματική εφαρμογή η ακρίβεια μπορεί να βελτιωθεί ανάλογα με τα μοτέρ που θα χρησιμοποιηθούν και την διαδρομή που θα πρέπει να κάνουν ώστε να φτάσουν στην επιθυμητή θέση.

4.3 Υλοποίηση του κυκλώματος

Σε αυτή την ενότητα αναφέρεται η τελική υλοποίηση του κυκλώματος και ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή μας. Αρχικά τοποθετήθηκε ο μικροελεγκτής **PIC16F877A** στο **breadboard** και συνδέθηκαν τα **PIN 11** και **PIN 32** του μικροελεγκτή σε τάση **+5V** με τις απαραίτητες καλωδιώσεις στο **breadboard**. Έπειτα συνδέθηκαν τα **PIN 12** και **31** με την γείωση του **breadboard**.

The diagram shows a PIC16F877A microcontroller (U1) interfaced with a 7-segment display and push buttons. The microcontroller is configured with a crystal (X1) and capacitors (C1, C2) for oscillation. It is powered by a +5V supply through a 4k7 resistor (R1). The display is driven by the microcontroller's output pins (RB0-RT7) through current-limiting resistors (R2-R5, R7-R10, R11-R14). The display is labeled with 'AZIMUTH' and 'ALTITUDE' segments. Push buttons are connected to the microcontroller's input pins (RD0-RD7) and are labeled 'AZIM. CW', 'ALT. A-CW', and 'AZIM. A-CW'. A green LED (D1) is connected to the microcontroller's output pin RB0 through a 470 ohm resistor (R6).

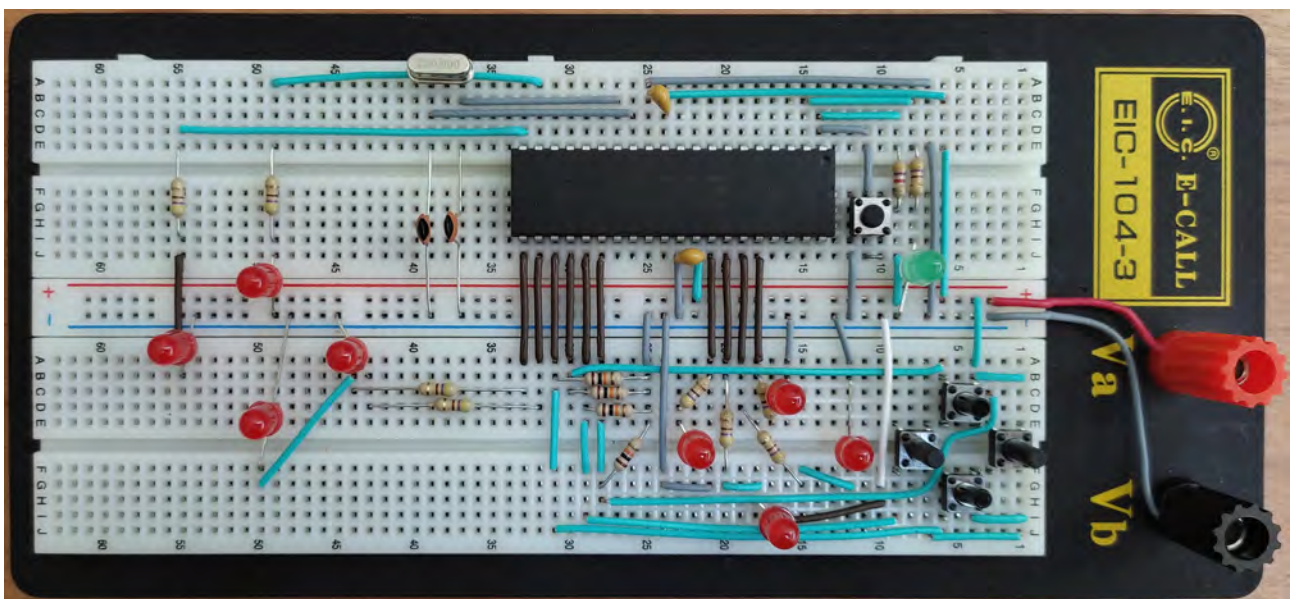
Αφού ολοκληρώθηκε το κύκλωμα τροφοδοσίας του μικροελεγκτή, ήρθε η ώρα για την υλοποίηση του κυκλώματος επαναφοράς του μικροελεγκτή. Για την υλοποίηση του συνδέθηκε το **PIN 1** του μικροελεγκτή σε τάση $+5V$ με μία κεραμική αντίσταση $4,7K\Omega$ καθώς επίσης και με την γείωση του **breadboard** τοποθετώντας ένα **push button** στο ενδιάμεσο, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο 2.4. Στην συνέχεια συνδέθηκε και ένα πράσινο **LED** με το **PIN 2** του μικροελεγκτή και την γείωση του κυκλώματος, τοποθετώντας επίσης και μία αντίσταση 470Ω στο ενδιάμεσο για την προστασία του **LED**.

