

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΖΟΜΕΝΟΥ ΜΕΣΩ ΤΗΣ USB  
ΘΥΡΑΣ ΤΟΥ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ ΧΡΟΝΙΣΤΗ (TIMER) ΜΕ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ  
ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΠΟ 100 msec ΈΩΣ 50 ΗΜΕΡΕΣ

«Εικόνα»

Του φοιτητή  
Πατσιαρίκα Νικόλαου  
Αρ. Μητρώου: 513144

Επιβλέπων  
Ονοματεπώνυμο Γιακουμής Άγγελος  
Βαθμίδα Λέκτορας

Ημερομηνία 31/01/2023

Τίτλος Δ.Ε. Μελέτη και κατασκευή προγραμματιζόμενου μέσω της USB θύρας του υπολογιστή χρονιστή (timer) με δυνατότητα μέτρησης χρόνου από 100 msec έως 50 ημέρες.

Κωδικός Δ.Ε. 22123

Όνοματεπώνυμο φοιτητή: Πατσιαρίκας Νικόλαος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή: Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 02/03/2022

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. ...

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

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

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

*«Αφιέρωση»*



## Πρόλογος

Οι ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες εκτελούν την λειτουργία των χρονιστών αποτελούν καίριο τμήμα της πλειοψηφίας των σύγχρονων ηλεκτρονικών συσκευών καθώς παρέχουν συνήθως τον χρονικό ρυθμό εντός του οποίου συγχρονίζονται όλες οι λοιπές διατάξεις ενός κυκλώματος ώστε να λειτουργούν αρμονικά μεταξύ τους ώστε να παραγάγουν ένα βέλτιστο και επιθυμητό αποτέλεσμα. Συγκεκριμένα η κύρια ιδιότητα τους συνοψίζεται στην παροχή ενός χρονικού σημείου αναφοράς γύρω από το οποίο μπορούν οι διάφορες διατάξεις ενός κυκλώματος ή ακόμη και διάφορες συσκευές ή και στα συστήματα τηλεπικοινωνιών, ασύρματα και μη, να μπορούν να συγχρονιστούν μεταξύ τους έτσι που να μπορούν να πραγματοποιούν συλλογικά το σύνολο μίας ενιαίας εργασίας. Η λειτουργία ενός χρονιστή μπορεί να υλοποιηθεί με ποικίλους τρόπους, από φυσικά περιοδικά φαινόμενα και μηχανικά μέσα, μέχρι ηλεκτρονικά μέσα, είτε υλικού, είτε λογισμικού τύπου. Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ενός χρονιστή ηλεκτρονικού τύπου ο οποίος συνδυάζει το υλικό και το λογισμικό μέρος έτσι ώστε να αναπτυχθεί ένα ενσωματωμένο σύστημα το οποίο να εκτελεί με επιτυχία αυτήν την λειτουργία, έτσι ώστε τελικά να παραθέσει μία σαφή και πλήρη ηλεκτρονική κατασκευή.

## Περίληψη

Το έργο αυτό εκτείνεται σε τέσσερα κεφάλαια έτσι που το κάθε ένα να ακολουθεί το επόμενο καλύπτοντας πλήρως το περιεχόμενο του. Το πρώτο κεφάλαιο αφορά τις πρώιμες ανακαλύψεις της ανθρωπότητας οι οποίες θεμελίωσαν την ανάπτυξη της τεχνολογίας των χρονοιστών. Συμπεριλαμβάνει τις έννοιες του χρόνου, του ημερολογίου, των κλεψυδρών και των ρολογιών και την αναγκαιότητα καταγραφής του χρόνου η οποία οδήγησε στην ανάπτυξη σχετικών τεχνολογιών και βελτίωση της ακρίβειας λειτουργίας τους μέχρι σήμερα με αποκορύφωμα το GPS και το ατομικό ρολόι.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την μελέτη και σχεδιασμό ενός χρονοιστή, καθώς και εμβάθυνση στην κατανόηση της λειτουργίας του εξετάζοντας τις διάφορες τεχνολογικές προσεγγίσεις κατά τις οποίες αναπτύσσεται ένας χρονοιστής. Στο ίδιο πλαίσιο εξετάζεται η γενικότερη έννοια των ενσωματωμένων συστημάτων και το γενικό πλαίσιο των τεχνολογιών που αξιοποιούν. Παρουσιάζεται η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό τέτοιων συστημάτων σε διάφορα επίπεδα καθώς και μία λειτουργική σειρά προτεραιότητας τους για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, καθώς και η συμβολή της εφαρμογής της επιστημονικής μεθόδου.

Το τρίτο κεφάλαιο αφορά την ανάπτυξη της εφαρμογής ενσωματωμένου συστήματος του χρονοιστή ο οποίος θα μπορεί να μετράει χρονικά διαστήματα από 100ms μέχρι 50 ημερών. Αποτελεί την πρακτική εφαρμογή των συμπερασμάτων του δεύτερου κεφαλαίου και περιγράφει με λεπτομέρεια την λειτουργία τόσο των ηλεκτρονικών πτυχών του υλικού μέρους του ενσωματωμένου συστήματος, όσο και του λογισμικού μέρους. Στην συνέχεια στο ίδιο κεφάλαιο καταγράφονται και παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάπτυξης και λειτουργίας του χρονοιστή.

Το τέταρτο κεφάλαιο αφορά την παράθεση των συμπερασμάτων από το τελικό αποτέλεσμα και την διαδικασία ολόκληρης της εργασίας, καθώς και από μία σειρά προτάσεων βελτίωσης και συνέχισης της.

«Design and construction of a programmable via the USB port of the computer timer with the ability  
to measure time from 100 msec to 50 days»

Patsiarikas Nikolaos

## **Abstract**

This work is spread over four chapters so that each one follows the next, fully covering its content. The first chapter deals with the early discoveries of mankind which laid the foundation for the development of timer technology. It includes the concepts of time, the calendar, hourglasses and clocks and the necessity of recording time which led to the development of related technologies and the improvement of their operational accuracy to date culminating in GPS and the atomic clock. The second chapter deals with the study and design of a timer, as well as deepening the understanding of its operation by examining the various technological approaches in which a timer is developed. In the same context, the more general concept of integrated systems and the general context of the technologies they utilize are examined. The methodology used to design such systems at various levels is presented, as well as a functional order of their priority for the best possible result, as well as the contribution of the application of the scientific method. The third chapter concerns the development of the application of the integrated system of the timer which will be able to measure time intervals from 100ms to 50 days. It is the practical application of the conclusions of the second chapter and describes in detail the operation of both the electronic aspects of the hardware part of the embedded system and the software part. Then, in the same chapter, the results of the development and operation of the timer are recorded and presented. The fourth chapter concerns the presentation of the conclusions from the final result and the process of the entire work, as well as from a series of suggestions for improvement and continuation.

## **Ευχαριστίες**

Σε αυτήν την ενότητα ο φοιτητής/ φοιτήτρια προαιρετικά μπορεί να ευχαριστήσει όσους αισθάνεται ότι συνέβαλαν (επιστημονικά, ηθικά, οικονομικά κτλ) στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

# Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	v
Περίληψη.....	vi
Abstract .....	vii
Ευχαριστίες .....	viii
Περιεχόμενα .....	ix
Κατάλογος Σχημάτων .....	xi
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Συντομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1ο: Η σημασία του χρόνου .....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	2
1.3 Εξέλιξη μέσω της αντίληψης του χρόνου .....	4
1.4 Ημερολόγια .....	4
1.4.1 Κατηγορίες ημερολογίων. ....	5
1.4.2 Σύγχρονοι τύποι ημερολογίων.....	6
1.5 Ο χρόνος ως έννοια .....	8
1.5.1 Προσεγγίσεις της έννοιας του χρόνου.....	8
1.5.2 Πρότυπα μονάδων χρόνου.....	10
1.6 Μετρητικά όργανα και συσκευές χρόνου.....	11
1.6.1 Η εξέλιξη του ρολογιού.....	11
1.6.2 Οι σύγχρονες συσκευές ρολογιών.....	12
1.6.3 Χρήσεις Χαλαζία στο πεδίο της ηλεκτρονικής .....	13
1.7 Χρονιστές .....	15
1.7.1 Κατηγορίες χρονιστών .....	16
1.8 Επίλογος.....	18
Κεφάλαιο 2ο: Μελέτη ενός χρονιστή.....	19
2.1 Εισαγωγή.....	19
2.2 Προσδιορισμός κατασκευής.....	20
2.3 Ενσωματωμένα συστήματα.....	20
2.4 Μικροελεγκτές .....	23
2.4.1 Εφαρμογές μικροελεγκτών.....	23
2.4.2 Δομή μικροελεγκτών.....	24

2.4.3	Περιφερειακές συσκευές μικροεπεξεργαστή .....	25
2.5	Επιλογή μεθόδου υλοποίησης της εφαρμογής .....	26
2.6	Ηλεκτρονικό κύκλωμα .....	27
2.7	Υλικολογισμικό .....	31
2.8	Επίλογος .....	34
Κεφάλαιο 3ο:	Κατασκευή χρονοστή ως ενσωματωμένο σύστημα .....	36
3.1	Εισαγωγή .....	36
3.2	Από την μελέτη στην ανάπτυξη της κατασκευής .....	37
3.2.1	Μπλοκ διάγραμμα της κατασκευής .....	37
3.2.2	Διάγραμμα ροής .....	39
3.3	Ανάπτυξη του υλικού μέρους .....	43
3.3.1	Αντιστάσεις .....	46
3.3.2	Πυκνωτές .....	47
3.3.3	Διπολικά τρανζίστορ .....	48
3.3.4	Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED) .....	50
3.3.5	Δίοδοι .....	51
3.4	Τυπωμένη πλακέτα βακελίτη .....	53
3.5	Ανάπτυξη λογισμικού μέρους .....	55
3.5.1	Λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης .....	55
3.5.2	Γλώσσα προγραμματισμού .....	57
3.5.3	Αλγόριθμος και διάγραμμα ροής .....	57
3.6	Η εφαρμογή σε λειτουργία .....	58
3.7	Επίλογος .....	64
Κεφάλαιο 4ο:	Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης .....	65
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	67
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ .....	70

## Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1-1: Το Αιγυπτιακό ημερολόγιο.....	5
Σχήμα 1-2: Οι οκτώ φάσεις της σελήνης. ....	6
Σχήμα 1-3: Ρολόι εκκρεμές. ....	9
Σχήμα 1-4: Αυτοσχέδιο ρολόι νερού.....	12
Σχήμα 1-5: Κρύσταλλος Χαλαζία. ....	14
Σχήμα 1-6: Ρολόι χειρός κρυστάλλου χαλαζία. ....	17
Σχήμα 2-1: Η αριθμομηχανή τσέπης είναι ένα έξοχο παράδειγμα ενσωματωμένου συστήματος. ....	21
Σχήμα 2-2: Μικροελεγκτής Atmel samx7e. ....	27
Σχήμα 2-3: Παράδειγμα ηλεκτρονικού σχηματικού. ....	28
Σχήμα 3-1: Μπλοκ διάγραμμα ενσωματωμένου συστήματος χρονιστή. ....	39
Σχήμα 3-2: Διάγραμμα ροής λειτουργίας αλγόριθμου χρονιστή. ....	42
Σχήμα 3-3: Ο μικροελεγκτής ATSAM3X8E. ....	43
Σχήμα 3-4: Το σύστημα μικροελεγκτή Arduino DUE το οποίο φέρει το ολοκληρωμένο ATSAM3X8E .....	44
Σχήμα 3-5: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος μικροελεγκτή χρονιστή.....	44
Σχήμα 3-6: Κοινή αντίσταση ανοχής 5%. ....	46
Σχήμα 3-7: Ηλεκτρολυτικός πυκνωτής. ....	47
Σχήμα 3-8: Διπολικό τρανζίστορ. ....	48
Σχήμα 3-9: Διπολική διάοδος. ....	51
Σχήμα 3-10: Ενσωματωμένο σύστημα χρονιστή. ....	59
Σχήμα 3-11: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (1). ....	60
Σχήμα 3-12: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (2). ....	60
Σχήμα 3-13: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (3). ....	61
Σχήμα 3-14: Αρχική κατάσταση της εφαρμογής.....	61
Σχήμα 3-15: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης ωρών. ....	62
Σχήμα 3-16: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης λεπτών. ....	62
Σχήμα 3-17: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης δευτερολέπτων.....	63
Σχήμα 3-18: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης χιλιοστών του δευτερολέπτου. ....	63

## Κατάλογος Πινάκων

Δεν βρέθηκαν καταχωρήσεις πίνακα εικόνων.

## Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

## Κεφάλαιο 1ο: Η σημασία του χρόνου

### 1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα αποτελεί αρχικά την επικέντρωση στο αντικείμενο των χρονιστών ως έννοια και της σημασίας τους τόσο στο ανθρώπινο στοιχείο στην καθημερινότητα του, όσο και στην κατασκευή συστημάτων και ανάπτυξη τεχνολογιών των οποίων η απόδοση τους εξαρτάται από την αξιοπιστία και ακρίβεια της διαχείρισης χρονικών γεγονότων. Η προσέγγιση αφορά την εξέταση του αντικειμένου μέσα από την πρακτική εφαρμογή του στο πλαίσιο ενός ενσωματωμένου συστήματος το οποίο σημαίνει πως θα υπάρξει επιπρόσθετη ανάπτυξη λογισμικού και υλικού μέρους το οποίο θα μπορεί να εκτελεί την διεργασία ενός χρονιστή. Γενικότερα οι χρονιστές είναι δυνατόν να υλοποιηθούν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους οι οποίοι περιλαμβάνουν τεχνολογίες διαφόρων επιπέδων μέσα από τους χώρους της μηχανολογίας, της ηλεκτρονικής και της επιστήμης της πληροφορικής αλλά και από άλλους ακόμη χώρους της επιστήμης και της μηχανικής γενικότερα.

Κύριος σκοπός είναι η μελέτη και κατασκευή ενός ενσωματωμένου συστήματος χρονιστή το οποίο θα μπορεί να εκτελεί ορθά την λειτουργία του ώστε να μπορεί να αξιοποιηθεί προς οποιαδήποτε κατάλληλη χρήση στα πλαίσια του ακαδημαϊκού ενδιαφέροντος, να επιτρέψει μέσα από το σύνολο της εργασίας την εμπειρία της ανάπτυξης ενός ολοκληρωμένου ενσωματωμένου συστήματος, την αποκόμιση εμπειρίας στο αντικείμενο διαχείρισης ηλεκτρονικών υλικών όπως των μικροελεγκτών και των ηλεκτρονικών πλακετών, την μεταχείριση και εξάσκηση εργαλείων και εξοπλισμού εργαστηρίου ηλεκτρονικών όπως είναι οι σταθμοί κόλλησης για κασσιτεροκολλήσεις, την εμπειρία της ανάπτυξης ενός υλικολογισμικού το οποίο θα παρέχει τις κατάλληλες οδηγίες προς το υλικό για την εκτέλεση του συνόλου των λειτουργιών του και της καταγραφής του στο σύνολο της παρούσας εργασίας.

Το σύνολο των στόχων της παρούσας εργασίας περιλαμβάνει την υλοποίηση μίας μελέτης η οποία θα λάβει υπόψιν όλες τις απαραίτητες θεωρητικές παραμέτρους για να σχηματιστεί μία προσεγγιστική εικόνα ως προς το τι περίπου θα χρειαστεί για να προκύψει το αναμενόμενο αποτέλεσμα ορίζοντας ένα ορισμένο πλαίσιο αλλά και να προβλέψει τυχόν παραμέτρους αστοχίας ώστε να ληφθούν υπόψιν για να μπορέσουν να αποφευχθούν, την επιτυχή κατασκευή του υλικού μέρους το οποίο να μπορεί να ενεργοποιηθεί και να μπορεί να λειτουργήσει εντός των επιθυμητών αναμενόμενων προδιαγραφών του, την ανάπτυξη του λογισμικού του μέρους το οποίο θα μπορεί με επιτυχία να δίνει τις κατάλληλες οδηγίες προς το υλικό μέρος ώστε να εκτελεί τις αναμενόμενες εργασίες.

Το πρώτο κεφάλαιο θα περιέχει μία γενική περιγραφή όλων των τομέων που συνέβαλαν στην δυνατότητα υλοποίησης της παρούσας εργασίας. Αρχικά θα υπάρχει μία σύντομη ιστορική αναδρομή των σημαντικότερων γεγονότων που συσχετίζονται ως σημεία κλειδιά ως προς την συμβολή τους στο σύνολο της παρούσας εργασίας, θα περιγραφεί ο χρόνος ως μέγεθος κατά την ανθρώπινη αντίληψη και η σημασία του στην εξέλιξη του ανθρώπου, θα εξιστορηθεί η τεχνολογική εξέλιξη κατά την οποία βελτιώθηκε η ακρίβεια με την οποία αξιοποιείται η διαχείριση του χρόνου στην καθημερινότητα του ανθρώπου, το πως ενσωματώθηκε η διαχείριση του χρόνου στον χώρο της ηλεκτρονικής και πως αξιοποιείται στην σύγχρονη εποχή. Το δεύτερο κεφάλαιο θα περιλαμβάνει την μελέτη η οποία θα οδηγήσει στην υλοποίηση του πρακτικού μέρους της παρούσας εργασίας, το τρίτο κεφάλαιο θα περιγράψει το σύνολο της κατασκευής και θα παρουσιάσει τα αποτελέσματα της και το τέταρτο κεφάλαιο θα περιέχει τα διάφορα συμπεράσματα από ότι παρατηρήθηκε κατά την υλοποίηση του συνόλου της εργασίας και θα προτείνει ορισμένες επιλογές βελτίωσης της αλλά και συνέχισης της. Στα παραρτήματα της θα περιέχεται ο κώδικας του λογισμικού και άλλα χρήσιμα πράγματα.

## 1.2 Ιστορική αναδρομή

**4000 π.Χ.:** Κατά την περίοδο της παλαιολιθικής εποχής ο άνθρωπος αποδίδει την ερμηνεία του περιοδικού γεγονότος στον χρόνο παρατηρώντας τις φάσεις της σελήνης ώστε να αναπτύξει ένα σεληνιακό ημερολόγιο. Επίσης υπάρχουν αναφορές που θέλουν να υποστηρίξουν ότι στην περιοχή της Κίνας χρησιμοποιούταν οι πρώτες κλεψύδρες με σκοπό την μέτρηση του χρόνου με υψηλή ακρίβεια. Το πλεονέκτημα τους ήταν ότι μπορούσε να πραγματοποιηθεί μέτρηση του χρόνου ακόμη και τις νυχτερινές ώρες.

**3300-1200 π.Χ.:** Κατά την περίοδο της εποχής του χαλκού στις παράκτιες περιοχές του Νείλου κατασκευάζονται τα πρώτα ημερολόγια που χρησιμοποιήθηκαν από τους πολιτισμούς των Αιγυπτίων και των Σουμέριων.

**1500 π.Χ.:** Κατασκευάζεται στην Αίγυπτο το πρώτο ηλιακό ρολόι του οποίου ο μηχανισμός είναι μία τετράγωνη πλατφόρμα στην οποία τοποθετείται κάθετα μία ράβδος σχήματος Ταυ η οποία επέτρεπε με την σκιά της σε σχέση με την θέση του Ήλιου στον ουράνιο θόλο να προσδιορίζει την ώρα. Η συσκευή χρησιμοποιούταν και από τους Βαβυλώνιους.

**1200-500 π.Χ.:** Κατά την περίοδο της εποχής του σιδήρου οι πολιτισμοί της Βαβυλώνας, της Περσικής αυτοκρατορίας και διάφοροι μικρότεροι πολιτισμοί στην περιοχή αναπτύσσουν το Βαβυλώνιο, το Ζωροαστρικό και Εβραϊκό ημερολόγιο το οποίο χρησιμοποιούν είτε για καταγραφή γεγονότων, είτε για προγραμματισμό και πρόβλεψη γεγονότων.

**323-31 π.Χ.:** Κατά την περίοδο των Ελληνιστικών χρόνων ο Ελληνικός πολιτισμός ανέπτυξε το δικό του ημερολόγιο το οποίο το υιοθέτησαν με την σειρά τους ο Ρωμαϊκός πολιτισμός και ο Ινδικός πολιτισμός. Η ιδιαιτερότητα του συγκεκριμένου ημερολογίου είναι πως η ανάπτυξη του βασίστηκε σε αστρονομικές παρατηρήσεις.

**3<sup>ος</sup> αιώνας π.Χ.:** Ο Αρχιμήδης των Συρακουσών κατασκευάζει το πρώτο μηχανικό αστρονομικό ρολόι με κινητά μέρη και μηχανικές φιγούρες.

**250 π.Χ.:** Εμφανίζονται στην αρχαία Ελλάδα τα πρώτα ξυπνητήρια τα οποία αποτελούνται από μία κλεψύδρα η οποία επέτρεπε συγκεκριμένη διέλευση νερού ώστε στην κατάλληλη στάθμη να ενεργοποιήσει μία σφυρίχτρα.

**46 π.Χ.:** Ο Γάιος Ιούλιος Καίσαρας τροποποιεί το Ρωμαϊκό ημερολόγιο έτσι ώστε να βασίζεται στην περιοδικότητα του Ήλιου και όχι στην περιοδικότητα της Σελήνης. Το συγκεκριμένο ημερολόγιο ονομάστηκε Ιουλιανό και ήταν το πρώτο που ενσωμάτωσε μίας μορφής αλγόριθμο ώστε να αντισταθμίσει το σφάλμα λίγων ημερών που παρατηρήθηκε από παλαιότερες εκδοχές με την πάροδο των ετών. Έστω και έτσι παρέμεινε ένα ετήσιο σφάλμα των έντεκα λεπτών εις βάρος του ημερολογίου σε σχέση με τις ισημερίες και τα ηλιοστάσια.

**1330 μ.Χ.:** Ο Ηγούμενος Richard του Wallingford κατασκεύασε ένα μηχανικό ρολόι ως αστρονομικό πλανητοσκόπιο.

**1338 μ.Χ.:** Απεικονίζεται σε βιβλίο του Ambrogio Lorenzetti το αμμορολόγιο, ένας τύπος κλεψύδρας που αντί για νερό περιέχει πολύ ψιλή άμμο. Παρόλο που η ύπαρξη του αμμορολογίου αναφέρεται σε γραφές από τον 8<sup>ο</sup> αιώνα, αυτή θεωρείται πως είναι η πρώτη ιστορικά απόδειξη ύπαρξης της συσκευής.

**1430 μ.Χ.:** Ο Δούκας της Βουργουνδίας Φίλιππος ο καλός, αποκτά στην κατοχή του το πρώτο μηχανικό ρολόι του οποίου ο μηχανισμός οδηγείται από ελαστικά μεταλλικά ελάσματα.

**1475 μ.Χ.:** Προστίθεται για πρώτη φορά στα μηχανικά ρολόγια ο ενδείκτης των λεπτών της ώρας από τον Paulus Almanus.

**1560 μ.Χ.:** Καταγράφεται το πρώτο μηχανικό ρολόι το οποίο διαθέτει προσθήκη ενδείκτη των δευτερολέπτων της ώρας.

**1582 μ.Χ.:** Ο Πάπας Γρηγόριος ο 13<sup>ος</sup> εισήγαγε ένα νέο ημερολόγιο το οποίο ονομάστηκε Γρηγοριανό ημερολόγιο και το οποίο αντιστάθμιζε αυτό το σφάλμα. Παραμένει το δημοφιλέστερο σε χρήση ημερολόγιο μέχρι την σύγχρονη εποχή.

**1789 μ.Χ.:** Κατά την διάρκεια της Γαλλικής επανάστασης, σε μία απόπειρα αποχριστιανοποίησης υπέρ του κινήματος του εκλογικισμού, Γάλλοι επιστήμονες επιχείρησαν την ανάπτυξη ενός νέου ρολογιού και ημερολογίου με σκοπό την αντικατάσταση του Γρηγοριανού ημερολογίου. Το νέο σύστημα σχημάτιζε με βάση το δεκαδικό αριθμητικό σύστημα μία ημέρα διαιρεμένη σε δέκα ώρες, με διάρκεια κάθε ώρας εκατό λεπτών, με διάρκεια κάθε λεπτού εκατό δευτερολέπτων. Η ριζοσπαστική καινοτομία του ημερολογίου οδήγησε σε ασυμβατότητα και αποκλίσεις με τα υπόλοιπα συστήματα ρολογιών και ημερολογίων στον κόσμο τέτοιας κλίμακας που δεν ήταν δυνατόν να βρεθούν λύσεις και τελικά το εγχείρημα εγκαταλείφθηκε το 1806.

**1880 μ.Χ.:** Ανακαλύπτονται οι ιδιότητες του διοξειδίου του πυριτίου ή χαλαζία από τους αδερφούς Jacques και Pierre Curie οι οποίες γίνονται γνωστές και ως πιεζοηλεκτρικές.

**1912 μ.Χ.:** Κατασκευάζεται ο πρώτος ταλαντωτής λυχνίας.

**1919 μ.Χ.:** Κατασκευάζεται από τον William Eccles ένας ταλαντωτής ο οποίος έχει την δυνατότητα να μπορεί να διατηρήσει σταθερή στον χρόνο την δόνηση ενός διαπασών ο οποίος κατόρθωσε να μεγιστοποιήσει την αποδοτικότητα και σταθερότητα της δονούμενης συχνότητας.

**1921 μ.Χ.:** Κατασκευάζεται ο πρώτος ταλαντωτής πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου από τον Walter G. Cady.

**1923 μ.Χ.:** Ο D. W. Dye και ο Warren Marrison κατόρθωσαν να παράγουν ακολουθίες σημάτων υψηλής ακρίβειας στον χρόνο χρησιμοποιώντας πιεζοηλεκτρικούς κρυστάλλους.

**1926 μ.Χ.:** Κατασκευάζεται το πρώτο οικιακό χρονόμετρο αντίστροφης μέτρησης για οικιακή χρήση στον χώρο της κουζίνας. Ο μηχανισμός λειτουργίας του περιορίζεται σε καθαρά μηχανική κατασκευή.

**1927 μ.Χ.:** Κατασκευάζεται το πρώτο ρολόι το οποίο συγχρονίζεται από έναν ηλεκτρικό κρύσταλλο, ο οποίος ενεργοποιείται από ένα ηλεκτρικό σήμα ώστε να παραγάγει συχνότητα των πενήντα χιλιοκυκλών ανά δευτερόλεπτο. Εφαρμόστηκε ένας ελεγκτής διαίρεσης της συχνότητας ώστε στην έξοδο του να αποδίδει μία κατάλληλη συχνότητα για την συγκεκριμένη εφαρμογή, η οποία οδήγησε την είσοδο ενός ηλεκτροκινητήρα.

**1950 μ.Χ.:** Εφαρμόζονται κατά κόρον στον χώρο της βιομηχανίας ηλεκτρομηχανικά χρονόμετρα τα οποία διατηρούν σταθερή λειτουργία στον χρόνο μέσω ενός μικρού ηλεκτροκινητήρα ο οποίος περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα.

**1967 μ.Χ.:** Το διεθνές σύστημα σταθμών καθορίζει το Καίσιο ως το στοιχείο βάσης για τον συγχρονισμό της βασικής μονάδας μέτρησης του χρόνου, το δευτερόλεπτο, ώστε να συγχρονίζονται όλα τα ρολόγια.

**2010 μ.Χ.:** Καταγράφεται το μικρότερο χρονικό διάστημα σφάλματος ως προς απευθείας μετρήσεις με χρόνο ίσο με 12 άτοδευτερόλεπτα ( $12 \times 10^{-18}$  δευτερόλεπτα).

### 1.3 Εξέλιξη μέσω της αντίληψης του χρόνου

Ο τρόπος με τον οποίο ο άνθρωπος αντιλαμβάνεται τον χρόνο έχει ιδιαίτερη σημασία καθώς τον εξυπηρετεί στο να ζει την ζωή του πιο αποδοτικά. Συγκεκριμένα ο άνθρωπος είναι ένα ον που αντιλαμβάνεται τον χρόνο ως γραμμικό μέγεθος καθώς τον ερμηνεύει σε τρεις διακριτές καταστάσεις, το παρελθόν, το παρόν και το μέλλον. Το παρελθόν ως χρονική κατάσταση αναφέρεται σε όλα τα πράγματα των οποίων τα γεγονότα είναι πλέον τετελεσμένα και έχουν πλέον καθοριστεί σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο χωρίς την δυνατότητα μεταβολής ή διαμόρφωσης τους. Το παρόν ως χρονική κατάσταση αναφέρεται στα γεγονότα τα οποία είναι σύγχρονα με την αντίληψη του ανθρώπου τα οποία βρίσκονται στην διαχείριση του ανθρώπου μέσω των αποφάσεων του ως προς το πώς θα αποτυπωθούν στην συγκεκριμένη στιγμή ώστε να προστεθούν στα τετελεσμένα γεγονότα του παρελθόντος και το μέλλον ως χρονική κατάσταση αναφέρεται στα γεγονότα τα οποία έπονται είτε εγγύς, είτε μακριά στον χρόνο από τα οποία κάποια αναμένονται καθώς είναι στην γνώση του ανθρώπου, ενώ τα υπόλοιπα που αγνοούνται από την γνωστική σφαίρα του ανθρώπου παρόλο που θα συμβούν, δεν λαμβάνονται υπόψιν. Από τα ανωτέρω γίνεται κατανοητό πως υπάρχει στην νόηση του ανθρώπινου νου μία σειρά ως προς το πως λειτουργεί ο χρόνος καθώς φαίνεται να ρέει από το μέλλον προς το παρόν και από το παρόν στο παρελθόν συμπεραίνοντας πως είναι ένα μέγεθος γραμμικό. Φυσικά ο χώρος της επιστήμης έχει ανακαλύψει πως γενικότερα στο σύμπαν ο χρόνος μόνο γραμμικός δεν είναι, αλλά στην αντίληψη του ανθρώπινου είδους που βιώνει το φαινόμενο του χρόνου στην επιφάνεια του πλανήτη Γη φαίνεται να είναι γραμμικό φαινόμενο.

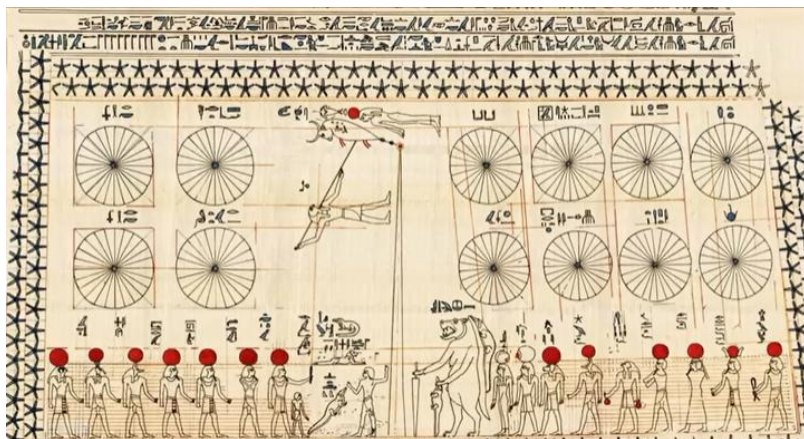
Από τα πιο πρώιμα ιστορικά στοιχεία του ανθρώπινου είδους φαίνεται πως προέκυψε η ανάγκη του ορισμού και κατανομής του χρόνου γύρω από κάποια περιοδικά φαινόμενα τα οποία είχε παρατηρήσει, συγκεκριμένα ότι το σύνολο της ημέρας και της νύχτας είχε συγκεκριμένη διάρκεια στο σύνολο τους, ενώ παράλληλα για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα ο καιρός φαινόταν πιο ψυχρός με μέρες μικρής διάρκειας και για ένα ίσο διάστημα ο καιρός φαινόταν πιο θερμός με μέρες μεγάλης διάρκειας. Επιπλέον στον νυχτερινό ουρανό κατόρθωσε να διακρίνει πως κάθε 28 ημέρες σταθερά το φεγγάρι ήταν πανσέληνος. Οι παρατηρήσεις αυτών των γεγονότων επέτρεψαν στον άνθρωπο να διαιρέσει τον χρόνο χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς γύρω από κάποια συγκεκριμένα γεγονότα που συνέβαιναν περιοδικά στον χρόνο, με συνέπεια να οδηγηθεί στην δημιουργία ενός βασικού ημερολόγιου το οποίο πρόβλεπε τα ετήσια ηλιοστάσια και ισημερίες.

### 1.4 Ημερολόγια

Ένα ημερολόγιο μπορεί να περιγραφεί ως ένα σύστημα οργάνωσης των ημερών. Αυτό πραγματοποιείται καθορίζοντας ονομαστικά συγκεκριμένες χρονικές περιόδους όπως για παράδειγμα τις ημέρες, τις εβδομάδες, τους μήνες και τα έτη. Κατά συνέπεια προέκυψε η έννοια της ημερομηνίας ως ο προσδιορισμός μιας συγκεκριμένης ημέρας μέσα σε ένα τέτοιο σύστημα καταγραφής του χρόνου. Ένα ημερολόγιο είναι επίσης μια φυσική εγγραφή ενός τέτοιου συστήματος ως προς διάφορα γεγονότα τα οποία γίνονται χρονικά ορόσημα. Ένα ημερολόγιο μπορεί επίσης να ερμηνευτεί ως μια λίστα προγραμματισμένων γεγονότων για τα οποία υπάρχει η επιθυμία να συμβούν στο μέλλον σε συγκεκριμένο χρονικό σημείο ή μια εν μέρει ή πλήρης χρονολογική λίστα εγγράφων. Οι περίοδοι σε ένα ημερολόγιο όπως είναι τα έτη και οι μήνες αν και όχι απαραίτητα αλλά συνηθίζεται να συγχρονίζονται με τον κύκλο μίας πλήρους περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο ή με τον κύκλο μίας πλήρους περιστροφής της σελήνης γύρω από την γη. Κατά την προμοντέρνα περίοδο ο τύπος ημερολογίου που συνηθιζόταν ήταν το σεληνιακό ημερολόγιο το οποίο μακροπρόθεσμα επιβαλλόταν να προσθέτει έναν ενδιάμεσο μήνα περιστασιακά ώστε να παραμείνει συγχρονισμένο με το ηλιακό έτος [1].

### 1.4.1 Κατηγορίες ημερολογίων.

Τα ημερολόγια διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ηλιακά και τα σεληνιακά. Τα ηλιακά ημερολόγια ορίζουν μια ημερομηνία βασιζόμενα σε κάθε ηλιακή ημέρα. Μια ημέρα μπορεί να αποτελείται από την περίοδο μεταξύ ανατολής και δύσης του ηλίου ακολουθούμενη από μια επόμενη περίοδο της νύχτας ή μπορεί να είναι μια περίοδος μεταξύ διαδοχικών γεγονότων όπως για παράδειγμα δύο ηλιοβασιλέματα. Το χρονικό εύρος του διαστήματος μεταξύ δύο τέτοιων διαδοχικών γεγονότων μπορεί να επιτρέπεται να ποικίλλει ελαφρώς κατά τη διάρκεια του έτους ή μπορεί να υπολογιστεί κατά μέσο όρο σε μια μέση ηλιακή ημέρα. Άλλοι τύποι ημερολογίου μπορεί επίσης να χρησιμοποιούν την ηλιακή ημέρα ως μονάδα μέτρησης ενός χρονικού διαστήματος.



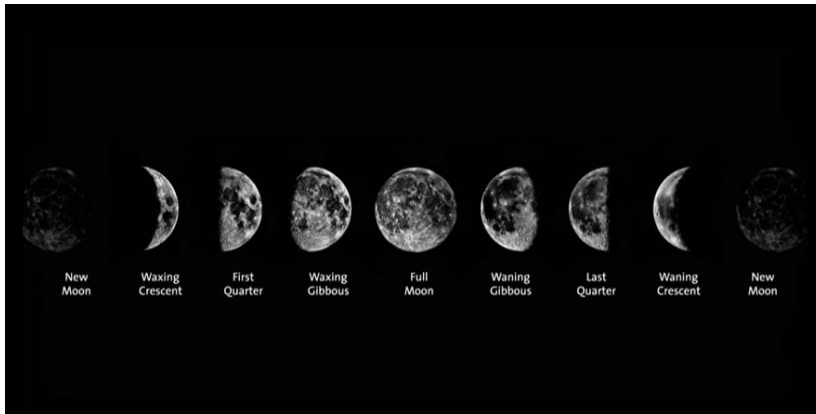
Σχήμα 1-1: Το Αιγυπτιακό ημερολόγιο.

Το ηλιακό ημερολόγιο που αναπτύχθηκε από τον Αιγυπτιακό πολιτισμό φαίνεται να προκύπτει το πιο πρώιμο στην ύπαρξη της ανθρώπινης ιστορίας χρησιμοποιώντας ως σταθερό σημείο την ετήσια επανεμφάνιση της ανατολής του ηλίου στο ίδιο ακριβώς σημείο με το άστρο του Σείριου που ανήκει στον αστερισμό του Μέγα Κύωνος στον ανατολικό ουρανό οι οποία συνέπεσε με

την ετήσια πλημμύρα του ποταμού Νείλου. Η παρατήρηση αυτή είχε ως συνέπεια να κατασκευαστεί ένα ημερολόγιο εύρους 365 ημερών χωρισμένες σε διαστήματα των δώδεκα μηνών οι οποίοι περιείχαν τριάντα ημέρες ο καθένας και με την πρόσθεση επί του τελευταίου μήνα των πέντε υπολειπόμενων ημερών ώστε να συμπληρωθεί με ακρίβεια το ηλιακό έτος. Ωστόσο η αποτυχία των Αιγυπτίων να υπολογίσουν το επιπλέον κλάσμα της ημέρας προκάλεσε το ημερολόγιό τους να οδηγηθεί σταδιακά σε αναμενόμενο σφάλμα [2].

Τα σεληνιακά ημερολόγια καταγράφουν τις ημέρες σε κάθε κύκλο περιστροφής της σελήνης γύρω από την γη παρατηρώντας τις σταδιακές σεληνιακές φάσεις και επειδή η διάρκεια του σεληνιακού μήνα δεν είναι δυνατόν να εκφραστεί ως ακριβές κλάσμα της διάρκειας του τροπικού έτους κατά συνέπεια ένα αμιγώς σεληνιακό ημερολόγιο μεταβαίνει τα χρονικά του διαστήματα πιο γρήγορα σε σχέση με τις εποχές που παρατηρούνται στην διάρκεια του έτους και οι οποίες δεν ποικίλλουν σε ιδιαίτερο εύρος στην τροπική ζώνη που βρίσκεται κοντά στον ισημερινό. Ωστόσο παραμένει σταθερό σε σχέση με άλλα παρατηρήσιμα φαινόμενα, κυρίως τις παλίρροιες οι οποίες έχουν άμεση σχέση με την θέση της σελήνης όπως αυτή κινείται στην τροχιά της. Ο Alexander Marshack σε μια αμφιλεγόμενη δημοσίευση φαίνεται πως υποστηρίζει ότι τα σημάδια που βρέθηκαν χαραγμένα σε μια οστέινη σκυτάλη που χρονολογείται περίπου στο 25.000 π.Χ. αντιπροσωπεύουν ένα είδος σεληνιακού ημερολογίου, υπόθεση που σημαίνει ότι και άλλα χαραγμένα οστά της περιόδου που εντοπίζονται σε ανθρώπινους οικισμούς μπορεί επίσης να αντιπροσωπεύουν κάποιου είδους σεληνιακά ημερολόγια. Ομοίως, ο Michael Rappenglueck φαίνεται να υποστηρίζει ότι τα σχέδια που βρέθηκαν στα τοιχώματα του εσωτερικού μιας σπηλιάς τα οποία χρονολογούνται περίπου στο 13.000 π.Χ. αντιπροσωπεύουν ένα είδος σεληνιακού ημερολογίου. Πιο συγκεκριμένα ως σεληνιακό ημερολόγιο ονομάζεται ένα σύστημα ημερολογίου το οποίο βασίζεται στους μηνιαίους κύκλους των φάσεων της Σελήνης γνωστοί και ως συνοδικοί μήνες ή φεγγάρια το οποίο βρίσκεται σε αντίθεση με τα ηλιακά ημερολόγια των οποίων οι ετήσιοι κύκλοι βασίζονται μόνο

απευθείας στο ηλιακό έτος. Το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο ημερολόγιο είναι το Γρηγοριανό ημερολόγιο το οποίο είναι ένα ηλιακό ημερολογιακό σύστημα που εξελίχτηκε αρχικά από ένα σεληνιακό ημερολογιακό σύστημα.



Σχήμα 1-2: Οι οκτώ φάσεις της σελήνης.

Ένα καθαρά σεληνιακό ημερολόγιο διακρίνεται επίσης από ένα σεληνιακό ημερολόγιο του οποίου οι σεληνιακοί μήνες ευθυγραμμίζονται με το ηλιακό έτος μέσω κάποιας διαδικασίας παρέμβασης σε αυτό. Οι λεπτομέρειες για το πότε ξεκινούν οι μήνες διαφέρουν από ημερολόγιο σε ημερολόγιο με ορισμένους να ορίζουν ως εκκίνηση τους την κάθε νέα πανσέληνο ή το

μισοφέγγαρο, ενώ στα υπόλοιπα να γίνεται χρήση λεπτομερών υπολογισμών για την εκκίνηση τους. Δεδομένου ότι κάθε σεληνιακός μήνας είναι περίπου εικοσιεννιάμιση ημέρες είναι συνηθισμένη η πρακτική κατά την οποία οι μήνες ενός σεληνιακού ημερολογίου να εναλλάσσονται μεταξύ εικοσιεννιά και τριάντα ημερών. Δεδομένου ότι η περίοδος δώδεκα τέτοιων σεληνίων θα ισούται με ένα σεληνιακό έτος, τότε αυτό θα αποτελείται από 354 ημέρες, οκτώ ώρες, 48 λεπτά και 34 δευτερόλεπτα ή αλλιώς 354,36707 ημέρες), συμπεραίνεται πως τα καθαρά σεληνιακά ημερολόγια θα προκύπτουν από έντεκα έως δώδεκα ημέρες μικρότερα από το ηλιακό έτος. Στα αμιγώς σεληνιακά ημερολόγια τα οποία δεν χρησιμοποιούν κάποια παρέμβαση στο σύστημα μέτρησης τους, όπως είναι για παράδειγμα το ισλαμικό ημερολόγιο, οι σεληνιακοί μήνες τελικά θα διατρέχουν μέσα από όλες τις εποχές ενός ηλιακού έτους κατά τη διάρκεια ενός κύκλου σεληνιακού έτους κατά την πάροδο τριαντατριών με τριαντατεσσάρων ετών [3].