52

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

ματος 4.6.

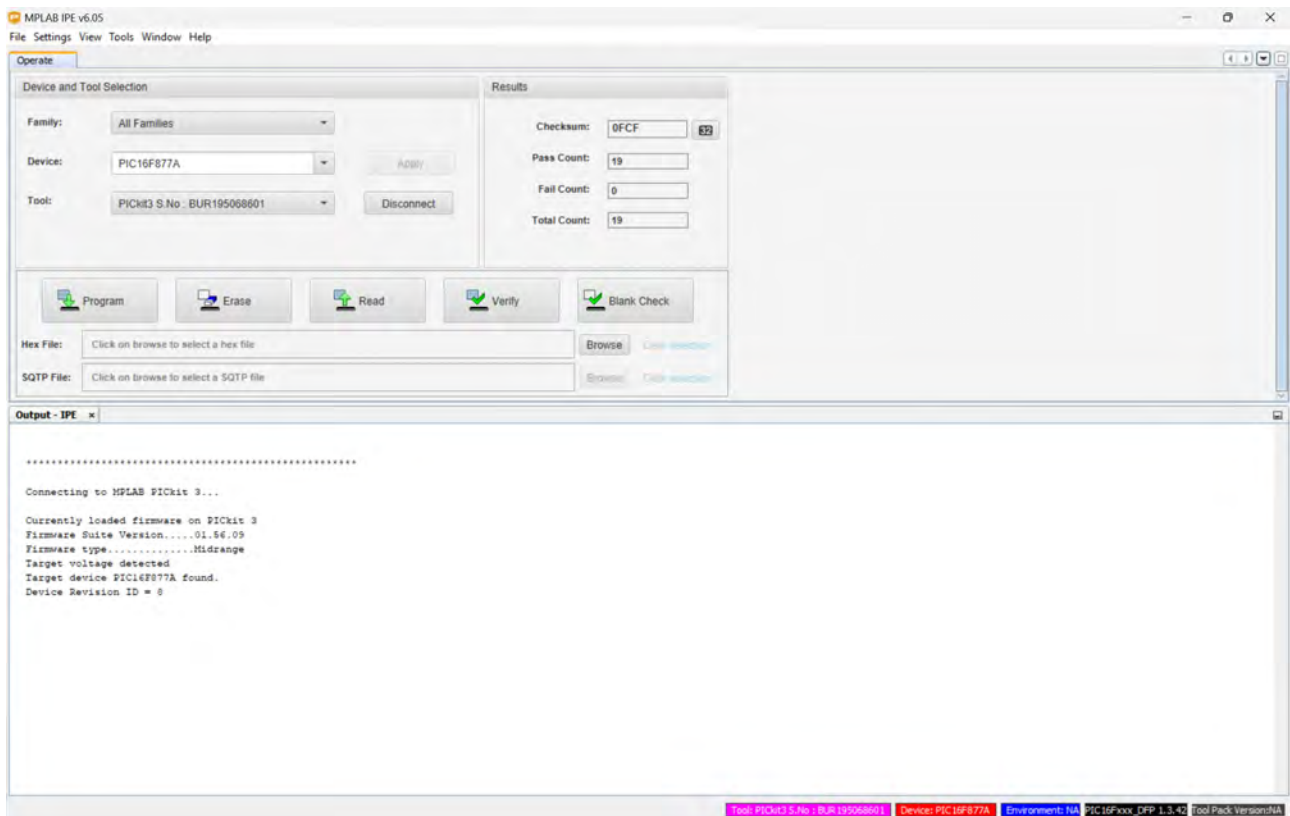
Τέλος υλοποιήθηκαν οι έξοδοι του κυκλώματος που λόγω έλλειψης των απαραίτητων βηματικών κινητήρων, πραγματοποιήθηκαν με δύο τετράδες απο κόκκινα LEDs, που προσομοιώνουν την λειτουργία των μοτέρ. Για την υλοποίηση συνδέθηκαν οι άνοδοι απο τα LEDs με τα PIN 19-22 και 33-36, (τοποθετώντας επίσης αντιστάσεις 470Ω στο ενδιάμεσο για την προστασία τους) και τις καθόδους τους με την γείωση της πλακέτας. Με αυτό τον τρόπο το τελικό μας κύκλωμα 4.7 είναι έτοιμο για να ξεκινήσει ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή.



Σχήμα 4.7: Τελική υλοποίηση του κυκλώματος.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

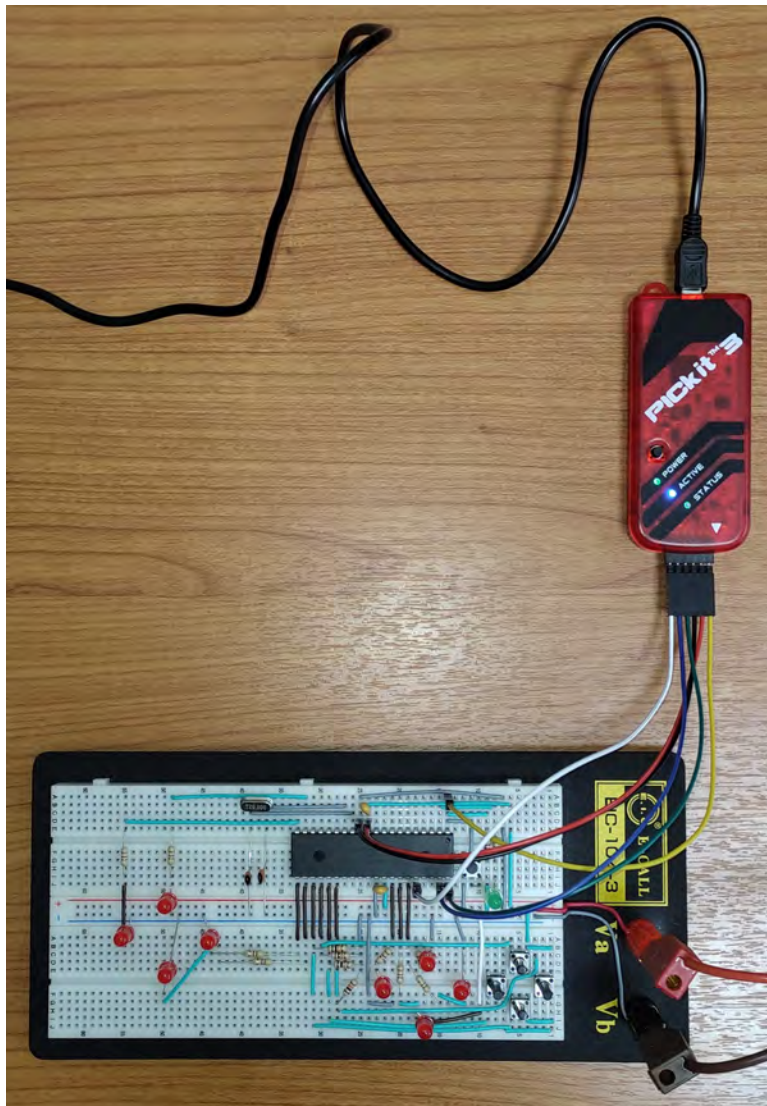
Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή συνδέθηκε ο PICkit™ 3 στο breadboard, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο 3.6. Τέλος συνδέθηκε ο PICkit™ 3 με τον υπολογιστή και ξεκίνησε ο προγραμματισμός της πλακέτας 4.8.



Σχήμα 4.8: Σύνδεση του PICkit™ 3 στο MPLAB X IDE.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

Στην παρακάτω εικόνα 4.9 φαίνονται όλες οι συνδέσεις με τον *PICKit™ 3*.



Σχήμα 4.9: Σύνδεση με τον *PICKit™ 3*.