### 1.4.2 Σύγχρονοι τύποι ημερολογίων

Αν και το Γρηγοριανό ημερολόγιο έχει υιοθετηθεί και εφαρμόζεται από κοινού στις περισσότερες χώρες, τα παραδοσιακά σεληνιακά ημερολόγια συνεχίζουν να χρησιμοποιούνται σε όλο τον κόσμο για τον καθορισμό των θρησκευτικών εορτών και των εθνικών εορτών. Τέτοια γεγονότα εορτασμών περιλαμβάνουν το Rosh Hashanah όπου κατά το Εβραϊκό ημερολόγιο σηματοδοτεί το νέο έτος, το Πάσχα το οποίο ως εορτή είναι κινητή και καθορίζεται από μία διαδικασία υπολογισμού που ονομάζεται απλά ως “ο υπολογισμός,” το κινεζικό το κορεατικό το βιετναμέζικο και το μογγολικό νέο έτος το οποίο προκύπτει από το Κινεζικό Κορεατικό Βιετναμέζικο και Μογγολικό ημερολόγιο αντίστοιχα, το Νεπαλέζικο νέο έτος το οποίο προκύπτει από το ημερολόγιο του Νεπάλ, ο μεσοφθινοπωρινός εορτασμός και το Chuseok τα οποία προκύπτουν από τα Κινεζικά και Κορεατικά ημερολόγια, το Loi Krathong το οποίο προκύπτει από το ημερολόγιο της Ταϊλάνδης, το Ημερολόγιο των Sunuwar, το Vesak γιορτάζει τα γενέθλια του Βούδα όπως αυτά προκύπτουν από το βουδιστικό ημερολόγιο, τα Diwali κατά τα ινδουιστικά ημερολόγια, οι εορτές Ραμαζάνι, Eid al-Fitr και Eid al-Adha όπως αυτές προκύπτουν στο ισλαμικό ημερολόγιο [4].

Το Ιαπωνικό Ημερολόγιο χρησιμοποιούσε παλαιότερα τόσο το σεληνιακό όσο και το ηλιακό ημερολόγιο προτού αυτά αντικατασταθούν από το Γρηγοριανό ημερολόγιο κατά τη διάρκεια της κυβέρνησης Meiji το 1872. Γιορτές όπως το Ιαπωνικό Νέο Έτος απλώς μεταφέρθηκαν στην κορυφή

του σε αντίθεση με το να πρέπει να υπολογίζονται για κάθε έτος το πότε θα πραγματοποιηθεί όπως συμβαίνει σε άλλες χώρες που χρησιμοποιούν το σεληνιακό και το Γρηγοριανό ημερολόγιο μαζί. Για παράδειγμα το Ιαπωνικό νέο έτος πέφτει τώρα την 1η Ιανουαρίου, δημιουργώντας ένα μήνα καθυστέρηση σε αντίθεση με τις λοιπές Ασιατικές χώρες [5].

Σχεδόν όλα τα ημερολογιακά συστήματα ομαδοποιούν διαδοχικές ημέρες ως υποσύνολο σε μήνες οι οποίοι ομαδοποιούνται ως υποσύνολο σε έτη. Σε ένα ηλιακό ημερολόγιο το έτος προσεγγίζει το τροπικό έτος της Γης, δηλαδή το χρονικό διάστημα κατά το οποίο πραγματοποιείται ένας πλήρης κύκλος των διαδοχικών εποχών του Χειμώνα, της Άνοιξης, του Καλοκαιριού και του Φθινοπώρου που παραδοσιακά χρησιμοποιείται για τη διευκόλυνση του προγραμματισμού των γεωργικών δραστηριοτήτων. Σε ένα σεληνιακό ημερολόγιο ο μήνας προσεγγίζει τον κύκλο των φάσεων της σελήνης. Οι διαδοχικές ημέρες μπορούν να ομαδοποιηθούν ως υποσύνολα σε συγκεντρωτικές περιόδους όπως είναι αυτή της εβδομάδας. Επειδή ο αριθμός των ημερών στο τροπικό έτος στην πραγματικότητα δεν είναι ακέραιος αριθμός ένα ηλιακό ημερολόγιο απαιτείται να έχει διαφορετικό αριθμό ημερών σε διαφορετικά έτη. Αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί για παράδειγμα με την προσθήκη μιας επιπλέον ημέρας σε δίσεκτα έτη. Το ίδιο ισχύει και για τους μήνες σε ένα σεληνιακό ημερολόγιο και επίσης για τον αριθμό των μηνών ενός έτους σε ένα σεληνιακό ημερολόγιο. Αυτό είναι γενικά γνωστό ως παρέμβαση. Ακόμα κι αν ένα ημερολόγιο είναι ηλιακό και όχι σεληνιακό το έτος δεν μπορεί να χωριστεί εξ ολοκλήρου σε μήνες που δεν διαφέρουν ποτέ στην χρονική τους διάρκεια. Οι πολιτισμοί μπορεί να ορίζουν άλλες μονάδες χρόνου όπως η εβδομάδα με σκοπό τον προγραμματισμό τακτικών δραστηριοτήτων που δεν συμπίπτουν εύκολα με μήνες ή χρόνια. Πολλοί πολιτισμοί χρησιμοποιούν διαφορετικά σημεία αναφοράς ή χρονικά ορόσημα ως βάσεις για τα έτη έναρξης των ημερολογίων τους. Ιστορικά αρκετές χώρες έχουν βασίσει τα ημερολόγιά τους σε χρονικές περιόδους που ισοούνται με τα χρόνια βασιλείας, δηλαδή εφαρμόζεται ένα ημερολογιακό σύστημα που βασίζεται στη βασιλεία του εκάστοτε ηγεμόνα τους. Το έτος 2006 για παράδειγμα στην Ιαπωνία μετριέται ως το έτος 18 Heisei όπου με τον όρο Heisei να αναφέρεται στο όνομα της εποχής του αυτοκράτορα Akihito.

Μία άλλη προσέγγιση για την ανάπτυξη ημερολογίων ακολουθεί πιο επιστημονική μεθοδολογία η οποία απέδωσε τα αστρονομικά και αριθμητικά ημερολόγια. Συγκεκριμένα ένα αστρονομικό ημερολόγιο βασίζεται στην συνεχή παρατήρηση και καταγραφή των αστρονομικών γεγονότων τα οποία συμβαίνουν στον νυχτερινό ουράνιο θόλο ώστε να αποτελέσουν χρονικά ορόσημα για την σηματοδότηση ιστορικών συμβάντων. Παραδείγματα είναι το θρησκευτικό ισλαμικό ημερολόγιο και το παλιό θρησκευτικό εβραϊκό ημερολόγιο την εποχή του Δεύτερου Ναού. Ένα τέτοιο ημερολόγιο αναφέρεται επίσης ως ημερολόγιο που βασίζεται στην παρατήρηση. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου ημερολογίου είναι ότι είναι απόλυτα και διαρκώς ακριβές, ενώ το μειονέκτημα του είναι ότι είναι δύσκολο να προσδιοριστεί πότε θα εμφανιστεί μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Ένα αριθμητικό ημερολόγιο είναι αυτό που βασίζεται σε ένα αυστηρό σύνολο κανόνων, όπως για παράδειγμα είναι το τρέχον εβραϊκό ημερολόγιο. Ένα τέτοιο ημερολόγιο αναφέρεται επίσης ως ημερολόγιο που βασίζεται σε κανόνες. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου ημερολογίου είναι η ευκολία υπολογισμού όταν εμφανίζεται μια συγκεκριμένη ημερομηνία. Το μειονέκτημα είναι η ατελής ακρίβεια χάρη στο σφάλμα που υπάρχει ως προς την ακεραιότητα των ημερών του έτους. Επιπλέον ακόμα κι αν το ημερολόγιο είναι πολύ ακριβές η ακρίβειά του και πάλι θα μειώνεται με χαμηλότερο ρυθμό με την πάροδο του χρόνου λόγω των αλλαγών στην περιστροφή της Γης. Αυτό κατά συνέπεια περιορίζει άμεσα την αξιοπιστία και την διάρκεια ζωής ενός ακριβούς αριθμητικού ημερολογίου σε μερικές μόλις χιλιάδες χρόνια. Μόλις τα έτη αυτά παρέλθουν τότε οι κανόνες θα πρέπει να τροποποιηθούν με τρόπο κατάλληλο από τις παρατηρήσεις που έγιναν από την εφεύρεση του ημερολογίου στις νέες παρατηρήσεις που θα μπορούσαν να παρέχουν ένα εκ νέου ακριβές ημερολογιακό σύστημα [6].

Το Γρηγοριανό ημερολόγιο έχει οριστεί ως το επικρατέστερο διεθνές πρότυπο ημερολογιακού συστήματος και βρίσκει εφαρμογή σχεδόν παντού στον κόσμο για κάθε είδους σκοπούς. Η ευρέως χρησιμοποιούμενη ηλιακή πτυχή είναι ένας κύκλος δισεκτων ημερών σε έναν κύκλο 400 ετών που έχει σχεδιαστεί για να διατηρεί τη διάρκεια του έτους ευθυγραμμισμένη με το ηλιακό έτος. Υπάρχει μια σεληνιακή όψη που προσεγγίζει τη θέση της σελήνης κατά τη διάρκεια του έτους και χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό της ημερομηνίας του Πάσχα. Κάθε Γρηγοριανό έτος έχει είτε 365 είτε 366 ημέρες αναλόγως με το αν το έτος αυτό χαρακτηριστεί ως δίσεκτο ή όχι, καθώς η δίσεκτη ημέρα εισάγεται ως η 29<sup>η</sup> ημέρα του μήνα Φεβρουαρίου που αντιστοιχεί σε ένα μέσο Γρηγοριανό έτος 365.2425 ημερών σε σύγκριση με ένα τυπικό ηλιακό έτος 365.2422 ημερών. Το συγκεκριμένο ημερολογιακό σύστημα εισήχθη το έτος 1582 μ.Χ. ως βελτίωση του Ιουλιανού ημερολογίου που ήταν σε χρήση καθ' όλη τη διάρκεια του ευρωπαϊκού Μεσαίωνα η οποία βελτίωση αντιστοιχεί σε διόρθωση της τάξεως του 0,002% στη διάρκεια του έτους. Κατά την πρώιμη σύγχρονη περίοδο ωστόσο η υιοθέτησή του περιοριζόταν κυρίως στα Ρωμαιοκαθολικά έθνη αλλά από τον 19ο αιώνα έγινε ευρέως υιοθετημένο σε όλο τον κόσμο για λόγους ευκολίας στο διεθνές εμπόριο. Η τελευταία ευρωπαϊκή χώρα που υιοθέτησε τη μεταρρύθμιση ήταν η Ελλάδα, το 1923. Η ημερολογιακή εποχή που χρησιμοποιούσε το Γρηγοριανό ημερολόγιο κληρονομήθηκε από τη μεσαιωνική σύμβαση που καθιέρωσε ο Διονύσιος Εξίγιος και σχετίζεται άμεσα με το Ιουλιανό ημερολόγιο. Ο αριθμός του έτους δίνεται ποικιλοτρόπως ως AD (για την Anno Domini) ή CE (για την Κοινή Εποχή ή τη Χριστιανική Εποχή) [7].

### 1.5 Ο χρόνος ως έννοια

Ο χρόνος ως προς την έννοια του περιγράφεται ως η συνεχής αλληλουχία της ύπαρξης και γεγονότων που συμβαίνουν σε μια φαινομενικά μη αναστρέψιμη διαδοχή από το παρελθόν, μέσω του παρόντος προς στο μέλλον και είναι ένα ποσοτικό μέγεθος που χρησιμοποιείται για την λήψη διαφόρων μετρήσεων οι οποίες μπορούν να αφορούν την αλληλουχία γεγονότων, τη σύγκριση της διάρκειας των γεγονότων ή των διαστημάτων μεταξύ τους και την ποσοτικοποίηση των ρυθμών μεταβολής των ποσοτήτων διάφορων μεγεθών.

Ο χρόνος αναφέρεται συχνά και ως η τέταρτη διάσταση συμπληρωματικά στις τρεις χωρικές διαστάσεις, το μήκος, το πλάτος και το ύψος. Ο χρόνος απασχόλησε ως ένα σημαντικό θέμα μελέτης στους χώρους της θρησκείας, της φιλοσοφίας και της επιστήμης αλλά ο ορισμός του με τρόπο που να εφαρμόζεται σε όλους τους τομείς χωρίς κυκλικότητα διέφευγε σταθερά τους μελετητές. Ωστόσο διαφορετικοί τομείς όπως οι επιχειρήσεις, η βιομηχανία, ο αθλητισμός, οι επιστήμες και οι τέχνες του θεάματος ενσωματώνουν όλοι τους κάποια έννοια του χρόνου στα αντίστοιχα συστήματα μέτρησής τους. Ο χρόνος στη φυσική ορίζεται λειτουργικά ως το τι διαβάζει ένα ρολόι. Η φυσική φύση του χρόνου αντιμετωπίζεται από τη γενική σχετικότητα σε σχέση με τα γεγονότα στον χωροχρόνο. Παραδείγματα γεγονότων είναι η σύγκρουση δύο σωματιδίων, η έκρηξη ενός υπερκαινοφανούς ή η άφιξη ενός σιδηροδρομικού συρμού. Σε κάθε συμβάν μπορούν να εκχωρηθούν τέσσερις αριθμοί οι οποίοι αντιπροσωπεύουν την ώρα και τη θέση του ως τις συντεταγμένες του συμβάντος στον χώρο. Ωστόσο οι αριθμητικές τιμές προκύπτουν διαφορετικές για διαφορετικούς παρατηρητές [8].

#### 1.5.1 Προσεγγίσεις της έννοιας του χρόνου

Στη γενική σχετικότητα το ερώτημα τι ώρα είναι τώρα έχει νόημα μόνο σε σχέση με έναν συγκεκριμένο παρατηρητή ο οποίος προφανώς θα πρέπει να βρίσκεται στην ίδια χρονική ζώνη με τον παρατηρητή που θα του παρέχει την σχετική πληροφορία. Η απόσταση και ο χρόνος συνδέονται στενά και ο χρόνος που απαιτείται για το φως να διανύσει μια συγκεκριμένη απόσταση είναι ο ίδιος για όλους τους παρατηρητές όπως καταδείχθηκε για πρώτη φορά δημόσια από τους Michelson και Morley. Η γενική

σχετικότητα δεν εξετάζει τη φύση του χρόνου για εξαιρετικά μικρά διαστήματα στα οποία θα ισχύει η κβαντική μηχανική. Αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει γενικά αποδεκτή θεωρία της κβαντικής γενικής σχετικότητας.



Ο χρόνος είναι ένα από τα επτά θεμελιώδη φυσικά μεγέθη τόσο στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (SI) όσο και στο Διεθνές Σύστημα Ποσοτήτων. Η βασική μονάδα χρόνου κατά το SI είναι το δευτερόλεπτο. Ο χρόνος χρησιμοποιείται ως μέγεθος συνδυαστικά με άλλα βασικά μεγέθη ως συναρτήσεις για τον καθορισμό άλλων μεγεθών όπως είναι η ταχύτητα και επομένως ο καθορισμός του χρόνου με βάση τέτοια μεγέθη θα είχε ως αποτέλεσμα την παγίδευση της ίδιας του της έννοιας του ορισμού σε κλειστό βρόγχο. Ένας λειτουργικός ορισμός του χρόνου μπορεί να αποδοθεί κατά την παρατήρηση ενός συγκεκριμένου αριθμού επαναλήψεων ενός ή άλλου τυπικού επαναλαμβανόμενου γεγονότος όπως για παράδειγμα το κάθε πέρασμα ενός εκκρεμούς ελεύθερης αιώρησης μπορεί να αποτελεί μια τυπική μονάδα μέτρησης του χρόνου όπως το δευτερόλεπτο η οποία προκύπτει πολύ χρήσιμη στη διεξαγωγή τόσο των προηγμένων πειραμάτων όσο και των καθημερινών υποθέσεων της ζωής.

Σχήμα 1-3: Ρολόι εκκρεμές. Για την καταγραφή των παρατηρήσεων ενός γεγονότος συνήθως σημειώνονται η τοποθεσία στην οποία συμβαίνει και ο χρόνος κατά τον οποίο συνέβη. Ο λειτουργικός ορισμός του χρόνου δεν εξετάζει ποια είναι η θεμελιώδης φύση του, δεν εξετάζει γιατί συμβαίνουν γεγονότα προς τα εμπρός και προς τα πίσω στον χώρο ενώ τα γεγονότα συμβαίνουν μόνο στην μπροστινή πρόοδο του χρόνου. Οι έρευνες για τη σχέση μεταξύ χώρου και χρόνου οδήγησαν τους φυσικούς να ορίσουν το χωροχρονικό συνεχές και για την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας του χωροχρόνου το πρωταρχικό πλαίσιο είναι η γενική σχετικότητα. Μέσω της προόδου τόσο στις θεωρητικές όσο και στις πειραματικές έρευνες του χωροχρόνου έχει αποδειχθεί ότι ο χρόνος μπορεί να παραμορφωθεί και να διασταλεί ιδιαίτερα στις άκρες των μαύρων τρυπών οι οποίες περιγράφονται ως ένα σημείο άπειρης βαρύτητας, που σημαίνει πως η σχέση μεταξύ της βαρύτητας και του χρόνου είναι αντιστρόφως ανάλογη. Η μέτρηση του χρόνου απασχόλησε τόσο τους επιστήμονες όσο και τους τεχνολόγους και αυτό αποτέλεσε ένα ύψιστης σημασίας πρωταρχικό κίνητρο στους χώρους της ναυσιπλοΐας και της αστρονομίας. Η παρατήρηση των συμβάντων και των κινήσεων που πραγματοποιούνται σε περιοδικό μοτίβο αποτελούν πρότυπα για τις μονάδες χρόνου. Παραδείγματα περιλαμβάνουν τη φαινομενική κίνηση του ήλιου κατά μήκος του ουρανού, τις φάσεις της σελήνης, την αιώρηση ενός εκκρεμούς και τον χτύπο μιας καρδιάς. Επί του παρόντος η διεθνής μονάδα χρόνου είναι το δευτερόλεπτο το οποίο ορίζεται με τη μέτρηση της συχνότητας ηλεκτρονικής μετάβασης των ατόμων του χημικού στοιχείου Καισίου. Ο χρόνος επίσης αποτελεί σημαντικής σημασίας αγαθό εντός του κοινωνικού συνόλου καθώς η κατάλληλη ή μη κατάλληλη διαχείριση του προκαλεί τις ανάλογες συνέπειες στην έκβαση των δραστηριοτήτων μιας κοινωνίας είτε από οικονομικής άποψης είτε επί του προσωπικού του κάθε μέλους της λόγω της επίγνωσης του περιορισμένου χρόνου για κάθε ημέρα αλλά και στη διάρκεια της ανθρώπινης ζωής γενικότερα. Υπάρχουν πολλά συστήματα για τον προσδιορισμό της ώρας, συμπεριλαμβανομένου του Παγκόσμιου Συστήματος Εντοπισμού Θέσης (Global Positioning System - GPS), άλλων δορυφορικών συστημάτων, της Συντονισμένης Παγκόσμιας Ώρας και της μέσης ηλιακής ώρας. Γενικά οι αριθμοί που λαμβάνονται από διαφορετικά συστήματα χρόνου διαφέρουν μεταξύ τους [9].

Από τα ανωτέρω προκύπτει σε γενικές γραμμές πως οι μέθοδοι χρονικής μέτρησης ή χρονομετρίας μπορούν να εκφράζονται σε δύο διακριτές μορφές. Η μία αφορά το ημερολόγιο το οποίο αποτελεί ένα μαθηματικό εργαλείο για την οργάνωση των χρονικών διαστημάτων και η άλλη αφορά το ρολόι το οποίο αποτελεί έναν φυσικό μηχανισμό ο οποίος μετρά ποσοτικά το πέρασμα του χρόνου. Στην καθημερινότητα το ρολόι χρησιμοποιείται εκτενέστατα για την παρακολούθηση περιόδων που αποτελούν υποδιαιρέσεις του εικοσιτετράωρου, δηλαδή περιόδους μικρότερες από το σύνολο μίας ημέρας ενώ το ημερολόγιο σαν εργαλείο παρακολουθεί το πέρασμα του χρόνου σε μεγαλύτερη κλίμακα και πιο μακροσκοπικά για περιόδους ίσες ή και μεγαλύτερες από μία ημέρα. Στην σύγχρονη εποχή οι προσωπικές ηλεκτρονικές συσκευές, όπως είναι για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα, διαθέτουν στο σύνολο των λειτουργιών τους εφαρμογές οι οποίες απεικονίζουν και το ημερολόγιο αλλά και το ρολόι ταυτόχρονα. Το γεγονός αυτό δείχνει την αντίληψη των εταιριών ως προς την βαρύτητα της σημασίας που έχει η δυνατότητα της στιγμιαίας πρόσβασης στην ωρολογιακή και ημερομηνιακή πληροφορία από τον μέσο χρήστη στην καθημερινότητα του. Ο ενδεικτικός αριθμός που συχνά παρουσιάζεται όπως σε ένα καντράν ρολογιού ή σε μία σελίδα μορφοποιημένου ημερολογίου που έχει σκοπό την σηματοδότηση ενός συγκεκριμένου στον χρόνο γεγονότος ως προς την ώρα ή ως προς την ημερομηνία λαμβάνεται από τον υπολογισμό μίας συγκεκριμένης μέτρησης η οποία έχει ένα κεντρικό σημείο αναφοράς.

### 1.5.2 Πρότυπα μονάδων χρόνου

Για χάρη της απόδοσης σε θέματα σωστής επικοινωνίας και αντίληψης των μεγεθών υπήρξε η αναγκαιότητα να θεσπιστούν από κοινού κάποια ορισμένα μεγέθη τα οποία θα είναι γνωστά και προσβάσιμα προς όλους ώστε να μην υπάρχουν αποκλίσεις από αυτά, τα οποία ονομάστηκαν πρότυπα. Ένα χρονικό πρότυπο αποτελεί μια προδιαγραφή για τη μέτρηση του χρόνου, την εκχώρηση δηλαδή ενός αριθμού ή μίας ημερολογιακής ημερομηνίας σε ένα συγκεκριμένο σημείο στον χρόνο με σκοπό την ποσοτικοποίηση της διάρκειας ενός χρονικού διαστήματος, αλλά και για τον καθορισμό μιας χρονολογίας ή την σειρά κάποιων γεγονότων. Στη σύγχρονη εποχή αρκετές χρονικές προδιαγραφές έχουν αναγνωριστεί επίσημα ως πρότυπα τα οποία παλαιότερα ήταν απλά από κοινού αποδεκτά ως θέματα συνήθειας και πρακτικής. Με την εφεύρεση του ατομικού ρολογιού καισίου που υπήρξε καθοριστικός καταλύτης για την αντικατάσταση παλαιότερων και καθαρά αστρονομικών προτύπων χρόνου όπως ο αστρικός χρόνος αλλά και ο εφήμερος χρόνος για τους περισσότερους πρακτικούς σκοπούς, θεσπίστηκαν νεότερα χρονικά πρότυπα που βασίζονται εξ ολοκλήρου ή εν μέρει στον ατομικό χρόνο τα οποία χρησιμοποιούν ως βασική μονάδα μέτρησης το κατά SI δευτερόλεπτο.

Το κύριο διεθνές πρότυπο ώρας από το οποίο υπολογίζονται άλλα πρότυπα ώρας, είναι το σύστημα της διεθνούς ατομικής ώρας (International Atomic Time - TAI). Το σύστημα της παγκόσμιας ώρας (Universal Time - UT1) είναι ο μέσος ηλιακός χρόνος σε γεωγραφικό μήκος 0° ο οποίος υπολογίζεται από αστρονομικές παρατηρήσεις και διαφέρει από το σύστημα της διεθνούς ατομικής ώρας λόγω του σφάλματος που παρουσιάζεται στην περιστροφή της Γης το οποίο δεν επιτρέπει την καθαρή στρογγυλοποίηση των μετρήσιμων μεγεθών που περιγράφουν τις περιστροφές της Γης γύρω από τον εαυτό της αλλά και γύρω από τον Ήλιο. Το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας (Coordinated Universal Time - UTC) είναι μια ατομική κλίμακα χρόνου που έχει σχεδιαστεί με σκοπό να προσεγγίζει το σύστημα της παγκόσμιας ώρας. Το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας διαφέρει από το σύστημα της διεθνούς ατομικής ώρας κατά έναν ακέραιο αριθμό δευτερολέπτων. Το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας διατηρείται εντός ενός εύρους των 0,9 δευτερολέπτων σε σχέση με το σύστημα της παγκόσμιας ώρας εφαρμόζοντας την εισαγωγή διαβαθμίσεων του δευτερολέπτου το οποίο είναι γνωστό και ως άλμα του δευτερολέπτου [10].

Το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας προέκυψε τόσο αξιόπιστο ώστε επιλέχθηκε ως σημείο αναφοράς για το παγκόσμιο σύστημα εντοπισμού θέσης ώστε να εκπέμπει ένα πολύ ακριβές σήμα ώρας. Καθώς η απόδοση της ώρας σε παγκόσμιο επίπεδο συσχετίζεται και αποδίδεται από την φαινομενική θέση του Ήλιου στον ουράνιο θόλο, είναι φυσικό τα περισσότερα κράτη να έχουν διαφορετικό σημείο αναφοράς ως προς αυτό το δεδομένο καθώς βρίσκονται κατανεμημένα σε διάφορα μήκη της επιφάνειας του πλανήτη, επομένως προέκυψε η αναγκαιότητα να χωριστεί κατά μήκος η επιφάνεια του πλανήτη σε διάφορες ζώνες ώρας. Η τυπική ώρα ή η αστική ώρα σε μια ζώνη ώρας αποκλίνει κατά μία σταθερή και στρογγυλή τιμή η οποία συνήθως αποδίδεται σε έναν ακέραιο αριθμό ωρών ο οποίος προκύπτει από κάποια μορφή συστήματος παγκόσμιας ώρας η οποία συνήθως προκύπτει το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας. Οι πλειοψηφία των ζωνών ώρας απέχουν ακριβώς μία ώρα μεταξύ τους και κατά σύμβαση υπολογίζουν την τοπική τους ώρα ως μετατόπιση από το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας. Για παράδειγμα οι ζώνες ώρας στη θάλασσα ορίστηκαν λαμβάνοντας υπόψιν το σύστημα της συντονισμένης παγκόσμιας ώρας και σε πολλές τοποθεσίες που βρίσκονται σε όλα τα μήκη του πλανήτη εξαιρουμένης της θάλασσας αυτές οι μετατοπίσεις ποικίλλουν δύο φορές το χρόνο λόγω της θερινής μετάβασης. Ορισμένα άλλα χρονικά πρότυπα χρησιμοποιούνται κυρίως για τις ερευνητικές ανάγκες του επιστημονικού χώρου. Το σύστημα επίγειας ώρας αφορά μια θεωρητική ιδανική κλίμακα που υλοποιείται από το σύστημα της διεθνούς ατομικής ώρας, το σύστημα της γεωκεντρικής ώρας συντεταγμένων και το σύστημα της βαρυκεντρικής ώρας συντεταγμένων αφορούν κλίμακες που ορίζονται ως χρόνοι συντεταγμένων στο πλαίσιο της γενικής θεωρίας της σχετικότητας. Το σύστημα της βαρυκεντρικής δυναμικής ώρας είναι μια παλαιότερη σχετικιστική κλίμακα που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα [11].

## 1.6 Μετρητικά όργανα και συσκευές χρόνου

Για τις ανάγκες της μέτρησης των χρονικών διαστημάτων ή περιόδων, μέσα από τον ρου της ιστορίας υπήρξε μεγάλο ενδιαφέρον από πολλούς ερευνητές, μελετητές και εφευρέτες οι οποίοι ανέπτυξαν έναν μεγάλο αριθμό κατασκευών και συσκευών που να μπορούν να αποδώσουν μία συγκεκριμένη χρονική διάρκεια ή να υποδείξουν ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο, συνήθως χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς την θέση του ήλιου στον ουράνιο θόλο, οι οποίες κατά την εξέλιξη τους έτειναν να αυξάνουν τον βαθμό περιπλοκότητας τους ως προς την κατασκευή τους. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό συσχετίζεται με το γεγονός ότι κάθε τεχνολογικό άλμα εκκινεί την περίοδο αξιοποίησης του σχεδόν σε κατάσταση πρωτότυπου το οποίο στην συνέχεια υιοθετεί όλο και πιο λεπτομερείς μετατροπές και αναπτύξεις καθώς συνεχίζεται η έρευνα και οι δοκιμές, αλλά και επειδή συμβαίνουν και άλλες ανακαλύψεις σε διάφορους άλλους τομείς οι οποίες δύναται να αξιοποιηθούν και να ενσωματωθούν σε ήδη υπάρχουσες κατασκευές και συσκευές με σκοπό την βελτιστοποίηση τους. Η κατασκευή ή συσκευή της οποίας η λειτουργία αφορά την μέτρηση ή υπόδειξη του χρόνου ονομάζεται ρολόι και διακρίνεται σε δύο κατηγορίες σύμφωνα με το είδος της λειτουργίας του, στις συσκευές που μετράνε ένα συγκεκριμένης διάρκειας χρονικό διάστημα οι οποίες ονομάζονται χρονόμετρα και στις συσκευές που υποδεικνύουν ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο σύμφωνα με κάποιο σημείο αναφοράς το οποίο ονομάζεται ρολόι [12].

### 1.6.1 Η εξέλιξη του ρολογιού

Ένα ρολόι συγκεκριμένα είναι μια συσκευή που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση και την ένδειξη της ώρας. Το ρολόι είναι μια από τις παλαιότερες ανθρώπινες εφευρέσεις, που καλύπτει την ανάγκη μέτρησης χρονικών διαστημάτων μικρότερων από τις φυσικές μονάδες οι οποίες αποτελούν χρονικά ορόσημα από μόνες τους, όπως είναι η ημέρα, ο σεληνιακός μήνας, το έτος και το γαλαξιακό έτος.



Σχήμα 1-4: Αυτοσχέδιο ρολόι νερού.

Επίσης πολλές συσκευές που λειτουργούν σε διάφορες φυσικές διεργασίες έχουν χρησιμοποιηθεί ως παρόμοια χρονικά ορόσημα σε όλη την γνωστή ανθρώπινη ιστορία. Ορισμένοι προκάτοχοι του σύγχρονου ρολογιού μπορεί να θεωρηθούν ως ρολόγια τα οποία βασίζονται στην κίνηση η οποία παρατηρείται σε διάφορες φυσικά εκτελέσιμες διεργασίες όπως είναι για παράδειγμα η λειτουργία ενός ηλιακού ρολογιού το οποίο δείχνει την ώρα

αξιοποιώντας ένα αιχμηρό αντικείμενο το οποίο εφαρμόζεται κάθετα σε μία επιφάνεια βάσης η οποία τοποθετείται παράλληλα με το έδαφος ώστε να εκτίθεται στον ήλιο με τέτοιο τρόπο ώστε να εμφανίζεται η θέση μιας σκιάς στην επιφάνεια της βάσης η οποία έχει σημάνσεις οι οποίες χαρακτηρίζουν τις φάσεις της ημέρας. Επίσης υπάρχει μια σειρά από χρονόμετρα ακριβείας όπου το πιο γνωστό παράδειγμα από αυτά είναι η κλεψύδρα η οποία είναι γνωστή και ως ρολόι νερού. Τα ρολόγια του νερού μαζί με τα ηλιακά ρολόγια είναι πιθανώς τα παλαιότερα όργανα μέτρησης του μεγέθους του χρόνου.

Σημαντική πρόοδος σημειώθηκε με την εφεύρεση της τεχνικής της διαφυγής χείλους κατά την οποία κατέστη δυνατή η ανάπτυξη και κατασκευή των πρώτων μηχανικών ρολογιών κατά τον 14<sup>ο</sup> αιώνα στην Ευρώπη τα οποία διατηρούσαν την περιοδικότητα της λειτουργίας τους στον χρόνο με την εφαρμογή αρμονικά ταλαντευόμενων χρονομέτρων όπως για παράδειγμα ισορροπημένους τροχούς. Αρχικά στην ωρολογία, την επιστήμη που ασχολείται με τον χρόνο και την μέτρηση του δηλαδή, υπήρχε διάκριση μεταξύ των ρολογιών που παρήγαγαν κρουστικό ήχο ανά κάθε ώρα και με τα ρολόγια που δεν χτυπούσαν ηχητικά τις ώρες. Αυτή η διάκριση δεν γίνεται πλέον. Τα ρολόγια τα οποία υιοθέτησαν μηχανισμό με ελατήριο εμφανίστηκαν τον 15<sup>ο</sup> αιώνα και κατά τον 15<sup>ο</sup> και 16<sup>ο</sup> αιώνα η ωρολογοποιία γνώρισε μεγάλη άνθηση.

Το επόμενο εξελικτικό βήμα που πραγματοποιήθηκε στην ακρίβεια συνέβη μετά το 1656 με την εφεύρεση του ρολογιού με εκκρεμές από τον Christiaan Huygens. Ένα σημαντικό κίνητρο το οποίο προώθησε την συνεχή βελτίωση της ακρίβειας και της αξιοπιστίας των ρολογιών υπήρξε η σημασία της ακριβούς μέτρησης του χρόνου για την πλοήγηση. Ο μηχανισμός ενός ρολογιού με μια σειρά γραναζιών που κινούνται από ένα ελατήριο ή βάρη αναφέρεται ως ρολόι και ο όρος χρησιμοποιείται κατ'επέκταση για παρόμοιο μηχανισμό που δεν χρησιμοποιείται σε ένα ρολόι.

### 1.6.2 Οι σύγχρονες συσκευές ρολογιών

Το ηλεκτρικό ρολόι κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1840 και τα ηλεκτρονικά ρολόγια εισήχθησαν τον 20<sup>ο</sup> αιώνα τα οποία και γνώρισαν μία δημοφιλή εξάπλωση στο κοινό με την ανάπτυξη μικρών συσκευών ημιαγωγών που τροφοδοτούνται από μπαταρίες. Το στοιχείο χρονομέτρησης σε κάθε σύγχρονο ρολόι είναι ένας αρμονικός ταλαντωτής, ένα φυσικό αντικείμενο δηλαδή το οποίο μπορεί να δονείται ή να ταλαντώνεται σε μια συγκεκριμένη συχνότητα. Αυτό το αντικείμενο μπορεί να είναι ένα εκκρεμές, ένα διαπασών συντονισμού, ένας κρύσταλλος χαλαζία ή η δόνηση των ηλεκτρονίων στα άτομα καθώς αυτά εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία.

Τα ρολόγια μπορούν να παρέχουν διαφορετικούς τρόπους εμφάνισης της ώρας. Τα αναλογικά ρολόγια δείχνουν την ώρα με μια παραδοσιακή πρόσοψη ρολογιού με κινούμενους δείκτες. Τα ψηφιακά ρολόγια εμφανίζουν μια αριθμητική αναπαράσταση του χρόνου. Χρησιμοποιούνται δύο συστήματα αρίθμησης,

η εικοσιτετράωρη χρονική ένδειξη και η δωδεκάωρη ένδειξη. Τα περισσότερα ψηφιακά ρολόγια χρησιμοποιούν ηλεκτρονικούς μηχανισμούς και οθόνες LCD, LED ή VFD. Για τους τυφλούς παρέχεται η πληροφορία της ώρας από χρήση διαμέσου της τηλεφωνικής συσκευής ως υπηρεσία γνωστά και ως ρολόγια ομιλίας τα οποία αναφέρουν την ώρα ηχητικά με λέξεις. Υπάρχουν επίσης ρολόγια για τυφλούς που διαθέτουν συσκευές απεικόνισης της πληροφορίας οι οποίες σχηματίζουν την ώρα ανάγλυφα ώστε να μπορούν να διαβαστούν με την αφή. Η μελέτη της χρονομέτρησης είναι γνωστή ως ωρολογία [13].

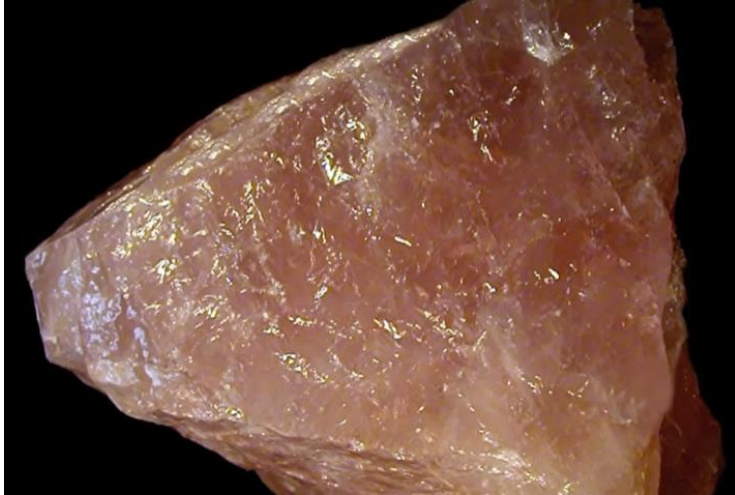
Τα ρολόγια χαλαζία είναι ρολόγια τα οποία χρησιμοποιούν έναν ηλεκτρονικό ταλαντωτή ο οποίος συντονίζεται μέσω ενός κρυσταλλου χαλαζία ώστε να μπορούν να διατηρούν σταθερή και ακριβή περιοδικότητα στον χρόνο. Αυτός ο κρυσταλλικός ταλαντωτής δημιουργεί ένα σήμα με πολύ ακριβή συχνότητα έτσι ώστε τα ρολόγια χαλαζία να προκύπτουν τελικά τουλάχιστον μια τάξη μεγέθους ακριβέστερα από τα μηχανικά ρολόγια. Γενικότερα κάποια μορφή ψηφιακής λογικής μετράει τους κύκλους αυτού του σήματος και παρέχει μια αριθμητική απεικόνιση χρόνου, συνήθως σε μονάδες ωρών, λεπτών και δευτερολέπτων, διαμέσου κάποιου μέσου απεικόνισης το οποίο είναι συνήθως μία οθόνη LCD. Από τη δεκαετία του 1980, όταν η έλευση των ψηφιακών ηλεκτρονικών στερεάς κατάστασης τα επέτρεψε να γίνουν συμπαγή και φθηνά, τα ρολόγια χαλαζία έχουν γίνει η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία χρονομέτρησης στον κόσμο η οποία χρησιμοποιείται στα περισσότερα ρολόγια καθώς και στα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα αλλά και σε άλλες συσκευές που καταγράφουν και απεικονίζουν τον χρόνο.

### 1.6.3 Χρήσεις Χαλαζία στο πεδίο της ηλεκτρονικής

Κατά την χημική προσέγγιση ο χαλαζίας προκύπτει ως μια συγκεκριμένη μορφή μιας ένωσης η οποία ονομάζεται διοξείδιο του πυριτίου. Τα υλικά τα οποία μπορούν να διαμορφωθούν σε σχήμα πλάκας τα οποία μπορούν να παρέχουν κάποιας μορφής δόνησης ή ταλάντωσης είναι πολλά, ωστόσο το υλικό χαλαζία κατέχει ένα χαρακτηριστικό το οποίο τον καθιστά ως πιο ιδανικό υλικό επιλογής για διάφορες εφαρμογές καθώς είναι επίσης ένα πιεζοηλεκτρικό υλικό, δηλαδή όταν ένας κρυστάλλος χαλαζία υπόκειται σε μηχανική καταπόνηση όπως είναι αυτή της κάμψης τότε συσσωρεύει ηλεκτρικό φορτίο σε ορισμένα επίπεδα από χημικής άποψης. Το φαινόμενο αυτό μπορεί να εφαρμοστεί και με την αντίστροφη προσέγγιση αποδίδοντας το αντίστοιχο αποτέλεσμα όπου εάν τοποθετηθούν ηλεκτρικά φορτία κατά μήκος του κρυσταλλικού επιπέδου τότε οι κρυστάλλοι χαλαζία θα λυγίσουν ή θα καμφτούν. Δεδομένου λοιπόν ότι ο χαλαζίας μπορεί να οδηγηθεί απευθείας σε κάμψη από ένα ηλεκτρικό σήμα δεν απαιτείται πρόσθετος μετατροπέας για τη χρήση του ως αρμονικός ταλαντωτής συγκεκριμένης συχνότητας.

Παρόμοια οι κρυστάλλοι χαλαζία βρίσκουν εφαρμογή στις κασέτες φωνογράφου χαμηλής ποιότητας: Η κίνηση της γραφίδας (βελόνας) κάμπει έναν κρυστάλλο χαλαζία ο οποίος με την σειρά του παράγει ηλεκτρικά σήματα μικρού πλάτους τάσεως η οποία στην συνέχεια ενισχύεται από ηλεκτρονικές διατάξεις ενισχυτών και παράγεται διαμέσου των ηχείων. Τα μικρόφωνα πιεζοηλεκτρικού κρυστάλλου χαλαζία παραμένουν διαθέσιμα στον χώρο του εμπορίου μέχρι και σήμερα αν και δεν συνηθίζονται.

Το υλικό του χαλαζία κατέχει ένα επιπλέον πλεονέκτημα στο γεγονός ότι το μέγεθός του μεταβάλλεται ελάχιστα κατά τις θερμοκρασιακές διακυμάνσεις. Όταν το υλικό του χαλαζία βρίσκεται στην τηγμένη του μορφή χρησιμοποιείται συχνά για εργαστηριακό εξοπλισμό που δεν πρέπει να αλλάζει σχήμα μαζί με τη θερμοκρασία. Η συχνότητα συντονισμού μιας πλάκας χαλαζία με βάση το μέγεθός της δεν θα αυξηθεί ή θα μειωθεί σημαντικά. Ομοίως, δεδομένου ότι ο συντονιστής του δεν αλλάζει σχήμα, ένα ρολόι χαλαζία θα παραμείνει σχετικά ακριβές καθώς αλλάζει η θερμοκρασία.



Σχήμα 1-5: Κρύσταλλος Χαλαζία.

Στις αρχές του 20ου αιώνα οι μηχανικοί του χώρου της ραδιοφωνίας αναζήτησαν μια ακριβή, σταθερή πηγή ραδιοσυχνοτήτων και έτσι εκκίνησαν τις έρευνες τους αρχικά εφαρμόζοντας και δοκιμάζοντας ταλαντωτές κατασκευασμένους από υλικό χάλυβα. Ωστόσο όταν ο Walter Guyton Cady διαπίστωσε ότι το υλικό του χαλαζία μπορεί να ταλαντώνεται με λιγότερο εξοπλισμό και καλύτερη σταθερότητα θερμοκρασίας, οι ταλαντωτές υλικού χάλυβα εγκαταλείφθηκαν μέσα σε λίγα χρόνια. Αργότερα, επιστήμονες στο

Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας, το τότε το Εθνικό Γραφείο Προτύπων των ΗΠΑ, ανακάλυψαν ότι ένας κρυσταλλικός ταλαντωτής θα μπορούσε να είναι πιο ακριβής από ένα ρολόι με εκκρεμές. Το ηλεκτρονικό κύκλωμα αποτελείται από έναν ταλαντωτή ο οποίος αποτελείται από έναν ενισχυτή του οποίου η έξοδος διέρχεται από τον συντονιστή χαλαζία. Ο ταλαντωτής λειτουργεί ως ηλεκτρονικό φίλτρο, εξαλείφοντας όλες τις συχνότητες εκτός από τη μοναδική συχνότητα ενδιαφέροντος. Η έξοδος του ταλαντωτή ανατροφοδοτεί την είσοδο του ενισχυτή και ο συντονιστής διασφαλίζει ότι ο ταλαντωτής λειτουργεί με την ακριβή συχνότητα ενδιαφέροντος. Όταν το κύκλωμα τροφοδοτείται, μια μόνο κρούση θορύβου βολής η οποία υπάρχει πάντα στα ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορεί να φέρει τον ταλαντωτή σε ταλάντωση στην επιθυμητή συχνότητα, καθώς εάν ο ενισχυτής είχε φιλτραριστεί εντελώς από κάθε θόρυβο τότε ο ταλαντωτής δεν θα ξεκινούσε ποτέ να ταλαντώνεται. Η συχνότητα με την οποία ταλαντώνεται ο κρύσταλλος εξαρτάται από το σχήμα, το μέγεθός του και το κρυσταλλικό επίπεδο στο οποίο κόβεται ο χαλαζίας, αλλά ακόμη και οι θέσεις στις οποίες τοποθετούνται τα ηλεκτρόδια που παρέχουν το ηλεκτρικό ερέθισμα μπορούν επίσης να αλλάξουν ελαφρώς τον συντονισμό. Επομένως εάν ο κρύσταλλος έχει το κατάλληλο σχήμα και τοποθετηθεί με ακρίβεια τότε θα ταλαντωθεί με την επιθυμητή συχνότητα.

Σχεδόν σε όλα τα ρολόγια χαλαζία, η συχνότητα είναι 32768 Hz και ο κρύσταλλος κόβεται σε σχήμα μικρού διαπασών συντονισμού σε ένα συγκεκριμένο κρυστάλλινο επίπεδο. Αυτή η συχνότητα προκύπτει ως δύναμη του δύο εις την δέκατη πέμπτη ( $32768 = 2^{15}$ ), η οποία είναι αρκετά υψηλή ώστε να υπερβαίνει το εύρος της ανθρώπινης ακοής, να είναι δηλαδή υπερηχητική, αλλά και αρκετά χαμηλή ώστε να διατηρεί την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας σε μέτρια επίπεδα και να επιτρέπει σε φθηνούς μετρητές να παράγουν παλμό διάρκειας ίσης με ενός δευτερολέπτου. Η έξοδος της γραμμής δεδομένων από έναν τέτοιο ταλαντωτή χαλαζία μεταβαίνει σε υψηλό δυναμικό και σε χαμηλό δυναμικό 32768 φορές το δευτερόλεπτο. Το σήμα αυτό οδηγείται σε ένα flip-flop το οποίο είναι ουσιαστικά δύο διασταυρούμενα τρανζίστορ που αλλάζει από χαμηλή σε υψηλή, ή αντίστροφα, κάθε φορά που η γραμμή από τον κρύσταλλο πηγαίνει από ψηλά σε χαμηλά. Η έξοδος από αυτό τροφοδοτείται σε ένα δεύτερο flip-flop και ούτω καθεξής μέσω μιας αλυσίδας των δεκαπέντε flip-flop όπου καθένα από τα οποία λειτουργεί ως ενεργός διαιρέτης συχνότητας με βάση μία δύναμη του δύο και διαιρώντας τη συχνότητα του σήματος εισόδου κατ' επανάληψη με το δύο. Το αποτέλεσμα είναι ένας δυαδικός ψηφιακός μετρητής μήκους 15 bit που οδηγείται από τη συχνότητα που θα υπερχειλίζει μία φορά το δευτερόλεπτο όπου κατά συνέπεια θα παραγάγει έναν ψηφιακό παλμό μία φορά το δευτερόλεπτο [14].

Η έξοδος παλμού ανά δευτερόλεπτο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την οδήγηση πολλών ειδών ρολογιών. Στα αναλογικά ρολόγια χαλαζία και τα ρολόγια χειρός η έξοδος του ηλεκτρικού παλμού ανά δευτερόλεπτο μεταφέρεται σχεδόν πάντα σε έναν βηματικό κινητήρα τύπου Lavet ο οποίος μετατρέπει τους ηλεκτρονικούς παλμούς εισόδου από τη μονάδα μέτρησης των flip-flops σε μία μηχανική έξοδο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των δεικτών ώρας, λεπτών και δευτερολέπτων. Όπως αναφέρθηκε κάθε flip-flop διαιρεί την συχνότητα κατά τον παράγοντα δύο, αλλά είναι επίσης δυνατό για τα ρολόγια χαλαζία να διαθέτουν τον κρύσταλλο χαλαζία έτσι που να ταλαντώνεται σε υψηλότερη συχνότητα από τα 32768Hz όπου εκτελούνται υψηλής συχνότητας κινήσεις χαλαζία και/ή να παράγουν ψηφιακούς παλμούς περισσότερες από μία φορές ανά δευτερόλεπτο ώστε να οδηγήσουν βηματικούς κινητήρες που μπορούν να οδηγούν έναν άλλον δείκτη με μεγαλύτερη δύναμη του δύο ώστε να εκτελούνται πάνω από μία φορά για κάθε δευτερόλεπτο αλλά σε αυτές τις περιπτώσεις η κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνει την αποστράγγιση της μπαταρίας επειδή οι υψηλότερες συχνότητες ταλάντωσης καθώς και η οποιαδήποτε ενεργοποίηση του βηματικού κινητήρα κοστίζει ενέργεια καθιστώντας τα ρολόγια χαλαζία που διαθέτουν μπαταρίες μικρής περιεκτικότητας ενέργειας με τέτοιου είδους κινητικούς μηχανισμούς σχετικά σπάνια. Μερικά αναλογικά ρολόγια χαλαζία διαθέτουν δευτερεύον δείκτη σάρωσης που κινείται από ηλεκτρικό μοτέρ χωρίς βηματισμό ή τροφοδοτούμενο από το δίκτυο με αποτέλεσμα συχνά μειωμένο μηχανικό θόρυβο εξόδου [15].

## 1.7 Χρονιστές

Οι χρονιστές είναι ένας εξειδικευμένος τύπος ρολογιού ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων και μπορούν να διακριθούν σε δύο βασικούς τύπους. Ο ένας τύπος περιγράφεται με τον όρο αντίστροφο χρονόμετρο και συνήθως προορίζεται για συσκευές που έχουν κατασκευαστεί με τέτοιον τρόπο ώστε η λειτουργία τους είναι να μετρούν αντίστροφα από ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, ενώ ο άλλος τύπος περιγράφεται με τον όρο χρονόμετρο και συνήθως προορίζεται για συσκευές οι οποίες έχουν κατασκευαστεί με τέτοιον τρόπο ώστε να εκτελούν την αντίθετη λειτουργία μετρώντας τον χρόνο που έχει περάσει ξεκινώντας από το μηδέν και είτε προς ένα ορισμένο προκαθορισμένο σημείο, είτε μέχρι να ολοκληρωθεί κάποιο παρατηρήσιμο γεγονός. Ένα απλό παράδειγμα του πρώτου τύπου μπορεί να αποδοθεί στην συσκευή μιας κλεψύδρας. Οι χρονιστές εργασίας διακρίνονται σε δύο κύριες ομάδες, στους χρονιστές υλικού τύπου και λογισμικού τύπου. Οι περισσότεροι χρονιστές μπορούν να παρέχουν μια ένδειξη ότι το χρονικό διάστημα για το οποίο είχε αρχικά ρυθμιστεί έχει φτάσει στην λήξη του. Οι χρονιστές εντοπίζονται συνήθως σε συστήματα αυτοματισμών οι οποίοι εκτελούν την λειτουργία ενός μηχανισμού χρονισμού και οι οποίοι ελέγχουν μέσω κάποιου ελεγκτή την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση ενός διακόπτη και μερικές φορές ονομάζονται επίσης χρονόμετρα [16].

Οι χρονιστές γενικότερα μπορούν να υλοποιηθούν με διάφορες προσεγγίσεις οι οποίες αρχικά διακρίνονται σε δύο γενικές κατηγορίες μεταξύ των χρονιστών φυσικού υλικού και των χρονιστών λογισμικού, οι οποίοι όμως με την σειρά τους διακρίνονται σε υποκατηγορίες αυτών. Στην περίπτωση των χρονιστών υλικού τύπου οι υποκατηγορίες με τις οποίες είναι δυνατό να υλοποιηθούν, είναι οι μηχανικού τύπου, ηλεκτρομηχανικού τύπου και ηλεκτρονικού τύπου ενώ οι χρονιστές λογισμικού καθώς δεν απαιτούν υλικό αλλά αναπτύσσονται καθαρά σε μορφή κάποιας γλώσσας προγραμματισμού ώστε να μιμηθεί την ουσία της λειτουργίας του και το μόνο που απαιτούν είναι ένα μέσο συντονισμού το οποίο παρέχεται από κάποια συσκευή υλικού και ονομάζεται ρολόι.

### 1.7.1 Κατηγορίες χρονιστών

Οι μηχανικού τύπου χρονιστές κατασκευάζονται έτσι ώστε να διαθέτουν στο σύνολο της κατασκευής τους ένα μηχανικό ρολόι το οποίο χρησιμοποιούν για τη μέτρηση του χρόνου. Οι χειροκίνητοι αυτοί χρονιστές μπορούν να ρυθμίζονται συνήθως στρέφοντας έναν επιλογέα στο επιθυμητό χρονικό σημείο ή διάστημα. Η περιστροφή του επιλογέα συσσωρεύει κινητική ενέργεια σε ένα κύριο ελατήριο για τη λειτουργία του μηχανισμού ο οποίος λειτουργεί με τρόπο παρόμοιο με ένα μηχανικό ξυπνητήρι του οποίου η συσσωρευμένη ενέργεια στο κύριο ελατήριο του αναγκάζει έναν τροχό ισορροπίας να περιστρέφεται με τρόπο αμφίδρομο. Κάθε ταλάντωση του τροχού ισορροπίας απελευθερώνει το σύστημα ταχυτήτων ώστε να μπορέσει να κινηθεί προς την μία κατεύθυνση κατά μία μικρή και σταθερή απόσταση αναγκάζοντας τον επιλογέα να κινείται σταθερά προς τα πίσω μέχρι αυτός να φτάσει στο χρονικό σημείο μηδέν στο οποίο ένας μοχλοβραχίονας θα χτυπήσει ένα κουδούνι. Ο απλούστερος και παλαιότερος τύπος μηχανικού χρονιστή είναι η κλεψύδρα η οποία είναι επίσης γνωστή και ως το ποτήρι της ώρας στην οποία μια σταθερή ποσότητα άμμου αποστραγγίζεται μέσω ενός στενού ανοίγματος από τον έναν θάλαμο στον άλλο με σκοπό να μετρήσει ένα χρονικό διάστημα.

Οι διμεταλλικοί ηλεκτρομηχανικοί χρονιστές μικρής χρονικής περιόδου χρησιμοποιούν έναν τύπο θερμικού μηχανισμού ο οποίος ενσωματώνει ένα μεταλλικό έλασμα το οποίο είναι ειδικά κατασκευασμένο από λωρίδες δύο μετάλλων οι οποίες είναι ενωμένες μεταξύ τους κατά μήκος και τα υλικά τους χαρακτηρίζονται από διαφορετικούς ρυθμούς θερμικής μεταβολής το οποίο σημαίνει πως τα φαινόμενα διαστολής και συστολής θα αναγκάζουν το έλασμα να καμπυλώνει στις αλλαγές θερμοκρασίας. Υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για την κατασκευή των διμεταλλικών ελασμάτων περιλαμβάνουν τον χάλυβα και τον μπρούντζο. Ένα ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο ρέει διαμέσου αυτού του διμεταλλικού ελάσματος προκαλεί την επιθυμητή μεταβολή της θερμοκρασίας των δύο μετάλλων το οποίο έχει ως αποτέλεσμα η μία πλευρά να διαστέλλεται με μεγαλύτερο ρυθμό από την άλλη χάρη στον διαφορετικό τυπικό ρυθμό θερμοκρασιακής μεταβολής που χαρακτηρίζει τα δύο υλικά και καθώς καμπυλώνει το διμεταλλικό έλασμα η μία ηλεκτρική επαφή στο άκρο του διμεταλλικού ελάσματος είτε θα απομακρύνεται από τον ηλεκτρικό διακόπτη, είτε θα πλησιάζει προς την επαφή του ηλεκτρικού διακόπτη. Η πιο κοινή χρήση αυτού του τύπου χρονιστή συναντάται στις εφαρμογές που αναβοσβήνουν τους φωτεινούς ενδείκτες των αυτοκινήτων ή ακόμη και στα χριστουγεννιάτικα διακοσμητικά φώτα. Όλα τα ανωτέρω περιγράφουν έναν μη ηλεκτρονικό τύπο πολυδονητή.

Ένας ηλεκτρομηχανικός χρονιστής έκκεντρο ενσωματώνει έναν μικρό σύγχρονο κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος τον οποίο χρησιμοποιεί με τέτοιο τρόπο ώστε να στρέφει ένα έκκεντρο σε μια χτένα επαφών διακόπτη. Ο κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος περιστρέφεται με ακριβή ρυθμό ο οποίος παρέχεται από την συχνότητα του εναλλασσόμενου ρεύματος που παρέχεται από το δίκτυο είτε από κάποια άλλη πηγή το οποίο οι εταιρείες τροφοδοσίας ρυθμίζουν προσεκτικά. Οι κατασκευές και συσκευές τέτοιου τύπου ενσωματώνουν στο σύνολο τους μηχανισμούς οι οποίοι συχνά υλοποιούνται με συστήματα γραναζιών τα οποία μεταφέρουν την επιθυμητή κίνηση στο επιθυμητό σημείο. Τα γρανάζια αυτά κινούν έναν άξονα με τον επιθυμητό ρυθμό και περιστρέφουν τελικά το έκκεντρο. Η πιο κοινή εφαρμογή αυτού του χρονιστή στην σύγχρονη εποχή συναντάται σε πλυντήρια, στεγνωτήρια και πλυντήρια πιάτων. Αυτός ο τύπος χρονιστή έχει συχνά συμπλέκτη τριβής μεταξύ του κιβωτίου ταχυτήτων και του έκκεντρον έτσι ώστε το έκκεντρο να μπορεί να περιστραφεί για επαναφορά του χρόνου.

Οι ηλεκτρομηχανικοί χρονοδιακόπτες συνεχίζουν να εφαρμόζονται σε αυτές τις εφαρμογές επειδή οι επαφές μηχανικών διακοπών μπορεί να εξακολουθούν να έχουν μικρότερο κόστος από τις συσκευές ημιαγωγών που απαιτούνται για τον έλεγχο ισχυρών φώτων, κινητήρων και θερμαντικών σωμάτων. Στο

παρελθόν αυτοί οι ηλεκτρομηχανικοί χρονιστές συνδυάζονταν συχνά με ηλεκτρικούς ηλεκτρονόμους με σκοπό την δημιουργία ηλεκτρομηχανικών ελεγκτών. Οι ηλεκτρομηχανικοί χρονιστές έφτασαν σε υψηλό επίπεδο ανάπτυξης τις δεκαετίες του 1950 και του 1960 λόγω της εκτεταμένης χρήσης τους στην αεροδιαστημική και τα οπτικά συστήματα. Οι προγραμματιζόμενοι ηλεκτρομηχανικοί χρονιστές έλεγχαν τα συμβάντα των ακολουθιών των εκτοξεύσεων σε πρώιμους πυραύλους αλλά και στους βαλλιστικούς πυραύλους. Καθώς τα ψηφιακά ηλεκτρονικά έχουν προχωρήσει στην πρόοδο της ανάπτυξης τους και ενώ παράλληλα μειώνονται οι τιμές κόστους τους οι ηλεκτρονικοί χρονιστές έχουν κατορθώσει να συγκεντρώσουν στο σύνολο τους όλο και περισσότερα πλεονεκτήματα κερδίζοντας την προτίμηση επιλογής τους σε διάφορες τεχνολογικές εφαρμογές.



Σχήμα 1-6: Ρολόι χειρός κρυστάλλου χαλαζία.

Οι ηλεκτρονικοί χρονιστές ουσιαστικά αναφέρονται σε ρολόγια που ενσωματώνουν έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο χαλαζία με ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις και μπορούν να επιτύχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από τους μηχανικούς και ηλεκτρομηχανικούς χρονιστές. Οι ηλεκτρονικοί χρονιστές ενσωματώνουν ψηφιακά ηλεκτρονικά αλλά μπορεί να διαθέτουν ως μέσω απεικόνισης είτε αναλογική, είτε ψηφιακή οθόνη. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα (Integrated Circuits - IC) έχουν κάνει το κόστος της ψηφιακής λογικής τόσο χαμηλό ώστε ένας ηλεκτρονικός χρονιστής είναι τελικά τώρα λιγότερο ακριβός από πολλούς μηχανικούς και ηλεκτρομηχανικούς χρονιστές. Οι μεμονωμένοι χρονιστές υλοποιούνται ως ένα απλό ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα του ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος το οποίο προκύπτει παρόμοιο με ένα ρολόι και συνήθως χρησιμοποιώντας την ίδια, μαζικής παραγωγής, τεχνολογία για την παρασκευή του σε μεγάλη κλίμακα παραγωγής.

Πολλοί χρονιστές έχουν πλέον αναπτυχθεί απευθείας σε λογισμικό. Οι σύγχρονοι ελεγκτές χρησιμοποιούν έναν προγραμματιζόμενο λογικό ελεγκτή (Programmable Logical Controller - PLC) στην θέση ενός κυτίου το οποίο θα είναι γεμάτο ηλεκτρομηχανικά μέρη. Το πρόγραμμα συνήθως σχεδιάζεται υπό την λογική του σαν να ήταν ένας ηλεκτρονόμος χρησιμοποιώντας μια ειδική γλώσσα προγραμματισμού η οποία ονομάζεται ladder logic. Στους προγραμματιζόμενους λογικούς ελεγκτές οι χρονιστές συνήθως προσομοιώνονται από το λογισμικό το οποίο είναι ενσωματωμένο στον ελεγκτή. Κάθε χρονιστής είναι απλώς μια καταχώρηση σε έναν πίνακα τον οποίο διατηρεί το λογισμικό, Αν και στα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα συνήθως συμπεριλαμβάνεται τουλάχιστον ένας χρονιστής υλικού τύπου. Οι χρονιστές αυτοί είναι συνήθως ψηφιακοί μετρητές οι οποίοι είτε αυξάνουν, είτε μειώνουν το περιεχόμενο τους χρησιμοποιώντας ως σημείο αναφοράς μια σταθερή συχνότητα η οποία είναι συχνά διαμορφώσιμη και διακόπτει τον επεξεργαστή από το έργο του όταν αυτός φτάσει στο μηδέν ή σε κάποιον άλλο αριθμό που μπορεί να έχει ορίσει ο προγραμματιστής.

Ένας εναλλακτικός σχεδιασμός χρησιμοποιεί έναν μετρητή με αρκετά μεγάλο μέγεθος λέξης ως προς το μήκος της η οποία δεν θα φτάσει το όριο υπερχειλίσης πριν από το τέλος της ζωής του συστήματος. Οι πιο εξελιγμένοι χρονιστές μπορεί να συμπεριλαμβάνουν λογική σύγκρισης ώστε να συγκρίνουν την δεδομένη στιγμιαία τιμή του χρονιστή με μια συγκεκριμένη τιμή η οποία έχει οριστεί από το λογισμικό και η οποία ενεργοποιεί κάποια ενέργεια όταν η τιμή του χρονιστή θα ταιριάζει με την προκαθορισμένη τιμή. Αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για παράδειγμα για την μέτρηση συμβάντων ή ακόμη και για την δημιουργία κυματομορφών διαμορφωμένων σε πλάτος παλμού για τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής των κινητήρων κάνοντας χρήση ενός ψηφιακού ηλεκτρονικού ενισχυτή κατηγορίας D. Μια εξειδικευμένη χρήση των χρονιστών υλικού τύπου στα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα είναι ως χρονόμετρα παρακολούθησης τα οποία έχουν σχεδιαστεί για να πραγματοποιούν την ενέργεια της

επαναφοράς του υλικού του συστήματος στην περίπτωση που το λογισμικό παρουσιάσει κάποια αστοχία [17].

### 1.8 Επίλογος

Η εργασία στο σύνολο της αφορά τον σχεδιασμό και την κατασκευή ενός χρονιστή ο οποίος θα έχει την δυνατότητα να μετράει χρονικά διαστήματα εντός ενός εύρους από 100ms μέχρι πενήντα ημέρες.

Κύριος σκοπός είναι η μελέτη, σχεδιασμός και κατασκευή ενός ενσωματωμένου συστήματος το οποίο θα υλοποιεί την συσκευή ενός χρονιστή.

Μέσω της ιστορικής αναδρομής αναφέρονται ημερομηνιακά τα γεγονότα τα οποία αποτέλεσαν σημείο αναφοράς ως προς την ιστορική τεχνολογική καμπή που βοήθησαν την ανάπτυξη και πρόοδο της ανθρωπότητας στην σύγχρονη εποχή.

Σημαντικό παράγοντα στην τεχνολογική πρόοδο του ανθρώπου συντέλεσε η μορφοποίηση της αντίληψης στον ανθρώπινο νου για την έννοια του χρόνου.

Στα πρώιμα στάδια των ανακαλύψεων σχετικών με τον χρόνο, ο άνθρωπος χρησιμοποίησε συμβάντα τα οποία τα αντιλήφθηκε ως αμετάβλητα τα οποία όμως παράλληλα παρουσιάζουν περιοδικότητα για να σηματοδοτούνται τα χρονικά ορόσημα σύμφωνα με αυτά.

Από αναγκαιότητα και σύμφωνα με τις παρατηρήσεις του ο άνθρωπος ανέπτυξε το ημερολόγιο, μία εφεύρεση που του επέτρεψε να γνωρίζει τον χρόνο στην κλίμακα του έτους με μικρότερη υποδιαίρεση την διάρκεια μίας ημέρας.

Τα ημερολόγια μέχρι και στην σύγχρονη εποχή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, τα ηλιακά που παρατηρούν την φαινομενική κίνηση του ήλιου στον ουράνιο θόλο και τα σεληνιακά που παρατηρούν την φαινομενική κίνηση της σελήνης στον ουράνιο θόλο.

Το ημερολόγιο που έχει επικρατήσει μέχρι την σύγχρονη εποχή είναι το Γρηγοριανό το οποίο έχει αποδειχθεί μέχρι στιγμής το πιο ακριβές χρονικά.

Τα ωρολόγια αποτέλεσαν την πρώτη εφεύρεση κατά την οποία καθορίστηκαν οι υποδιαίρεσεις της ημέρας σε ώρες, λεπτά και δευτερόλεπτα σύμφωνα με την παρατήρηση της θέσης του ήλιου στον ουράνιο θόλο.

Η ουσιαστική ανάπτυξη των ωρολογίων εκκίνησε την στιγμή που η περιπλοκότητα και η ακρίβεια του μηχανισμού τους επέτρεψε τις λειτουργίες της ένδειξης της ώρας, της χρονομέτρησης από το μηδέν και της αντίστροφης χρονομέτρησης προς το μηδέν.

Οι χρονιστές αποτελούν ως έννοια την εκτέλεση της λειτουργίας της μέτρησης του χρόνου για συγκεκριμένα ή αόριστα χρονικά διαστήματα.

Οι χρονιστές μπορούν να υλοποιηθούν με αρκετούς τρόπους και διακρίνονται σε υλικού τύπου και σε λογισμικού τύπου. Υιοθετούν τις λειτουργίες ενός ρολογιού.

Οι χρονιστές έχουν γνωρίσει μεγάλη εφαρμογή στον χώρο ανάπτυξης των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων για να τα παρέχουν συγχρονισμό στην λειτουργία τους.

## Κεφάλαιο 2ο: Μελέτη ενός χρονιστή

### 2.1 Εισαγωγή

Καθώς το ζητούμενο της παρούσας εργασίας αφορά την κατασκευή ενός χρονιστή ικανού να μετράει συγκεκριμένες περιόδους χρόνου, απαιτείται να υπάρχει ένα γενικό πλάνο το οποίο θα καθοδηγήσει την διαδικασία αυτή από το ζητούμενο στην υλοποίηση του. Για τον λόγο αυτόν θα πρέπει να θεσπιστεί αρχικά μία μεθοδολογία η οποία θα πρέπει να προκύψει έτσι που να είναι τουλάχιστον ικανοποιητική ως προς την περάτωση των στόχων της εργασίας, μέχρι που αυτή να αγγίζει το μέγιστο δυνατό βέλτιστο της. Η μεθοδολογία πρέπει να περιλαμβάνει τα αρχικά συμπεράσματα από την ανάλυση του ζητούμενου, τον αποκλεισμό περιττών με το ζητούμενο προσεγγίσεων και την δημιουργία ενός συγκεκριμένου πλαισίου το οποίο θα αποτελεί την γενική οδηγία ως προς το πως θα πρέπει τελικά να υλοποιηθεί το ζητούμενο της εργασίας.

Στο παρών κεφάλαιο θα εξηγηθεί αρχικά μακροσκοπικά το τι ακριβώς θα αποτελεί το τελικό προϊόν της εργασίας και με βάση αυτήν την περιγραφή θα σχηματιστεί ένα αρχικό πλαίσιο ως προς το είδος της κατασκευής, η οποία θα αποτελεί το υλικό μέρος του ενσωματωμένου συστήματος, και τι περίπου θα περιλαμβάνει. Επίσης θα περιγραφούν εντός ενός γενικού περιεχομένου οι τεχνολογίες και οι τεχνικές που θα εφαρμοστούν προκειμένου να περιγραφεί η κατασκευή στο σύνολο της. Απαραίτητα θα πρέπει να υπάρξει και το θεωρητικό πλαίσιο το οποίο θα πρέπει να ληφθεί υπόψιν καθώς θα είναι καθοριστικό για την ορθή έκβαση της τελικής κατασκευής.

Η διαδικασία κατά την οποία γίνεται ο αρχικός σχεδιασμός μίας κατασκευής ονομάζεται μελέτη. Με τον όρο αυτόν περιγράφεται η ενδιάμεση εργασία που μεσολαβεί μεταξύ της θέσπισης ενός ζητούμενου και της διαδικασίας υλοποίησής του. Κατά την διεξαγωγή της μελέτης αρχικά γίνεται η ανάλυση του ζητούμενου κατά την οποία θα εξακριβωθούν οι λεπτομέρειες οι οποίες θα κάνουν διακριτά τα τμήματα τα οποία θα συνθέτουν το τελικό ζητούμενο, με μία μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει τεχνικές οργάνωσης και τοποθέτησης προτεραιοτήτων για να προετοιμάσει και να προσαρμόσει όλα τα απαραίτητα τμήματα της ώστε να συνθέσουν το τελικό ζητούμενο, αν υπάρξει η αναγκαιότητα θα προβλέψει και τυχόν παραμέτρους που μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία, σε ανεπιθύμητα αποτελέσματα και λειτουργίες, σε καταστροφική αστοχία και σε περιθώρια ανοχής της αντοχής της τελικής κατασκευής. Επίσης θα καταγράφει κατά την διάρκεια της τα τυχόν αναπάντεχα δεδομένα που μπορεί να προκύψουν ή σφάλματα, καθώς ακόμη και τους θεωρητικούς υπολογισμούς οι οποίοι θα παρέχουν μία πρώτη εικόνα ως προς το τι θα πρέπει να περιμένει να δει κανείς όταν θα προχωρήσει στην υλοποίηση της κατασκευής.

Το στάδιο της μελέτης αποτελεί μία κρίσιμη παράμετρο καθώς καθορίζει την επιτυχία της όλης εργασίας προς τον τελικό σκοπό και στόχους της. Για αυτό και είναι απαραίτητο η προσέγγιση της να πραγματοποιηθεί με μεγάλη προσοχή και σύνεση, βασιζόμενη σε ορθή συγκέντρωση όλων των απαραίτητων δεδομένων που αφορούν το σύνολο γνώσεων του αντικειμένου, αλλά και την αντικειμενική εκλογίκευση τους ως προς την ερμηνεία τους ώστε να μπορέσει να αποδοθεί η βέλτιστη δόμηση της η οποία θα αποδώσει την καλύτερη δυνατή οδηγία μέσω της οποίας θα προκύψει η κατασκευή ενός αποδοτικότερου συστήματος. Με την ολοκλήρωση του σταδίου της μελέτης θα έχει παραχθεί η πλήρης οδηγία με τα θεωρητικά αποτελέσματα της και όλα τα απαραίτητα θεωρητικά συμπεράσματα για την εκκίνηση του σταδίου που αφορά την ανάπτυξη της κατασκευής.

## 2.2 Προσδιορισμός κατασκευής

Καθώς το ζητούμενο της εργασίας αφορά την ανάπτυξη ενός ενσωματωμένου συστήματος το οποίο θα εκτελεί την λειτουργία ενός χρονιστή ο οποίος θα μπορεί να αποδίδει την μέτρηση ενός εύρους διάφορων χρονικών διαστημάτων από 100ms μέχρι και πενήντα ημερών με την δυνατότητα να μπορεί να παραμετροποιηθεί μέσω της θύρας USB από έναν υπολογιστή, προκύπτουν μερικά συμπεράσματα για το πώς θα πρέπει να αναπτυχθεί αυτό το σύστημα.

Από την περιγραφή αυτήν προκύπτει αρχικά πως ο χρονιστής ως λειτουργία θα περιλαμβάνει και υλικό μέρος. Η πληροφορία αυτή είναι κρίσιμη καθώς ο χρονιστής ως έννοια είναι δυνατόν να υλοποιηθεί είτε ως υλική, είτε ως λογισμική οντότητα, όπου σαν υλική και πάλι διακρίνεται σε τρεις περιπτώσεις. Το να κατασκευαστεί ως μηχανική συσκευή, ως ηλεκτρομηχανική συσκευή ή ως ηλεκτρονική συσκευή. Καθώς η παρούσα προορίζεται ως πτυχιακή εργασία για το τμήμα ηλεκτρονικών μηχανικών, γίνεται σαφώς ξεκάθαρο πως η μόνη αποδεκτή επιλογή από όλες τις ανωτέρω είναι αυτή που αφορά την ανάπτυξη του χρονιστή ως μία ηλεκτρονική συσκευή. Αυτό το δεδομένο απαιτεί να είναι γνωστό το αντικείμενο της ηλεκτρονικής μέσα από το οποίο θα γίνει η προσέγγιση κατά την οποία θα υλοποιηθεί η εν λόγω κατασκευή.

Η απάντηση αυτή θα προέλθει και πάλι μέσα από την περιγραφή του ζητούμενου καθώς ξεκάθαρα ζητάει να μπορεί να συνδεθεί ο χρονιστής μέσω θύρας USB με έναν υπολογιστή ο οποίος θα μπορεί να τον παραμετροποιήσει. Επομένως για να είναι εφικτή μία τέτοια προϋπόθεση θα πρέπει να υπάρχει και η δυνατότητα εδραίωσης μιας τέτοιας επικοινωνίας που συμπερασματικά προκύπτει πως η κατασκευή θα πραγματοποιηθεί μέσα από το αντικείμενο της ηλεκτρονικής που εξετάζει τα ενσωματωμένα συστήματα, καθώς μόνο μέσω μικροελεγκτή είναι δυνατόν να υλοποιηθεί αυτή η προϋπόθεση.

Το γεγονός ότι η υλοποίηση της κατασκευής θα συμπεριλαμβάνει έναν μικροελεγκτή σημαίνει αυτομάτως ότι για να μπορέσει να λειτουργήσει η κατασκευή στο σύνολο της θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει και το λογισμικό μέρος το οποίο θα δίνει τις απαραίτητες οδηγίες προς το υλικό ώστε να μπορεί αυτό να εκτελεί τις επιθυμητές λειτουργίες του.

Το λογισμικό στην περίπτωση αυτή ανήκει σε μία ειδική κατηγορία λογισμικών η οποία ονομάζεται υλικολογισμικό, το οποίο αφορά ένα πρόγραμμα γραμμένο σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού και το οποίο είναι ειδικά γραμμένο σε μορφή κώδικα με τρόπο τέτοιο ώστε να λαμβάνονται υπόψιν οι δυνατότητες και περιορισμοί του υλικού μέρους προκειμένου να μπορέσει τελικά να αξιοποιήσει όσο πιο πλήρως γίνεται τις δυνατότητες τους αλλά παράλληλα να μην τις ξεπεράσει.

Επομένως συμπερασματικά προκύπτει πως η κατασκευή στο σύνολο της αφορά την υλοποίηση ενός χρονιστή υλικού τύπου ο οποίος θα αποτελεί ένα ενσωματωμένο σύστημα με δυνατότητα ενσύρματης επικοινωνίας η οποία θα μπορεί να λειτουργεί ορθά αποθηκεύοντας στην μνήμη της ένα πρόγραμμα υλικολογισμικού. Άρα θα αναλυθεί ως προς το υλικό της το οποίο θα πρέπει να αποδοθεί αρχικά στα κύρια μέρη του εικονιζόμενο σε ένα μπλοκ διάγραμμα και ως προς το υλικολογισμικό της το οποίο θα πρέπει να αποδοθεί αρχικά στις κύριες διεργασίες και συναρτήσεις του εικονιζόμενο σε ένα διάγραμμα ροής. Το απαραίτητο γνωστικό σύνολο θα αποδοθεί στις κατηγορίες των ενσωματωμένων συστημάτων, του λογισμικού, των μικροελεγκτών και των πρωτόκολλων επικοινωνιών.

## 2.3 Ενσωματωμένα συστήματα

Ο ορισμός ο οποίος περιγράφει ένα ενσωματωμένο σύστημα το αποδίδει ως ένα πλήρες σύστημα το οποίο συνδυάζει υλικό και λογισμικό έτσι ώστε να μπορεί να σχηματίσει τουλάχιστον μία απλή μονάδα αυτοματισμού και το οποίο βασίζει τον έλεγχο του σε μία μονάδα μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή

και το οποίο έχει σχεδιαστεί για να εκτελεί αποκλειστικές λειτουργίες σε ένα μεγαλύτερο μηχανικό ή ηλεκτρικό σύστημα με απώτερο σκοπό την αναβάθμιση του σε αυτοματοποίηση [18].



Σχήμα 2-1: Η αριθμομηχανή τσέπης είναι ένα έξοχο παράδειγμα ενσωματωμένου συστήματος.

Συγκεκριμένα στο επίκεντρο, ως μονάδα ελέγχου, εντοπίζεται μία αυτόνομη συσκευή η οποία αναγνωρίζεται ως ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit - IC) το οποίο είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να εκτελεί υπολογισμούς μεταξύ των δεδομένων τα οποία λαμβάνονται και εξέρχονται στις εισόδους και εξόδους του με σκοπό την εκτέλεση των λειτουργιών του υπόλοιπου συστήματος σε πραγματικό χρόνο. Τα επίπεδα πολυπλοκότητας μπορούν να κυμαίνονται από έναν μόνο μικροεπεξεργαστή ή μικροελεγκτή έως και μια συστοιχία επεξεργαστών ή ελεγκτών με συνδεδεμένα σε αυτούς διάφορες περιφερειακές συσκευές και συστήματα δικτύων, καθώς και από την απουσία κάποιας διεπαφής χρήστη μέχρι τα πιο πολύπλοκα γραφικά περιβάλλοντα χρήστη. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ ενός ενσωματωμένου συστήματος και ενός οικιακού επιτραπέζιου ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι ότι το ενσωματωμένο σύστημα είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ειδικού σκοπού, ενώ ο οικιακός επιτραπέζιος ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής γενικού σκοπού. Στο σχήμα 2-1 φαίνεται μία αριθμομηχανή. Η αριθμομηχανή είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής ειδικού σκοπού ο οποίος έχει σχεδιαστεί συγκεκριμένα για την λειτουργία

αριθμητικών πράξεων και τίποτα άλλο. Η φιλοσοφία αυτή του ειδικού σκοπού επιτρέπει την κατασκευή συσκευών με κόστος χαμηλότερο από αυτό ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή γενικού σκοπού.

Η πολυπλοκότητα ενός ενσωματωμένου συστήματος ποικίλλει σημαντικά ανάλογα με την εργασία για την οποία έχει σχεδιαστεί. Οι εφαρμογές των ενσωματωμένων συστημάτων κυμαίνονται από ψηφιακά ρολόγια και διάφορες ηλεκτρικές συσκευές μέχρι και οχήματα και διάφορα άλλα ηλεκτρονικά συστήματα. Οι απαιτήσεις της αγοράς για ενσωματωμένα συστήματα είναι τόσο υψηλή ώστε ως και 98% όλων των μικροεπεξεργαστών που κατασκευάζονται διεθνώς από τον χώρο της βιομηχανίας χρησιμοποιούνται για τις ανάγκες της [19].

Η διαχείριση των ενσωματωμένων συστημάτων πραγματοποιείται από μικροελεγκτές ή επεξεργαστές ψηφιακού σήματος (Digital Signal Processor - DSP), ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικής εφαρμογής (Application Specific Integrated Circuit - ASIC), προγραμματιζόμενες στο πεδίο συστοιχίες πύλης (Field Programmable Gate Array - FPGA), τεχνολογία μονάδων επεξεργασίας γραφικών (Graphics Processor Unit - GPU) και από συστοιχίες πυλών. Αυτά τα συστήματα επεξεργασίας είναι ενσωματωμένα με εξαρτήματα αφιερωμένα στον χειρισμό ηλεκτρικών και/ή μηχανικών συστημάτων διεπαφής. Οι οδηγίες προγραμματισμού ενσωματωμένων συστημάτων οι οποίες αναφέρονται και ως υλικολογισμικό αποθηκεύονται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης μόνο για ανάγνωση ή μνήμης flash, οι οποίες μπορούν να εκτελούνται με περιορισμένους πόρους υλικού ενός ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος. Τα ενσωματωμένα συστήματα αντιλαμβάνονται και αλληλοεπιδρούν με το τριγύρω περιβάλλον τους μέσω περιφερειακών συσκευών οι οποίες συνδέονται μέσω των θυρών εισόδου και εξόδου που διαθέτουν [20].

Η βασική δομή ενός ενσωματωμένου συστήματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα διακριτά στοιχεία. Αρχικά είναι οι περιφερειακές συσκευές των αισθητήρων οι οποίοι βοηθούν το ενσωματωμένο σύστημα

να αντιλαμβάνεται το τριγύρω του περιβάλλον καθώς μετρούν και μετατρέπουν τη φυσική ποσότητα ενός φυσικού μεγέθους σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο στη συνέχεια μπορεί να ερμηνευτεί από έναν μηχανικό ενσωματωμένων συστημάτων ή από οποιοδήποτε ηλεκτρονικό όργανο. Ένας αισθητήρας αποθηκεύει τη μετρούμενη ποσότητα στην διαθέσιμη μνήμη. Απαραίτητα πρέπει να υπάρχει ένας μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα (Analog to Digital Converter - ADC) ο οποίος θα μετατρέπει το αναλογικό σήμα που παραγάγει ο αισθητήρας σε ψηφιακό σήμα. Πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον ένας επεξεργαστής ο οποίος θα αξιολογεί τα δεδομένα που δέχεται στις εισόδους του ώστε να σχηματίσει τα ανάλογα σήματα στην έξοδο και να τα αποθηκεύσει έπειτα στην κατάλληλη μνήμη. Αντίστοιχα με τον μετατροπέα από αναλογικό σήμα σε ψηφιακό σήμα ο οποίος έχει νόημα για τα σήματα εισόδου, πρέπει να συμπεριλαμβάνεται και ένας μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog Converter - DAC) ο οποίος θα μπορεί να μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα που τροφοδοτούνται από τον επεξεργαστή σε αναλογικά δεδομένα εξόδου. Η συμπερίληψη τελικά ενός ενεργοποιητή ο οποίος μπορεί να συγκρίνει την έξοδο που αποδίδει ο μετατροπέας του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα με την πραγματική αποθηκευμένη έξοδο ώστε τελικά να αποθηκεύει την εγκεκριμένη έξοδο [21].

Το ενσωματωμένο σύστημα που βασίζεται σε αυτόνομη μονάδα μικροελεγκτή θα συνεχίσει να ενσωματώνεται σε κάθε πτυχή της καθημερινής ζωής των καταναλωτών, από συσκευές ανάγνωσης πιστωτικών και προπληρωμένων καρτών, κινητά τηλέφωνα, φανάρια ρύθμισης της κυκλοφορίας και άλλες πολλές εφαρμογές. Η επένδυση σε κεφάλαιο που πραγματοποιείται στον τομέα αυτόν ουσιαστικά εγγυείται την εκθετική αύξηση της ζήτησης όλο και πιο ανεπτυγμένων ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μικροελεγκτών. Πλέον μπορούν να λειτουργούν με ένα πλήρες σύνολο λογισμικού λειτουργικού συστήματος τα οποία μπορούν να διαχειρίζονται τις λειτουργίες του σε μαζικά σύνολα εντολών [22].

Δεδομένου ότι το ενσωματωμένο σύστημα είναι κατασκευασμένο για να εφαρμόζεται στην εκτέλεση συγκεκριμένων εργασιών οι μηχανικοί σχεδιασμού ενσωματωμένων συστημάτων μπορούν να το βελτιστοποιήσουν για να μειώσουν το μέγεθος και το κόστος των παραγόμενων προϊόντων και να αυξήσουν ποιοτικά την αξιοπιστία αλλά και την απόδοσή του. Ορισμένα ενσωματωμένα συστήματα παράγονται μαζικά με την πρόθεση να αυξηθεί το οικονομικό όφελος που προκύπτει από την συνολική αύξηση των ποσοτήτων.

Γενικά τα ενσωματωμένα συστήματα κυμαίνονται σε μεγέθη όπως είναι οι φορητές προσωπικές συσκευές όπως είναι τα ψηφιακά ρολόγια, τα κινητά τηλέφωνα, οι συσκευές αναπαραγωγής MP3 αλλά και μεγαλύτερες μηχανές όπως οι οικιακές συσκευές, οι βιομηχανικές γραμμές συναρμολόγησης και παραγωγής, τα ρομπότ, τα οχήματα μεταφορών, οι ελεγκτές των φωτεινών σηματοδοτών κυκλοφορίας και τα συστήματα ιατρικής απεικόνισης. Τα ενσωματωμένα συστήματα συχνά αποτελούν υποσυστήματα άλλων μηχανών όπως είναι αυτές των ηλεκτρονικών συστημάτων που διαχειρίζονται κάποιες λειτουργίες των αεροσκαφών αλλά και των διαστημόπλοιων.