Κεφάλαιο 4. Μελέτη και σχεδιασμός κυκλώματος

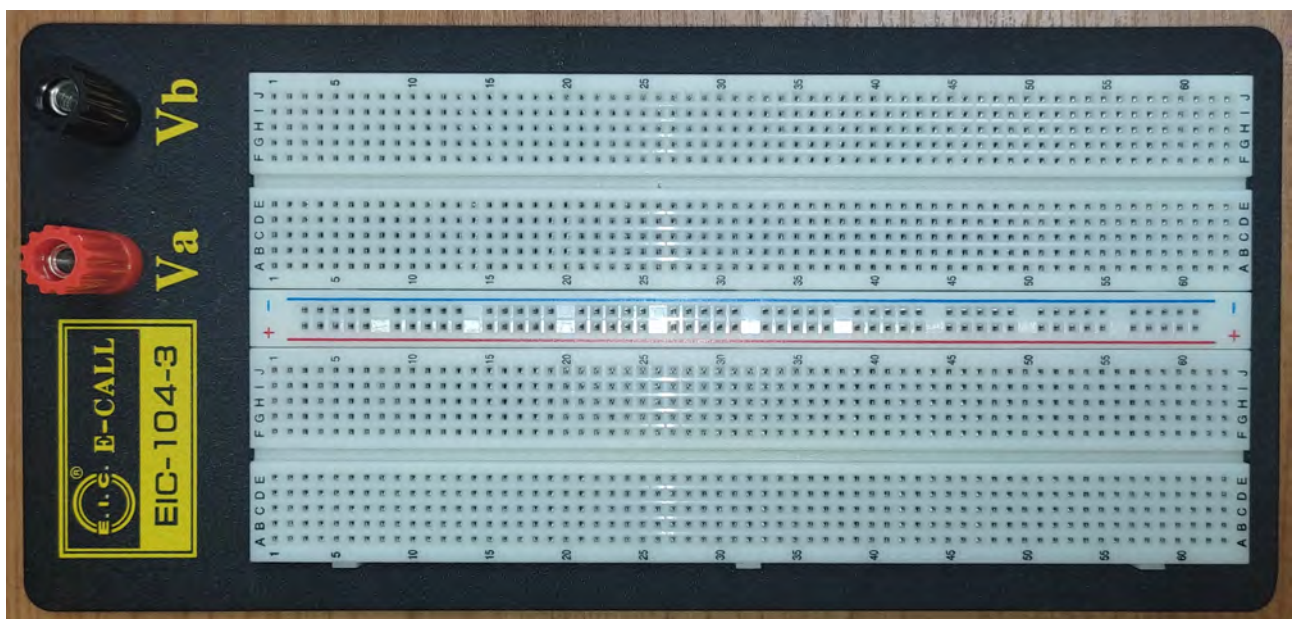
4.4 Συμπεράσματα και προτάσεις για περαιτέρω έρευνα

Συμπερασματικά, το αυτοματοποιημένο σύστημα παρακολούθησης ουρανίων σωμάτων αποτελεί μια λειτουργική λύση για την αυτοματοποιημένη κίνηση των τηλεσκοπίων, είτε αυτά διαθέτουν αλταζιμουθιακή είτε ισημερινή στήριξη. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα χειροκίνητης περιστροφής των μοτέρ γεγονός που βοηθά πολύ σε περίπτωση που θέλουμε να βελτιώσουμε ακόμα περισσότερο την ακρίβεια της παρατήρησής μας. Ωστόσο η όλη υλοποίηση μπορεί να βελτιωθεί και να εξελιχθεί ακόμα περισσότερο στο μέλλον, καθώς μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας πάνω σε ένα τηλεσκόπιο και να δοκιμαστεί και στην πράξη η λειτουργία του. Έτσι θα υπάρχει και η δυνατότητα για βελτίωση της ακρίβειας προσδιορισμού της θέσης. Ακόμα μία καλή βελτίωση θα μπορούσε να είναι η δυνατότητα προσδιορισμού της προς παρατήρηση θέσης, του ουράνιου σώματος-στόχου, σε πραγματικό χρόνο. Αυτό θα μπορούσε να γίνει με έναν μικροελεγκτή μεγαλύτερων δυνατοτήτων και κυρίως μεγαλύτερης χωρητικότητας σε μνήμη, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα εξέλιξης του κώδικα και υπολογισμού της θέσης σε πραγματικό χρόνο, από τον ίδιο τον μικροελεγκτή. Τέλος η όλη υλοποίηση μπορεί να βελτιωθεί με την διασύνδεση του μικροελεγκτή σε κάποια συσκευή εισόδου, ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης διαφόρων παραμέτρων σε πραγματικό χρόνο. Για παράδειγμα η επιλογή του στόχου και η εναλλαγή του οποιαδήποτε στιγμή επιθυμείτε ή ο προσδιορισμός της θέσης του τηλεσκοπίου, σε περίπτωση που το τηλεσκόπιο είναι φορητό.