Εγκαταστάσεις μεγάλης κλίμακας όπως είναι τα εργοστάσια, τα δίκτυα αγωγών αερίων ή υγρών και τα ηλεκτρικά δίκτυα βασίζονται για την ομαλή λειτουργία τους σε πολλαπλά ενσωματωμένα συστήματα τα οποία είναι μεταξύ τους δικτυωμένα σε ένα περίπλοκο σχέδιο ώστε να γίνεται αποδοτικός καταμερισμός του πλήθους εργασιών που πρέπει να πραγματοποιηθεί. Γενικότερα και μέσω της προσαρμογής του λογισμικού τους τα ενσωματωμένα συστήματα, όπως και οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές, αποτελούν συνήθως τις λειτουργικές τους μονάδες. Τα ενσωματωμένα συστήματα κυμαίνονται από αυτά χαμηλής πολυπλοκότητας τα οποία διαθέτουν ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα ως συσκευή μικροελεγκτή, έως πολύ υψηλής πολυπλοκότητας που συμπεριλαμβάνουν στο σύνολο τους πολλαπλά ολοκληρωμένα κυκλώματα μονάδων συσκευών μικροελεγκτών, περιφερειακών συσκευών

και δίκτυα τα οποία μπορεί να βρίσκονται σε συστοιχία εξοπλισμού ή σε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές που συνδέονται μέσω γραμμών επικοινωνίας μεγάλων αποστάσεων. Σήμερα μερικά από τα πιο δημοφιλή ενσωματωμένα συστήματα περιλαμβάνουν τα συστήματα μικροελεγκτών Raspberry Pi και το Arduino. Αυτά τα συστήματα μικροελεγκτών έχουν αποδειχτεί εξαιρετική επιλογή για αρχάριους στον χώρο οι οποίοι επιθυμούν να μάθουν για τα ενσωματωμένα συστήματα καθώς είναι εύκολα προσβάσιμα και διαθέτουν άφθονους πόρους και τεκμηρίωση στο περιεχόμενο τους σε λογισμικό και υποστήριξη [23].

## 2.4 Μικροελεγκτές

Στην προηγούμενη ενότητα αναφέρθηκε ως ζωτική οντότητα το ολοκληρωμένο κύκλωμα της αυτόνομης μονάδας μικροελεγκτή, το οποίο είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή (Micro Controller Unit - MCU) και το οποίο περιγράφει μία συσκευή η οποία σχηματίζει ένα μικρό ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα το οποίο περιέχεται εντός ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (Integrated Circuit - IC) αξιοποιώντας την τεχνολογία μονοξειδίου μετάλλου-ημιαγωγού (MOS). Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή μπορεί να περιέχει μία ή περισσότερες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (Central Processor Unit – CPU) το οποίο συμπεριλαμβάνει την μνήμη και διάφορες προγραμματιζόμενες περιφερειακές συσκευές εισόδου και εξόδου. Η μνήμη του προγράμματος με τη μορφή σιδηροηλεκτρικής RAM, NOR flash ή OTP ROM περιλαμβάνεται επίσης συχνά στο ολοκληρωμένο κύκλωμα καθώς και μια μνήμη μικρής χωρητικότητας RAM [24].

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα αυτόνομων μονάδων μικροελεγκτών έχουν σχεδιαστεί για εφαρμογές ενσωματωμένων συστημάτων σε αντίθεση με τα ολοκληρωμένα κυκλώματα μικροεπεξεργαστών που χρησιμοποιούνται σε οικιακά ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα ή άλλες εφαρμογές γενικής χρήσης που αποτελούνται από διάφορα διακριτά ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στη σύγχρονη ορολογία ένας μικροελεγκτής περιγράφεται ως ένας παρόμοιος αλλά λιγότερο εξελιγμένος από ένα πλήρως σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή που συμπεριλαμβάνεται το σύστημα τους εντός ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος (System on a Chip). Ένα σύστημα το οποίο συμπεριλαμβάνεται σε ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να διακρίνει τα εσωτερικά ολοκληρωμένα κυκλώματα του διακριτού ολοκληρωμένου κυκλώματος συσκευής μικροελεγκτή ως περιφερειακές διακριτές διατάξεις ενσωματωμένες στο σύνολο της μητρικής πλακέτας αλλά ένα σύστημα το οποίο συμπεριλαμβάνεται στο ολοκληρωμένο κύκλωμα συνήθως ενσωματώνει τις προηγμένες περιφερειακές συσκευές όπως είναι η μονάδα επεξεργασίας γραφικών (Graphics Processor Unit - GPU) και ο ελεγκτής ασύρματου πρωτοκόλλου διασύνδεσης Wi-Fi ως τα εσωτερικά κυκλώματα του ολοκληρωμένου κυκλώματος της συσκευής μικροελεγκτή.

### 2.4.1 Εφαρμογές μικροελεγκτών

Οι μικροελεγκτές χρησιμοποιούνται σε αυτόματα ελεγχόμενα προϊόντα και συσκευές όπως είναι τα συστήματα ελέγχου ενός κινητήρα αυτοκινήτου, τα τηλεχειριστήρια, οι σταθερές εγκαταστάσεις ιατρικών συσκευών, τα ηλεκτρικά βιομηχανικά εργαλεία ισχύος, οι μηχανές γραφείου, τα παιχνίδια και άλλα ενσωματωμένα συστήματα. Καθώς από κατασκευής το μέγεθος και το κόστος των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων συσκευής μικροελεγκτή γίνεται αισθητά μειωμένο σε σύγκριση με ένα πλήρες οικιακό ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα το οποίο διαθέτει ξεχωριστό ολοκληρωμένο κύκλωμα μικροεπεξεργαστή, μνήμη και συσκευές εισόδου/εξόδου, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή καθιστούν τον ψηφιακό έλεγχο ακόμη περισσότερων συσκευών και διεργασιών να χαρακτηρίζεται ως πρακτική χαμηλού οικονομικού κόστους. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευών μικροελεγκτών μικτού σήματος, δηλαδή ικανών να διαχειριστούν τόσο τα

αναλογικά σήματα όσο και τα ψηφιακά σήματα, είναι κοινά τα οποία μπορούν να ενσωματώνουν αναλογικά στοιχεία τα οποία απαιτούνται για τον έλεγχο μη ψηφιακών ηλεκτρονικών συστημάτων. Στο πλαίσιο του διαδικτύου των πραγμάτων (Internet of Things - IoT) τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή είναι ένα χαμηλού κόστους και δημοφιλές μέσο συλλογής δεδομένων ανίχνευσης αλλά και αλληλοεπίδρασης του φυσικού κόσμου ως συσκευές τεχνολογικής αιχμής. Ορισμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή μπορεί να χρησιμοποιούν λέξεις συνολικού μήκους ίσου των τεσσάρων bit και να λειτουργούν σε συχνότητες έως και 4 kHz με σκοπό την χαμηλή κατανάλωση ενέργειας. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή έχουν γενικά τη δυνατότητα να διατηρούν την κατάσταση λειτουργίας τους σε αναμονή καθώς περιμένουν να πραγματοποιηθεί ένα συμβάν όπως ένα πάτημα κουμπιού ή άλλου είδους διακοπή. Η κατανάλωση ενέργειας κατά τη διάρκεια της κατάστασης αναμονής όπου το ρολόι της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Central Processor Unit – CPU) και τα περισσότερα περιφερειακά είναι απενεργοποιημένα, μπορεί να είναι της κλίμακας των nW (Watt x 10<sup>-09</sup>), καθιστώντας πολλά από αυτά κατάλληλα για εφαρμογές όπου η μεγάλη διάρκεια της μπαταρίας είναι επιτακτική αναγκαιότητα. Άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή μπορεί να κατέχουν κρίσιμους ρόλους διαχείρισης για την βελτίωση της απόδοσης, κατά τους οποίους μπορεί να χρειαστεί να εκτελούν την λειτουργία ενός επεξεργαστή ψηφιακού σήματος (Digital Signal Processor - DSP) με υψηλότερες ταχύτητες ρολογιού και συνεπώς μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας [25].

### 2.4.2 Δομή μικροελεγκτών

Μία από τις σημαντικότερες πτυχές της επιτυχίας ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος συσκευής μικροελεγκτή είναι το γεγονός ότι σχηματίζει στο σύνολο του όλες τις δυνατότητες και μέρη που παρέχει ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα αλλά σε περιορισμένη έκδοση με κύριο χαρακτηριστικό την ενσωμάτωση μίας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας (Central Processor Unit – CPU) η οποία επίσης ονομάζεται και κεντρικός επεξεργαστής, κύριος επεξεργαστής ή απλώς επεξεργαστής η οποία αποτελεί το ηλεκτρονικό κύκλωμα που εκτελεί τις εντολές και οδηγίες οι οποίες περιλαμβάνονται σε ένα πρόγραμμα γραμμένο για ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα. Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας είναι ικανή να εκτελεί βασικές λειτουργίες αριθμητικής, λογικής, ελέγχου και εισόδου/εξόδου (Input/Output - I/O) οι οποίες καθορίζονται από τις οδηγίες του προγράμματος. Αυτή είναι η κύρια διαφοροποίηση σε σχέση με τις διάφορες εξωτερικές συσκευές όπως είναι για παράδειγμα η κύρια μνήμη και το κύκλωμα παροχής και διαχείρισης εισόδων/εξόδων και οι εξειδικευμένοι επεξεργαστές όπως είναι οι μονάδες επεξεργασίας γραφικών όπου για να εκτελέσουν την λειτουργία του προγράμματος πρέπει πρώτα να λάβουν τα σχετικά δεδομένα από την κεντρική μονάδα επεξεργασίας.

Η μορφή, ο σχεδιασμός και η υλοποίηση των κεντρικών μονάδων επεξεργασίας έχουν αλλάξει και βελτιωθεί με την πάροδο του χρόνου αλλά η βασική λειτουργία τους παραμένει σχεδόν αμετάβλητη. Τα κύρια στοιχεία μιας κεντρικής μονάδας επεξεργασίας περιλαμβάνουν την αριθμητική/λογική μονάδα (Arithmetic Logic Unit - ALU) οι οποία μπορεί να εκτελεί αριθμητικές και λογικές πράξεις, τους καταχωρητές του επεξεργαστή οι οποίοι παρέχουν τους απαραίτητους αριθμητικούς και λογικούς τελεστές στην αριθμητική/λογική μονάδα και παράλληλα αποθηκεύουν τα αποτελέσματα των λειτουργιών της αριθμητικής/λογικής μονάδας καθώς και μια μονάδα ελέγχου η οποία εκτελεί την λειτουργία της ανάκτησης, αποκωδικοποίησης και εκτέλεσης των εντολών επεξεργασίας των δεδομένων από την μνήμη, κατευθύνοντας τις συντονισμένες λειτουργίες της αριθμητικής/λογικής μονάδας των καταχωρητών και άλλων στοιχείων.

Οι περισσότερες σύγχρονες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας υλοποιούνται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα μικροεπεξεργαστών με μία ή περισσότερες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα μικροεπεξεργαστών με πολλαπλές κεντρικές μονάδες επεξεργασίας αποτελούν επεξεργαστές πολλαπλών πυρήνων. Οι μεμονωμένες φυσικές κεντρικές μονάδες επεξεργασίας σχηματίζουν έναν πυρήνα επεξεργαστή οι οποίοι μπορούν επίσης να εκτελούν λειτουργία πολλαπλών νημάτων για τη δημιουργία πρόσθετων εικονικών ή λογικών κεντρικών μονάδων επεξεργασίας.

### 2.4.3 Περιφερειακές συσκευές μικροεπεξεργαστή

Ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα το οποίο περιέχει μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας μπορεί επίσης να περιέχει μνήμη, περιφερειακές διεπαφές και άλλα στοιχεία ενός ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος, όπου τέτοιες ενσωματωμένες συσκευές ονομάζονται ποικιλοτρόπως μικροελεγκτές ή συστήματα εντός ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος. Οι επεξεργαστές συστοιχίας ή οι διανυσματικοί επεξεργαστές συμπεριλαμβάνουν πολλαπλούς επεξεργαστές οι οποίοι μπορούν να λειτουργούν παράλληλα χωρίς καμία μονάδα να θεωρείται κεντρική. Οι εικονικές κεντρικές μονάδες επεξεργασίας αποτελούν μια αφαίρεση δυναμικών συγκεντρωτικών υπολογιστικών πόρων.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή συνήθως διαθέτουν από αρκετές έως δεκάδες ακροδέκτες εισόδου/εξόδου γενικής χρήσης (General Purpose Inputs Outputs - GPIO). Οι ακροδέκτες εισόδου/εξόδου γενικής χρήσης ελέγχονται από το λογισμικό του ολοκληρωμένου κυκλώματος συσκευή μικροελεγκτή το οποίο είναι αποθηκευμένο στην μνήμη του και κατέχει την δυνατότητα διαμόρφωσης τους είτε σε κατάσταση εισόδου είτε σε κατάσταση εξόδου.

Όταν οι ακροδέκτες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού διαμορφώνονται από το λογισμικό σε κατάσταση εισόδου τότε χρησιμοποιούνται συχνά για την ανάγνωση αισθητήρων ή εξωτερικών σημάτων. Όταν οι ακροδέκτες εισόδου/εξόδου γενικού σκοπού διαμορφώνονται από το λογισμικό σε κατάσταση εξόδου τότε μπορούν να οδηγήσουν εξωτερικές συσκευές όπως έναν ενδείκτη LED ή κάποιον ηλεκτροκινητήρα συχνά έμμεσα μέσω εξωτερικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τροφοδοσίας.

Από πολλά ενσωματωμένα συστήματα απαιτείται να διαχειρίζονται αισθητήρες οι οποίοι παράγουν αναλογικά σήματα. Σε αυτές τις περιπτώσεις εφαρμόζεται το κύκλωμα ενός μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα (Analog to Digital Converter - ADC) του οποίου ο σκοπός είναι να μετατρέψει διάφορα σήματα σε κατάλληλα ψηφιακά σήματα τα οποία το ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή μπορεί να ερμηνεύσει και να επεξεργαστεί.

Δεδομένου ότι οι επεξεργαστές είναι κατασκευασμένοι για να ερμηνεύουν και να επεξεργάζονται ψηφιακά δεδομένα, δηλαδή σήματα στον χρόνο τα οποία μπορούν να εκφράζονται σε δύο διακριτές καταστάσεις 1 και 0 όπου το 1 εκφράζει μία διαφορά τάσης υψηλού δυναμικού (3,3V, 5V) και το 0 εκφράζει μία διαφορά τάσης χαμηλού δυναμικού (0V, -5V), δεν έχουν την δυνατότητα να ερμηνεύσουν τα απευθείας αναλογικά σήματα τα οποία μπορεί να τους αποστέλλονται από μια συσκευή. Επομένως ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα χρησιμοποιείται για τη μετατροπή των εισερχόμενων δεδομένων σε μια μορφή που να μπορεί να αναγνωρίσει ο επεξεργαστής.

Ένα άλλο χαρακτηριστικό το οποίο δεν υπάρχει σε ορισμένα ολοκληρωμένα κυκλώματα συσκευής μικροελεγκτή είναι η συμπερίληψη ενός μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog Converter - DAC) το οποίο σαν διάταξη μπορεί να μετατρέπει τα εξαγόμενα δεδομένα του επεξεργαστή σε αναλογικά σήματα ή σε διαφορά τάσης ορισμένου δυναμικού.

Εκτός από τις διατάξεις των μετατροπών πολλοί ενσωματωμένοι μικροεπεξεργαστές περιλαμβάνουν επίσης μια ποικιλία χρονιστών υλικού τύπου. Ένας από τους πιο συνηθισμένους τύπους χρονιστών είναι ο προγραμματιζόμενος χρονιστής διαστήματος (Programmable Interval Timer - PIT). Ένας προγραμματιζόμενος χρονιστής διαστήματος παρέχει την δυνατότητα είτε να μετρά αντίστροφα από κάποια προκαθορισμένη τιμή προς το μηδέν, είτε να μετρά μέχρι την απόλυτη χωρητικότητα του καταχωρητή μέτρησης, η οποία έπειτα ξεχειλίζει στο μηδέν και μόλις φτάσει στο μηδέν στέλνει μια εντολή διακοπής στον επεξεργαστή ως υπόδειξη ότι έχει τελειώσει την διαδικασία της μέτρησης. Η λειτουργία αυτή είναι χρήσιμη ως εφαρμογή για συσκευές όπως οι θερμοστάτες, οι οποίοι ανιχνεύουν περιοδικά τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος τους ώστε να εντοπίσουν σύμφωνα με την παραμετροποίηση τους τις τιμές θερμοκρασιών κατά τις οποίες θα προσδιοριστεί αν προκύπτει απαραίτητο να δοθεί εντολή εκκίνησης της κλιματιστικής μονάδας, να ενεργοποιηθεί η συσκευή θερμάστρας κ.λπ.

Με την συμπίληψη μίας αποκλειστική ηλεκτρονική διάταξη διαμόρφωσης εύρους παλμού (Pulse Width Modulation - PWM) παρέχει τη δυνατότητα στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας να μπορεί να ελέγχει τις ηλεκτρονικές διατάξεις αλλά και τις διάφορες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές όπως τους μετατροπείς ισχύος, τα φορτία αντίστασης, τους κινητήρες κ.λπ., χωρίς απαραίτητα να δεσμεύει κάποιο σημαντικό κλάσμα των διαθέσιμων πόρων της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας της αυτόνομης μονάδας μικροελεγκτή εγκλωβίζοντας τους σε στενούς βρόγχους χρονιστή.

Μία καθολική ηλεκτρονική διάταξη ασύγχρονου δέκτη/πομπού (Universal Asynchronous Receiver Transmitter - UART) πρωτοκόλλου σειριακής επικοινωνίας καθιστά δυνατή τη λήψη και τη μετάδοση δεδομένων μέσω μιας σειριακής γραμμής εφαρμόζοντας πολύ μικρό φορτίο στους διαθέσιμους πόρους της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας. Το αποκλειστικό και αμετάβλητο υλικό μέρος το οποίο διατίθεται ως σύνολο της δομής του ολοκληρωμένου κυκλώματος περιλαμβάνει επίσης συχνά δυνατότητες επικοινωνίας με άλλες συσκευές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε ψηφιακές μορφές μέσω πρωτοκόλλων ενσύρματης επικοινωνίας, όπως είναι η μεταξύ ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (Integrated Circuit - IC), η περιφερειακή σειριακή διεπαφή (Serial Peripheral Interface - SPI), ο καθολικός σειριακός δίαυλος (Universal Serial Bus - USB) και το Ethernet [26].

### 2.5 Επιλογή μεθόδου υλοποίησης της εφαρμογής

Για τις ανάγκες υλοποίησης της παρούσας εργασίας έχει επιλεγεί να εφαρμοστεί και να αξιοποιηθεί μία έτοιμη λύση μέσα από το πλήρες φάσμα μικροελεγκτών και συστημάτων μικροελεγκτών καθώς με αυτόν τον τρόπο εκπληρώνονται πολλά πλεονεκτήματα για την επιτυχή διεξαγωγή του ζητούμενου της παρούσας εργασίας τα οποία θα αναφερθούν στην συνέχεια.

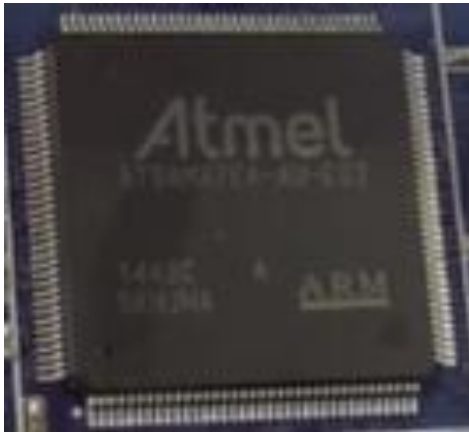
Αρχικά ο συλλογισμός ως προς την επιλογή του τρόπου υλοποίησης του χρονιστή, όπως αυτός ορίζεται στο ζητούμενο, θα πρέπει να λάβει υπόψιν συνολικά δύο βασικά χαρακτηριστικά τα οποία θα πρέπει να συγκλίνουν μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε και τα δύο συνδυαστικά να αποδίδουν το συγκεκριμένο ζητούμενο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Καθώς η υλοποίηση θα προκύπτει από το πεδίο των ενσωματωμένων συστημάτων τα χαρακτηριστικά αυτά θα είναι το υλικό και το λογισμικό μέρος.

Για το κάθε ένα από αυτά τα μέρη θα πρέπει να υπάρξει διακριτή προσέγγιση ως προς την επίλυση τους, και στην συνέχεια να εξεταστεί αν πράγματι τα δύο αυτά μέρη μπορούν να εκτελεστούν ως ενιαία οντότητα η οποία να εκτελεί με επιτυχία την λειτουργία η οποία θα αποδίδει το εν λόγω ζητούμενο. Το ζητούμενο ξεκάθαρα δηλώνει πως πρέπει να αναπτυχθεί ένα ενσωματωμένο σύστημα το οποίο θα

εκτελεί την λειτουργία ενός χρονιστή ο οποίος θα παραμετροποιείται μέσω επικοινωνίας με την θύρα USB.

Καθώς δεν φαίνεται να υπάρχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις και ιδιαιτερότητες από πλευράς υλικού μέρους, αρκεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα μικροελεγκτή ως έτοιμη λύση όπως αυτοί είναι διαθέσιμοι στο εμπόριο. Τυπικά πρέπει να αναφερθεί πως όταν γίνεται λόγος για ανάπτυξη ενός έργου, όπως σε αυτήν την περίπτωση η πλήρης διαδικασία ανάπτυξης ενός λειτουργικού ενσωματωμένου συστήματος από την σύλληψη της ιδέας του, η ανάπτυξη τέτοιων συστημάτων αποδίδεται με διάφορους τρόπους, αναλόγως τον πρωταρχικό σκοπό ανάπτυξης τους.

Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες, βιομηχανικού ή ακαδημαϊκού σκοπού και οι οποίες με την σειρά τους διακρίνονται σε πολλές υποκατηγορίες. Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας, το έργο πραγματοποιείται για της ανάγκες μίας πτυχιακής εργασίας το οποίο σημαίνει πως θα αναπτυχθεί ένα πρωτότυπο το οποίο θα μπορεί να εκτελεί με επιτυχία το ζητούμενο όπως αυτό τέθηκε. Επομένως ζητήματα όπως είναι το κόστος δεν πρόκειται να χρειαστεί να μελετηθούν σε ακραία μεγάλη ακρίβεια.



Σχήμα 2-2: Μικροελεγκτής Atmel samx7e.

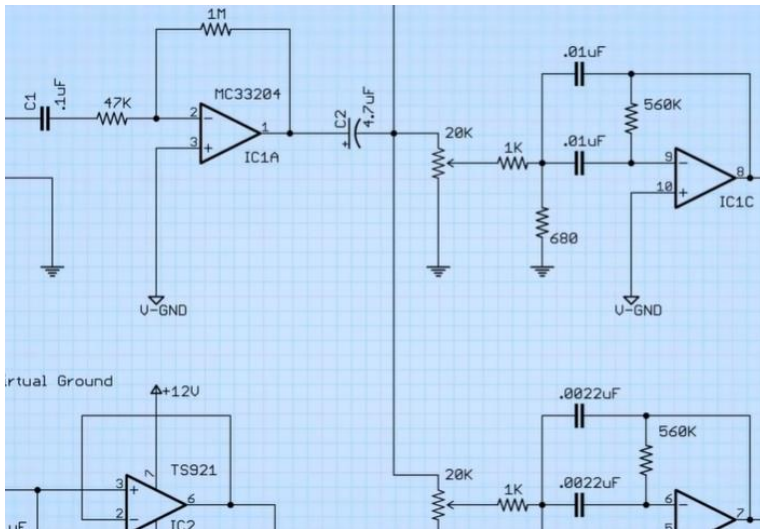
Η σειρά μικροελεγκτών smart sam3x/a είναι μέλος μιας οικογένειας μικροελεγκτών οι οποίοι χρησιμοποιούν μνήμη προγράμματος τύπου Flash και που βασίζονται στον υψηλής απόδοσης 32-bit ARM Cortex-M3 RISC επεξεργαστή. Λειτουργεί με μέγιστη ταχύτητα 84 MHz και διαθέτει μνήμη έως 512 Kbyte τύπου Flash και μνήμη έως 100 Kbyte τύπου SRAM. Το περιφερειακό σετ περιλαμβάνει μία υψηλής ταχύτητας θύρα USB αλλά και μία θύρα συσκευών με ενσωματωμένο πομποδέκτη, θύρα τύπου Ethernet MAC, δύο θύρες σειριακής επικοινωνίας CAN, ένα MCI υψηλής ταχύτητας για SDIO/SD/MMC, μια εξωτερική διεπαφή διαύλου με NAND Flash ελεγκτή (NFC), πέντε θύρες σειριακής επικοινωνίας UART, δύο TWI, τέσσερις θύρες

σειριακής επικοινωνίας SPI καθώς και ένα PWM χρονοδιακόπτη, τρεις χρονοδιακόπτες 3 καναλιών γενικής χρήσης εύρους 32 bit, ένα RTC χαμηλής κατανάλωσης, ένα χαμηλής ισχύος RTT, καταχωρητές αντιγράφων ασφαλείας γενικής χρήσης 256 bit, ADC 12 bit και 12 bit DAC [27]. Στο σχήμα 2-2 απεικονίζεται ένα ακόμη μέλος της οικογένειας μικροελεγκτών αρχιτεκτονικής ARM.

## 2.6 Ηλεκτρονικό κύκλωμα

Γενικότερα με τον όρο κύκλωμα χαρακτηρίζεται η εδραίωση μίας κλειστής διαδρομής μέσω της οποίας θα μπορεί να μεταφέρεται από την αρχή στο τέλος μία ποσότητα κάποιου σχετικού μεγέθους η οποία θα εξαρτάται ως προς την ποσότητα της από τα όρια της διαδρομής την οποία διαρρέει. Τα κυκλώματα μπορούν για παράδειγμα να είναι υδραυλικές σωληνώσεις σχεδιασμένες να επιτρέπουν να διαρρέει το εσωτερικό τους υλικό το οποίο μπορεί να είναι κάποιο ρευστό ή αέριο ή κύκλωμα καλωδιώσεων καλού αγωγού του ηλεκτρισμού ώστε να μπορεί να διαρρέεται από ηλεκτρισμό [28].

Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα αποτελείται από επιμέρους ηλεκτρονικά εξαρτήματα όπως είναι οι αντιστάσεις, τα τρανζίστορ, οι πυκνωτές, τα πηνία και οι δίοδοι τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με αγωγή καλώδια ή χάλκινους αγωγούς οι οποίοι σχηματίζουν μεταξύ τους δικτύωματα που τους επιτρέπουν να συνδέουν τα ηλεκτρονικά στοιχεία και μέσω των οποίων μπορεί να ρέει ηλεκτρικό ρεύμα. Προκειμένου να μπορεί ένα κύκλωμα να αναφέρεται ως ηλεκτρονικό αντί για ηλεκτρικό γενικά πρέπει να υπάρχει εντός του δικτύωματος των στοιχείων του τουλάχιστον ένα ενεργό στοιχείο.



Σχήμα 2-3: Παράδειγμα ηλεκτρονικού σχηματικού.

Ο συνδυασμός των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και καλωδίων επιτρέπει την εκτέλεση διαφόρων και απλών και πολύπλοκων λειτουργιών μέσω των διαμορφώσεων των ηλεκτρικών μεγεθών καθώς αυτά διαρρέουν τα διάφορα ηλεκτρονικά στοιχεία και μπορούν να ενισχυθούν ως ηλεκτρικά σήματα, μπορούν να εκτελεστούν υπολογισμοί όταν ο ηλεκτρισμός εκφράζεται σε στάθμες και να διαμορφωθεί σε διακριτά ηλεκτρικά δεδομένα τα οποία μπορούν να μετακινηθούν μεταξύ των ηλεκτρονικών διατάξεων που

αποτελούν το κύκλωμα στο σύνολο του. Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα συνήθως αποδίδεται ως ηλεκτρονικό σχηματικό στο οποίο διακρίνονται τα ηλεκτρονικά του στοιχεία και η μεταξύ τους διασύνδεση μέσω γραμμών όπως φαίνεται στο σχήμα 2-3.

Τα κυκλώματα μπορούν να κατασκευαστούν από διακριτά εξαρτήματα τα οποία συνδέονται με μεμονωμένα κομμάτια σύρματος αλλά σήμερα είναι πολύ πιο συνηθισμένο να δημιουργούνται διασυνδέσεις μέσω φωτολιθογραφικών τεχνικών επί της επιφάνειας ενός πολυστρωματικού υποστρώματος το οποίο ονομάζεται πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος (Printed Circuit Board - PCB) και να συγκολλούνται τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα σε αυτές τις διασυνδέσεις ώστε να δημιουργηθεί ένα λειτουργικό κύκλωμα. Στα ολοκληρωμένα κυκλώματα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και οι διασυνδέσεις σχηματίζονται όλα στο ίδιο υπόστρωμα το οποίο συνήθως αφορά έναν ημιαγωγό όπως το εμποτισμένο πυρίτιο ή λιγότερο συχνά το αρσενίδιο του γαλλίου.

Η πιο ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνολογία ημιαγωγών στα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι αυτή του μετάλλου οξειδίου ημιαγωγού πεδίου δράσης τρανζίστορ (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor - MOSFET). Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα μπορεί συνήθως να διακριθεί ως προς τον τύπο των ηλεκτρικών σημάτων που διαμορφώνει μέσω των ηλεκτρονικών στοιχείων που το αποτελεί είτε σε αναλογικό κύκλωμα όταν διαχειρίζεται αναλογικά σήματα, είτε σε ψηφιακό κύκλωμα όταν διαχειρίζεται ψηφιακά σήματα, είτε σε κύκλωμα μικτού σήματος όταν αυτό διαχειρίζεται και τους δύο τύπους σημάτων [29].

Τα αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα περιγράφονται ως εκείνα στα οποία τα ηλεκτρικά μεγέθη όπως το ρεύμα ή η τάση μπορούν να μεταβάλλονται συνεχώς σε συνάρτηση με το χρόνο για όλες τις τιμές που μπορούν να αποκτήσουν, οι οποίες συγκεκριμένα θα είναι η χαμηλότερη, η υψηλότερη και όλες οι ενδιάμεσες, ώστε να αντιστοιχούν στις πληροφορίες οι οποίες θα αναπαρίστανται. Οι πιο θεμελιώδης αρχή κατά την οποία κατασκευάζονται τα αναλογικά κυκλώματα διακρίνεται σε κατά σειρά συνδεσμολογία και σε κατά παράλληλη συνδεσμολογία των ηλεκτρονικών στοιχείων.

Συγκεκριμένα στην κατά σειρά συνδεσμολογία τα ηλεκτρονικά στοιχεία συνδέονται με τρόπο τέτοιο ώστε το ίδιο ρεύμα να τα διαρρέει διαδοχικά σαν μία αλυσίδα. Για παράδειγμα μια σειρά από χριστουγεννιάτικα λαμπάκια είναι συνδεσμολογημένο ως κύκλωμα σε σειρά καθώς αν κάποιο από αυτά σβήσει τότε όλα θα σβήνουν. Στην κατά παράλληλη συνδεσμολογία όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα

συνδέονται με τρόπο τέτοιο ώστε η ίδια πτώση τάσης να υφίσταται σε όλα της τα ηλεκτρονικά στοιχεία και το ρεύμα να διαιρείται μεταξύ των διαφόρων ηλεκτρονικών στοιχείων ανάλογα με την τιμή της αντίστασή τους. Το πιο απλό σχηματικό ηλεκτρονικού κυκλώματος μπορεί να σχηματιστεί και να απεικονιστεί ως μία διαδρομή σε σειρά ξεκινώντας από τον θετικό ακροδέκτη μιας πηγής τάσης προς το ένα άκρο μιας αντίστασης όπου το άλλο της άκρο συνδέεται με τον αρνητικό ακροδέκτη της ίδιας πηγής τάσης. Τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία που μπορεί κανείς να διακρίνει στα αναλογικά κυκλώματα είναι οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές, τα πηνία, οι δίοδοι και τα τρανζίστορ. Τα αναλογικά ή αναλογικού σήματος κυκλώματα αναπαρίστανται πολύ συχνά σε σχηματικά διαγράμματα στα οποία οι αγωγοί διασύνδεσης εμφανίζονται ως γραμμές και κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο εμφανίζεται με ένα μοναδικό σύμβολο.

Η ανάλυση ενός αναλογικού κυκλώματος πραγματοποιείται εφαρμόζοντας τις αρχές των κανόνων ρευμάτων και τάσεων του Kirchhoff, οι οποίοι ορίζουν πως όλα τα ρεύματα που ρέουν σε έναν κόμβο, όπου με τον όρο κόμβος εννοείται το σημείο στο οποίο οι αγωγοί είτε διακλαδώνονται είτε ενσωματώνονται, ισούνται με τα ρεύματα που εκρέουν από αυτόν και πως το άθροισμα των τάσεων που περιέχεται εντός ενός κλειστού βρόχου αγωγών ισούται με το μηδέν.

Στα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα τα ηλεκτρικά σήματα διαμορφώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορούν να λαμβάνουν διακριτές τιμές οι οποίες όταν μεταδίδονται η μία διαδοχικά στην άλλη σχηματίζουν ομάδες αλληλουχιών οι οποίες αντιπροσωπεύουν λογικές και αριθμητικές τιμές. Αυτές οι τιμές αντιπροσωπεύουν τις πληροφορίες ή τα δεδομένα τα οποία στην συνέχεια μπορούν να υποβάλλονται σε επεξεργασία. Στη συντριπτική πλειονότητα των περιπτώσεων οι διακριτές αυτές τιμές για διευκόλυνση της λογικής και κατανόησης τους εκφράζονται σε δυαδική κωδικοποίηση, κατά την οποία μια διαφορά τάσης όπου συνήθως είναι η πιο θετική τιμή αντιπροσωπεύει στο δυαδικό αριθμητικό σύστημα το ψηφίο 1 και μια άλλη διαφορά τάσης όπου συνήθως είναι μια τιμή κοντά στο δυναμικό της γείωσης 0V αντιπροσωπεύει στο δυαδικό αριθμητικό σύστημα το ψηφίο 0.

Τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα εφαρμόζουν εκτεταμένα στην υλοποίησή τους τα ηλεκτρονικά στοιχεία τρανζίστορ διασυνδεδεμένων για τη δημιουργία λογικών πυλών, δηλαδή ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες αποδίδουν τις λογικές πράξεις των τελεστών της άλγεβρας Boole οι οποίοι τελεστές είναι συγκεκριμένα ο τελεστής NOT κατά τον οποίο διαθέτει μία είσοδο και μία έξοδο στην οποία θα αποδοθεί η αντίστροφη κατάσταση από αυτήν που θα εφαρμοστεί στην είσοδο του, ο τελεστής AND κατά τον οποίο διαθέτει τουλάχιστον δύο εισόδους και μία έξοδο στην οποία για να αποδοθεί το λογικό 1 θα πρέπει σε όλες του τις εισόδους να εφαρμοστεί το λογικό 1 αλλιώς η έξοδος θα αποδίδει το λογικό 0, ο τελεστής OR κατά τον οποίο διαθέτει τουλάχιστον δύο εισόδους και μία έξοδο στην οποία για να αποδοθεί το λογικό 1 θα πρέπει σε τουλάχιστον μία είσοδο να εφαρμοστεί το λογικό 1 αλλιώς η έξοδος θα αποδίδει το λογικό 0, ο τελεστής XOR κατά τον οποίο διαθέτει τουλάχιστον δύο εισόδους και μία έξοδο στην οποία για να αποδοθεί το λογικό 1 θα πρέπει τουλάχιστον η μία είσοδος να είναι ανόμοια από την άλλη σε διαφορετική περίπτωση θα αποδίδεται το λογικό 0, οι τελεστές NAND, NOR και XNOR αποτελούν συνδυασμό των τριών τελεστών AND, OR και XOR με τον τελεστή NOT στην έξοδο τους αντιστρέφοντας το αναμενόμενο αποτέλεσμα τους.

Τα τρανζίστορ τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με τρόπο τέτοιο ώστε να διαθέτουν θετική ανάδραση χρησιμοποιούνται ως μανταλωτές και ως τα πιο μικρά στοιχεία μνήμης γνωστά ως flip flops τα οποία μπορούν να αποθηκεύουν πληροφορία χωρητικότητας ενός bit και είναι ηλεκτρονικά κυκλώματα τα οποία μπορούν να διατηρούν δύο ή περισσότερες σταθερές καταστάσεις και παραμένουν σε μία από αυτές τις καταστάσεις μέχρι να αλλάξουν από το κατάλληλο ερέθισμα σε κάποια είσοδο. Ως εκ τούτου τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα μπορούν να παρέχουν λογική και μνήμη επιτρέποντάς τους να

εκτελούν αυτόματα κάποιες υπολογιστικές λειτουργίες. Η μνήμη που βασίζεται σε flip flops είναι γνωστή και ως στατική μνήμη τυχαίας πρόσβασης (Static Random Access Memory - SRAM) ενώ η μνήμη που βασίζεται στην αποθήκευση φορτίου μέσω χωρητικών ηλεκτρικών μεγεθών η οποία επίσης χρησιμοποιείται ευρέως είναι η δυναμική μνήμη τυχαίας πρόσβασης (Dynamic Random Access Memory - DRAM).

Η διαδικασία του σχεδιασμού των ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων διαφέρει θεμελιωδώς από τη διαδικασία του σχεδιασμού των αναλογικών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Κάθε λογική πύλη αναγεννά το σήμα της δυαδικής πληροφορίας και επομένως ο σχεδιαστής δεν χρειάζεται να λαμβάνει υπόψιν την παραμόρφωση, τον έλεγχο απολαβής, τις τάσεις μετατόπισης και άλλες ανησυχίες που αντιμετωπίζει ένας αναλογικός σχεδιασμός. Κατά συνέπεια εξαιρετικά πολύπλοκα ψηφιακά κυκλώματα τα οποία μπορούν να περιέχουν δισεκατομμύρια λογικά στοιχεία ενσωματωμένα σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα πυριτίου μπορούν να κατασκευαστούν με χαμηλό κόστος. Τέτοιου είδους ψηφιακά ολοκληρωμένα κυκλώματα εφαρμόζονται σε όλων των ειδών σύγχρονες ηλεκτρονικές συσκευές, όπως είναι οι αριθμομηχανές, οι συσκευές αναπαραγωγής εικόνας και ήχου, οι συσκευές κινητών τηλεφώνων και τα οικιακά ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα.

Καθώς τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα αυξάνονται ως προς την περιπλοκότητα της κατασκευής τους τα ζητήματα της χρονικής καθυστέρησης, του συγχρονισμού των λογικών σημάτων, της απαγωγής ισχύος, της μη ιδανικής μεταγωγής και εγγραφής του συνόλου οδηγιών στο ολοκληρωμένο κύκλωμα και μεταξύ των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και των ρευμάτων διαρροής, γίνονται περιορισμοί στην πυκνότητα των στοιχείων ως προς την κλίμακα τους, την ταχύτητα και την απόδοση του κυκλώματος. Τα ψηφιακά ηλεκτρονικά κυκλώματα χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υπολογιστικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων γενικής χρήσης όπως είναι οι μικροεπεξεργαστές, και τα προσαρμοσμένου σχεδιασμού λογικά κυκλώματα τα οποία είναι γνωστά και ως ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικής εφαρμογής (Application Specific Integrated Circuit - ASIC), οι προγραμματιζόμενες στο πεδίο συστοιχίες πύλης (Field Programmable Gate Array - FPGA) οι οποίες σχηματίζουν ολοκληρωμένο κύκλωμα με ένα σύνθετο λογικό κύκλωμα του οποίου η διαμόρφωση μπορεί να τροποποιηθεί μετά την εγγραφή του τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης ευρέως στη διαδικασία έρευνας και ανάπτυξης για την δημιουργία πρωτοτύπων.

Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα μικτού σήματος ή αλλιώς γνωστά και ως υβριδικά σχηματίζονται με ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες μπορούν να διαχειρίζονται και αναλογικά σήματα αλλά και ψηφιακά σήματα στο σύνολο τους. Για παράδειγμα σε αυτήν την κατηγορία συμπεριλαμβάνονται οι συσκευές συγκριτών, οι χρονιστές, οι βρόχοι κλειδώματος φάσης (Phase Loop Lock - PLL), οι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα (Analog to Digital Converter - ADC) αλλά και οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog Converter - DAC). Τα περισσότερα σύγχρονα ηλεκτρονικά κυκλώματα ραδιοφώνου και επικοινωνιών χρησιμοποιούν μικτά ηλεκτρονικά κυκλώματα σήματος. Για παράδειγμα σε έναν δέκτη το αναλογικό ηλεκτρονικό κύκλωμα χρησιμοποιείται για την ενίσχυση και τη μετατροπή της συχνότητας των σημάτων με τέτοιον τρόπο ώστε να διαμορφωθούν σε μια κατάλληλη κατάσταση ώστε να είναι δυνατό να μετατραπούν σε ψηφιακά σήματα μετά την οποία να μπορεί να πραγματοποιηθεί περαιτέρω επεξεργασία του σήματος διαμέσου ψηφιακών τεχνικών.

Οι αγωγοί, τα καλώδια και τα λοιπά ηλεκτρονικά στοιχεία που συνθέτουν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα αντιμετωπίζονται συνήθως ως ιδανικές διασυνδέσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται με μηδενική πτώση τάσης, χωρητικότητα και αυτεπαγωγή με σκοπό την διευκόλυνση των θεωρητικών προσεγγίσεων και υπολογισμών. Όμως στην πράξη οποιοδήποτε ηλεκτρονικό στοιχείο δεν είναι ποτέ ιδανικό ως προς το ηλεκτρικό μέγεθος το οποίο εκφράζει, απεναντίας για κάθε διακριτό ηλεκτρονικό στοιχείο

παρατηρείται η εμφάνιση πέρα του βασικού μετρήσιμου ηλεκτρικού μεγέθους του και τουλάχιστον άλλα δύο ηλεκτρικά μεγέθη. Για παράδειγμα όταν εξετάζεται το ηλεκτρονικό στοιχείο μιας αντίστασης παρατηρούνται τα παρασιτικά ηλεκτρικά μεγέθη της χωρητικότητας, που σαν κύριο μέγεθος εκφράζει την τιμή ενός ηλεκτρονικού στοιχείου πυκνωτή, και της αυτεπαγωγής, που σαν κύριο μέγεθος εκφράζει την τιμή ενός ηλεκτρονικού στοιχείου πηνίου.

Για αυτό κατά τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών κυκλωμάτων στα οποία η ακρίβεια των ηλεκτρικών σημάτων είναι κρίσιμη τότε πρέπει να ληφθούν υπόψιν και τα παρασιτικά μεγέθη τα οποία γνωστοποιούνται μέσω της προσθήκης ενός κατάλληλου ηλεκτρονικού στοιχείου που αντιπροσωπεύει το παρασιτικό ηλεκτρικό μέγεθος, όπως μια διακριτή αντίσταση ή πηνίο ή πυκνωτή. Γενικότερα τα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία δεν απαιτείται να τροφοδοτηθούν για να εκτελέσουν την λειτουργία τους εντός ενός κυκλώματος ονομάζονται παθητικά στοιχεία, ενώ αυτά που απαιτούν στην συνδεσμολογία την απευθείας σύνδεση τους με κάποια τροφοδοσία ονομάζονται ενεργά στοιχεία.

Τα ενεργά ηλεκτρονικά στοιχεία όπως είναι τα τρανζίστορ λαμβάνονται συχνά ως πηγές ελεγχόμενου ρεύματος ή διαφοράς τάσης, για παράδειγμα ένα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field Effect Transistor - FET) μπορεί να συνδεσμοποιηθεί ως πηγή ρεύματος από την πηγή του προς την απορροή του με το ηλεκτρικό μέγεθος του ρεύματος να ελέγχεται από την διαφορά τάσης που εφαρμόζεται στην πύλη του. Όταν η κλίμακα μεγέθους του κυκλώματος είναι συγκρίσιμη με ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της σχετικής συχνότητας σήματος τότε θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μια πιο εξελιγμένη προσέγγιση η οποία υλοποιείται ως το μοντέλο κατανεμημένων στοιχείων. Τα καλώδια και οι αγωγοί αντιμετωπίζονται ως γραμμές μετάδοσης με ονομαστικά σταθερή χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση και οι σύνθετες αντιστάσεις στην αρχή και στο τέλος τους καθορίζουν τα μεταδιδόμενα αλλά και ανακλώμενα κύματα που εφαρμόζονται και διαδίδονται στη γραμμή. Τα ηλεκτρονικά κυκλώματα που σχεδιάζονται σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση αποκαλούνται κυκλώματα κατανεμημένων στοιχείων. Τέτοιες εκτιμήσεις γίνονται συνήθως σημαντικές για πλακέτες ηλεκτρονικών κυκλωμάτων τα οποία λειτουργούν σε συχνότητες πάνω από ένα GHz. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι μικρότερα και μπορούν να αντιμετωπιστούν ως συγκεντρωμένα ηλεκτρονικά στοιχεία για συχνότητες μικρότερες από δέκα GHz περίπου [30].

## 2.7 Υλικολογισμικό

Γενικότερα το λογισμικό αποτελεί ένα σύνολο προγραμμάτων και σχετικής τεκμηρίωσης και δεδομένων τα οποία εκτελούνται σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα. Στα ενσωματωμένα συστήματα συνυπάρχει με το υλικό μέρος τους συστήματος από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σύνολο του συστήματος και το οποίο λογισμικό μέσω της εκτέλεσης του παρέχει το σύνολο των απαραίτητων οδηγιών προς το υλικό σε μορφή ηλεκτρικών σημάτων συνήθως ψηφιακής φιλοσοφίας [31].

Στο χαμηλότερο προγραμματιστικό επίπεδο ο εκτελέσιμος κώδικας αποτελείται από οδηγίες σε γλώσσα μηχανής οι οποίες υποστηρίζονται από έναν μεμονωμένο επεξεργαστή, συνήθως μια κεντρική μονάδα επεξεργασίας (Central Processor Unit - CPU) ή αλλιώς από μια μονάδα επεξεργασίας γραφικών (Graphics Processor Unit - GPU). Η γλώσσα μηχανής αποτελείται από ομάδες τιμών του δυαδικού αριθμητικού συστήματος οι οποίες δηλώνουν οδηγίες του επεξεργαστή οι οποίες αλλάζουν την κατάσταση του ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος από την προηγούμενη κατάστασή του. Για παράδειγμα μια εντολή μπορεί να αλλάξει την τιμή η οποία είναι αποθηκευμένη στην μνήμη του ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος σε μια άλλη συγκεκριμένη τιμή. Αυτή είναι μία διαδικασία η οποία δεν είναι άμεσα παρατηρήσιμη από τον χρήστη.

Μια εντολή του λογισμικού μπορεί επίσης να προσδιορίσει την κατάσταση μίας από τις πολλές θύρες εισόδου ή εξόδου ως προς την λειτουργία της, για παράδειγμα να αποδώσει την εμφάνιση κάποιου κειμένου σε μια οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος διαθέτοντας ενημερωτικά μηνύματα για όλες τις αλλαγές κατάστασης οι οποίες πραγματοποιούνται και που θα πρέπει να είναι ορατές στον χρήστη.

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας εκτελεί τις εντολές με τη σειρά που αυτές παρέχονται σε αυτήν εκτός και εάν έχει λάβει οδηγία από το λογισμικό να εκτελέσει πρώτα μία διαφορετική οδηγία ή ακόμη και να διακοπεί από το λειτουργικό σύστημα. Από το 2015 τα περισσότερα οικιακά ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα, οι έξυπνες συσκευές και οι διακομιστές διαθέτουν κεντρικές μονάδες επεξεργασίας με πολλαπλές μονάδες εκτέλεσης ή πολλαπλούς πυρήνες επεξεργαστών οι οποίοι εκτελούν παράλληλους υπολογισμούς την ίδια στιγμή και τα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα μέσω σύγχρονων τεχνολογιών μεταξύ τους δικτύωσης έχουν εφαρμόσει πολύ πιο ταυτόχρονη δραστηριότητα από ό,τι στο παρελθόν.

Η πλειοψηφία του υπάρχοντος λογισμικού είναι γραμμένο σε γλώσσες προγραμματισμού υψηλού επιπέδου καθώς προκύπτουν ευκολότερες και πιο αποτελεσματικές για τις ανάγκες των προγραμματιστών επειδή συσχετίζονται περισσότερο με τις φυσικές γλώσσες που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος παρά με αυτές που σχετίζονται με τις γλώσσες μηχανής. Οι γλώσσες υψηλού επιπέδου χρησιμοποιούνται ως κειμενογράφοι στους οποίους αναπτύσσεται ένα πρόγραμμα το οποίο έπειτα μεταφράζεται σε γλώσσα μηχανής χρησιμοποιώντας είτε έναν μεταγλωττιστή είτε έναν διερμηνέα ή συνδυασμό των δύο. Το λογισμικό μπορεί επίσης να είναι γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού assembly η οποία είναι γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου και η οποία έχει ισχυρή ομοιότητα και αντιστοιχία με τις οδηγίες της γλώσσας μηχανής του ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος η οποία επίσης μεταφράζεται στη γλώσσα μηχανής χρησιμοποιώντας ένα μεταγλωττιστή [32].

Το υλικολογισμικό συγκεκριμένα προκύπτει ως ένας τύπος λογισμικού το οποίο είναι προορισμένο να αποθηκευτεί και να δώσει οδηγίες απευθείας σε ένα συγκεκριμένο στοιχείο υλικού. Το υλικολογισμικό μπορεί να λειτουργεί χωρίς να διαχειριστεί από κάποια εφαρμογή προγραμματιζόμενης διεπαφής (Application Programmable Interface – API), το λειτουργικό σύστημα ή τα προγράμματα οδήγησης συσκευών, παρέχοντας τις απαραίτητες και κατάλληλες οδηγίες και καθοδήγηση ώστε η συσκευή να μπορεί να επικοινωνεί με άλλες συσκευές ή να μπορεί να εκτελεί ένα σύνολο βασικών διεργασιών και λειτουργιών όπως αυτές προβλέπονται από αυτό [33].

Χωρίς το υλικολογισμικό οι πιο βασικές συσκευές δεν θα ήταν δυνατόν να λειτουργήσουν και αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο συχνά αποθηκεύεται σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα μνήμης μόνο για ανάγνωση (Read Only Memory - ROM) διασφαλίζοντας ότι δεν θα διαγραφεί κατά λάθος ενώ παραμένει όσο το δυνατόν πιο κοντά στο υλικό της συσκευής.

Το υλικολογισμικό παρέχεται σε διάφορα επίπεδα περιπλοκότητας και μπορεί να εφαρμοστεί σε από απλές συσκευές όπως είναι τα τηλεχειριστήρια, τα πληκτρολόγια και οι σκληροί δίσκοι σε έως και πιο σύνθετε, όπως είναι τα μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα, οι κάρτες γραφικών και Βασικό σύστημα εισόδου/εξόδου (Basic Input Output System - BIOS). Στα λειτουργικά συστήματα Android το υλικολογισμικό διαφέρει ανάλογα με την κατασκευή στην οποία εφαρμόζεται και για την οποία θα πρέπει να παρέχει τις κατάλληλες και απαραίτητες οδηγίες εκτέλεσης, δηλαδή το λειτουργικό λογισμικό είναι συγκεκριμένο για την κάθε συσκευή. Όταν μια συσκευή τίθεται σε λειτουργία το υλικολογισμικό είναι το πρώτο μέρος το οποίο εκτελείται και αρχίζει να στέλνει οδηγίες στον επεξεργαστή της συσκευής για το πώς θα εκτελέσει τις λειτουργίες του και σε ποια προτεραιότητα. Εάν η συσκευή είναι απλή στην περιπλοκότητα της όπως είναι ένα πληκτρολόγιο τότε συνήθως το υλικολογισμικό δεν

σταματά να λειτουργεί καθώς δεν υπάρχει λογισμικό το οποίο θα αναλάβει την λειτουργία του. Ωστόσο σε πιο σύνθετες συσκευές όπως είναι τα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα, οι συσκευές κινητής τηλεφωνίας και οι έξυπνες οθόνες συχνά περιέχουν αρκετά σύνολα υλικολογισμικού τα οποία αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους για την επίτευξη μιας κοινής διεργασίας όπως είναι η εκκίνηση και η φόρτωση του λειτουργικού συστήματος.

Ανεξάρτητα από τον τύπο της συσκευής το υλικολογισμικό μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε μορφή μιας βασικής ή χαμηλού επιπέδου δυαδικής γλώσσας η οποία είναι γνωστή ως γλώσσα μηχανής. Ενώ ο κώδικας του υλικολογισμικού θα μπορούσε να γραφτεί σε γλώσσα υψηλού επιπέδου για ευκολία και ευελιξία θα πρέπει τελικά να μεταφραστεί σε γλώσσα μηχανής πριν αυτή να μπορεί να εγγραφεί στη μνήμη της συσκευής. Το ίδιο υλικολογισμικό δεν μπορεί να εκτελεστεί σε διάφορους επεξεργαστές για τους οποίους δεν σχεδιάστηκε καθώς διαφορετικοί επεξεργαστές μπορούν να αναγνωρίσουν μόνο συγκεκριμένες οδηγίες. Εάν το υλικολογισμικό μιας συσκευής υποφέρει από κάποια καταστροφική αστοχία ή γεγονός, όπως για παράδειγμα κατά τη διάρκεια μιας ενημέρωσης έκδοσης λογισμικού, τότε αυτό πια δεν είναι δυνατόν να επιδιορθωθεί καθώς δεν υπάρχει πια τρόπος επικοινωνίας με την συσκευή για την εγκατάσταση αποκατάστασης της ζημιάς.

Αρχικά το υλικολογισμικό ήταν αυστηρά γραμμένο σε ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης ROM καθώς το γεγονός αυτό επέτρεψε στην συγκεκριμένη εφαρμογή να προκύπτει χαμηλού κόστους στην κατασκευή της και παράλληλα εξασφαλίζει ότι δεν θα διαγραφεί ή θα παραβιαστεί. Επίσης χρησιμοποιήθηκαν ολοκληρωμένα κυκλώματα προγραμματιζόμενης μνήμης μόνο για ανάγνωση (Programmable Read Only Memory - PROM) η οποία επέτρεψε την θεμελίωση για μια ευρύτερη σειρά υλικολογισμικού. Ωστόσο η χρήση ROM και PROM για την αποθήκευση υλικολογισμικού σημαίνει ότι όταν το υλικολογισμικό μιας συσκευής προκύψει κάποια στιγμή ξεπερασμένο τότε αυτό δεν θα μπορεί να ενημερωθεί αλλά μόνο να αντικατασταθεί.

Το υλικολογισμικό διαφέρει από το λογισμικό των προγραμμάτων οδήγησης στο ότι το υλικολογισμικό είναι αυτό το οποίο καθοδηγεί τη συσκευή ως προς τον τρόπο με τον οποίο θα λειτουργεί ενώ το πρόγραμμα οδήγησης είναι το λογισμικό που λειτουργεί ως αγγελιοφόρος μεταξύ του λειτουργικού συστήματος και του υλικού.

Καθώς η τεχνολογική εξέλιξη αύξανε σε ρυθμό η τρέχουσες εκδόσεις του υλικολογισμικού γινόταν ξεπερασμένη όλο και γρηγορότερα σε σημείο προτού το υλικό να προλαβαίνει να φθαρεί. Κατά συνέπεια οι κατασκευάστριες εταιρείες στράφηκαν στη χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων τα οποία διέθεταν την δυνατότητα λειτουργίας διαγραφής προγραμματιζόμενης μνήμης μόνο για ανάγνωση (Erasable Programmable Only Memory - EPROM) η οποία επέτρεπε τις ενημερώσεις του υλικολογισμικού. Όμως δεδομένου ότι τα τσιπ EPROM είχαν σχετικά υψηλότερο κόστος στην κατασκευή τους και καθώς προκύπταν χρονοβόρα κατά την διαδικασία του προγραμματισμού και την ενημέρωση της έκδοσης τους τα προτιμότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα για την αποθήκευση του υλικολογισμικού τελικά προέκυψαν τα μνήμης flash καθώς είναι χαμηλού κόστους και χαρακτηρίζονται από ευκολία εγγραφής και επανεγγραφής.

Ανάλογα με το πού είναι αποθηκευμένο και την πολυπλοκότητα της λειτουργικότητάς του το υλικολογισμικό διακρίνεται σε τρία επίπεδα. Το ένα αφορά το υλικολογισμικό χαμηλού επιπέδου, όπου σε αυτό το επίπεδο το υλικολογισμικό είναι αποθηκευμένο σε μη πτητικά ολοκληρωμένα κυκλώματα μνήμης όπως είναι τα ROM και PROM τα οποία είναι γνωστά και ως μία φορά εγγράψιμη (One Time Programmable - OTP) μνήμη και προγραμματιζόμενη λογική συστοιχία (Programmable Logic Array - PLA). Επειδή το υλικολογισμικό χαμηλού επιπέδου αποθηκεύεται συχνά σε ολοκληρωμένο κύκλωμα

το οποίο είναι μόνο για ανάγνωση και τα οποία δεν διαθέτουν την δυνατότητα να ξαναγραφτούν ή να ενημερωθούν, θεωρείται εγγενές μέρος του υλικού.

Το επόμενο αφορά υλικολογισμικό υψηλού επιπέδου, όπου σε αυτό το επίπεδο το υλικολογισμικό αποθηκεύεται σε ολοκληρωμένο κύκλωμα μνήμης flash η οποία διαθέτει δυνατότητα επανεγγραφής της ώστε να επιτρέπει τις ενημερώσεις. Συχνά περιέχει πιο σύνθετες οδηγίες από το υλικολογισμικό χαμηλού επιπέδου γεγονός που το καθιστά πιο κοντά στο λογισμικό παρά στο υλικό. Τελικά τα υποσυστήματα όπου σε αυτό το επίπεδο γίνεται λόγος για μια συσκευή ή μονάδα η οποία αποτελεί ημιανεξάρτητο τμήμα ενός μεγαλύτερου συστήματος. Επειδή αυτό το επίπεδο υλικολογισμικού περιέχει τον κώδικά του ενσωματωμένο σε ολοκληρωμένο κύκλωμα μνήμης flash, κεντρικής μονάδας επεξεργασίας και μονάδες υγρών κρυστάλλων (Liquid Crystal Diode – LCD) και είναι παρόμοιο με το υλικολογισμικό υψηλού επιπέδου, συχνά μοιάζει με αυτόνομη συσκευή.

Το BIOS, τα μόντεμ και οι κάρτες γραφικών είναι συνήθως κατασκευασμένα έτσι ώστε να είναι εύκολο να ενημερώνονται καθώς η τεχνολογία τους εξελίσσεται με υψηλούς ρυθμούς. Ωστόσο το υλικολογισμικό στις συσκευές αποθήκευσης όπως είναι οι σκληροί δίσκοι και οι μονάδες flash USB συχνά παραβλέπεται. Αυτό συμβαίνει επειδή η λειτουργικότητα της συσκευής αποθήκευσης είναι περιορισμένη και απλή καθιστώντας περιττή την συχνή ενημέρωσή τους. Το υλικολογισμικό αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της τεχνολογίας των ενσωματωμένων συστημάτων και είναι αυτό που προκαλεί σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα να εκκινήσει το υλικό και το λογισμικό του. Χωρίς αυτό οι συσκευές υλικού δεν θα ήταν δυνατό να εκτελέσουν τις διεργασίες τους [34].

Προκειμένου να αναπτυχθεί ένα επιτυχές υλικολογισμικό το οποίο θα μπορεί να εκτελεί με τρόπο κατάλληλο το σύνολο των οδηγιών του θα πρέπει να είναι εξαρχής γνωστό το σε τι είδους υλικό θα αποθηκευτεί και το πώς θα διαχειρίζεται τις θύρες εισόδων και εξόδων του ώστε να αποδίδει και να ανιχνεύει τα κατάλληλα ηλεκτρικά σήματα τα οποία στις εισόδους θα τα ερμηνεύει ως ερεθίσματα τα οποία θα τα επεξεργάζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του υλικολογισμικού ώστε να μπορέσει να αποδώσει στις εξόδους τα κατάλληλα σήματα οδήγησης του υλικού.

### 2.8 Επίλογος

Η μελέτη αποτελεί σημαντικό μέρος της εκτέλεσης κάθε εργασίας ασχέτως με το περιεχόμενο της καθώς αναλύει το ζητούμενο της και καθορίζει τις εργασίες οι οποίες θα οδηγήσουν στην εκπλήρωση του ζητούμενου, αλλά μπορεί επίσης να προβλέψει και ανεπιθύμητες καταστάσεις ώστε να τις αποτρέψει.

Το προς μελέτη ζητούμενο αφορά την υλοποίηση ενός χρονιστή υλικού τύπου ο οποίος θα αποτελεί ένα ενσωματωμένο σύστημα με δυνατότητα ενσύρματης επικοινωνίας η οποία θα μπορεί να αποθηκεύει στην μνήμη της ένα υλικολογισμικό.

Ως ενσωματωμένο σύστημα ορίζεται μία κατασκευή η οποία σχηματίζεται από ένα μέρος υλικού και ένα μέρος λογισμικού, όπου το σύνολο της κατασκευής συνήθως προκύπτει με την συμπερίληψη ενός μικροελεγκτή.

Οι μικροελεγκτές αποτελούν στο σύνολο τους ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα όπως αυτά του οικιακού επιπέδου τα οποία όμως έχουν πολύ πιο περιορισμένες δυνατότητες από άποψη επεξεργαστικής ισχύος, αποθηκευτικού χώρου και εύρους μνήμης. Τα χαρακτηριστικά αυτά τους καθιστούν ως κατάλληλη επιλογή για ενσωματωμένα συστήματα με χαμηλή απαίτηση υπολογιστικών πόρων.

Ως κύκλωμα χαρακτηρίζεται η εδραίωση μίας κλειστής διαδρομής μέσω της οποίας μπορεί να μεταφέρεται από την αρχή της στο τέλος της μία ποσότητα κάποιου σχετικού μεγέθους, είτε υλικού είτε κάτι άλλου, η οποία θα εξαρτάται ως προς την ποσότητα της από τα όρια της διαδρομής την οποία διαρρέει.

Ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα διαφέρει από το ηλεκτρικό κύκλωμα όταν διαθέτει στο σύνολο του δικτύωματος των υλικών του τουλάχιστον ένα ενεργό ηλεκτρονικό στοιχείο όπως είναι τα τρανζίστορ ή τα ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Τα πιο περίπλοκα ηλεκτρονικά κυκλώματα προκύπτουν τα ολοκληρωμένα κυκλώματα των οποίων οι ηλεκτρονικές διατάξεις που τα σχηματίζουν υλοποιούνται στην κλίμακα των νανόμετρων και αποτελούνται από δισεκατομμύρια τρανζίστορ.

Το υλικολογισμικό είναι ένας συγκεκριμένος τύπος λογισμικού το οποίο γράφεται συγκεκριμένα για να δίνει οδηγίες τις οποίες θα εκτελεί το υλικό μέρος μιας συσκευής όπως αυτή ενός μικροελεγκτή ή το BIOS της μητρικής ενός οικιακού ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος.

## **Κεφάλαιο 3ο: Κατασκευή χρονιστή ως ενσωματωμένο σύστημα**

### **3.1 Εισαγωγή**

Όταν σε μία εργασία το ζητούμενο της είναι και η έμπρακτη κατασκευή η οποία θα εκτελεί κάποιες λειτουργίες όπως αυτές ορίζονται από αυτό, τότε το σημαντικότερο και πιο κρίσιμο μέρος της θα είναι αυτό της κατασκευής. Ο λόγος για αυτό είναι ότι η κατασκευή μπορεί να είναι μία αρκετά ιδιαίτερη διαδικασία η οποία απαιτεί να έχει υλοποιηθεί με συνέπεια και προσοχή στην λεπτομέρεια καθώς τα λάθη σε αυτό το στάδιο δεν είναι εύκολο να διορθωθούν και συχνά μπορεί να έχουν κόστος τόσο σε χρηματική αξία, όσο και σε χρόνο. Στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας το ενσωματωμένο σύστημα θα έχει ως υλικό μέρος μία πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος η οποία θα φέρει μία μονάδα μικροελεγκτή σχηματίζοντας ένα σύστημα μικροελεγκτή και το λογισμικό της μέρος το οποίο θα φέρει όλο το έργο της παρούσας εργασίας εις πέρας. Μέσω των δυνατοτήτων της μονάδας μικροελεγκτή το λογισμικό θα εκτελέσει την λειτουργία του χρονιστή ο οποίος θα μπορεί να ρυθμιστεί μέσω του ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος ώστε να μπορεί να μετράει τα ζητούμενα χρονικά διαστήματα.

Επομένως αφού έχει ολοκληρωθεί το στάδιο της μελέτης το οποίο παρέχει όλο το γνωστικό υπόβαθρο για το θεωρητικό σκέλος της εργασίας, το επόμενο βήμα είναι να ξεκινήσει η ανάπτυξη των διάφορων τμημάτων τα οποία θα συνθέσουν το σύνολο της κατασκευής γενικότερα. Καθώς έχει καθοριστεί ότι η κατασκευή θα αφορά ένα ενσωματωμένο σύστημα, αυτό θα αποτελεί στο σύνολο του μία σύνθετη κατασκευή η οποία θα περιλαμβάνει και υλικό αλλά και λογισμικό μέρος. Τα δύο κύρια αυτά μέρη θα πρέπει να αναλυθούν κατάλληλα ως προς την λεπτομέρεια τους ώστε η τελική κατασκευή να αποδώσει τελικά τα αναμενόμενα αποτελέσματα και λειτουργίες έτσι ώστε να εκπληρώνουν τα απαιτούμενα ζητούμενα της εργασίας. Για τον λόγο αυτόν θα υπάρξει ένας μακροσκοπικός σχεδιασμός ο οποίος θα εστιάσει αρχικά στα κύρια μέρη της κατασκευής, τόσο για το υλικό του μέρος, όσο και για το λογισμικό του μέρος. Έπειτα κάθε ένα από αυτά τα μέρη θα αναλυθεί, σχεδιαστεί και αναπτυχθεί σε πιο μικροσκοπική κλίμακα διακρίνοντας και απλοποιώντας όσο το δυνατόν περισσότερο γίνεται την βασική δομή τους της οποίας η πλήρης σύνθεση θα αποδώσει το σύνολο της κατασκευής του ενσωματωμένου συστήματος της παρούσας εργασίας.

Το περιεχόμενο του παρόντος κεφαλαίου θα περιλαμβάνει στο σύνολο του αρχικά τα κύρια και απαραίτητα συμπεράσματα που προκύπτουν από το σύνολο της μελέτης τα οποία θα αποτελέσουν την βάση ανάπτυξης για την πλήρη κατασκευή του ενσωματωμένου συστήματος του. Θα παρέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με το υλικό μέρος της κατασκευής σε υψηλή λεπτομέρεια, καθώς θα κάνει ακριβώς το ίδιο και για το λογισμικό μέρος της κατασκευής. Θα καλύψει επίσης με λεπτομέρεια όλη την διαδικασία της ανάπτυξης της κατασκευής ως προς το υλικό της μέρος αλλά ακόμη και για το λογισμικό της μέρος. Τελικά θα επιδείξει τη συνολική κατασκευή ενώ αυτή θα βρίσκεται σε κατάσταση λειτουργίας αλλά και ότι η λειτουργία της πραγματοποιείται όπως αυτή αναμένεται να λειτουργήσει.

Κατά την ολοκλήρωση του παρόντος κεφαλαίου θα πρέπει να έχει αποσαφηνιστεί με όσο το δυνατόν μεγαλύτερη λεπτομέρεια γίνεται ο πλήρης σχεδιασμός του ενσωματωμένου συστήματος χρονιστή ως προς το υλικό του μέρος και ως προς το λογισμικό του μέρος, να έχει εξηγηθεί η χρήση του υλικού του μέρους, να παρουσιαστεί η όλη διαδικασία ανάπτυξης όλων των μερών του και να έχει παρουσιαστεί η επιτυχής εκτέλεση των λειτουργιών του όπως αυτές τέθηκαν από τα ζητούμενα της εργασίας.

### 3.2 Από την μελέτη στην ανάπτυξη της κατασκευής

Το στάδιο της μελέτης μπόρεσε να παρέχει πλήρη εικόνα ως προς το γνωστικό περιεχόμενο το οποίο απαιτείται για την ανάπτυξη της συγκεκριμένης κατασκευής της οποίας το πλαίσιο την τοποθετεί ως μία συσκευή ενός ενσωματωμένου συστήματος, η οποία συνδυάζει ένα υλικό μέρος του οποίου οι λειτουργίες θα ελέγχονται από ένα πρόγραμμα λογισμικού. Το υλικό του θα αποδοθεί αρχικά στην μορφή ενός μπλοκ διαγράμματος το οποίο θα παρουσιάσει στα κύρια μέρη του συνολικού υλικού καθώς και το πώς συσχετίζονται αυτά μεταξύ τους. Αντίστοιχα το λογισμικό μέρος του θα αποδοθεί αρχικά στην μορφή ενός διαγράμματος ροής το οποίο θα παρουσιάσει στα κύρια μέρη το συνολικό πρόγραμμα του λογισμικού και των μεταξύ τους συσχετισμό σχηματίζοντας έναν αλγόριθμο της λειτουργίας του όσο αυτό θα εκτελείται.

#### 3.2.1 Μπλοκ διάγραμμα της κατασκευής

Όταν γίνεται λόγος για μπλοκ διάγραμμα συγκεκριμένα, αφορά ένα διάγραμμα ενός συστήματος στο οποίο τα κύρια μέρη του ή έστω συναρτήσεις του αντιπροσωπεύονται από μπλοκ ή σχήματα τα οποία συνδέονται μεταξύ τους συνήθως με γραμμές οι οποίες αποδίδουν τις σχέσεις που έχουν μεταξύ τους τα μπλοκ. Τα μπλοκ διαγράμματα χρησιμοποιούνται κατά κόρον στον χώρο της μηχανικής στον σχεδιασμό υλικού, στον ηλεκτρονικό σχεδιασμό, στον σχεδιασμό λογισμικού και στα διαγράμματα ροής διεργασιών. Τα μπλοκ διαγράμματα χρησιμοποιούνται επίσης συνήθως για μακροσκοπικές περιγραφές υψηλότερου επιπέδου οι οποίες είναι λιγότερο λεπτομερείς οι οποίες αποσκοπούν στην αποσαφήνιση των συνολικών εννοιών ως προς τις μεταξύ τους σχέσεις χωρίς να εστιάζουν υπερβολικά στις λεπτομέρειες της υλοποίησής τους. Μπορούν εύκολα να συγκριθούν ως προς την αναλογία με τα σχηματικά διαγράμματα αλλά και τα διαγράμματα διάταξης τα οποία χρησιμοποιούνται στον χώρο της ηλεκτρικής μηχανικής τα οποία αποδίδουν τις λεπτομέρειες υλοποίησης των ηλεκτρικών εξαρτημάτων αλλά και τη φυσική τους κατασκευή.

Για παράδειγμα ένα μπλοκ διάγραμμα μιας ηλεκτρονικής συσκευής δεν αναμένεται να εμφανίζει την κάθε σύνδεση, το κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο και τον κάθε διακόπτη όπως αυτά θα απεικονίζονταν σε ένα ηλεκτρονικό σχηματικό διάγραμμα. Το ηλεκτρονικό σχηματικό διάγραμμα μιας ηλεκτρονικής συσκευής δεν απεικονίζει το πλάτος κάθε αγωγού σύνδεσης στην πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος αλλά το διάγραμμα της διάταξης το απεικονίζει. Για παράδειγμα μια αναλογία σε σχέση με τον χώρο της χαρτογράφησης, ένα μπλοκ διάγραμμα είναι παρόμοιο με έναν χάρτη αυτοκινητοδρόμων μιας ολόκληρης επικράτειας όπου οι μεγάλες πόλεις αναφέρονται σε αυτόν αλλά οι δευτερεύουσας σημασίας επαρχιακοί δρόμοι, όπως και οι δρόμοι της ίδιας της πόλης δεν αναφέρονται σε αυτόν.

Η εφαρμογή αυτή παρέχει αρκετά πλεονεκτήματα όπως κατά την αντιμετώπιση προβλημάτων όπου αυτός ο χάρτης υψηλού επιπέδου είναι χρήσιμος για τον αρχικό περιορισμό και την απομόνωση της θέσης ενός προβλήματος ή σφάλματος συμβάλλοντας στην μείωση του χρόνου εντοπισμού του. Τα μπλοκ διαγράμματα βασίζονται στην αρχή λειτουργίας ενός μαύρου κουτιού του οποίου τα περιεχόμενα κάποιας συγκεκριμένης κλίμακας παρατήρησης τους είναι κρυμμένα από το οπτικό πεδίο είτε για να αποφευχθεί η απόσπαση της προσοχής από τις λεπτομέρειες είτε επειδή οι λεπτομέρειες δεν είναι γνωστές. Είναι γνωστή η πληροφορία που εισάγεται σε αυτό, καθώς επίσης είναι γνωστή και η πληροφορία η οποία εξάγεται από αυτό αλλά δεν αποκαλύπτεται ο τρόπος με τον οποίο εκτελούνται οι εσωτερικές διεργασίες του [35].

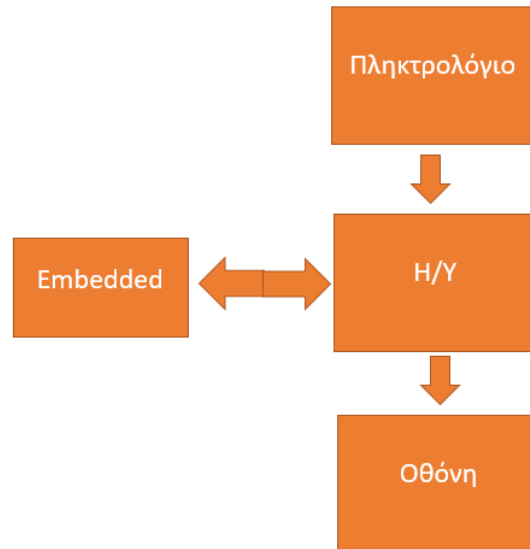
Στον χώρο της ηλεκτρικής μηχανικής μια σχεδίαση εκκινείται συχνά ως ένα μπλοκ διάγραμμα πολύ υψηλού επιπέδου το οποίο σχεδιάζεται συνεχώς εκ' νέου ώστε να γίνεται όλο και πιο λεπτομερές ως προς τα μπλοκ διαγράμματα του καθώς εξελίσσεται ο σχεδιασμός του καταλήγοντας τελικά σε μπλοκ

διαγράμματα αρκετά λεπτομερή ώστε κάθε μεμονωμένο μπλοκ να μπορεί να εφαρμοστεί όσο πιο απλά και εύκολα καθώς στο σημείο αυτό το μπλοκ το διάγραμμα έχει απλοποιηθεί στο μέγιστο δυνατόν ώστε επίσης να σχηματίζει ένα σχηματικό διάγραμμα. Αυτό είναι γνωστό και ως σχέδιο από πάνω προς τα κάτω.

Τα γεωμετρικά σχήματα χρησιμοποιούνται συχνά στο περιεχόμενο του διαγράμματος ώστε να βοηθήσουν στην ερμηνεία και να διευκρινίσουν το νόημα της διαδικασίας ή του μοντέλου το οποίο σχηματίζουν. Τα γεωμετρικά σχήματα συνδέονται με γραμμές για να υποδείξουν τη συσχέτιση και την κατεύθυνση ή την σειρά διέλευσης των διάφορων ενεργειών. Κάθε κλάδος της μηχανικής παρέχει στα γεωμετρικά σχήματα τη δική του ερμηνεία για το κάθε σχήμα αλλά γενικά τα μπλοκ διαγράμματα χρησιμοποιούνται σε κάθε κλάδο της μηχανικής. Αποτελούν επίσης πολύτιμη πηγή σύλληψης και οικοδόμησης ιδεών και είναι εκπαιδευτικά ωφέλιμα σε μη μηχανικούς κλάδους.

Στον έλεγχο διεργασιών τα μπλοκ διαγράμματα είναι μια οπτική γλώσσα για την περιγραφή ενεργειών σε ένα σύνθετο σύστημα στο οποίο τα μπλοκ είναι μαύρα κουτιά τα οποία αντιπροσωπεύουν μαθηματικές ή λογικές πράξεις που πραγματοποιούνται με τη σειρά, συνήθως από αριστερά προς τα δεξιά και από πάνω προς τα κάτω, αλλά όχι το φυσικό υλικό όπως είναι για παράδειγμα οι επεξεργαστές ή οι ηλεκτρονόμοι οι οποίοι εκτελούν αυτές τις λειτουργίες. Είναι δυνατή η δημιουργία τέτοιων μπλοκ διαγραμμάτων και η υλοποίηση της λειτουργικότητάς τους με εξειδικευμένες γλώσσες προγραμματισμού όπως για παράδειγμα αυτές ενός προγραμματιζόμενου λογικού ελεγκτή (Programmable Logical Controller - PLC). Στον επιστημονικό χώρο της βιολογίας παρατηρείται αυξανόμενη χρήση των αρχών μηχανικής όπως τεχνικών ανάλυσης και μεθόδων διαγραμμάτων. Συγκεκριμένα παρατηρείται κάποια ομοιότητα μεταξύ του μπλοκ διαγράμματος και αυτού που ονομάζεται γραφική σημείωση βιολογίας συστημάτων η οποία ως έχει χρησιμοποιείται στη βιολογία συστημάτων η τεχνική του μπλοκ διαγράμματος η οποία αξιοποιείται από τη μηχανική ελέγχου όπου η τελευταία είναι η ίδια εφαρμογή με αυτήν της θεωρίας ελέγχου. Ένα παράδειγμα αυτού είναι το μπλοκ διάγραμμα συναρτήσεων το οποίο αποτελεί μία από τις πέντε γλώσσες προγραμματισμού που ορίζονται στο μέρος 3 του προτύπου IEC 61131 το οποίο είναι εξαιρετικά επισημοποιημένο με αυστηρούς κανόνες σχετικά με το πώς θα πρέπει να είναι δομημένα τα διαγράμματα γενικότερα. Οι κατευθυνόμενες γραμμές χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μεταβλητών εισόδου σε μπλοκ εισόδους και αποκλεισμού εξόδων με μεταβλητές εξόδου και εισόδους άλλων μπλοκ [36].

Το μπλοκ διάγραμμα του ενσωματωμένου συστήματος το οποίο υλοποιείται από τα ζητούμενα της παρούσας εργασίας εκφράζεται στο σχήμα 3.1 το οποίο απεικονίζει μακροσκοπικά το σύνολο του συστήματος όπως αυτό θα λειτουργεί στα κύρια του μέρη.



Σχήμα 3-1: Μπλοκ διάγραμμα ενσωματωμένου συστήματος χρονιστή

Στο οποίο διακρίνονται τα βασικά τμήματα του ενσωματωμένου συστήματος τα οποία είναι το σύστημα του μικροελεγκτή και το ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα στο οποίο υπάρχουν συνδεδεμένες δύο περιφερειακές συσκευές, η οθόνη και το πληκτρολόγιο. Συγκεκριμένα ο τρόπος λειτουργίας του ενσωματωμένου συστήματος περιγράφεται με το σύστημα του μικροελεγκτή να δέχεται την παραμετροποίηση του από το ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα το οποίο ανιχνεύει την παραμετροποίηση από την περιφερειακή συσκευή του πληκτρολογίου. Όταν το σύστημα μικροελεγκτή εκκινήσει την εκτέλεση της λειτουργίας του ως χρονιστής, θα οδηγεί την πληροφορία του προς το ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα το οποίο τελικά θα απεικονίζει την τρέχουσα πληροφορία στην περιφερειακή συσκευή της οθόνης.

### 3.2.2 Διάγραμμα ροής

Το διάγραμμα ροής είναι το εργαλείο με το οποίο μπορεί να εκφραστεί ένας αλγόριθμος. Στον χώρο των μαθηματικών αλλά και στον χώρο της επιστήμης των υπολογιστών ένας αλγόριθμος περιγράφεται ως μια πεπερασμένη ακολουθία αυστηρά δομημένων εντολών ο οποίος συνήθως χρησιμοποιείται για την επίλυση μιας κατηγορίας συγκεκριμένων προβλημάτων ή για την εκτέλεση ενός υπολογισμού ή ενός προγράμματος.

Οι αλγόριθμοι χρησιμοποιούνται ως εργαλεία σχεδίασης και δόμησης προτεραιοτήτων για την εκτέλεση υπολογισμών και την επεξεργασία δεδομένων. Μέσω χρήσης της τεχνητής νοημοσύνης οι αλγόριθμοι μπορούν να εκτελούν αυτοματοποιημένες ενέργειες οι οποίες αναφέρονται και ως αυτοματοποιημένη συλλογιστική καθώς έχουν την ικανότητα να παίρνουν αποφάσεις ως προς την βέλτιστη επιλογή ανάλογα την κατάσταση που αντιμετωπίζουν και να χρησιμοποιούν μαθηματικά και λογικά τεστ για να μπορούν να εκτρέψουν την εκτέλεση του κώδικα μέσω διαφόρων οδών το οποίο αναφέρεται και ως αυτοματοποιημένη λήψη αποφάσεων.

Η ερμηνεία των ανθρώπινων χαρακτηριστικών ως περιγραφών μηχανών ή λειτουργιών με μεταφορικούς τρόπους ασκήθηκε από τον Άλαν Τούρινγκ εφαρμόζοντας όρους όπως η μνήμη, η αναζήτηση και το ερέθισμα. Αντίστοιχα η ευρετική μεθοδολογία είναι μια προσέγγιση στην επίλυση προβλημάτων πραγματικού κόσμου η οποία μπορεί να μην είναι πλήρως καθορισμένη ή μπορεί ακόμη και να μην εγγυάται σωστά ή βέλτιστα αποτελέσματα ειδικά σε τύπους προβλημάτων στους οποίους

δεν υπάρχει καλά καθορισμένο σωστό ή βέλτιστο αποτέλεσμα. Ως αποτελεσματική μέθοδος επίλυσης προβλημάτων είναι αυτή όπου ένας αλγόριθμος μπορεί να εκφραστεί εντός ενός πεπερασμένου χώρου και χρόνου και σε μια καλά καθορισμένη επίσημη γλώσσα προγραμματισμού για τον υπολογισμό μιας συνάρτησης. Ξεκινώντας από μια αρχική κατάσταση και αρχική είσοδο η οποία ενδεχομένως να είναι και κενή οι οδηγίες του προγράμματος περιγράφουν μία διαδικασία ή μία αλληλουχία η οποία όταν εκτελείται προχωρά μέσω ενός πεπερασμένου αριθμού καλά καθορισμένων διαδοχικών καταστάσεων παράγοντας τελικά την επιθυμητή ή κατάλληλη έξοδο η οποία τερματίζει σε μια τελική κατάσταση. Η μετάβαση από τη μια κατάσταση στην επόμενη δεν είναι απαραίτητα καθοριστική καθώς ορισμένοι αλγόριθμοι οι οποίοι είναι γνωστοί ως τυχαίοι αλγόριθμοι μπορούν να ενσωματώνουν τυχαία είσοδο [37].

Οι αλγόριθμοι κρίνονται απαραίτητοι για τον τρόπο με τον οποίο τα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα επεξεργάζονται τα δεδομένα που εισάγονται σε αυτά. Πολλά προγράμματα ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων περιέχουν αλγόριθμους η οποίοι περιγράφουν λεπτομερώς τις συγκεκριμένες και κατάλληλες οδηγίες τις οποίες θα πρέπει να εκτελέσει ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα με συγκεκριμένη σειρά για να μπορέσει να εκτελέσει μια συγκεκριμένη εργασία όπως για παράδειγμα τον υπολογισμό της ημερήσιας κατανάλωσης καυσίμων ενός πρατήριου υγρών καυσίμων, τον μέσο όρο θερμοκρασιών ενός μήνα ή την επίδοση βαθμών των μαθητών μίας τάξης λυκείου. Με αυτόν τον τρόπο ένας αλγόριθμος μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι οποιαδήποτε ακολουθία πράξεων η οποία μπορεί να προσομοιωθεί από ένα πλήρες σύστημα Turing.

Οι συγγραφείς που υποστηρίζουν αυτή τη διατριβή περιλαμβάνουν τους Minsky (1967), Savage (1987) και Gurevich (2000). Συγκεκριμένα ο Minsky είπε σχετικά: “Αλλά θα υποστηρίξουμε επίσης ότι κατά τον Τούρινγκ ότι οποιαδήποτε διαδικασία θα μπορούσε “εκ φύσεως” να ονομαστεί αποτελεσματική και ότι μπορεί στην πραγματικότητα να πραγματοποιηθεί από μια απλή μηχανή. Αν και αυτό μπορεί να φαίνεται ακραίο, τα επιχειρήματα υπέρ της είναι δύσκολο να αντικρουστούν”. Επίσης ο Gurevich είπε σχετικά: “Το άτυπο επιχείρημα του Turing υπέρ της διατριβής του δικαιολογεί μια ισχυρότερη θέση, ότι ο κάθε αλγόριθμος μπορεί να προσομοιωθεί από μια μηχανή Turing και σύμφωνα με τον Savage [1987] ένας αλγόριθμος είναι μια υπολογιστική διαδικασία που ορίζεται από μια μηχανή Turing” [38].

Οι μηχανές Turing μπορούν επίσης να ορίσουν υπολογιστικές διαδικασίες οι οποίες δεν τερματίζονται οδηγώντας τις σε μία επαναλαμβανόμενη εκτέλεση κλειστού βρόγχου. Παρόλα αυτά οι άτυποι κανόνες των αλγορίθμων απαιτούν γενικά ένας αλγόριθμος να μπορεί να τερματίζεται πάντα. Αυτή η απαίτηση καθιστά το καθήκον να παρθεί μία απόφαση για το εάν μια επίσημη διαδικασία είναι ένας αδύνατος αλγόριθμος κατά την γενική περίπτωση σύμφωνα με ένα σημαντικό θεώρημα της υπολογιστικής θεωρίας το οποίο είναι και γνωστό ως το πρόβλημα διακοπής.