5 Παράρτημα Α΄

Υλικά για την υλοποίηση του κυκλώματος

Αφού δημιουργήθηκε το σχεδιάγραμμα (schematic) του κυκλώματός μας, έγινε η υλοποίηση του κυκλώματος σε πλακέτα δοκιμών τύπου **Breadboard**. Αρχικά αναφέρονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του κυκλώματος μας.



Σχήμα 5.1: Πλακέτα δοκιμών τύπου (*Breadboard*).

Breadboard

Το breadboard είναι ένα εργαλείο πρωτοτυποποίησης που χρησιμοποιείται στην ηλεκτρονική για τη δημιουργία προσωρινών κυκλωμάτων. Χρησιμοποιείται συνήθως για γρήγορο και εύκολο σχεδιασμό και δοκιμή κυκλωμάτων χωρίς την ανάγκη συγκόλλησης. Έχουν συνήθως μια ορθογώνια πλαστική

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄

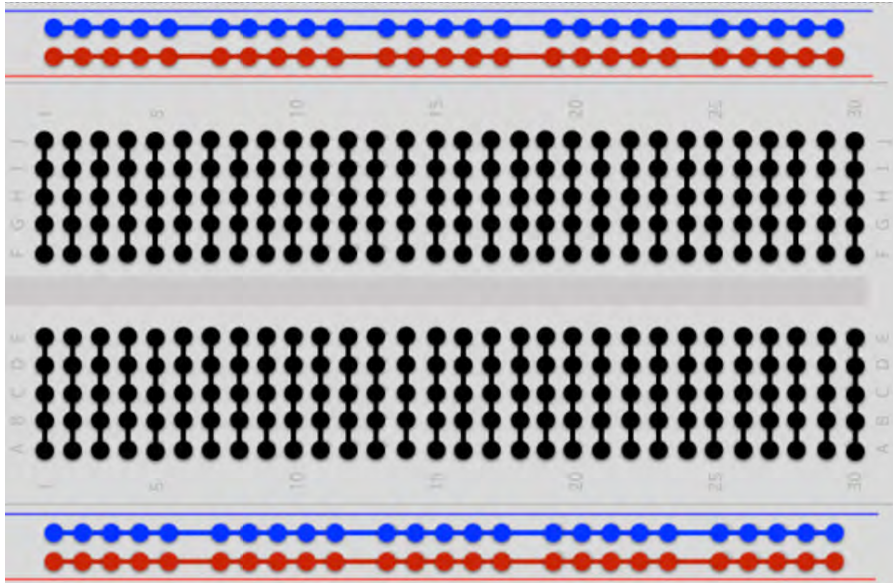
πλακέτα με ένα πλέγμα οπών τοποθετημένων σε σειρές και στήλες. Οι οπές συνδέονται μεταξύ τους σε ομάδες, συνήθως με μεταλλικούς συνδετήρες ή λωρίδες αγωγίμου υλικού ενσωματωμένες κάτω από την επιφάνεια της πλακέτας. Οι οπές στην **breadboard** έχουν σχεδιαστεί για να φιλοξενούν τα καλώδια ηλεκτρονικών εξαρτημάτων, όπως αντιστάσεις, πυκνωτές και ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC). Κάθε οπή συνδέεται ηλεκτρικά με άλλες οπές εντός της ίδιας σειράς ή στήλης. Επίσης συχνά διαθέτουν ένα ή δύο ζεύγη από κάθετες λωρίδες που ονομάζονται ράγες τροφοδοσίας και τρέχουν κατά μήκος των πλευρών της πλακέτας. Αυτές οι ράγες τροφοδοσίας χρησιμοποιούνται για την παροχή ρεύματος στο κύκλωμα και συνήθως επισημαίνονται ως $V_{CC}(+)$ (συνήθως υποδεικνύεται με μία κόκκινη γραμμή) και $GND(-)$ (με μπλέ γραμμή) για λόγους ευκολίας. Οι πλακέτες αυτές προσφέρουν έναν βολικό τρόπο για την πρωτοτυποποίηση κυκλωμάτων, επιτρέποντας στους χρήστες να εισάγουν και να συνδέουν γρήγορα εξαρτήματα χωρίς να χρειάζεται συγκόλληση. Τα εξαρτήματα μπορούν εύκολα να αναδιατάσσονται ή να αντικαθίστανται, καθιστώντας τις **breadboards** ιδανικές για πειραματισμό και αλλαγές στο σχεδιασμό του κυκλώματος. Οι οπές μέσα σε κάθε σειρά είναι συνήθως ηλεκτρικά συνδεδεμένες, ενώ οι οπές κατά μήκος του κεντρικού διακένου της πλακέτας συνήθως δεν συνδέονται, επιτρέποντας την απομόνωση διαφορετικών τμημάτων του κυκλώματος 5.2. Ωστόσο οι πλακέτες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως για κυκλώματα χαμηλής τάσης και χαμηλού ρεύματος. Οι συνδέσεις σε ένα **breadboard** μπορεί να χαλαρώσουν με την πάροδο του χρόνου ή όταν υπόκεινται σε κραδασμούς, επομένως δεν είναι ιδανικές για μόνιμες εγκαταστάσεις ή εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις αξιοπιστίας.