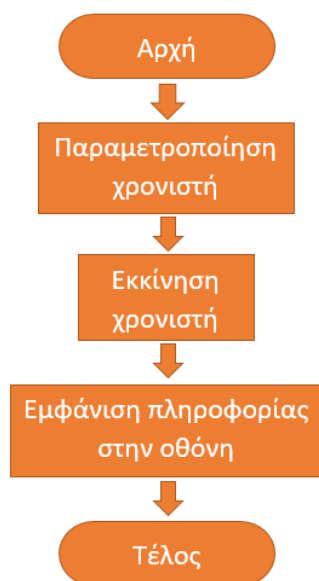
Συνήθως όταν ένας αλγόριθμος συσχετίζεται με πληροφορίες επεξεργασίας τα δεδομένα από κάποια πηγή είναι δυνατόν να μπορούν να διαβαστούν από μια είσοδο, να εγγραφούν μέσω κάποιας εξόδου σε μία περιφερειακή συσκευή και ακόμη να αποθηκευτούν για περαιτέρω επεξεργασία εάν αυτό είναι αναγκαίο. Επίσης τα αποθηκευμένα δεδομένα θεωρούνται ως μέρος της εσωτερικής κατάστασης της οντότητας που εκτελεί τον αλγόριθμο. Στην πράξη όμως η κατάσταση αποθηκεύεται σε μία ή και σε περισσότερες δομές δεδομένων. Για ορισμένες από αυτές τις υπολογιστικές διαδικασίες ο αλγόριθμος πρέπει να οριστεί αυστηρά. Αυτό σημαίνει πως θα πρέπει να προσδιορίζεται με τον τρόπο που θα εφαρμόζεται σε όλες τις πιθανές καταστάσεις οι οποίες θα μπορούσαν να προκύψουν. Αυτό με την σειρά του σημαίνει ότι οποιαδήποτε βήματα του, υπό συγκεκριμένους όρους, θα πρέπει να αντιμετωπίζονται συστηματικά κατά περίπτωση.

Τα κριτήρια για κάθε δυνατή περίπτωση είναι απαραίτητο να είναι σαφή και φυσικά υπολογίσιμα. Ακριβώς επειδή ένας αλγόριθμος είναι ουσιαστικά μια ακριβής λίστα αλληλουχίας εκτελέσεων διακριτών λειτουργιών και συναρτήσεων με ακριβή βήματα η σειρά προτεραιότητας των υπολογισμών τους είναι πάντοτε κρίσιμη για την ορθή λειτουργία του αλγορίθμου. Οι εντολές και οι συναρτήσεις αυτές συνήθως θεωρείται ότι αναφέρονται ρητά εντός κάποιων γεωμετρικών σχημάτων και περιγράφονται στην δομή του διαγράμματος ροής ως εκκίνηση από την κορυφή και εκτελούνται κατά βήμα με φορά προς τα κάτω, μια πρακτική η οποία περιγράφεται πιο επίσημα από τη ροή ελέγχου. Μέχρι αυτό το σημείο η περιγραφή για τον σχηματισμό ενός αλγορίθμου υποθέτει τις προϋποθέσεις του επιτακτικού προγραμματισμού και αυτή είναι η πιο κοινή αντίληψη, αυτή η οποία επιχειρεί να περιγράψει μια εργασία με διακριτά γεωμετρικά σχήματα. Μοναδική σε αυτήν την αντίληψη των επίσημων αλγορίθμων είναι ο τελεστής ανάθεσης ο οποίος ορίζει την τιμή μιας μεταβλητής. Η λειτουργία αυτή προέρχεται από την αντίληψη της μνήμης ως αποτύπωμα.

Οι αλγόριθμοι είναι δυνατόν να εκφραστούν με πολλά είδη περιγραφών συμπεριλαμβανομένων των φυσικών γλωσσών, του ψευδοκώδικα, των διαγραμμάτων ροής, των διαγραμμάτων *drakon*, των γλωσσών προγραμματισμού ή των πινάκων ελέγχου οι οποίοι είναι επεξεργασμένοι από διερμηνείς. Οι εκφράσεις των αλγορίθμων στη φυσική γλώσσα τείνουν να είναι περιεκτικές και διφορούμενες και σπάνια χρησιμοποιούνται για σύνθετους ή τεχνικούς αλγόριθμους.

Ο ψευδοκώδικας, τα διαγράμματα ροής, τα γραφήματα *drakon* και οι πίνακες ελέγχου αφορούν δομημένους τρόπους έκφρασης αλγορίθμων οι οποίοι αποφεύγουν πολλές από τις ασάφειες οι οποίες είναι κοινές στις δηλώσεις που βασίζονται στη φυσική γλώσσα. Οι γλώσσες προγραμματισμού προορίζονται κυρίως για την έκφραση αλγορίθμων σε μορφή που μπορεί να εκτελεστεί από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα αλλά συχνά χρησιμοποιούνται και ως τρόπος ορισμού ή τεκμηρίωσης αλγορίθμων [39].

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας η οποία θα περιέχει ως μέρος του ενσωματωμένου συστήματος της και λογισμικό μέρος, αυτό θα πρέπει να εκφραστεί ως αλγόριθμος με την χρήση ενός διαγράμματος ροής όπως αυτό φαίνεται παρακάτω στο σχήμα 3.2.



Σχήμα 3-2: Διάγραμμα ροής λειτουργίας αλγόριθμου χρονιστή

Στο σχήμα αυτό διακρίνεται αναλυτικά η μακροσκοπική περιγραφή του λογισμικού μέρους σε μορφή διαγράμματος ροής το οποίο περιγράφει έναν ολοκληρωμένο αλγόριθμο. Στο γεωμετρικό σχήμα το οποίο περιγράφεται συνοπτικά ως παραμετροποίηση χρονιστή συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργίες που περιγράφουν αυτήν την διεργασία όπως η χρήση πληκτρολογίου σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα το οποίο επικοινωνεί με το ενσωματωμένο σύστημα μέσω ενσύρματου σειριακού πρωτοκόλλου ώστε να του τις μεταδώσει. Το γεγονός ότι βρίσκεται σε σειρά αμέσως από κάτω από το γεωμετρικό σχήμα του διαγράμματος ροής το οποίο περιγράφεται συνοπτικά ως αρχή σημαίνει πως θα είναι η πρώτη λειτουργία η οποία θα εκτελεστεί από το λογισμικό.

Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η λειτουργία τότε το λογισμικό θα συνεχίσει την εκτέλεση του μεταβαίνοντας στο επόμενο σύνολο εντολών το οποίο στο διάγραμμα ροής είναι το γεωμετρικό σχήμα το οποίο περιγράφεται συνοπτικά ως Εκκίνηση λειτουργίας χρονιστή στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργίες οι οποίες περιγράφουν αυτήν την διεργασία όπως η χρήση του ρολογιού ώστε να μετρήσει με υψηλή χρονική ακρίβεια το χρονικό διάστημα για το οποίο παραμετροποιήθηκε. Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η λειτουργία τότε το λογισμικό θα συνεχίσει την εκτέλεση του μεταβαίνοντας στο επόμενο σύνολο εντολών το οποίο στο διάγραμμα ροής είναι το γεωμετρικό σχήμα το οποίο περιγράφεται συνοπτικά ως Εμφάνιση πληροφορίας στην οθόνη στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργίες οι οποίες περιγράφουν αυτήν την διεργασία όπως η προώθηση της πληροφορίας του χρόνου από το ενσωματωμένο σύστημα μέσω του ενσύρματου σειριακού πρωτοκόλλου προς το ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα ώστε αυτό να την εμφανίσει στην περιφερειακή συσκευή οθόνης την οποία ελέγχει.

Μόλις ολοκληρωθεί αυτή η λειτουργία τότε το λογισμικό θα συνεχίσει την εκτέλεση του μεταβαίνοντας στο επόμενο σύνολο εντολών το οποίο στο διάγραμμα ροής είναι το γεωμετρικό σχήμα το οποίο περιγράφεται συνοπτικά ως Ολοκλήρωση λειτουργίας χρονιστή στο οποίο συμπεριλαμβάνονται οι λειτουργίες οι οποίες περιγράφουν αυτήν την διεργασία όπως Ολοκλήρωση λειτουργίας χρονιστή όπου θα εκτελέσει την διακοπή της μέτρησης του χρονιστή όταν αυτός θα έχει φτάσει την παραμετροποιημένη τιμή τερματισμού της διεργασίας.

### 3.3 Ανάπτυξη του υλικού μέρους

Με βάση το μπλοκ διάγραμμα το οποίο περιγράφει μακροσκοπικά τα διακριτά τμήματα τα οποία στο σύνολο τους συνθέτουν το σύνολο της κατασκευής μπορεί να αναλυθεί με μικροσκοπικό τρόπο το κάθε ένα ως προς το περιεχόμενο του έτσι ώστε να υλοποιηθεί τελικά η ανάπτυξη της κατασκευής του ενσωματωμένου συστήματος. Σύμφωνα με το μπλοκ διάγραμμα από τα τέσσερα διακριτά τμήματα του ενσωματωμένου συστήματος αυτό το οποίο απαιτεί να αναλυθεί μικροσκοπικά είναι αυτό του συστήματος μικροελεγκτή.

Ως υλικό μέρος θα αποτελείται από ένα σύνολο ηλεκτρονικών στοιχείων τα οποία θα πρέπει να συνδεθούν σε διατάξεις τα οποία θα σχηματίσουν όχι μόνο ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα, αλλά ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο θα μπορεί να εκτελεί τις απαιτούμενες διεργασίες όπως αυτές ορίζονται από τα ζητούμενα της παρούσας εργασίας. Επομένως στις επόμενες ενότητες θα παρουσιαστούν και περιγραφούν αρχικά τα τμήματα που συνθέτουν το σύστημα μικροελεγκτή μακροσκοπικά ως προς τις διατάξεις του κυκλώματος με την βοήθεια ενός μπλοκ διαγράμματος, το οποίο θα αναλυθεί έπειτα μικροσκοπικά ως ηλεκτρονικό σχηματικό το οποίο θα υλοποιεί την λειτουργία της κάθε διάταξης, αφού πρώτα περιγραφούν τα υλικά που θα το συνθέτουν ως προς τον τρόπο λειτουργίας τους και τον τρόπο που θα λειτουργήσουν κατά την συνδεσμολογία τους.

Το μπλοκ διάγραμμα θα περιέχει αρχικά το ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή γύρω από το οποίο θα συνδεσμολογηθούν οι κατάλληλες διατάξεις οι οποίες θα σχηματίσουν το συνολικό κύκλωμα το οποίο θα εκτελεί την λειτουργία του χρονιστή. Όπως ήδη αναφέρθηκε το ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή το οποίο θα υλοποιήσει τις ανάγκες του υλικού μέρους θα είναι ο ATSAM3X8E ο οποίος κατασκευάζεται από την εταιρεία ATMEL και το ίδιο το ολοκληρωμένο κύκλωμα συσκευής μικροελεγκτή είναι κατασκευασμένο κατά την αρχιτεκτονική ARM, το οποίο φαίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχήμα 3-3: Ο μικροελεγκτής ATSAM3X8E

Του οποίου οι ακροδέκτες εκτελούν ο κάθε ένας και συγκεκριμένη λειτουργία πλήρως ανταποκρινόμενη κατά τον συγκεκριμένο εσωτερικό σχεδιασμό των ηλεκτρονικών διατάξεων του ολοκληρωμένου κυκλώματος. Το πλήρες σύστημα μικροελεγκτή περιλαμβάνει έναν αριθμό περιφερειακών συσκευών μέσω των οποίων μπορεί να αλληλοεπιδράει με το περιβάλλον με διάφορους τρόπους. Το σύστημα απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.



Σχήμα 3-4: Το σύστημα μικροελεγκτή Arduino DUE το οποίο φέρει το ολοκληρωμένο ATSAM3X8E

Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει μία περιφερειακή συσκευή μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό ακρίβειας 12bit, γεγονός που τον κάνει στην κατηγορία του ένα σύστημα αρκετά υψηλής ακρίβειας η οποία ικανοποιεί κατά πολύ τις απαιτήσεις της παρούσας εργασίας, Γενικά το σύστημα αυτό διαθέτει 78 ακροδέκτες οι οποίοι αφορούν λειτουργίες GPIO, αναλογικών εισόδων/εξόδων, σειριακής επικοινωνίας, παλμών ρολογιού και τροφοδοσίας. Παρόλο που μπορεί να αποδώσει ψηφιακά σήματα τάσης 5V, ο προκαθορισμένος σχεδιασμός του συστήματος αποδίδει τάσεις ψηφιακών σημάτων των 3,3V. Το μπλοκ διάγραμμα του συστήματος μικροελεγκτή απεικονίζεται στο σχήμα 3.5.



Σχήμα 3-5: Μπλοκ διάγραμμα συστήματος μικροελεγκτή χρονιστή

Στο οποίο μπλοκ διάγραμμα διακρίνεται και η επιρροή του κάθε συστήματος με την βοήθεια των βέλων όπου ο μικροελεγκτής παραχωρεί την δυνατότητα παροχής παλμών ρολογιού, ο μικροελεγκτής με την σειριακή θύρα USB διατηρεί αμφίδρομη επικοινωνία, ο μικροελεγκτής δέχεται μέσω των αναλογικών εισόδων του αναλογικά σήματα τα οποία έχουν μετατραπεί σε ψηφιακά μέσω του αναλογικού σε ψηφιακού σήματος μετατροπέα, ο μικροελεγκτής αποδίδει μέσω του μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικού σήματος μετατροπέα αναλογικά σήματα εξόδου και τέλος μέσω των εισόδων/εξόδων γενικού σκοπού μπορεί να δέχεται και να αποδίδει σήματα διάφορων τύπων, αναλόγως την εφαρμογή για την οποία προορίζεται να λειτουργήσει. .

Με την κατασκευή του μπλοκ διαγράμματος είναι πλέον ξεκάθαρες οι ηλεκτρονικές διατάξεις σε μακροσκοπική κλίμακα οι οποίες συνθέτουν το κύκλωμα του συστήματος μικροελεγκτή. Τυπικά το επόμενο βήμα θα ήταν η επεξήγηση της κάθε διάταξης σε μικροσκοπική κλίμακα αναλύοντας τες με διακριτά ηλεκτρονικά στοιχεία. Προκειμένου να συμβεί αυτό προκύπτει απαραίτητη η επεξήγηση των ηλεκτρονικών στοιχείων που θα χρησιμοποιηθούν ως προς τις αρχές λειτουργίας τους, αλλά και σε σχέση με την μεταξύ τους διασύνδεση σε δικτυώματα.

Η μεταξύ συνδεσμολογία δύο ή και περισσότερων στοιχείων είναι απαραίτητη να εξηγηθεί καθώς από αυτήν την λεπτομέρεια θα προκύψουν τα κατάλληλα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά τα οποία θα επιτρέψουν την επιθυμητή λειτουργία του κυκλώματος και των διατάξεων που το αποτελούν. Τα

ηλεκτρονικά στοιχεία των δύο ακροδεκτών αλλά και τα ηλεκτρικά δίκτυα είναι δυνατόν να συνδεθούν είτε σε σειρά μεταξύ τους συνδεσμολογία, είτε σε παράλληλη μεταξύ τους συνδεσμολογία. Το ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό δικτύωμα το οποίο θα προκύψει θα έχει δύο τερματικά το οποίο θα μπορεί να συμμετέχει σε μια κατά σειρά ή κατά παράλληλα τοπολογία. Το αν ένα αντικείμενο δύο ακροδεκτών θα είναι ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό εξάρτημα ή ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό δίκτυο είναι θέμα προσωπικής προοπτικής.

Στην παρούσα εργασία θα χρησιμοποιείται ο όρος ηλεκτρονικό στοιχείο ως αναφορά σε ένα αντικείμενο δύο ακροδεκτών οι οποίοι θα συμμετέχουν στα δίκτυα σειρών και/ή παράλληλων συνδεσμολογιών. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία είναι συνδεσμολογημένα σε σειρά συνδέονται κατά μήκος μιας ενιαίας ηλεκτρικής διαδρομής και κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο έχει το ίδιο ρεύμα μέσω αυτού ίσο με το ρεύμα μέσω του δικτύου σε κάθε του σημείο. Αντίστοιχα η διαφορά δυναμικού τάσης στο κατά σειρά δικτύωμα είναι ίση με το άθροισμα των πτώσεων τάσης σε κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία είναι συνδεσμολογημένα σε παράλληλα συνδέονται κατά μήκος πολλαπλών διαδρομών και κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο έχει την ίδια διαφορά δυναμικού τάσης σε αυτό ίση με την τάση στο δικτύωμα. Το ρεύμα διαμέσου του παράλληλου δικτύου είναι ίσο με το άθροισμα των ρευμάτων που διέρχονται από κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο.

Οι δύο προηγούμενες δηλώσεις προκύπτουν μεν ισοδύναμες εκτός από την εναλλαγή του ρόλου της τάσης και του ρεύματος. Ένα κύκλωμα που αποτελείται αποκλειστικά από ηλεκτρονικά στοιχεία συνδεδεμένα μεταξύ τους σε σειρά είναι γνωστό ως κύκλωμα σειράς ή απλώς βρόγχος ηλεκτρονικών στοιχείων. Ομοίως ένα κύκλωμα το οποίο είναι συνδεδεμένο εντελώς παράλληλα είναι γνωστό και ως παράλληλο κύκλωμα. Συνήθως τα περισσότερα κυκλώματα μπορούν να αναλυθούν ως συνδυασμός σειρών και παράλληλων κυκλωμάτων μαζί με άλλες διαμορφώσεις. Σε ένα κύκλωμα το οποίο είναι συνδεσμολογημένο σε σειρά το ρεύμα που ρέει μέσω καθενός από τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι το ίδιο και η διαφορά δυναμικού τάσης στο κύκλωμα είναι το άθροισμα των μεμονωμένων πτώσεων τάσης σε κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο.

Σε ένα κύκλωμα το οποίο είναι παράλληλα συνδεσμολογημένο η τάση σε κάθε ένα από τα ηλεκτρονικά στοιχεία είναι η ίδια και το συνολικό ρεύμα είναι το άθροισμα των ρευμάτων που διαρρέουν το κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο. Αν για παράδειγμα ληφθεί υπόψιν ένα πολύ απλό κύκλωμα το οποίο θα αποτελείται από δέκα λαμπτήρες και μια μπαταρία αυτοκινήτου διαφοράς δυναμικού τάσης ίσης με 12V και εάν ένα καλώδιο ενώνει τον θετικό πόλο της μπαταρίας σε έναν λαμπτήρα, στον επόμενο λαμπτήρα, στον επόμενο λαμπτήρα μέχρι τον δέκατο λαμπτήρα και τελικά επιστρέφει πίσω στον αρνητικό πόλο της μπαταρίας σε έναν συνεχή βρόχο, οι λαμπτήρες θεωρούνται ότι βρίσκονται σε σειρά συνδεσμολογημένοι. Εάν κάθε λαμπτήρας είναι συνδεδεμένος με την μπαταρία σε ξεχωριστό βρόχο τότε οι λαμπτήρες θεωρούνται ότι βρίσκονται σε παράλληλη συνδεσμολογία. Εάν οι δέκα λαμπτήρες συνδέονται σε κατά σειρά συνδεσμολογία το ίδιο ρεύμα διέρχεται από όλους τους λαμπτήρες ενώ η πτώση τάσης θα είναι 1,2V σε κάθε λαμπτήρα η οποία πολύ πιθανόν να μην είναι επαρκής για να τους οδηγήσει σε κατάσταση φωτισμού. Εάν οι λαμπτήρες συνδέονται μεταξύ τους με παράλληλη συνδεσμολογία τότε τα ρεύματα μέσω των λαμπτήρων προστίθενται ώστε να σχηματίσουν με το συνολικό τους άθροισμα το ρεύμα το οποίο παρέχει η μπαταρία ενώ η πτώση τάσης θα είναι 12V σε κάθε λαμπτήρα με αποτέλεσμα να φωτίζουν όλοι τους.

Σε ένα κύκλωμα σειράς κάθε ηλεκτρονικό στοιχείο πρέπει να άγει ικανοποιητικά προκειμένου να λειτουργεί ώστε να είναι πλήρες το κύκλωμα. Εάν στο προηγούμενο παράδειγμα καεί ένας λαμπτήρας σε ένα κύκλωμα σειράς τότε ολόκληρο το κύκλωμα θα είναι ανοιχτό και δεν θα υπάρχει ροή ηλεκτρισμού από αυτό. Αντίστοιχα στα κυκλώματα παράλληλης συνδεσμολογίας κάθε λαμπτήρας θα

βρίσκεται ουσιαστικά στο δικό του κύκλωμα με αποτέλεσμα όλοι οι λαμπτήρες εκτός από έναν θα μπορούσαν να καούν και ο τελευταίος θα εξακολουθεί να λειτουργεί χωρίς κανένα πρόβλημα [40].

### 3.3.1 Αντιστάσεις

Οι αντιστάσεις λαμβάνονται υπόψιν ως παθητικά ηλεκτρικά ή ηλεκτρονικά στοιχεία δύο ακροδεκτών τα οποία εφαρμόζουν το μέγεθος της ηλεκτρικής αντίστασης ως διακριτό στοιχείο ενός κυκλώματος ή διάταξης. Στα ηλεκτρονικά κυκλώματα οι αντιστάσεις ως διακριτά ηλεκτρονικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την μείωση της ροής του ρεύματος, την ρύθμιση των επιπέδων σήματος, τη διαίρεση των τάσεων, την πόλωση ενεργών ηλεκτρονικών στοιχείων και τον τερματισμό των γραμμών μεταφοράς μεταξύ άλλων χρήσεων.



Σχήμα 3-6: Κοινή αντίσταση ανοχής 5%.

Αντιστάσεις υψηλής ισχύος οι οποίες μπορούν να διαχέουν πολλά watt ηλεκτρικής ισχύος ως θερμότητα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέρος των ελέγχων ενός κινητήρα, σε συστήματα διανομής ισχύος ή ως δοκιμαστικά φορτία για γεννήτριες. Οι σταθερές αντιστάσεις έχουν χαρακτηριστική τιμή αντίστασης οι οποία μεταβάλλεται ελαφρά εξαιτίας της θερμοκρασίας, του χρόνου ή της τάσης λειτουργίας. Μία περισσότερο περίπλοκη αντίσταση είναι η μεταβλητή αντίσταση η οποία έχει την δυνατότητα να μεταβάλει την

τιμή της ηλεκτρικής αντίστασης της ως προς το ηλεκτρικό της μέγεθος εντός ενός ορισμένου εύρους.

Οι μεταβλητές αντιστάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη ρύθμιση των στοιχείων του κυκλώματος όπως για παράδειγμα ένας έλεγχος έντασης ήχου ή ένας ρυθμιστής φωτεινότητας λαμπτήρων ή ακόμη και ως συσκευές ανίχνευσης για τη θερμότητα, το φως, την υγρασία, τη δύναμη ή τη χημική δραστηριότητα. Οι αντιστάσεις είναι κοινά στοιχεία ηλεκτρικών δικτύων και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και είναι πανταχού παρόντα στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Οι πρακτικές αντιστάσεις ως διακριτά ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούν να αποτελούνται από διάφορες ενώσεις και μορφές. Οι αντιστάσεις εφαρμόζονται επίσης και στο περιεχόμενο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Η ηλεκτρική λειτουργία μιας αντίστασης καθορίζεται από την αντίστασή της, δηλαδή οι κοινές εμπορικές αντιστάσεις κατασκευάζονται σε μια περιοχή μεγαλύτερη από εννέα τάξεις μεγέθους. Η ονομαστική τιμή της αντίστασης εμπίπτει στην κατασκευαστική ανοχή η οποία αναγράφεται επί του ηλεκτρονικού στοιχείου.

Οι αντιστάσεις ως ηλεκτρονικά στοιχεία στην πράξη παρουσιάζουν μια επαγωγή ως παρασιτικό ηλεκτρικό μέγεθος η οποία διακρίνεται σε σειρά, αλλά παρουσιάζουν και μια χωρητικότητα ως παρασιτικό ηλεκτρικό μέγεθος η οποία διακρίνεται σε παραλληλία. Αυτά τα ηλεκτρικά μεγέθη αναγνωρίζονται ως παρασιτικά επειδή εμφανίζονται πρόσθετα επί του κύριου ηλεκτρικού χαρακτηριστικού του ηλεκτρονικού στοιχείου. Επίσης αυτά τα παρασιτικά ηλεκτρικά μεγέθη μπορεί να προκύψουν σημαντικά σε εφαρμογές υψηλής συχνότητας.

Σε έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου ή σε έναν προενισχυτή τα χαρακτηριστικά θορύβου μιας αντίστασης μπορεί να αποτελούν τελικά πρόβλημα. Σε ορισμένες εφαρμογές ακριβείας ο συντελεστής θερμοκρασίας της αντίστασης μπορεί επίσης να πρέπει να ληφθεί υπόψιν. Η ανεπιθύμητη αυτεπαγωγή, ο υπερβολικός θόρυβος και ο συντελεστής θερμοκρασίας εξαρτώνται κυρίως από την τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην κατασκευή της αντίστασης. Συνήθως δεν καθορίζονται μεμονωμένα για μια συγκεκριμένη οικογένεια αντιστάσεων οι οποίες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας μια συγκεκριμένη τεχνολογία.

Μια οικογένεια διακριτών αντιστάσεων μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί ανάλογα με τον παράγοντα μορφής της δηλαδή το μέγεθος της συσκευής και τη θέση των καλωδίων ή των ακροδεκτών της το οποίο θα είναι σχετικό με την πρακτική κατασκευή των κυκλωμάτων τα οποία μπορούν να τα χρησιμοποιήσουν. Οι αντιστάσεις ως ηλεκτρονικά στοιχεία στην πράξη χαρακτηρίζονται επίσης από το ότι έχουν μέγιστη ονομαστική ισχύ που πρέπει να υπερβαίνει την αναμενόμενη απαγωγή ισχύος αυτής της αντίστασης σε ένα συγκεκριμένο κύκλωμα, γεγονός το οποίο είναι κυρίως ανησυχητικό σε εφαρμογές των ηλεκτρονικών ισχύος.

Οι αντιστάσεις με υψηλότερη ονομαστική ισχύ είναι φυσικά μεγαλύτερες σε μέγεθος και μπορεί να απαιτούν ψήκτρες θερμότητας. Σε ένα κύκλωμα υψηλής τάσης μερικές φορές πρέπει να δίνεται προσοχή στην ονομαστική μέγιστη τάση λειτουργίας της αντίστασης. Ενώ δεν υπάρχει ελάχιστη τάση λειτουργίας για μια δεδομένη αντίσταση, η αποτυχία να ληφθεί υπόψη η μέγιστη ονομαστική τιμή μιας αντίστασης μπορεί να προκαλέσει την καταστροφή του ηλεκτρονικού στοιχείου όταν αυτό θα διαρρέεται από ρεύμα [41].

### 3.3.2 Πυκνωτές

Ως ένας πυκνωτής περιγράφεται ένα ηλεκτρονικό στοιχείο το οποίο έχει την δυνατότητα να αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια εντός ενός ηλεκτρικού πεδίου κατά την φόρτιση του. Ως υλική κατασκευή ανήκει στα παθητικά ηλεκτρονικά στοιχεία των δύο ακροδεκτών. Το ηλεκτρικό μέγεθος ενός πυκνωτή είναι γνωστό ως χωρητικότητα και μετριέται σε Farad. Ενώ η χωρητικότητα μπορεί να εμφανιστεί μεταξύ οποιωνδήποτε δύο ηλεκτρικών αγωγών που βρίσκονται κοντά σε ένα κύκλωμα σαν παρασιτικό ηλεκτρικό μέγεθος, στην περίπτωση του ηλεκτρονικού στοιχείου πυκνωτή ο οποίος είναι ένα εξάρτημα το οποίο έχει σχεδιαστεί για να προσθέτει το ηλεκτρικό μέγεθος της χωρητικότητας σε ένα κύκλωμα, διαχειρίζεται την χωρητικότητα ως κύριο ηλεκτρικό χαρακτηριστικό.



Σχήμα 3-7:  
Ηλεκτρολυτικός  
πυκνωτής.

Ο πυκνωτής ήταν αρχικά γνωστός ως συμπυκνωτής. Η ονομασία αυτή και τα συγγενή του ονόματα εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές γλώσσες, μια αξιοσημείωτη περίπτωση είναι αυτή των πυκνωτικών μικροφώνων τα οποία ονομάζονται επίσης μικρόφωνα χωρητικότητας. Η φυσική μορφή ως αυτή ενός ηλεκτρονικού στοιχείου και η κατασκευή των πυκνωτών ως ηλεκτρονικά στοιχεία στην πράξη ποικίλλει ευρέως με αποτέλεσμα πολλοί τύποι πυκνωτών να βρίσκονται σε κοινή χρήση. Τα περισσότερα ηλεκτρονικά στοιχεία πυκνωτών περιέχουν τουλάχιστον δύο ηλεκτρικούς αγωγούς συχνά με τη μορφή μεταλλικών πλακών ή επιφανειών οι οποίες χωρίζονται από ένα διηλεκτρικό μέσο. Ένας αγωγός μπορεί να είναι ένα μεταλλικό φύλλο, ένα λεπτό φιλμ, ένα συντηγμένο σφαιρίδιο μετάλλου ή ένας ηλεκτρολύτης. Το μη αγώγιμο διηλεκτρικό δρα αυξάνοντας τη χωρητικότητα φόρτισης του ηλεκτρονικού στοιχείου πυκνωτή.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως ως διηλεκτρικά περιλαμβάνουν το γυαλί, το κεραμικό, το πλαστικό φιλμ, το χαρτί, την μαρμαρυγία, τον αέρα, ακόμη και τα στρώματα οξειδίου. Οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται ευρέως ως μέρη ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε πολλές κοινές ηλεκτρικές συσκευές. Σε αντίθεση με το ηλεκτρονικό στοιχείο μιας αντίστασης, ένας ιδανικός πυκνωτής δεν διαχέει ενέργεια αν και οι πυκνωτές ως ηλεκτρονικά στοιχεία στην πράξη διαχέουν μια μικρή ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας ως αμελητέα διαρροή η οποία λαμβάνεται υπόψη και ως μη ιδανική συμπεριφορά. Όταν εφαρμόζεται μια διαφορά ηλεκτρικού δυναμικού τάσης στους ακροδέκτες ενός πυκνωτή όπως για παράδειγμα όταν ένας πυκνωτής συνδέεται σε μια μπαταρία ένα ηλεκτρικό πεδίο αναπτύσσεται κατά μήκος του διηλεκτρικού,

προκαλώντας την φόρτιση καθαρού θετικού φορτίου στην μια πλάκα η οποία συνδέεται μέσω του ακροδέκτη της στον θετικό πόλο της μπαταρίας και καθαρού αρνητικού φορτίου στην άλλη πλάκα η οποία συνδέεται μέσω του ακροδέκτη της στον αρνητικό πόλο της μπαταρίας. Στην πραγματικότητα δεν ρέει ρεύμα μέσω του διηλεκτρικού., ωστόσο υπάρχει μια ροή φορτίου μέσω του κυκλώματος πηγής.

Εάν η κατάσταση διατηρηθεί επαρκώς για ένα ελάχιστο χρονικό διάστημα η ροή του ρεύματος μέσω του κυκλώματος της πηγής παύει καθώς ο πυκνωτής θα έχει εκπληρώσει την μέγιστη δυνατή φόρτιση της χωρητικότητας του. Εάν εφαρμοστεί μια χρονικά μεταβαλλόμενη ως προς την πολικότητα διαφορά δυναμικού τάσης στους ακροδέκτες του ηλεκτρονικού στοιχείου πυκνωτή η πηγή υφίσταται μία συνεχή ροή ρεύματος λόγω των κύκλων φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή.

Οι αρχαιότερες ιστορικά μορφές πυκνωτών δημιουργήθηκαν τη δεκαετία του 1740, όταν οι Ευρωπαίοι επιστήμονες και πειραματιστές ανακάλυψαν ότι το ηλεκτρικό φορτίο μπορούσε να αποθηκευτεί σε γυάλινα βάζα γεμάτα νερό τα οποία έγιναν γνωστά ως βάζα Leyden. Στην σύγχρονη εποχή οι πυκνωτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε ηλεκτρονικά κυκλώματα αφενός για να μπλοκάρουν το συνεχές ρεύμα ως διακόπτες ή ως σταθεροποιητές και εξομαλυντές, ενώ επιτρέπουν τη διέλευση του εναλλασσόμενου ρεύματος μίας ελάχιστης συχνότητας ως βραχυκυκλωτήρες ή ως φίλτρα και σύζευξη.

Στα αναλογικά δίκτυα φίλτρων μπορούν να εξομαλύνουν την έξοδο των τροφοδοτικών. Στα κυκλώματα συντονισμού συντονίζουν για παράδειγμα τα ραδιόφωνα σε συγκεκριμένες συχνότητες. Στα συστήματα μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας, σταθεροποιούν την τάση και τη ροή ισχύος. Η ιδιότητα της αποθήκευσης ενέργειας στους πυκνωτές χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας της δυναμικής μνήμης στα πρώιμα ψηφιακά ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα αλλά εξακολουθεί να εφαρμόζεται στην σύγχρονη τυχαίας πρόσβασης δυναμική μνήμη (Dynamic Random Access Memory – DRAM) [42].

### 3.3.3 Διπολικά τρανζίστορ

Ένα διπολικό τρανζίστορ (Bipolar Junction Transistor - BJT) είναι ένας τύπος τρανζίστορ ο οποίος διαχειρίζεται τα ηλεκτρόνια και τις οπές ηλεκτρονίων ως φορείς φορτίου. Αντίθετα ένα μονοπολικό τρανζίστορ όπως ένα τρανζίστορ επίδρασης πεδίου (Field Effect Transistor - FET) διαχειρίζεται αποκλειστικά μόνο ένα είδος φορέα φορτίου αναλόγως τον τύπο της κατασκευής του. Γενικότερα τα τρανζίστορ ως ηλεκτρονικά στοιχεία φέρουν τρεις ακροδέκτες.



Σχήμα 3-8:  
Διπολικό  
τρανζίστορ.

Ένα διπολικό τρανζίστορ συγκεκριμένα επιτρέπει μέσω ενός μικρού ρεύματος το οποίο εγχέεται σε έναν από τους ακροδέκτες του, ο οποίος ονομάζεται βάση, να μπορεί να ελέγχει ένα πολύ μεγαλύτερο ρεύμα το οποίο ρέει μεταξύ των δύο άλλων ακροδεκτών, οι οποίοι ονομάζονται συλλέκτης και εκπομπός, καθιστώντας το ηλεκτρονικό στοιχείο ικανό για ενίσχυση ή μεταγωγή. Τα διπολικά τρανζίστορ χρησιμοποιούν δύο συνδέσεις μεταξύ δύο τύπων ημιαγωγών, τύπου n και τύπου p, οι οποίοι αποτελούν περιοχές σε έναν μόνο συμπαγή κρυσταλλο υλικού. Οι ενώσεις αυτές μπορούν να γίνουν με πολλούς διαφορετικούς τρόπους, όπως αλλάζοντας τον εμπλουτισμό του ημιαγωγού υλικού κατά την διαδικασία ανάπτυξης του, με την προσθήκη μεταλλικών σφαιριδίων ώστε να σχηματιστούν συνδέσεις διάφορων κραμάτων ή με εφαρμογή μεθόδων όπως η διάχυση ουσιών προσμίξεων στο υλικό ημιαγωγού με σκοπό την δημιουργία υλικών τύπου n και τύπου p σε κρυσταλλική μορφή.

Η ανώτερη προβλεψιμότητα και η απόδοση των διπολικών τρανζίστορ εκτόπισε γρήγορα το αρχικό τρανζίστορ σημείου επαφής. Τα διάχυτα τρανζίστορ, μαζί με άλλα εξαρτήματα, αποτελούν στοιχεία

ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για αναλογικές και ψηφιακές λειτουργίες. Εκατοντάδες διπολικά τρανζίστορ μπορούν να κατασκευαστούν σε ένα κύκλωμα με πολύ χαμηλό κόστος. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα διπολικών τρανζίστορ υπήρξαν τα κύρια ενεργά ηλεκτρονικά στοιχεία μιας γενιάς ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων τύπου mainframe αλλά και τύπου mini, αλλά τα περισσότερα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα στην σύγχρονη εποχή χρησιμοποιούν πλέον ολοκληρωμένα κυκλώματα τα οποία κατασκευάζονται σύμφωνα με την τεχνολογία των τρανζίστορ επίδρασης πεδίου. Τα διπολικά τρανζίστορ εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται για ενίσχυση σημάτων, μεταγωγή και σε ψηφιακά κυκλώματα. Οι εξειδικευμένοι τύποι χρησιμοποιούνται για διακόπτες υψηλής τάσης, για ενισχυτές ραδιοσυχνοτήτων ή για μεταγωγή υψηλών ρευμάτων.

Τα διπολικά τρανζίστορ διακρίνονται σε δύο τύπους αναλόγως την κατανομή των φορτισμένων υλικών τους, τον τύπο PNP όταν υπάρχει μία περιοχή αρνητικά φορτισμένου υλικού ανάμεσα σε δύο περιοχές θετικών φορτισμένων υλικών και NPN όταν υπάρχει μία περιοχή θετικά φορτισμένου υλικού ανάμεσα σε δύο περιοχές αρνητικών φορτισμένων υλικών, με βάση τους τύπους εμπλουτισμού των τριών κύριων τερματικών περιοχών.

Ένα τρανζίστορ NPN περιλαμβάνει δύο διασταυρώσεις ημιαγωγών οι οποίες μοιράζονται μια λεπτή περιοχή θετικά εμπλουτισμένου υλικού και ένα τρανζίστορ PNP περιλαμβάνει δύο συνδέσεις ημιαγωγών οι οποίες μοιράζονται μια λεπτή περιοχή με αρνητικά εμπλουτισμένου υλικού. Ο τύπος N, για αρνητικά (Negative - N) φορτισμένο υλικό, το οποίο περιέχει προσμείξεις υλικών διαφορετικών από αυτό του ημιαγωγού πυριτίου, όπως είναι για παράδειγμα τα χημικά στοιχεία φώσφορος ή αρσενικό, τα οποία παρέχουν μία πληθώρα ηλεκτρονίων στην εξωτερική στοιβάδα των ατόμων που συνθέτουν την μοριακή δομή του υλικού, ενώ ο τύπος P, για θετικά (Positive - P) φορτισμένο υλικό, το οποίο περιέχει προσμείξεις υλικών διαφορετικών από αυτό του ημιαγωγού πυριτίου, όπως είναι για παράδειγμα το χημικό στοιχείο βόριο, το οποίο παρέχει επές στην εξωτερική στοιβάδα των ατόμων που συνθέτουν την μοριακή δομή του υλικού οι οποίες έλκουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Η ροή ηλεκτρικού φορτίου σε ένα διπολικό τρανζίστορ οφείλεται στη διάχυση των φορέων φορτίου σε μια διασταύρωση μεταξύ δύο περιοχών διαφορετικής συγκέντρωσης φορέα φορτίου. Οι περιοχές ενός διπολικού τρανζίστορ ονομάζονται πομπός, βάση και συλλέκτης. Ένα διακριτό τρανζίστορ έχει τρεις ακροδέκτες για σύνδεση σε αυτές τις περιοχές. Τυπικά η περιοχή εκπομπού είναι στην πράξη περισσότερο εμπλουτισμένη σε σύγκριση με τις άλλες δύο περιοχές υλικών του, για τον απλούστατο λόγο ότι διαχειρίζεται το μεγαλύτερο συνολικό ρεύμα κατά την λειτουργία του. Η περιοχή του συλλέκτη εμπλουτίζεται ως προς την πυκνότητα του πιο ελαφρά από την περιοχή της βάσης, συνήθως δέκα φορές λιγότερο. Κατά τον σχεδιασμό τους, τα διπολικά τρανζίστορ επιτρέπουν το ρεύμα της περιοχής του συλλέκτη, το οποίο είναι κατά πολύ μεγαλύτερο σε σχέση με το ρεύμα της περιοχής βάσης, να ελέγχεται από το κατά πολύ μικρότερο ρεύμα βάσης με μία πολύ συγκεκριμένη σχέση. Το μεγάλο ρεύμα συλλέκτη έχει στην πράξη ροή μέσω την βάσης από ή προς την περιοχή του εκπομπού, αναλόγως τον τύπο του διπολικού τρανζίστορ αλλά και από το αν η φορά του ρεύματος είναι συμβατική ή πραγματική, το οποία έμπρακτα οφείλεται στη ροή μέσω των φορέων φορτίου, της μετακίνησης δηλαδή των ηλεκτρονίων μέσω των οπών.

Συγκεκριμένα όταν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εγγέονται από έναν ακροδέκτη στην βάση του διπολικού τρανζίστορ η οποία ως περιοχή λαμβάνεται υπόψιν ως προς το σύνολο των φορέων ως μειοψηφία σε σχέση με τις άλλες δύο περιοχές, επιτρέπει την πόλωση του διπολικού τρανζίστορ και επιτρέπουν τα ηλεκτρόνια να διαχέονται προς την περιοχή του συλλέκτη και έτσι τα διπολικά τρανζίστορ ταξινομούνται τελικά ως συσκευές μεταφοράς μειοψηφίας. Όταν λοιπόν βρίσκεται σε κατάσταση τυπικής λειτουργίας η επαφή μεταξύ των περιοχών βάσης-εκπομπού είναι πολωμένη προς τα εμπρός,

πράγμα που σημαίνει ότι η πλευρά με πρόσμειξη  $p$  της περιοχής επαφής είναι σε πιο θετικό δυναμικό από την πλευρά που έχει εμποτιστεί με  $n$  και η περιοχή επαφής βάσης-συλλέκτη είναι σε αντίστροφη πόλωση. Όταν εφαρμόζεται μπροστινή πόλωση στη περιοχή επαφής βάσης-εκπομπού η ισορροπία μεταξύ των θερμικά δημιουργούμενων φορέων και του απωθητικού ηλεκτρικού πεδίου της περιοχής εξάντλησης του εκπομπού με  $n$  διαταράσσεται. Αυτό επιτρέπει στα θερμικά διεγερμένα ηλεκτρόνια (σε ένα NPN· οπές σε ένα PNP) να εγχέονται από την περιοχή του πομπού στην περιοχή της βάσης. Αυτά τα ελεύθερα ηλεκτρόνια διαχέονται μέσω της περιοχής της βάσης από την περιοχή υψηλής συγκέντρωσης κοντά στον εκπομπό προς την περιοχή χαμηλής συγκέντρωσης κοντά στον συλλέκτη. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια στην περιοχή της βάσης ονομάζονται μειωπηφικοί φορείς επειδή η βάση είναι εμπλουτισμένου τύπου υλικού  $p$  το οποίο κάνει τις οπές τον κύριο φορέα στη βάση.

Σε μία συσκευή διπολικού τρανζίστορ τύπου PNP παρατηρείται ανάλογη συμπεριφορά, αλλά με οπές ως κυρίαρχους φορείς ρεύματος. Για να ελαχιστοποιηθεί το κλάσμα των φορέων που ανασυνδυάζονται πριν φτάσουν στη επαφή περιοχής συλλέκτη-βάσης, η περιοχή βάσης του τρανζίστορ πρέπει να είναι αρκετά λεπτή ώστε οι φορείς να μπορούν να διαχέονται κατά μήκος της σε πολύ λιγότερο χρόνο από τη διάρκεια ζωής μειωπηφίας-φορέα του ημιαγωγού. Η ύπαρξη μιας ελαφρώς εμπλουτισμένης βάσης διασφαλίζει ότι τα ποσοστά ανασυνδυασμού θα παραμένουν χαμηλά.

Συγκεκριμένα το πάχος της βάσης πρέπει να είναι πολύ μικρότερο από το μήκος διάχυσης των φορέων. Η επαφή περιοχής συλλέκτη-βάσης έχει αντίστροφη πόλωση και έτσι λαμβάνει χώρα αμελητέα έγχυση φορέα από τον συλλέκτη στη βάση, αλλά οι φορείς που εγχέονται στη βάση από τον πομπό και διαχέονται για να φτάσουν στην περιοχή εξάντλησης συλλέκτη-βάσης παρασύρονται στο συλλέκτη από το ηλεκτρικό πεδίο στην περιοχή εξάντλησης. Η λεπτή κοινή βάση και ο ασύμμετρος εμπλουτισμός των περιοχών επαφής συλλέκτη-εκπομπού αποτελούν τους παράγοντες οι οποίοι διαφοροποιούν ένα διπολικό τρανζίστορ από δύο διακριτά ηλεκτρονικά στοιχεία διόδων τα οποία διασυνδέονται είτε με κοινή περιοχή υλικού  $p$  ώστε να σχηματίσουν μία διπολική συσκευή NPN, είτε με κοινή περιοχή  $n$  ώστε να σχηματίσουν μία διπολική συσκευή PNP [43].

#### 3.3.4 Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED)

Μία ειδική κατηγορία διόδων είναι οι δίοδοι εκπομπής φωτός (Light Emitting Diodes - LED) οι οποίες παρουσιάζουν την ιδιότητα μετατροπής του ρεύματος που τις διαρρέει σε σωματίδια φωτονίων. Γενικότερα μια δίοδος εκπομπής φωτός είναι μια πηγή φωτός υλικού ημιαγωγού η οποία εκπέμπει φως όταν ρέει το ρεύμα μέσα από αυτήν.

Τα ηλεκτρόνια στο υλικό του ημιαγωγού ανασυνδυάζονται με οπές ηλεκτρονίων, απελευθερώνοντας ενέργεια με τη μορφή φωτονίων. Το χρώμα του φωτός το οποίο αντιστοιχεί στην ενέργεια των φωτονίων καθορίζεται από την ενέργεια που απαιτείται για να διασχίσουν τα ηλεκτρόνια το διάκενο ζώνης του ημιαγωγού. Το λευκό φως λαμβάνεται χρησιμοποιώντας πολλαπλούς ημιαγωγούς ή αλλιώς ένα στρώμα φωσφόρου το οποίο εκπέμπει φως στην συγκεκριμένη συσκευή υλικού ημιαγωγού.

Κατά την αρχική τους εμφάνιση ως πρακτικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα το 1962 οι δίοδοι εκπομπής φωτός εξέπεμπαν φως στο υπέρυθρο φάσμα (Infra-Red - IR) το οποίο ήταν χαμηλής έντασης ισχύος. Οι υπέρυθρες δίοδοι εκπομπής φωτός χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στην υλοποίηση συστημάτων συσκευών τηλεχειρισμού όπως αυτές που χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος ποικιλίας ηλεκτρονικών ειδών ευρείας κατανάλωσης. Οι πρώτες δίοδοι εκπομπής φωτός που εξέπεμπαν φως στο ορατό φάσμα ήταν χαμηλής έντασης ισχύος και περιορίζονταν στο φάσμα του κόκκινου χρώματος. Οι πρώτοι δίοδοι εκπομπής φωτός χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο ως ενδεικτικές λυχνίες, αντικαθιστώντας τους μικρούς λαμπτήρες πυρακτώσεως, αλλά και σε συσκευές ενδείκτων επτά τμημάτων. Οι μεταγενέστερες

τεχνολογικές εξελίξεις κατόρθωσαν να αναπτύξουν διόδους εκπομπής φωτός οι οποίοι διαθέτουν την δυνατότητα εκπομπής φωτός τόσο στο ορατό, όσο και στο υπεριώδες (Ultra Violet - UV) και στο υπέρυθρο φάσμα, με υψηλή, χαμηλή ή ενδιάμεση απόδοση φωτός, για παράδειγμα οι διόδοι εκπομπής φωτός στο λευκό χρώμα είναι κατάλληλοι για φωτισμό και εσωτερικού χώρου αλλά και εξωτερικού χώρου.

Οι διόδοι εκπομπής φωτός έχουν επίσης εφαρμοστεί σε νέους τύπους οθονών και αισθητήρων, ενώ οι υψηλοί ρυθμοί εναλλαγής τους αποδεικνύονται χρήσιμοι στην προηγμένη τεχνολογία επικοινωνιών με εφαρμογές μεγάλου εύρους ποικιλίας όπως είναι ο αεροφωτισμός, τα φωτογραφικά φλας, οι προβολείς αυτοκινήτου, στον χώρο της διαφήμισης, στα φανάρια ρύθμισης της κυκλοφορίας, στα κηπευτικά φώτα καλλιέργειας, γενικός φωτισμός και στις ιατρικές συσκευές.

Οι διόδοι εκπομπής φωτός έχουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις λυχνίες πυρακτώσεως όπως είναι για παράδειγμα η βελτιωμένη ανθεκτικότητα του υλικού, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής, το μικρότερο μέγεθος, η χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας και η ταχύτερη εναλλαγή καταστάσεων του. Αντίστοιχα τα μειονεκτήματα των διόδων εκπομπής φωτός συμπεριλαμβάνουν κάποιους ηλεκτρικούς περιορισμούς όταν η τροφοδοσία τους βρεθεί σε περιοχή χαμηλότερης τάσης από την αναγκαία για την λειτουργία τους αλλά και γενικά στην ισχύ του συνεχούς ρεύματος, αδυναμία παροχής σταθερού φωτισμού από μια παλμική πηγή τροφοδοσίας συνεχούς ή εναλλασσόμενου ρεύματος και μικρότερη μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας και αποθήκευσης θερμοκρασίας.

Σε αντίθεση με τις διόδους εκπομπής φωτός οι λαμπτήρες πυρακτώσεως μπορούν να λειτουργούν εγγενώς σε σχεδόν οποιαδήποτε τάση και γενικά μορφή τροφοδοσίας, μπορούν να χρησιμοποιούν είτε εναλλασσόμενο είτε συνεχές ρεύμα εναλλακτικά και παρέχουν σταθερό φωτισμό όταν τροφοδοτούνται από AC ή παλμικό DC ακόμη και σε συχνότητα τόσο χαμηλή όσο 50 Hz. Οι διόδοι εκπομπής φωτός συνήθως απαιτούν διάφορες ηλεκτρονικές διατάξεις υποστήριξης για να μπορέσουν να λειτουργήσουν, ενώ ένας λαμπτήρας πυρακτώσεως μπορεί, και συνήθως λειτουργεί, απευθείας από μια μη ρυθμισμένη πηγή ρεύματος DC ή AC. Ως μετατροπέας ηλεκτρικής ενέργειας σε φως οι διόδοι εκπομπής φωτός λειτουργούν με την αντίστροφη φιλοσοφία από τα ηλεκτρονικά στοιχεία των φωτοδίοδων [44].

### 3.3.5 Δίοδοι

Μια δίοδος περιγράφεται ως ένα διακριτό ηλεκτρονικό στοιχείο με δύο ακροδέκτες και πολικότητα το οποίο επιτρέπει την μετάδοση του ηλεκτρικού χαρακτηριστικού του ρεύματος κυρίως προς μία κατεύθυνση, παρέχει δηλαδή ασύμμετρη αγωγιμότητα. Ως υλικό χαρακτηρίζεται από χαμηλή, ιδανικά μηδενική ηλεκτρική αντίσταση όταν αυτό θα άγει προς την μία κατεύθυνση και αντίστοιχα από υψηλή, ιδανικά άπειρη ηλεκτρική αντίσταση όταν θα εφαρμόζεται δυναμικό προς την αντίθετη κατεύθυνση. Ένας σωλήνας κενού δίοδου ή θερμοϊονική δίοδος είναι ένας σωλήνας κενού κατασκευασμένος με δύο ηλεκτρόδια τα οποία διακρίνονται σε μια θερμαινόμενη κάθοδο και σε μια πλάκα στην οποία τα ηλεκτρόνια μπορούν να ρέουν προς μία μόνο κατεύθυνση, από τον ακροδέκτη της καθόδου προς τον ακροδέκτη της πλάκας.



Σχήμα 3-9: Διπολική δίοδος.

Ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος τύπος σήμερα είναι η δίοδος ημιαγωγού η οποία είναι ένα κρυσταλλικό κομμάτι υλικού ημιαγωγού με μια επαφή p-n συνδεδεμένη με δύο ηλεκτρικούς ακροδέκτες. Συγκεκριμένα η επαφή p-n περιγράφει μία τομή στο υλικό της δίοδου στην οποία συναντιούνται δύο διαφορετικά υλικά ημιαγωγών. Ο λόγος για τον οποίο συμβαίνει αυτό είναι ότι δεν είναι δυνατόν να

κατασκευαστεί μία δίοδος ημιαγωγού από καθαρό κρύσταλλο πυριτίου καθώς θα λειτουργούσε με την ιδιότητα του μονωτή. Επομένως για να λειτουργεί το κρυσταλλικό υλικό του ημιαγωγού ως καλός αγωγός του ηλεκτρισμού επινοήθηκε η πρόσμιξη ατελειών στο κρυσταλλικό υλικό ώστε να επιτρέπεται η ροή των ηλεκτρονίων μέσα από αυτό.

Το αποτέλεσμα αυτό μπορεί να προκύψει με δύο τρόπους. Όταν το υλικό που επιλεγεί για την πρόσμιξη έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία οπών στις οποίες μπορεί προσωρινά να εναποτεθεί ένα ηλεκτρόνιο, που σημαίνει ότι το υλικό αυτό θα χαρακτηριστεί ως τρισθενές και το φορτίο του θα είναι θετικό, δηλαδή τα άτομα του θα είναι θετικά φορτισμένα ή αλλιώς θα είναι κατιόντα και θα σχηματίζει υλικό τύπου p. Όταν το υλικό που επιλεγεί για την πρόσμιξη έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία πληθώρας ηλεκτρονίων τα οποία θα μπορούν από κάθε άτομο να αποσπαστεί ένα ηλεκτρόνιο, το οποίο σημαίνει ότι το υλικό αυτό θα χαρακτηριστεί ως πενταθενές και το φορτίο του θα είναι αρνητικό, δηλαδή τα άτομα του θα είναι αρνητικά φορτισμένα ή αλλιώς θα είναι ανιόντα και θα σχηματίζει υλικό τύπου n.

Οι δίοδοι ως ηλεκτρονικά στοιχεία υπήρξαν τα πρώτα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία κατασκευάστηκαν από υλικό ημιαγωγού. Αξίζει να σημειωθεί πως η ανακάλυψη της ασύμμετρης ηλεκτρικής αγωγιμότητας στην επαφή μεταξύ ενός κρυσταλλικού ορυκτού και ενός μετάλλου πραγματοποιήθηκε από τον Γερμανό φυσικό Ferdinand Braun το 1874. Σήμερα οι περισσότερες δίοδοι είναι κατασκευασμένες από το χημικό στοιχείο πυρίτιο με τον αριθμό 14 στον περιοδικό πίνακα το οποίο σημαίνει πως σαν ιόν έχει 14 πρωτόνια στον πυρήνα του και 14 ηλεκτρόνια να περιφέρονται γύρω από αυτόν, αλλά χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά τα οποία παρουσιάζουν την ιδιότητα του ημιαγωγού όπως το είναι το αρσενικό του γαλλίου και το γερμάνιο.

Μεταξύ διάφορων εφαρμογών οι δίοδοι ως ηλεκτρονικά στοιχεία απαντώνται σε ηλεκτρονικές διατάξεις ανορθωτών όπου η λειτουργία τους προκύπτει καθοριστική για την διαδικασία μετατροπής του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα, σε ηλεκτρονικές διατάξεις αποδιαμόρφωσης σε ηλεκτρονικές συσκευές ραδιοφωνικών δεκτών, μέχρι που μπορούν ακόμη και να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες θερμοκρασίας. Μεταξύ των ιδιοτήτων που μπορεί να παρουσιάσει μία κοινή δίοδος ως παραλλαγή της λειτουργίας της είναι εκείνη η οποία χαρακτηρίζεται ως μια δίοδος εκπομπής φωτός (Light Emitting Diode - LED) η οποία συνήθως χρησιμοποιείται ως ηλεκτρονική πηγή φωτός είτε για χρήση φωτισμού χώρου, είτε ως ενδείκτης κάποιας κατάστασης σε ηλεκτρονικές συσκευές. Επιπλέον οι δίοδοι μπορούν να σχηματίσουν ηλεκτρονικά κυκλώματα και διατάξεις αναλογικών σημάτων σε συνδυασμό με άλλα ηλεκτρονικά στοιχεία για να σχηματίσουν λογικές πύλες οι οποίες μπορούν να αποδίδουν σήματα ψηφιακής μορφής.

Αναλυτικά η πιο βασική λειτουργία μιας διόδου ως ηλεκτρονικό στοιχείο είναι να επιτρέπει σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα να μπορεί να διέρχεται προς μία κατεύθυνση η οποία ονομάζεται κατεύθυνση προς τα εμπρός της διόδου, ενώ για το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα εμποδίζεται η διέλευση του προς την αντίστροφη κατεύθυνση η οποία ονομάζεται κατεύθυνση προς τα πίσω της διόδου. Ως εκ τούτου η δίοδος παρουσιάζει μέσω παραλληλισμού την λειτουργία μιας ηλεκτρονικής έκδοσης μιας μηχανικής βαλβίδας αντεπιστροφής. Αυτή η μονής κατεύθυνσης συμπεριφορά ή λειτουργία ονομάζεται ανόρθωση και χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του εναλλασσόμενου ρεύματος σε συνεχές ρεύμα.

Η λειτουργία της ανόρθωσης μπορεί να διακριθεί και να πραγματοποιηθεί με ποικίλους τρόπους αναλόγως το πλαίσιο κατά το οποίο απαιτείται η εφαρμογή τους, από απλές συνδεσμολογίες διόδων οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για λειτουργίες όπως η εξαγωγή κάποιου τύπου διαμόρφωσης από τα ραδιοσήματα τα οποία λαμβάνονται σε ραδιοφωνικούς δέκτες. Ωστόσο οι δίοδοι ως ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούν να έχουν πιο περίπλοκη συμπεριφορά από αυτήν την απλή λειτουργία μεταξύ των

δύο καταστάσεων ενεργούς η αποκοπής, εξαιτίας των μη γραμμικών χαρακτηριστικών των ηλεκτρικών μεγεθών του ρεύματος και της τάσης κατά τα οποία χαρακτηρίζονται.

Συγκεκριμένα οι δίοδοι ημιαγωγών εκκινούν να άγουν ηλεκτρισμό μόνο εάν εφαρμοστεί στα δύο άκρα της μια ορισμένη τάση κατωφλίου ή τάση διακοπής στην προς τα εμπρός κατεύθυνση, μια κατάσταση στην οποία η δίοδος λέγεται ότι είναι πολωμένη ορθά. Η πτώση τάσης στα άκρα μιας διόδου κατά την ορθή πόλωση της μπορεί να μεταβάλλεται περιορισμένη εντός ενός εύρους λίγων εκατοντάδων mV σε συνάρτηση με το ρεύμα που την διαρρέει αλλά και σε συνάρτηση με την θερμοκρασία λειτουργίας της στο σημείο επαφής των υλικών p-n και το φαινόμενο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως αισθητήρας θερμοκρασίας ή ως αναφορά τάσης.

Επίσης η υψηλή αντίσταση που χαρακτηρίζει τα ηλεκτρονικά στοιχεία των διόδων στο ρεύμα το οποίο έχει φορά προς την ανάστροφη κατεύθυνση έχει μία τιμή ορίου του ηλεκτρικού χαρακτηριστικού του ρεύματος η οποία ορίζεται από τον κατασκευαστή της και ορίζει το σημείο κατά το οποίο όταν ξεπεραστεί έχει ως αποτέλεσμα την ξαφνική μεταβολή από υψηλή σε χαμηλή αντίσταση όταν η αντίστροφη τάση κατά μήκος της διόδου φτάσει σε μια τιμή η οποία ονομάζεται τάση διάσπασης. Το ηλεκτρικό χαρακτηριστικό της συσχέτισης ρεύματος τάσης μιας διόδου υλικού ημιαγωγού μπορεί να προσαρμοστεί επιλέγοντας τα υλικά ημιαγωγών και τις ατέλειες εμπλουτισμού τους οι οποίες εισάγονται στα υλικά κατά την διαδικασία κατασκευής τους.

Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία διόδων ειδικού σκοπού οι οποίες μπορούν να εκτελούν πολλές διαφορετικές ειδικές λειτουργίες. Για παράδειγμα τέτοιες δίοδοι κατασκευάζονται για την ρύθμιση της τάσης όταν αυτές πολωθούν ανάστροφα (δίοδοι Zener), για την προστασία των κυκλωμάτων από υπερτάσεις υψηλής τάσης (δίοδοι χιονοστιβάδας), για τον ηλεκτρονικό συντονισμό ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών δεκτών (δίοδοι varactor), για τη δημιουργία ταλαντώσεων ραδιοσυχνότητων (δίοδοι σήραγγας, δίοδοι Gunn, δίοδους IMPATT) και για την παραγωγή φωτός (δίοδοι εκπομπής φωτός). Οι δίοδοι Tunnel, Gunn και IMPATT παρουσιάζουν αρνητική αντίσταση, η οποία είναι χρήσιμη σε κυκλώματα μικροκυμάτων και μεταγωγής. Οι δίοδοι, τόσο κενού όσο και ημιαγωγοί, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως γεννήτριες ριπής θορύβου [45].

### 3.4 Τυπωμένη πλακέτα βακελίτη

Στο στάδιο της ανάπτυξης του υλικού μέρους συνήθως προτιμάται να χρησιμοποιηθεί μία πλακέτα βακελίτη στην οποία θα τοποθετηθούν όλα τα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία θα σχηματίσουν τις διατάξεις του συνολικού κυκλώματος το οποίο θα εκτελεί την όποια λειτουργία του αναλόγως την εφαρμογή. Γενικότερα οι πλακέτες βακελίτη αποτελούν αναπόσπαστο μέρος της ανάπτυξης του υλικού μέρους μιας ηλεκτρονικής συσκευής, είτε για τον σχηματισμό πρωτοτύπων ως ενδιάμεσο στάδιο ανάπτυξης καθώς επιτρέπει την εύκολη αντικατάσταση, πρόσθεση και αφαίρεση ηλεκτρονικών στοιχείων κατά την διάρκεια των πειραματισμών και των δοκιμών του πρωτότυπου, αλλά επίσης, καθώς μπορεί να πρόκειται για τυποποιημένες κατασκευές οι οποίες προορίζονται να παραχθούν σε μεγάλους αριθμούς τεμαχίων, επιτρέπουν την ανάπτυξη του υλικού μέρους της κατασκευής σε σχετικά χαμηλό κόστος.

Οι πλακέτες βακελίτη είναι κατασκευασμένες από ένα υλικό το οποίο είναι κατάλληλο για την δημιουργία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, είτε πρωτότυπων είτε μεγάλης παραγωγής, το οποίο ονομάζεται επίσης και PCB (Printed Circuit Board). Γενικά διατίθενται σε αρκετούς τύπους και μεγέθη, όπως για παράδειγμα σε φύλλα τα οποία είναι επικαλυμμένα με ένα ενιαίο φύλλο χαλκού το οποίο με τα κατάλληλα μέσα μπορεί κανείς να το επεξεργαστεί, ή σε διάτρητη μορφή για σύνθεση πρωτότυπων κυκλωμάτων. Ο διάτρητος τύπος επί της ουσίας είναι ένα λεπτό και άκαμπτο φύλλο ενός είδους

πολυμερούς υλικού το οποίο διαθέτει τρύπες οι οποίες έχουν προ ανοιχθεί σε συγκεκριμένα και ίσα μεταξύ τους διαστήματα ώστε να σχηματίζουν ένα πλέγμα το οποίο είναι συνήθως ένα τετράγωνο πλέγμα με απόσταση των οπών μεταξύ τους 0,1 ίντσες στο αυτοκρατορικό σύστημα μέτρησης ή 2,54 mm στο μετρικό σύστημα μέτρησης. Αυτές οι τρύπες περικλείονται από στρογγυλά ή τετράγωνα χάλκινα μαξιλάρια, αν και υπάρχουν επίσης γυμνές διάτρητες πλακέτες βακελίτη.

Η φθινή διάτρητη πλακέτα βακελίτη μπορεί να έχει χάλκινα μαξιλαράκια μόνο στη μία πλευρά της, ενώ η καλύτερης ποιότητας διάτρητες πλακέτες βακελίτη μπορούν να έχουν χάλκινα μαξιλάρια και στις δύο πλευρές τους. Δεδομένου ότι κάθε χάλκινο μαξιλαράκι είναι ηλεκτρικά απομονωμένο από τα τριγύρω του ο κατασκευαστής του ηλεκτρονικού πρωτότυπου θα πρέπει να πραγματοποιεί όλες τις συνδέσεις μεταξύ των ηλεκτρονικών στοιχείων είτε με περιτύλιγμα σύρματος είτε με μικροσκοπικές τεχνικές καλωδίωσης από σημείο σε σημείο ώστε να μπορέσει να σχηματίσει τους απαραίτητους αγωγούς του κυκλώματος. Τα διάφορα διακριτά ηλεκτρονικά στοιχεία συγκολλούνται στην διάτρητη πλακέτα βακελίτη όπως για παράδειγμα οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το υπόστρωμα της διάτρητης πλακέτας βακελίτη είναι συνήθως κατασκευασμένο από χαρτί ελασματοποιημένο με φαινολική ρητίνη όπως το FR-2 ή εποξειδικό πολυστρωματικό ενισχυμένο με υαλοβάμβακα FR-4.

Το σύστημα πλέγματος 0,1 ιντσών ή 2,54 mm αποτελεί πρότυπο καθώς μπορεί να υποδέχεται τα περισσότερα ολοκληρωμένα κυκλώματα σε πακέτα DIP αλλά και πολλούς άλλους τύπους ηλεκτρονικών στοιχείων διαμερούς οπής. Η διάτρητη πλακέτα βακελίτη παρουσιάζει έναν περιορισμό ως προς την χρησιμότητα της σαν αναπτυξιακό βοήθημα πρωτότυπων ηλεκτρονικών καθώς δεν έχει σχεδιαστεί για τη δημιουργία πρωτότυπων κυκλωμάτων με ηλεκτρονικά στοιχεία επιφανειακής τοποθέτησης. Πριν από την κατασκευή ενός κυκλώματος σε διάτρητη πλακέτα βακελίτη, οι θέσεις των ηλεκτρονικών στοιχείων αλλά και των μεταξύ τους συνδέσεων σχεδιάζονται συνήθως λεπτομερώς σε χαρτί ή με εργαλεία σχεδίασης λογισμικού υπολογιστή (Computer Aided Design - CAD).

Ωστόσο τα πρωτότυπα μικρής κλίμακας κατασκευάζονται συχνά αυθαίρετα επί μίας διάτρητης πλακέτας βακελίτη χωρίς κανέναν προηγούμενο σχεδιασμό, μελέτη ή προετοιμασία. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό διατάξεων τυπωμένων κυκλωμάτων σε πλακέτα βακελίτη (Printed Circuit Board – PCB) μπορεί συχνά να χρησιμοποιηθεί για τον σχεδιασμό διατάξεων επί μίας διάτρητης πλακέτας βακελίτη εφόσον την περιλαμβάνει σαν μοντέλο στην βιβλιοθήκη του. Σε αυτήν την περίπτωση ο σχεδιαστής τοποθετεί τα εξαρτήματα έτσι ώστε όλα τα καλώδια να καταλήγουν σε διασταυρώσεις ενός πλέγματος 0,1 ιντσών ή 2,54 mm.

Κατά τη δρομολόγηση των αγωγών που συνδέουν τα ηλεκτρονικά στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότερες από 2 στρώσεις χαλκού καθώς επιτρέπουν την ανάπτυξη ηλεκτρονικών διατάξεων σε πολύ μικρότερη επιφάνεια, εξοικονομώντας αρκετό υλικό. Μόλις οριστικοποιηθεί η πλήρης διάταξη τα ηλεκτρονικά στοιχεία συγκολλούνται στις καθορισμένες θέσεις τους, σύμφωνα με τον σχεδιασμό, δίνοντας προσοχή στον προσανατολισμό των ηλεκτρονικών στοιχείων τα οποία διαθέτουν συγκεκριμένη πόλωση όπως είναι οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, οι δίοδοι και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα. Στη συνέχεια οι ηλεκτρικές συνδέσεις πραγματοποιούνται όπως έχει οριστεί κατά τον σχεδιασμό της διάταξης.

Μια καλή πρακτική για την αξιοποίηση των αγωγών είναι να γίνονται όσο το δυνατόν περισσότερες συνδέσεις χωρίς την προσθήκη επιπλέον αγωγών. Αυτό για παράδειγμα μπορεί να γίνει λυγίζοντας τους υπάρχον ακροδέκτες των αντιστάσεων ή των πυκνωτών κ.λπ. όταν έχουν τοποθετηθεί στη θέση τους κόβοντας το επιπλέον μήκος και συγκολλώντας το καλώδιο για να πραγματοποιηθεί η απαιτούμενη ηλεκτρική σύνδεση. Μια άλλη καλή πρακτική είναι η αποφυγή της λύγισης των περισσευούμενων

ακροδεκτών των ηλεκτρονικών στοιχείων ώστε να τα χρησιμοποιηθούν για καλωδίωση με το σκεπτικό ότι αυτό καθιστά την αφαίρεση ενός ελαττωματικού ηλεκτρονικού στοιχείου αργότερα δύσκολη ή αδύνατη, όταν για παράδειγμα χρειάζεται επέμβαση στο κύκλωμα για επισκευή.

Εάν χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν επιπλέον αγωγοί ή χρησιμοποιούνται για κύριους λόγους συνήθως δρομολογούνται εξ ολοκλήρου στη χάλκινη πλευρά των πλακετών βακελίτη επειδή έτσι καταλαμβάνεται ήδη από τον ακροδέκτη ενός ηλεκτρονικού στοιχείου ένα μεγάλο τμήμα του χάλκινου αγωγού κάνοντας πιο ανθεκτικό το σημείο κόλλησης. Αυτό από την άλλη μπορεί να είναι και μειονέκτημα καθώς εάν χρειαστεί αντικατάσταση το ηλεκτρονικό στοιχείο θα πρέπει ο τεχνικός να επέμβει στην τυπωμένη πλακέτα βακελίτη μέσω πιο χρονοβόρας διαδικασίας. Οι χρησιμοποιούμενοι αγωγοί τελικά κυμαίνονται από μεμονωμένα σύρματα, συμπεριλαμβανομένου και του νεγowire, ένα σύρμα χαλκού με μόνωση πολυουρεθάνης σχεδιασμένη να λιώνει κατά τη συγκόλληση με την αύξηση της θερμοκρασίας, έως και γυμνό χάλκινο σύρμα χωρίς κάποια μόνωση ανάλογα με τις ατομικές προτιμήσεις και συχνά επίσης με οτιδήποτε μπορεί να υπάρχει διαθέσιμο την συγκεκριμένη στιγμή στο εργαστήριο.

Όταν πρόκειται για επιλογή μονωμένων συρμάτων υπάρχει ιδιαίτερη προτίμηση προς το λεπτό σύρμα συμπαγούς πυρήνα το οποίο είναι δύσκαμπτο και με μόνωση ανθεκτική στη θερμοκρασία. Για την απογύμνωση των καλωδίων από την μόνωση τους πολλοί τεχνικοί χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους με διάφορα εργαλεία τα οποία δεν έχουν κατασκευαστεί συγκεκριμένα για αυτήν την λειτουργία όμως υπάρχει ένα εργαλείο σχεδιασμένο ακριβώς για αυτήν την εργασία το οποίο ενσωματώνει μια λεπτή ατσάλινη λεπίδα με μια σχισμή στην οποία απλά εισάγεται το σύρμα και στη συνέχεια τραβιέται χαλαρά αφήνοντας ένα καθαρό απογυμνωμένο άκρο. Τέτοιου είδους καλώδια αναπτύχθηκαν αρχικά για συναρμολόγηση ενός κυκλώματος με την τεχνική της περιτύλιξης καλωδίων αλλά χρησιμεύει επίσης καλά για μικροσκοπική καλωδίωση από σημείο σε σημείο σε μία τυπωμένη πλακέτα βακελίτη.

Το γυμνό χάλκινο σύρμα είναι χρήσιμο κατά τη συγχώνευση πολλών συνδέσεων έτσι ώστε να μπορέσει να σχηματιστεί ένας ηλεκτρικός κόμβος όπως είναι για παράδειγμα η γείωση του κυκλώματος και όταν υπάρχει αρκετός χώρος για τη σωστή δρομολόγηση των συνδέσεων αντί να καλωδιωθούν σε μορφή κουβαριού. Οι σκόπιμες γέφυρες συγκόλλησης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη σύνδεση γειτονικών χάλκινων μαξιλαριών μεταξύ τους εάν και όταν αυτό κριθεί απαραίτητο. Απαιτείται προσεκτικός συντονισμός μεταξύ χεριού-ματιού για να αποφευχθεί η πρόκληση ακούσιων βραχυκυκλωμάτων.

### **3.5 Ανάπτυξη λογισμικού μέρους**

Στην ενότητα αυτήν θα αναλυθεί στο σύνολο του το λογισμικό μέρος της παρούσας εργασίας το οποίο θα εκτελεί την λειτουργία του χρονοστή ως τμήμα του ενσωματωμένου συστήματος. Για την ανάπτυξη και επιτυχή εκτέλεση των λειτουργιών αυτού του ενσωματωμένου συστήματος χρειάστηκε ο συνδυασμός κάποιων απαραίτητων εργαλείων όπως η χρήση κατάλληλου βοηθητικού λογισμικού και η χρήση μίας γλώσσας προγραμματισμού. Το λογισμικό υποστήριξης στην περίπτωση αυτή θα είναι το περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού της εταιρείας Arduino το οποίο είναι γνωστό και ως Arduino IDE. Η γλώσσα προγραμματισμού η οποία θα χρησιμοποιηθεί ώστε να αναπτυχθεί το πρόγραμμα ως κώδικας θα είναι η C.

#### **3.5.1 Λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης**

Σε γενικές γραμμές ένα περιβάλλον ανάπτυξης είναι κατά βάση ένας κειμενογράφος όπως ακριβώς είναι το Word του Microsoft office στο οποίο μπορεί κανείς να συντάξει διάφορους τύπους κειμένων τα οποία

να απευθύνονται σε διάφορους τύπους εγγράφων, των οποίων η δημιουργία απαιτεί κάποια εξειδικευμένα συντακτικά εργαλεία ώστε η μορφοποίηση τους να ανταποκρίνεται σε κάποια συγκεκριμένα πρότυπα τα οποία πρέπει να ακολουθούν. Παρομοίως και οι κειμενογράφοι οι οποίοι προορίζονται για την εξειδικευμένη ανάπτυξη κάποιου προγράμματος λογισμικού, παρέχουν έναν αριθμό συντακτικών εργαλείων συγκεκριμένου σκοπού. Ο λόγος για τον οποίον συμβαίνει αυτό είναι ότι τυπικά η γλώσσα την οποία κατανοεί η μηχανή αυτού καθ' εαυτού είναι ακολουθίες μηδενικών και άσων ή αλλιώς ακολουθίες εναλλαγής μεταξύ δύο καταστάσεων. Αυτό είναι μάλλον πολύ καλό και αποδεκτό για την μηχανή την ίδια, αλλά δεν είναι καθόλου εξυπηρετικό για τον άνθρωπο το να γράφει σε αυτήν την μορφή τον πηγαίο κώδικα της μηχανής ώστε να εκτελεί τις λειτουργίες της.

Για τον λόγο αυτόν επινοήθηκε η δημιουργία των γλωσσών προγραμματισμού έτσι ώστε ο προγραμματιστής της μηχανής να μπορεί να γράφει το πρόγραμμα οδηγιών της αρχικά σε μία μορφή κώδικα ο οποίος στην συνέχεια θα μεταγλωττίζεται στην γλώσσα μηχανής. Με τον τρόπο αυτόν ο προγραμματιστής έχει την ευχέρεια να αναπτύσσει τα προγράμματα σε πολύ πιο σύντομο χρονικό περιθώριο. Οι πιο σύγχρονες γλώσσες προγραμματισμού, όπως είναι C, γράφονται με έναν τρόπο ο οποίος θυμίζει περισσότερο την ανάπτυξη κειμένου παρά κάποιον εξεζητημένο κώδικα. Οι γλώσσες αυτές έχουν συγκεκριμένη δομή και ακολουθούν αρκετούς κανόνες, είτε συντακτικούς, είτε λογικής λειτουργίας. Οι κανόνες οι οποίοι αφορούν την λογική λειτουργία ανταποκρίνονται αποκλειστικά στην ευθύνη του ανθρώπινου στοιχείου για την ορθή τους χρήση, αλλά οι κανόνες οι οποίοι αφορούν το συντακτικό τμήμα του προγράμματος, είναι εύκολο να επαληθεύονται από ένα εξειδικευμένο πρόγραμμα το οποίο λειτουργεί ως λογισμικό βοήθημα ανάπτυξης προγράμματος.

Ένα λογισμικό το οποίο αναπτύχθηκε ως περιβάλλον ανάπτυξης έχει αναπτυχθεί ως ένας βασικός κειμενογράφος, ο οποίος όμως περιλαμβάνει αρκετά βοηθητικά συντακτικά εργαλεία ως βοηθήματα ανάπτυξης ενός προγράμματος. Το λογισμικό αυτού του τύπου περιλαμβάνει για παράδειγμα αρίθμηση των σειρών του κειμενογράφου έτσι ώστε να μπορεί ο προγραμματιστής να εντοπίσει μία συγκεκριμένη σειρά. Αυτό είναι εξαιρετικά χρήσιμο καθώς ένα άλλο βοήθημα είναι να μπορεί να εντοπίζει το λογισμικό κάποιο σφάλμα στο πρόγραμμα και να υποδεικνύει την γραμμή στην οποία βρίσκεται το συγκεκριμένο σφάλμα, συχνά παρέχοντας και κάποιο σχετικό μήνυμα ως προς την φύση του σφάλματος.

Ο τρόπος με τον οποίο αναγνωρίζει τα σφάλματα το συγκεκριμένο λογισμικό προέρχεται από την συμπερίληψη των δεσμευτικών κανόνων επί των οποίων πρέπει να γραφτεί το πρόγραμμα στην συγκεκριμένη γλώσσα. Άλλο ένα από τα εργαλεία τα οποία διαθέτουν τα λογισμικά αυτού του τύπου είναι η ύπαρξη του μεταγλωττιστή, ενός βοηθητικού προγράμματος το οποίο μπορεί να μεταγλωττίζει τον κώδικα του προγράμματος σε γλώσσα μηχανής. Η ανάπτυξη των προγραμμάτων επίσης ακολουθούν κάποιους κανόνες έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωσθούν εύκολα από άλλους προγραμματιστές, χωρίς αυτοί οι κανόνες να επηρεάζουν την ορθή λειτουργία του προγράμματος.

Το λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης της εταιρείας Arduino έχει αναπτυχθεί συγκεκριμένα για την ανάπτυξη προγραμμάτων για τις πλακέτες συστήματος μικροελεγκτών οι οποίες αναπτύχθηκαν από την εταιρεία Arduino. Βέβαια πλέον το λογισμικό αυτό συμπεριλαμβάνει στην υποστήριξη του και πλακέτες συστημάτων μικροελεγκτών οι οποίες αναπτύχθηκαν από άλλες εταιρείες όπως είναι για παράδειγμα οι πλακέτες της εταιρείας Espressif. Γενικότερα οι πλακέτες συστημάτων μικροελεγκτών συνοδεύονται από ειδικού σκοπού λογισμικό ειδικά σχεδιασμένο και ανεπτυγμένο έτσι που να μπορεί να έχει μία δομή πολύ προσεκτικά σχεδιασμένη ώστε να χαρακτηρίζεται από έναν βαθμό μέγιστης φορητότητας μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων για λόγους συμβατότητας. Η δομή

αυτή παρέχεται σε αρχεία βιβλιοθηκών, ειδικά αρχεία τα οποία περιλαμβάνουν βασικές δομές κώδικα ειδικά για το υλικό για το οποίο προορίζονται.

### 3.5.2 Γλώσσα προγραμματισμού

Μέσα στο ειδικό λογισμικό περιβάλλοντος ανάπτυξης της Arduino η ανάπτυξη του προγράμματος πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ως βάση την γλώσσα προγραμματισμού C. Σε γενικές γραμμές η γλώσσα προγραμματισμού C έχει υπάρξει ως μία από τις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού χάρη στον τρόπο και την λογική με την οποία ένας προγραμματιστής μπορεί να αναπτύξει ένα πρόγραμμα.

Πριν από αυτήν την γλώσσα προγραμματισμού οι προγραμματιστές έπρεπε να χρησιμοποιούν γλώσσες οι οποίες ήταν της λογικής ότι για την κάθε λειτουργία έπρεπε να υπάρχει και μία εντολή, καταλήγοντας να πρέπει ο προγραμματιστής να μάθει εκατοντάδες διαφορετικές εντολές. Κάποια στιγμή κάποιος σκέφτηκε ότι αυτό δεν ήταν και πολύ πρακτικό και έτσι προέκυψε η C, η οποία αξιοποιεί την λογική ύπαρξης συναρτήσεων, επιτρέποντας τον αριθμό εντολών να μείνει σε έναν ελάχιστο πρακτικό αριθμό επιτρέποντας στους προγραμματιστές να μην έχουν κανέναν προβληματισμό και δυσκολία στο να αποστηθίσουν το σύνολο των εντολών δομής.

Η C λαμβάνεται ως μία γλώσσα προγραμματισμού δομημένης λογικής. Οι δυνατότητες αυτές της επιτρέπουν να είναι μία γλώσσα προγραμματισμού υψηλού επιπέδου η οποία παράλληλα βρίσκεται πολύ κοντά στο επίπεδο μηχανής. Το γεγονός αυτό την φέρνει πρώτη στην προτίμηση των προγραμματιστών οι οποίοι γράφουν προγράμματα για ενσωματωμένα συστήματα των οποίων οι διαθέσιμοι πόροι είναι τόσο περιορισμένοι ώστε τα προγράμματα πρέπει να γράφονται όσο πιο αποδοτικά γίνεται.

Στον χώρο των ενσωματωμένων συστημάτων πραγματοποιείται η χρήση ειδικών και εξειδικευμένων μορφών της γλώσσας προγραμματισμού C. Η πιο διαδεδομένη στον χώρο των επαγγελματιών είναι η παραλλαγή της C γνωστή ως embedded C, η οποία στοχεύει σε συγκεκριμένο τρόπο ανάπτυξης κώδικα έτσι που να μπορεί να διαχειρίζεται τις εντολές προς το υλικό της μηχανής σε επίπεδο bit.

Αντίστοιχα στον χώρο των ερασιτεχνών στο περιβάλλον του Arduino IDE χρησιμοποιείτε μία ειδική μορφή της C, η wiring C. Η συγκεκριμένη μορφή της γλώσσας C περιλαμβάνει έναν αριθμό βιβλιοθηκών με συγκεκριμένης μορφής δομών οι οποίες απευθύνονται τόσο στις πλακέτες μικροελεγκτών, όσο και σε διάφορα περιφερειακά τα οποία μπορούν να ελέγξουν. Με τον τρόπο αυτόν το εξειδικευμένο αμβλύνεται κάπως έτσι ώστε να απλουστεύσει την ανάπτυξη κώδικα προγραμμάτων εφαρμογών.

### 3.5.3 Αλγόριθμος και διάγραμμα ροής

Ο αλγόριθμος της παρούσας εργασίας θα επιτρέψει την ανάπτυξη της λογικής βάσης κατά την οποία το λογισμικό μέρος του ενσωματωμένου συστήματος θα εκτελεί τα διάφορα τμήματα του με μία συγκεκριμένη σειρά έτσι ώστε να πραγματοποιείται ομαλά η λειτουργία του λογισμικού και θα επιτρέψει τον σχεδιασμό του διαγράμματος ροής το οποίο θα απεικονίζει τον αλγόριθμο και την λογική λειτουργία του στο πλήρες σύνολο του.

Ο αλγόριθμος θα προκύψει από μία αρχική ανάλυση των λειτουργιών του. Αρχικά πρόκειται για μία εφαρμογή ενσωματωμένου συστήματος το οποίο θα μπορεί να προγραμματίζεται μέσω της σειριακής θύρας του ηλεκτρονικού υπολογιστικού συστήματος σαν χρονιστής με δυνατότητα μέτρησης χρονικών διαστημάτων από 100ms, μέχρι και 50 ημερών. Επομένως θα πρέπει να μπορεί το ενσωματωμένο

σύστημα να απεικονίσει τα συγκεκριμένα δεδομένα. Επομένως η ακολουθία της λειτουργίας περιορίζεται σε μία λειτουργία με συγκεκριμένες παραμέτρους καθιστώντας την διαδικασία ανάπτυξης του αλγορίθμου σε μία απλή ακολουθία εκτελέσιμων ενεργειών οι οποίες θα πραγματοποιηθούν η μία μετά την άλλη.