Μικροελεγκτής και άλλα στοιχεία

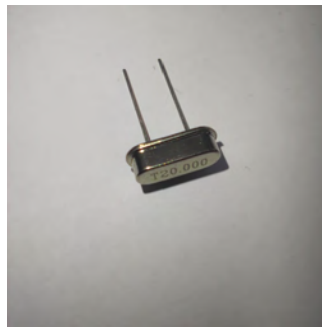
Για την υλοποίηση του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκε, όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο μικροελεγκτής **PIC16F877A** πάνω στον οποίο έγιναν όλες οι απαραίτητες συνδέσεις με τα παρακάτω εξαρτήματα του κυκλώματος:

- Κρύσταλλος $20MHz$: Για την υλοποίηση του χρονισμού του κυκλώματός μας, χρησιμοποιήθηκε ένας κρύσταλλος $20MHz$ που μαζί με δύο πυκνωτές πραγματοποιούν τον κρυσταλλικό ταλαντωτή. Το αποτέλεσμα είναι ο ταλαντωτής αυτός να παράγει έναν τετραγωνικό παλμό συχνότητας $20 \cdot 10^6$ κύκλων, δίνοντας με αυτό τον τρόπο τους κατάλληλους χρονισμούς στα εσωτερικά κυκλώματα του μικροελεγκτή.

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄



Σχήμα 5.2: Σχεδιάγραμμα μια πλακέτας *breadboard* [19].



Σχήμα 5.3: Κρύσταλλος $20MHz$.

- Δύο κεραμικούς πυκνωτές $33pF$: Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με τον κρύσταλλο για να πραγματοποιήσουν το εξωτερικό ταλαντωτή του κυκλώματος, όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄



Σχήμα 5.4: Κεραμικός πυκνωτής $33pF$.

- Δύο κεραμικούς πυκνωτές $100nF$: Χρησιμοποιούνται για την αποφυγή των παρασιτικών εναλλασσόμενων τάσεων που εμφανίζονται μαζί με τη συνεχή τάση τροφοδοσίας. Συνδέονται στα PIN 11 και PIN 32 του μικροελεγκτή όπου πάει η τάση τροφοδοσίας των 5 Volt και στην γείωση του κυκλώματος ώστε να υπάρχει καθαρή συνεχής τάση στον μικροελεγκτή.



Σχήμα 5.5: Κεραμικός πυκνωτής $100nF$.

- 5 διακόπτες τύπου **Push Button**: που αποτελούν τις συσκευές εισόδου του κυκλώματός μας. Επίσης ο ένας χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του κυκλώματος επαναφοράς του μικροελεγκτή.

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄



Σχήμα 5.6: Διακόπτης τύπου *Push Button*.