Απαριθμώντας την όλη διαδικασία από την αρχή έως το τέλος της, η αρχή θα είναι η εμφάνιση ενός μηνύματος στην οθόνη το οποίο θα ζητά από τον χρήστη της εφαρμογής να δώσει με την σειρά των αριθμό ημερών, ωρών, λεπτών, δευτερολέπτων και δεκάτων του δευτερολέπτου ώστε να εκτελέσει την λειτουργία της ως χρονιστής. Να αναφερθεί σε αυτό το σημείο πως η λειτουργία του χρονιστή θα είναι να ξεκινάει από το χρονικό σημείο μηδέν και να μετράει το λιγότερο ένα χρονικό διάστημα των εκατό ms, το οποίο σημαίνει πως το μικρότερο χρονικό μέγεθος που θα αποδώσει ως αποτέλεσμα στην οθόνη θα είναι τα 100ms, με μέγιστο το χρονικό σημείο των πενήντα ημερών.

Η χρονική ακρίβεια με την οποία θα αποδίδεται το τελικό μετρήσιμο χρονικό μέγεθος θα είναι αυτό των 10ms. Επομένως όταν η εφαρμογή θα είναι σε κατάσταση ετοιμότητας ο χρήστης θα μπορεί να παρακολουθήσει την μέτρηση του χρόνου από την οθόνη η οποία θα γίνεται σε πραγματικό χρόνο. Το τέλος της διαδικασίας του αλγορίθμου θα είναι η απόδοση του αποτελέσματος στην οθόνη και η εφαρμογή θα είναι ξανά σε κατάσταση ετοιμότητας ώστε να ξεκινήσει μία νέα διαδικασία μέτρησης χρόνου.

Επομένως το πρόγραμμα θα ακολουθεί μία δομή κατά την οποία θα εκτελεί συγκεκριμένες εντολές και συναρτήσεις του. Στο συγκεκριμένο περιβάλλον ανάπτυξης το κυρίως πρόγραμμα διακρίνεται σε δύο κύριες συναρτήσεις αντί για την main που συνηθίζεται στα κλασικά προγράμματα των γλωσσών προγραμματισμού C και C++. Η μία κύρια συνάρτηση περιλαμβάνει εντολές και συναρτήσεις οι οποίες θα εκτελεστούν μία μόνο φορά από τον μικροελεγκτή οι οποίες αφορούν τον ορισμό συγκεκριμένης κατάστασης για το υλικό μέρος η οποία είναι ζωτικής σημασίας για την ορθή λειτουργία της ζητούμενης εφαρμογής.

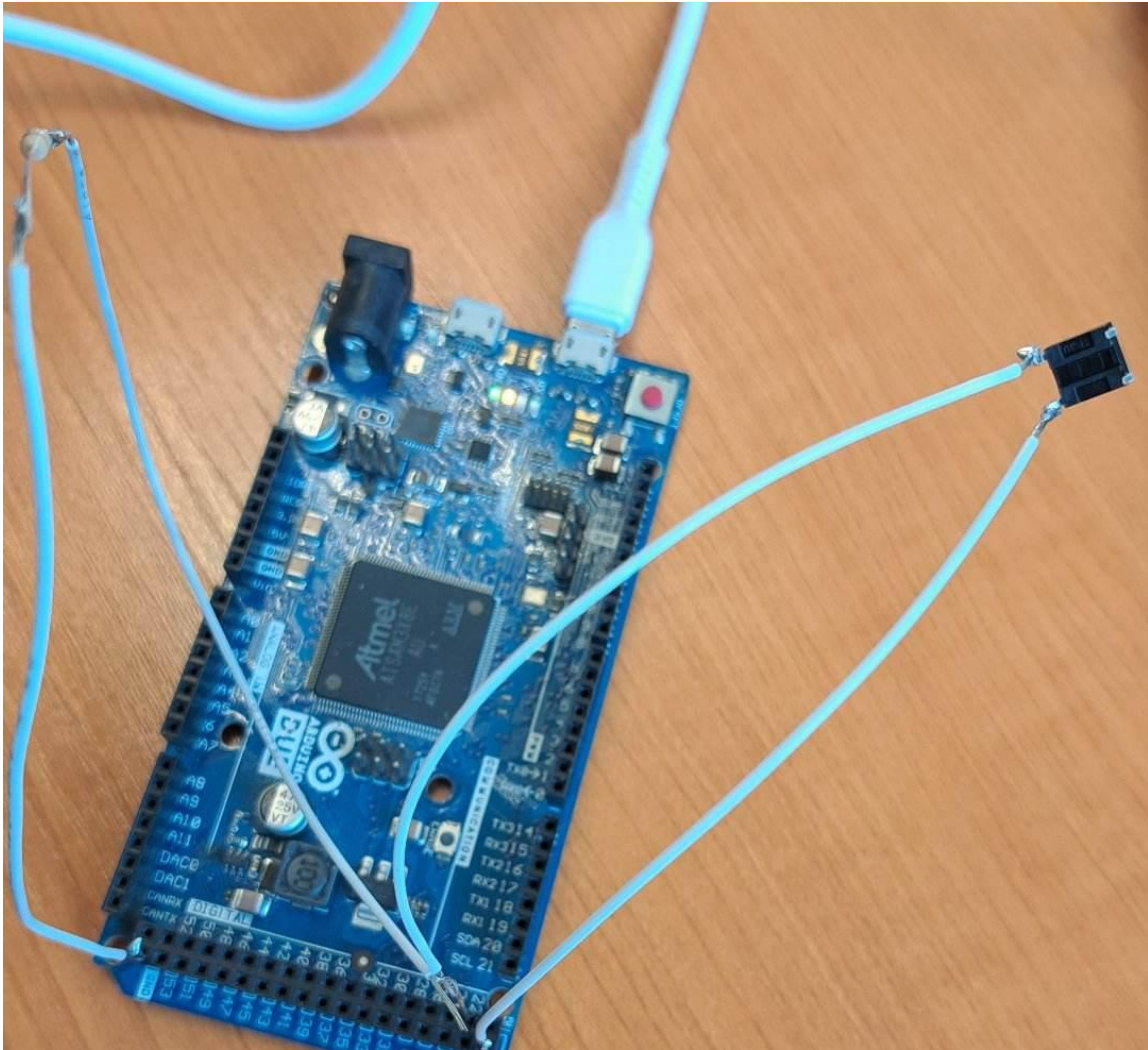
Για παράδειγμα η ενεργοποίηση της σειριακής θύρας με καθορισμένο ρυθμό μεταφοράς δεδομένων είναι μία ενέργεια η οποία πρέπει να οριστεί στην συγκεκριμένη συνάρτηση. Όπως και ο ορισμών των θυρών εισόδου/εξόδου οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν έτσι ώστε να είναι ξεκάθαρο το αν θα λειτουργήσουν ως εισοδοί ή ως εξοδοί. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται set up. Η δεύτερη κύρια συνάρτηση περιλαμβάνει εντολές και συναρτήσεις οι οποίες θα εκτελούνται σε βρόγχο επανάληψης από τον μικροελεγκτή και οι οποίες αφορούν την συνεχόμενη λειτουργία της εφαρμογής του μικροελεγκτή στο επίπεδο του χρόνου. Για παράδειγμα η λειτουργία του χρόνου αναμονής η οποία θα εκτελείται στην συγκεκριμένη εφαρμογή θα πρέπει να αναπτυχθεί εντός αυτής της συνάρτησης. Η συνάρτηση αυτή ονομάζεται loop.

### 3.6 Η εφαρμογή σε λειτουργία

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της εφαρμογής κατά την λειτουργία της. Αρχικά η λειτουργία της θα πρέπει να εμφανίζει μία οθόνη η οποία θα λειτουργεί ως ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη το οποίο θα είναι το μέσο απεικόνισης με το οποίο ο χρήστης θα μπορεί να παρακολουθεί τον χρόνο τον οποίο έχει μετρήσει σε κάθε δεδομένη στιγμή ο χρονιστής.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο χρονιστής αυτός υλοποιείται ως ενσωματωμένο σύστημα με την χρήση ενός συστήματος μικροελεγκτή ο οποίος ελέγχει το σήμα ενός διακόπτη με το οποίο μπορεί να κάνει επαναφορά τον χρονιστή στην αρχική του κατάσταση η οποία θα είναι να ξεκινάει την μέτρηση του χρόνου από το χρονικό σημείο μηδέν. Αυτό είναι απαραίτητο καθώς για να ξεκινήσει ο χρονιστής να απεικονίζει από το σημείο των 100ms θα πρέπει να γνωρίζει το πότε αυτό το χρονικό σημείο έχει

επιτευχθεί. Στο σχήμα 3-10 απεικονίζεται το υλικό μέρος με το οποίο πετυχαίνεται η λειτουργία του χρονιστή.



Σχήμα 3-10: Ενσωματωμένο σύστημα χρονιστή.

Το υλικό μέρος το οποίο διακρίνεται είναι αυτό του συστήματος μικροελεγκτή της εταιρείας Arduino μοντέλο DUE το οποίο ελέγχεται από μικροελεγκτή αρχιτεκτονικής ARM των 32 bit και το οποίο δείχνει ευδιάκριτα την χρήση ενός διακόπτη για το έλεγχο της επαναφοράς του χρονιστή.

Στην συνέχεια μέσω του προγράμματος του χρονιστή θα μπορεί να αποδίδεται στην οθόνη ο χρόνος ο οποίος έχει περάσει από την ώρα εκκίνησης του. Προκειμένου αυτό να γίνει σωστά θα πρέπει να ληφθούν υπόψιν κάποιες πτυχές του συγκεκριμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού. Να σημειωθεί αρχικά ότι υπάρχουν αρκετοί τρόποι για να αναπτύξει κανείς ένα πρόγραμμα μέτρησης χρόνου.

Για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας επιλέχθηκε η συνάρτηση βιβλιοθήκης millis() η οποία παρέχεται από το συγκεκριμένο περιβάλλοντος ανάπτυξης λογισμικού καθώς επιτρέπει την μέτρηση χρόνου χωρίς να δεσμεύει τις πηγές του συστήματος μικροελεγκτή ανιχνεύοντας σε κάθε κύκλο λειτουργίας του αν ο στόχος του έχει επιτευχθεί. Επίσης για ένα σύστημα των 32 bit επιτρέπει την συνεχόμενη μέτρηση χρόνου για διάστημα 49 ημερών, όπου σε αυτήν την περίπτωση με τη ολοκλήρωση της μέτρησης απλά ζητάμε από το υλικό να ξεκινήσει από το σημείο μηδέν του καταχωρητή ώστε να μπορεί να συμπληρώσει την επιπλέον ημέρα. Ο τρόπος με τον οποίο μετριέται ο

χρόνος είναι σε ms, δηλαδή σε χιλιοστά του δευτερολέπτου. Όμως για το ζητούμενο της παρούσας εργασίας αυτό δεν είναι και πολύ πρακτικό, καθώς η μηχανή μπορεί να διαχειρίζεται με ευκολία την οποιαδήποτε κλίμακα μεγεθών, για τον άνθρωπο δεν του λέει κάτι το νούμερο 1.384.452ms. Επομένως θα πρέπει η απόδοση του χρόνου ο οποίος μετρήθηκε να γίνει με έναν τρόπο με τον οποίο ο άνθρωπος είναι εξοικειωμένος, δηλαδή σε σύνολα δευτερολέπτων, λεπτών, ωρών και ημερών.

Έτσι τελικά το πρόγραμμα κατά την λειτουργία του χρονιστή θα μπορεί να αποδίδει τον χρόνο κατά την επιθυμητή του μορφοποίηση όπως απεικονίζεται στο σχήμα 3-8. Όπως διακρίνεται στο σημείο αυτό η μέτρηση χρόνου είναι μόλις μερικών δευτερολέπτων με ακρίβεια δύο δεκαδικών ή αλλιώς σε δεκάδες των χιλιοστών του δευτερολέπτου. Επίσης διακρίνεται η μορφοποίηση κατά την οποία διαχωρίζονται οι μονάδες του χρόνου όμοια με ένα ψηφιακό ρολόι, όπου από δεξιά προς τα αριστερά είναι τα δευτερόλεπτα μαζί με τα εκατοστά του δευτερολέπτου μετά την υποδιαστολή, το πεδίο των λεπτών, των ωρών και των ημερών.

```
current time = 0 : 0 : 0 : 21.87
current time = 0 : 0 : 0 : 21.90
current time = 0 : 0 : 0 : 21.94
current time = 0 : 0 : 0 : 21.97
current time = 0 : 0 : 0 : 22.01
current time = 0 : 0 : 0 : 22.04
current time = 0 : 0 : 0 : 22.08
current time = 0 : 0 : 0 : 22.11
current time = 0 : 0 : 0 : 22.15
current time = 0 : 0 : 0 : 22.18
current time = 0 : 0 : 0 : 22.22
current time = 0 : 0 : 0 : 22.26
current time = 0 : 0 : 0 : 22.29
current time = 0 : 0 : 0 : 22.33
current time = 0 : 0 : 0 : 22.36
```

Σχήμα 3-11: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (1).

Παρόμοια στο σχήμα 3-9 διακρίνεται ο χρόνος με το πέρασμα μιας χρονικής περιόδου.

```
current time = 0 : 0 : 20 : 36.31
current time = 0 : 0 : 20 : 36.35
current time = 0 : 0 : 20 : 36.39
current time = 0 : 0 : 20 : 36.42
current time = 0 : 0 : 20 : 36.46
current time = 0 : 0 : 20 : 36.49
current time = 0 : 0 : 20 : 36.53
current time = 0 : 0 : 20 : 36.57
current time = 0 : 0 : 20 : 36.61
current time = 0 : 0 : 20 : 36.64
current time = 0 : 0 : 20 : 36.68
current time = 0 : 0 : 20 : 36.71
current time = 0 : 0 : 20 : 36.75
current time = 0 : 0 : 20 : 36.79
current time = 0 : 0 : 20 : 36.82
```

Σχήμα 3-12: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (2).

Εδώ απεικονίζεται ο χρόνος έπειτα από ένα χρονικό διάστημα κατά το οποίο παρατηρείται πως πλέον υπάρχει μέτρηση στο πεδίο των λεπτών, το οποίο υποδηλώνει με ακρίβεια πως στο χρονικό σημείο αυτό

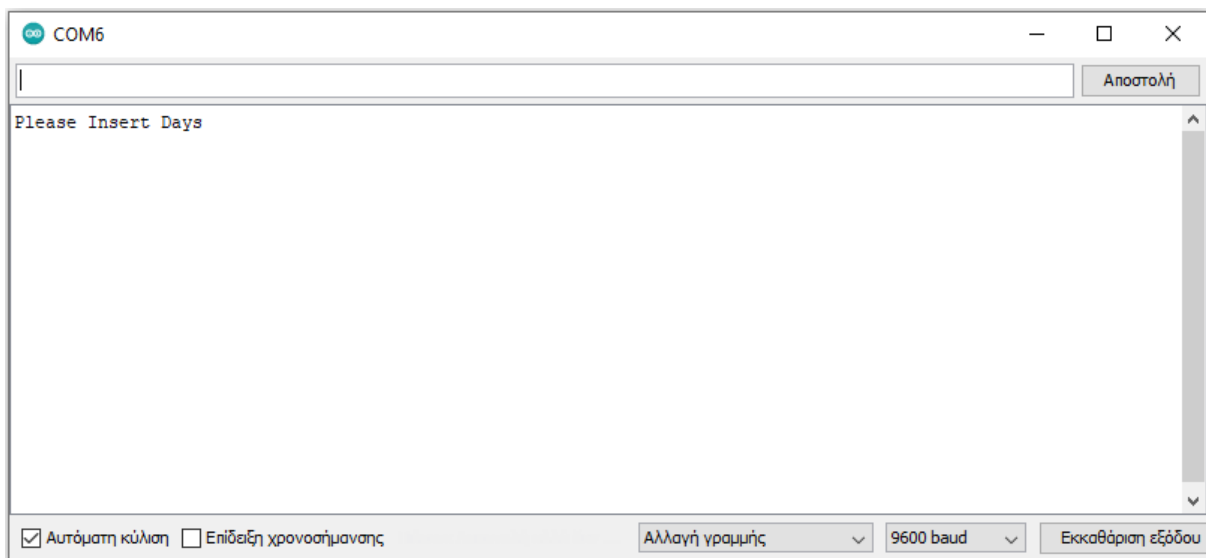
έχουν περάσει 20 λεπτά, 36 δευτερόλεπτα και 82 εκατοστά του δευτερολέπτου στην τελευταία μέτρηση του χρονιστή. Παρόμοια στο σχήμα 3-10 απεικονίζεται ο χρόνος ο οποίος πέρασε έπειτα από μεγαλύτερο χρονικό διάστημα από την εκκίνηση του χρονιστή.

```
current time = 0 : 1 : 28 : 40.14
current time = 0 : 1 : 28 : 40.18
current time = 0 : 1 : 28 : 40.21
current time = 0 : 1 : 28 : 40.25
current time = 0 : 1 : 28 : 40.29
current time = 0 : 1 : 28 : 40.32
current time = 0 : 1 : 28 : 40.36
current time = 0 : 1 : 28 : 40.40
current time = 0 : 1 : 28 : 40.43
current time = 0 : 1 : 28 : 40.47
current time = 0 : 1 : 28 : 40.51
current time = 0 : 1 : 28 : 40.54
current time = 0 : 1 : 28 : 40.58
current time = 0 : 1 : 28 : 40.61
current time = 0 : 1 : 28 : 40.65
```

Σχήμα 3-13: Κατάσταση μέτρησης χρόνου του χρονιστή (3).

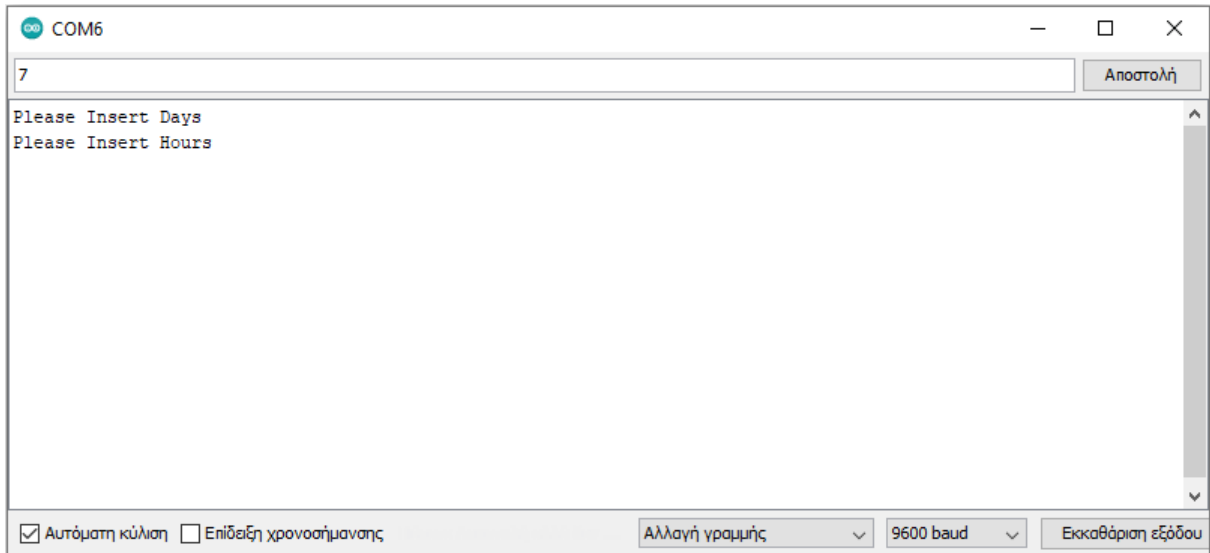
Στο συγκεκριμένο σχήμα διακρίνεται πλέον πως έχουν καταγραφεί και απεικονιστεί δεδομένα στο πεδίο των ωρών με αντίστοιχη ακρίβεια όπως και στην προηγούμενη περίπτωση. Κατά την λήψη του συγκεκριμένου στιγμιότυπου ο χρονιστής είχε ήδη μετρήσει χρονικό διάστημα από την εκκίνηση του ίσο με μίας ώρας, 28 λεπτών, 40 δευτερολέπτων και 65 εκατοστά του δευτερολέπτου.

Κατά την εκκίνηση του προγράμματος και με την ενεργοποίηση της επιλογής της παρακολούθησης της σειριακής θύρας το πρώτο πράγμα που θα βλέπει ο χρήστης του ενσωματωμένου συστήματος θα είναι αυτό της εικόνας του σχήματος 3-14.



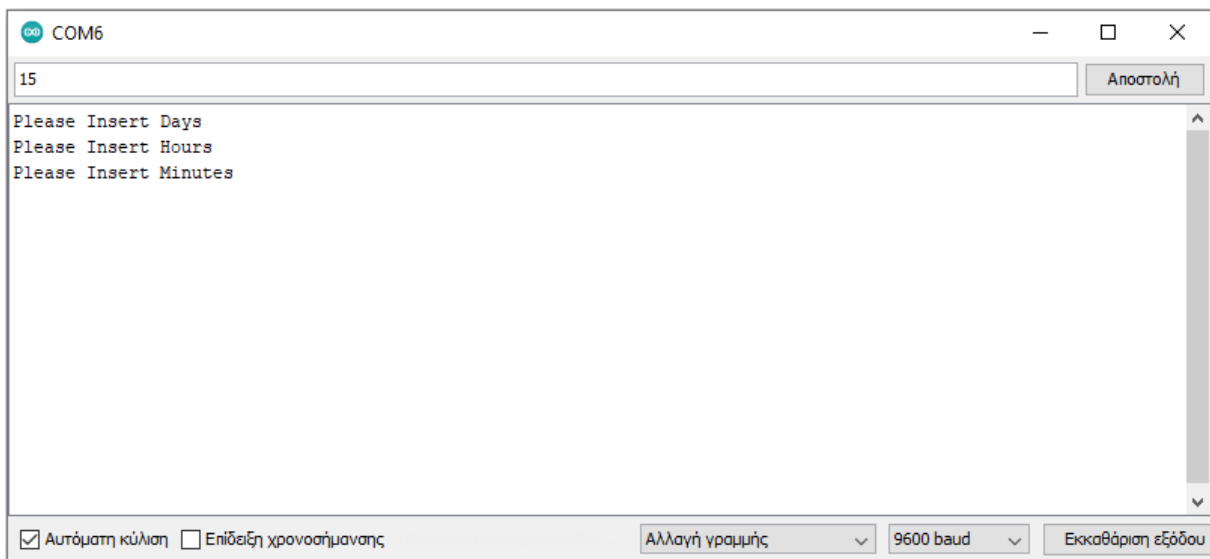
Σχήμα 3-14: Αρχική κατάσταση της εφαρμογής.

Στην κατάσταση αυτήν η εφαρμογή χρονιστή ζητάει από τον χρήστη να εισάγει τον επιθυμητό αριθμό ημερών και να πατήσει enter. Μόλις ο χρήστης το κάνει αυτό, το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη του κατάσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 3-15.



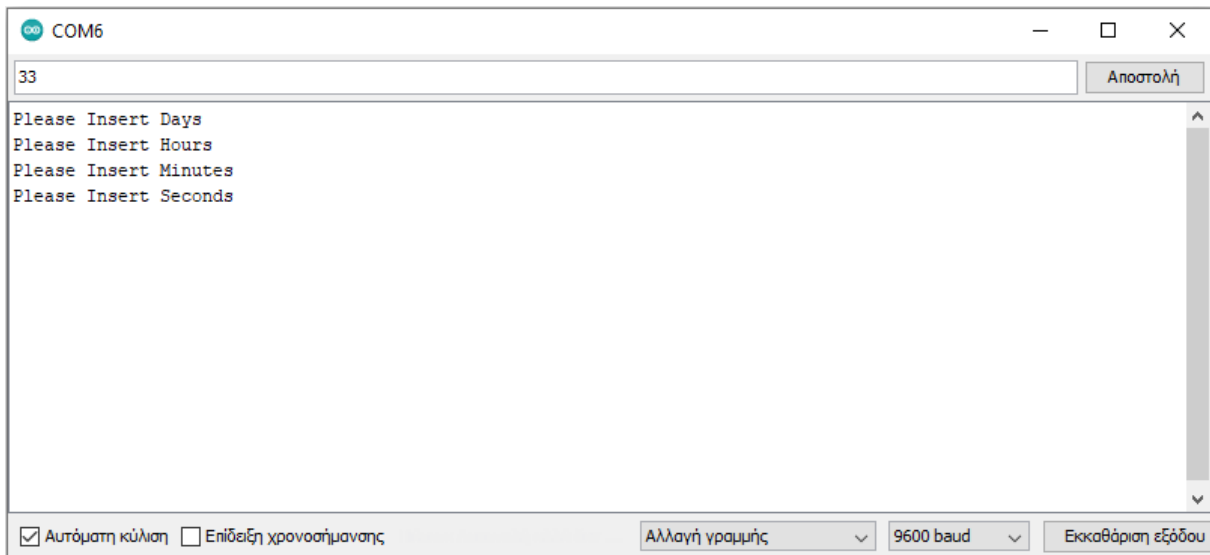
Σχήμα 3-15: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης ωρών.

Στην κατάσταση αυτήν η εφαρμογή χρονιστή ζητάει από τον χρήστη να εισάγει τον επιθυμητό αριθμό ωρών και να πατήσει enter. Μόλις ο χρήστης το κάνει αυτό, το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη του κατάσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 3-16.



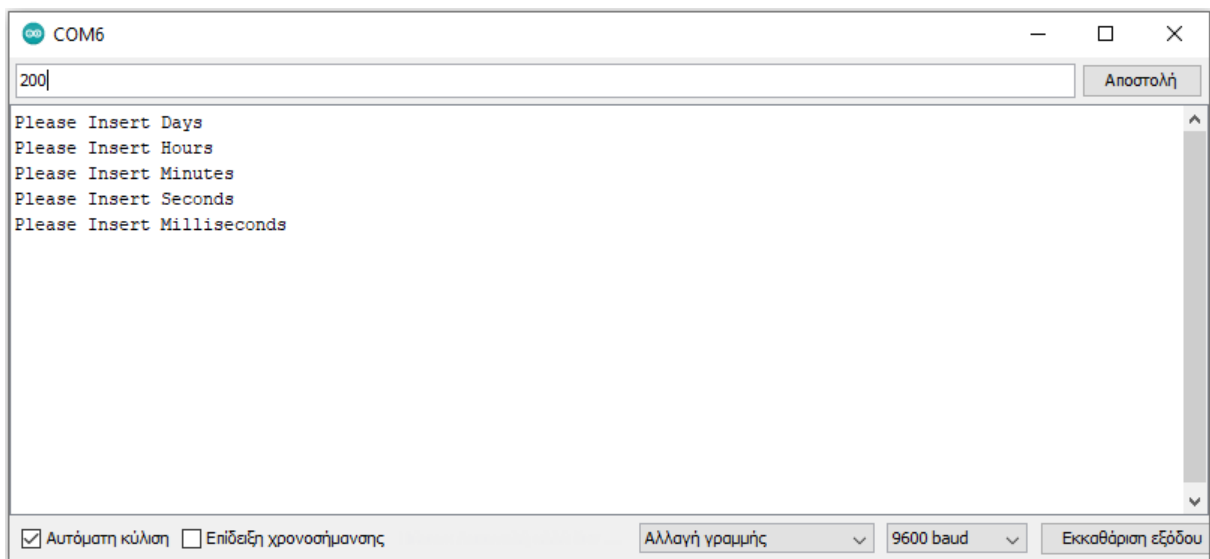
Σχήμα 3-16: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης λεπτών.

Στην κατάσταση αυτήν η εφαρμογή χρονιστή ζητάει από τον χρήστη να εισάγει τον επιθυμητό αριθμό λεπτών και να πατήσει enter. Μόλις ο χρήστης το κάνει αυτό, το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη του κατάσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 3-17.



Σχήμα 3-17: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης δευτερολέπτων.

Στην κατάσταση αυτήν η εφαρμογή χρονιστή ζητάει από τον χρήστη να εισάγει τον επιθυμητό αριθμό δευτερολέπτων και να πατήσει enter. Μόλις ο χρήστης το κάνει αυτό, το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη του κατάσταση όπως φαίνεται στο σχήμα 3-18.



Σχήμα 3-18: Κατάσταση εφαρμογής αίτησης χιλιοστών του δευτερολέπτου.

Στην κατάσταση αυτήν η εφαρμογή χρονιστή ζητάει από τον χρήστη να εισάγει τον επιθυμητό αριθμό δευτερολέπτων και να πατήσει enter. Μόλις ο χρήστης το κάνει αυτό, το πρόγραμμα θα συνεχίσει στην επόμενη του κατάσταση η οποία θα είναι να μετρήσει το επιθυμητό χρονικό διάστημα.

Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι ικανή να μετρήσει χρονικά διαστήματα από 100ms μέχρι και 50 ημερών, αλλά υπάρχει, χωρίς καμία αμφιβολία, με κάποιες τροποποιήσεις στο υλικολογισμικό του η δυνατότητα να μπορεί να κάνει μετρήσεις χρονικών διαστημάτων μεγαλύτερων από 50 ημερών. Και από το διάγραμμα ροής το οποίο απεικονίζει τον αλγόριθμο της εφαρμογής προκύπτει πως υπάρχει ένα ευρύ υπόβαθρο δυνατοτήτων οι οποίες μπορούν εύκολα να ενσωματωθούν αρκετές λειτουργίες ειδικά προσαρμοσμένες για εφαρμογές ειδικού σκοπού.

### 3.7 Επίλογος

Το τμήμα μιας εργασίας το οποίο ασχολείται με την ανάπτυξη μίας εφαρμογής αποτελεί το σημαντικότερο καθώς σε αυτό θα αποδειχθεί αν η μελέτη και η κάθε προετοιμασία πραγματοποιήθηκε σωστά.

Από τα χρησιμότερα εργαλεία σχεδιασμού ενός συστήματος είναι η ανάλυση των διακριτών τμημάτων του σε διαγράμματα. Τα δύο κύρια είδη διαγραμμάτων είναι τα μπλοκ διαγράμματα και τα διαγράμματα ροής.

Το μπλοκ διάγραμμα συνήθως χρησιμοποιείται στην απεικόνιση των διακριτών τμημάτων ενός συστήματος ηλεκτρονικού υλικού και τον τρόπο με τον οποίο διασυνδέονται μεταξύ τους. Τα διαγράμματα ροής από την άλλη χρησιμοποιούνται για να απεικονίσουν τα διακριτά τμήματα ενός αλγόριθμου και την λογική με την οποία λειτουργούν, καθώς και ο τρόπος με τον οποίο διασυνδέονται μεταξύ τους.

Το υλικό μέρος των ενσωματωμένων συστημάτων αποτελείται από διάφορα ηλεκτρονικά στοιχεία τα οποία είναι τοποθετημένα επάνω σε μία τυπωμένη πλακέτα η οποία διαθέτει ένα δίκτυο χάλκινων αγωγών με το οποίο διασυνδέει τα ηλεκτρονικά στοιχεία μεταξύ τους.

Το λογισμικό μέρος ενός ενσωματωμένου συστήματος είναι το ίδιο αναγκαίο με αυτό του υλικού καθώς είναι αυτό το οποίο θα δώσει τις οδηγίες προς το υλικό και θα το διαχειριστεί έτσι ώστε να πραγματοποιήσει τις λειτουργίες του.

Η λειτουργία ενός χρονιστή μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολλούς και διάφορους τρόπους. Στην εργασία αυτή αναπτύχθηκε ως ενσωματωμένο σύστημα το οποίο αποδεικνύει πως διαθέτει μεγάλο εύρος ευελιξίας εφαρμογών με ελάχιστη ή και καμία επέμβαση στο υλικό του μέρους.

## Κεφάλαιο 4ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Τα ενσωματωμένα συστήματα είναι ιδανικά για την ανάπτυξη συστημάτων τα οποία απαιτούν έστω και ένα ελάχιστο επίπεδο ελέγχου με έναν προσιτό οικονομικά τρόπο και για εφαρμογές ειδικού σκοπού όπως η ανάπτυξη ενός χρονιστή.

Η κεντρική λειτουργία ενός χρονιστή αποτελεί μία από τις πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες εφαρμογές σε όλα τα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα στις πιο θεμελιώδης εφαρμογές των ηλεκτρονικών συστημάτων οι οποίες διαθέτουν κάποιου είδους έλεγχο όπως είναι οι επεξεργαστές και οι μικροελεγκτές, οι καταχωρητές, ακόμη και μονάδες μνήμης.

Οι χρονιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές όπως το να μετράνε το πέρασμα του χρόνου, να μετράνε συγκεκριμένες χρονικές διάρκειες, να καταγράφουν την χρονική στιγμή ενός συμβάντος, να μετράνε μία χρονική διάρκεια αντιστρόφως και αρκετές άλλες εφαρμογές.

Η ανάπτυξη ενός χρονιστή ως λειτουργία λογισμικού είναι μία μέθοδος η οποία επιτρέπει την παραμετροποίηση της λειτουργίας του με έναν αφαιρετικό τρόπο το οποίο σημαίνει πως αυξάνει την ευελιξία των εφαρμογών και δυνατοτήτων του.

Η ανάπτυξη ενός χρονιστή ως λειτουργία ενσωματωμένου συστήματος απαιτεί ως προσέγγιση να μελετηθεί πολύ καλά το υλικό του μέρος προκειμένου να σχεδιαστεί κατάλληλα το λογισμικό ώστε να λειτουργήσει στο συγκεκριμένο υλικό.

Για την συνέχιση της παρούσας εργασίας προτείνεται η ανάπτυξη λογισμικού το οποίο θα μπορούσε να λειτουργήσει ως γραφικό περιβάλλον χρήστη με το οποίο ο χρήστης θα έχει πρόσβαση σε περισσότερες λειτουργίες του συστήματος.

Θα μπορούσε να σχεδιαστεί ένα απεικονιστικό σύστημα ειδικού σκοπού αποκλειστικά για αυτή την εφαρμογή ώστε να ενισχύσει την δυνατότητα φορητότητας του συγκεκριμένου συστήματος.

Μπορεί επίσης να βελτιωθεί το λογισμικό του ως προς τον τρόπο εκτέλεσης του κώδικα ώστε να απαλειφθεί το polling.



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

### Βιβλία

- [1] Helen R. Jacobus, *Zodiac Calendars in the Dead Sea Scrolls and Their Perception: Ancient Astronomy and Astrology in Early Judaism*. ISBN: 978-90-04-28405-0, Brill, 31 October 2014.
- [3] P. Kenneth Seidelmann, *Explanatory Supplement to the Astronomical Almanac*. ISBN: 1-891389-45-9, LCCN: 2005930073, CA: University Science Books, 1992.
- [6] Samuel L. Macey, *Encyclopedia of Time*. ISBN: 0-8153-0615-6, New York & London: Garland Publishing Inc., 1994.
- [8] Paul Davies, *About Time: Einstein's Unfinished Revolution*. ISBN: 978-0-684-81822-1, Simon & Schuster, 1996.
- [9] Mermin N. David, *It's About Time: Understanding Einstein's Relativity*. ISBN: 978-0-691-12201-4, Princeton University Press, 2005.
- [10] Charlie Gere, *Art Time and Technologies*. ISBN: 978-1-845-20135-7, Bloomsbury Publishing, 01 May 2006.
- [12] Baillie G. H., O. Clutton and C. A. Ilbert, *Britten's Old Clocks and Watches and Their Makers 7th edition*. ISBN-13: 978-0-517-01771-5, Bonanza Books, 01 January 1956.
- [16] Sobey Ed, *The Way Kitchens Work: The Science Behind the Microwave, Teflon Pan, Garbage Disposal and more*. ISBN: 978-1-569-76281-3, USA: Chicago Review Press, pp. 161-164, 2021.
- [18] John Catsoulis, *Designing Embedded Hardware second edition*. ISBN: 978-0-596-00755-8, O'Reilly, May 2005.
- [21] [24] Steve Heath, *Embedded System Design EDN series for design engineers second edition*. ISBN: 978-0-7506-5546-0, 2003.
- [23] James M. Conrad, Alexander G. Dean, *Embedded Systems, An Introduction Using the Renesas RX62N Microcontroller*. ISBN: 978-1935-7729-96, September 2011.
- [25] David Harris & Sarah Harris, *Digital Design and Computer Architecture, second edition*. ISBN: 978-0-123-94424-4, pp. 515, Morgan Kaufmann, 2012.
- [28] Ian McNeil, *An Encyclopedia of the History of Technology*. ISBN: 978-0-415-14792-7, pp. 961, London: Routledge, 1990.
- [31] Claire L. Evans, *Broad Band: The Untold Story of the Women Who Made the Internet*. ISBN: 978-0-735-21175-9, New York: Portfolio/Penguin, 2018.
- [33] Ed Sutter, *Embedded Systems Firmware Demystified*. ISBN-13: 978-1-578-20099-3, ISBN-10: 1578200997, CMP Books, 15 February 2002.
- [37] Goldstine Herman, *The Computer from Pascal to Von Neumann*. ISBN: 978-0-691-08104-2, Princeton University Press, pp. 266-267, 1972.
- [38] Thomas H. Cormen, Charles E. Leiserson, Ronald L Rivest, Clifford Stein, *Introduction to Algorithms, third edition*. ISBN-13: 978-0-262-03384-8, MIT Press, 1 January 2009.

## Data Sheet

[27] Atmel, "SMART ARM-based MCU," Atmel-11057C-ATARM-SAM3X-SAM3A datasheet, 23 March 2015.

## Internet Site

[2] Wikipedia, "Solar Calendar," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Solar\\_calendar](https://en.wikipedia.org/wiki/Solar_calendar)

[5] Wikipedia, "Lunar Calendar," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar\\_calendar](https://en.wikipedia.org/wiki/Lunar_calendar)

[7] Wikipedia, "Calendar," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Calendar>

[11] Wikipedia, "Time," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Time>

[13] Wikipedia, "Clock," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Clock>

[15] Wikipedia, "Quartz clock," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Quartz\\_clock](https://en.wikipedia.org/wiki/Quartz_clock)

[17] Wikipedia, "Timer," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Timer>

[19] Wikipedia, "Embedded system," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Embedded_system)

[26] Wikipedia, "Microcontroller," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>

[30] Wikipedia, "Electronic circuit," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic\\_circuit](https://en.wikipedia.org/wiki/Electronic_circuit)

[32] Wikipedia, "Software," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

<https://en.wikipedia.org/wiki/Software>

[34] Technopedia, "Firmware," *Technopedia*, 15 February 2021. [Online]. Available:

<https://www.techopedia.com/definition/2137/firmware>

[36] Wikipedia, "Block diagram," *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Block\\_diagram](https://en.wikipedia.org/wiki/Block_diagram)

- [39] Wikipedia, “Algorithm,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Algorithm>
- [40] Wikipedia, “Series and parallel circuits,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Series\\_and\\_parallel\\_circuits](https://en.wikipedia.org/wiki/Series_and_parallel_circuits)
- [41] Wikipedia, “Resistor,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Resistor>
- [42] Wikipedia, “Capacitor,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor>
- [43] Wikipedia, “Bipolar junction transistor,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar\\_junction\\_transistor](https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_junction_transistor)
- [44] Wikipedia, “Light emitting diode,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting\\_diode](https://en.wikipedia.org/wiki/Light-emitting_diode)
- [45] Wikipedia, “Diode,” *Wikipedia*, 2022. [Online]. Available: <https://en.wikipedia.org/wiki/Diode>

#### **Paper in Conference Proceedings**

- [20] Matthew Tancreti, Mohammad Sajjad Hossain, Saurabh Bagchi, Raghunathan Vijay, “Aveksha: A Hardware-software Approach for Non-intrusive Tracing and Profiling of Wireless Embedded Systems,” Proceedings of the 9th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems. SenSys '11. New York, NY, USA: ACM: pp. 288–301, DOI: 10.1145/2070942.2070972, ISBN: 978-1-450-30718-5, S2CID: 14769602, 2011.

#### **Journal Articles**

- [4] Ari Belenkiy and Eduardo Vila Echagüe, “Reform of the Julian Calendar as Envisioned by Isaac Newton,” *Notes and Records of the Royal Society of London*, vol. 59, no. 3, pp. 223-254, 2005.
- [14] Marrison Warren, “The Evolution of the Quartz Crystal Clock,” *Bell System Technical Journal*, vol. 27, no. 3, pp. 510-588, 1948.
- [22] Shirriff Ken, “The Surprising Story of the First Microprocessors,” *IEEE Spectrum, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, vol. 53, no. 9, pp. 48-54, 30 August 2016.
- [29] Ankush Kumar, N. S. Vidhyadhiraja, G.U. Kulkarni, “Current distribution in conducting nanowire networks,” *Journal of Applied Physics*, vol. 122, no. 4, pp. 45-101, 2017.
- [35] Sajid Iqbal, Suhail Aftab, Tahi Hussain Rizvi, Ghulam Abbas, Muhammad Majid Gulzar, “Concept Building through Block Diagram Using Matlab/Simulink,” *New Horizons*, vol. 66-67, pp. 30-34, January 2010.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΤΙΤΛΟΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ

Παρατίθεται ο κώδικας ο οποίος αναπτύχθηκε σε wiring C όπως αυτός χρησιμοποιήθηκε για το σύστημα μικροελεγκτή Arduino DUE.

```
unsigned long initialMillis = 0; //  
const unsigned long accuracy = 100; //timer accuracy in ms.
```

```
double sec;  
int minutes;  
int hours;  
int days;  
int ellapsed;  
double seconds;  
int minu;  
int hour;
```

```
unsigned long ellapsed_time;  
unsigned long req_time;
```

```
void setup() {
```

```
    unsigned long d,h,m,s,ms,g;
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
    Serial.println("Please Insert Days");  
    while (Serial.available()==0){ }  
    d = Serial.parseInt();  
    while (Serial.available(>0)){g=Serial.read();}
```

```
    Serial.println("Please Insert Hours");  
    while (Serial.available()==0){ }  
    h = Serial.parseInt();  
    while (Serial.available(>0)){g=Serial.read();}
```

```
    Serial.println("Please Insert Minutes");  
    while (Serial.available()==0){ }  
    m = Serial.parseInt();  
    while (Serial.available(>0)){g=Serial.read();}
```

```
    Serial.println("Please Insert Seconds");  
    while (Serial.available()==0){ }  
    s = Serial.parseInt();  
    while (Serial.available(>0)){g=Serial.read();}
```

```
    Serial.println("Please Insert Milliseconds");  
    while (Serial.available()==0){ }  
    ms = Serial.parseInt();  
    while (Serial.available(>0)){g=Serial.read();}
```

```
    req_time=d*86400000+h*360000+m*60000+s*1000+ms;  
    Serial.println(h);
```

```

initialMillis = millis();

while (elapsed_time < req_time) {
    elapsed_time = millis() - initialMillis;

    if (elapsed_time >= 100) {
        sec = elapsed_time / 1000.00;
        minu = sec / 60;
        hour = minu / 60;
        days = hour / 24;
        seconds = sec - (minu * 60);
        minutes = minu - (hour * 60);
        hours = hour - (days * 24);
        Serial.print("current time = ");
        Serial.print(days);
        Serial.print(" : ");
        Serial.print(hours);
        Serial.print(" : ");
        Serial.print(minutes);
        Serial.print(" : ");
        Serial.println(seconds);
    }

}

}

void loop() {
    // put your main code here, to run repeatedly:

}

```