- **8 κόκκινα LED:** Τα **LED** είναι δίοδοι που εκπέμπουν φώς και χρησιμοποιούνται ως συσκευές εξόδου για να βλέπουμε την κατάσταση του μικροελεγκτή (αντικαθιστούν τους βηματικούς κινητήρες και προσομοιώνουν την λειτουργία τους). Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι τα **LED** έχουν πολικότητα (το μεγάλο ποδαράκι υποδεικνύει τον θετικό πόλο). Οι άνοδοι (+) συνδέονται στα άκρα των **PIN** εξόδου του κυκλώματος και οι κάθοδοι (-) στην γείωση.



Σχήμα 5.7: Κόκκινο **LED**.

- Ένα πράσινο **LED**: χρησιμοποιήθηκε ως μέσο ένδειξης σωστής λειτουργίας του μικροελεγκτή.

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄



Σχήμα 5.8: Πράσινο *LED*.

- Μία αντίσταση $4.7K\Omega$: για την σύνδεση του PIN 1 του μικροελεγκτή με την τάση τροφοδοσίας.



Σχήμα 5.9: Αντίσταση $4.7K\Omega$.

- 4 αντιστάσεις $10K\Omega$: για την υλοποίηση του κυκλώματος με τα **Push Buttons**.



Σχήμα 5.10: Αντίσταση $10K\Omega$.

- 9 αντιστάσεις 470Ω : συνδέονται σε σειρά με τα **LEDs** για να μειωθεί η ένταση του ρεύματος που ρέει προς αυτά ώστε να μην καταστραφούν.

Κεφάλαιο 5. Παράρτημα Α΄



Σχήμα 5.11: Αντίσταση 470Ω.

- Μονόκλιωνα καλώδια διαφόρων χρωμάτων: για την πραγματοποίηση των συνδέσεων.



Σχήμα 5.12: Μονόκλιωνα καλώδια.

Πηγές - Βιβλιογραφία

- [1] URL: <https://dide-new.fth.sch.gr/asteroscholeio-ypatis/>.
- [2] Κ. Ε. Αλυσσανδράκης, Α. Νίντος και Σ. Πατσουράκος. Παρατηρησιακή Αστροφυσική. Ιωάννινα, 2015.
- [3] URL: <https://t.ly/cZAY>.
- [4] URL: <https://astronomia.org.gr/>.
- [5] L. Woodburn et al. *Conversion of a New Zealand 30-Metre Telecommunications Antenna into a Radio Telescope*. Vol. 32. e017. 2015, pp. 1–14. doi: 10.1017/pasa.2015.13.
- [6] URL: <http://artemis-iv.phys.uoa.gr/>.
- [7] N. Gizani and G. Veldes. *The advent of the Hellenic radio telescope*. Vol. 50. 2018, pp. 13–14.
- [8] G. Veldes and N. Gizani. *On the THERMOpylae Hellenic radio telescope radio silent Site*. 2022. doi: events.ecmwf.int/event/258/.
- [9] URL: <https://heronlab.phys.uth.gr/>.
- [10] N. Gizani. Το Ελληνικό Ραδιοτηλεσκόπιο THERMOpylae. URL: <https://ngizani.weebly.com/what-i-do.html>.
- [11] Ι. Καλομοίρος. Εισαγωγή στους μικροελεγχτές PIC. Σέρρες, 2015.
- [12] Microchip. *Datasheet of PIC16F87XA*. Revision C (January 2013).
- [13] D. Ibrahim. *PIC BASIC Projects. 30 Projects Using PIC BASIC and PIC BASIC PRO*. Linacre House, Jordan Hill, Oxford OX2 8DP, UK, 2006.
- [14] *PIC16F877A Microcontroller Introduction and Features*. URL: <https://microcontrollerslab.com/pic16f877a-introduction-features/>.

Πηγές - Βιβλιογραφία

- [15] URL: <https://openlabpro.com/guide/pic16f877a-timer/>.
- [16] Microchip. *PICkit™ 3 Programmer/Debugger User's Guide*. 2010.
- [17] *PyEphem*. URL: <https://rhodesmill.org/pyephem/>.
- [18] *SunCalc*. URL: <https://www.suncalc.org/>.
- [19] URL: <https://magpi.raspberrypi.com/articles/breadboard-tutorial>.
- [20] Τηλεσκόπια: ένας οδηγός για νέους ερασιτέχνες αστρονόμους. Ιανουάριος 2023. URL: <https://www.astronio.gr/thleskopia/>.