



ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ
Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2016-17
ΣΧΕΔΙΑΣΗ & ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑ-
ΤΩΝ (SYSTEMS ENGINEERING)
(ΠΔ 96 /2015/ΦΕΚ 163Α'/20.08.2014)



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΜΕΤΡΗΤΗΣ ΠΥΡΟΜΑΧΙΚΩΝ ΤΥΦΕΚΙΟΥ

Υπό:

Αντωνίου Χ. Μαμμά

Α.Μ.: 2017018008

ΙΟΥΝΙΟΣ 2021

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του Αντωνίου Μαμμά εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Νικόλαος Παπαδάκης (Επιβλέπων)
Αναπληρωτής Καθηγητής Στρατιωτικής Σχολής
Ευελπίδων

Nikolaos Papadakis

Νικόλαος Ιω. Δάρας
Κοσμήτορας Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων



Νικόλαος Τσουρβελούδης
Καθηγητής Σχολής Μηχανικών Παραγωγής &
Διοίκησης Πολυτεχνείου Κρήτης



Digitally signed
by Nikolaos
Tsourveloudis
Date: 2021.09.06
12:22:10 + 03'00'

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή την εργασία εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων και του Πολυτεχνείου Κρήτης.

It is prohibited to copy, store and distribute this work, in whole or in part, for commercial purposes. Reproduction, storage and distribution for educational or research purposes are permitted, provided the source of origin is stated and this message maintained. Questions regarding the use of the work for profit should be directed to the author.

The views and conclusions contained in this paper are those of the author and should not be construed as representing the official positions of the Military College of Greece and the Technical University of Crete.

Copyright © Ιουν 21 Αντώνιος Μαμμάς

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

Η παρούσα εργασία αφιερώνεται:

*Στους γονείς μου Χρήστο και Μαρία, στα αδέρφια μου Ειρήνη και Στυλιανό και
στη σύζυγό μου Σέβη.*

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Καταρχάς, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Νικόλαο Παπαδάκη, Αναπληρωτή καθηγητή της Στρατιωτικής Σχολής Ευελπίδων, για την ανάθεση του θέματος της παρούσας Μεταπτυχιακής Διατριβής με τίτλο «Μετρητής Πυρομαχικών Τυφεκίου», όπως επίσης και για τη διαρκή καθοδήγηση και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας .

Πολλές ευχαριστίες οφείλονται στους γονείς μου και τη σύζυγό μου, που με στήριξαν καθ' όλη την ακαδημαϊκή μου πορεία και παρά τις αντιξοότητες που υπήρχαν.

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Περίληψη.....	1
Abstract.....	2
Εισαγωγή.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....	5
Ο ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΣΤΡΑΤΙΩΤΗ ΤΟΥ ΜΕΛΛΟΝΤΟΣ	
1.1 Εισαγωγή.....	5
1.2 Προγράμματα Αναβάθμισης.....	6
1.2.1 Αμερικανικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «Land Warrior».....	6
1.2.2 Ρωσικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «Ratnik».....	9
1.2.3 Γαλλικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «FELIN».....	12
1.2.4 Προγράμματα Λοιπών Χωρών.....	16
1.3 Ελληνικό Πρόγραμμα Αναβάθμισης Εξοπλισμού Στρατιώτη.....	23
1.3.1 Πρόγραμμα «Μελλοντικός Έλληνας Μαχητής».....	23
1.3.2 Το Τυφέκιο G3A3 – A4.....	26
1.3.2.1 Γενικά - Τεχνικά Χαρακτηριστικά.....	26
1.3.2.2 Κύρια Μέρη.....	27
1.3.2.3 Περιγραφή Λειτουργίας.....	28
1.3.2.4 Πρόγραμμα Αναβάθμισης Τυφεκίου G3A3 – A4.....	33
1.4 Σύγχρονα Συστήματα Μέτρησης Πυρομαχικών.....	35
1.5 Επίλογος 1 ^{ου} Κεφαλαίου.....	39
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....	41
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	
2.1 Εισαγωγή.....	41
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	41
2.3 Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.....	44
2.3.1 Γενικά.....	44
2.3.2 Βασική Δομή των ΣΑΕ.....	45

2.3.2.1	Συστήματα Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου.....	47
2.3.2.2	Συστήματα Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου.....	48
2.3.3	Μέθοδοι Ελέγχου Συστημάτων.....	49
2.3.3.1	Έλεγχος PID.....	49
2.3.3.2	Βέλτιστος Έλεγχος.....	51
2.3.3.3	Προσαρμοστικός Έλεγχος.....	52
2.3.3.4	Λογικός Έλεγχος.....	53
2.3.3.5	Εύρωστος Έλεγχος.....	53
2.3.3.5	Ευφυής Έλεγχος.....	54
2.4	Μεθοδολογία Σχεδίασης και Ανάπτυξης Συστημάτων Μετρήσεων και Ελέγχου..	54
2.4.1	Εισαγωγή.....	54
2.4.2	Στάδια Σχεδίασης.....	56
2.4.2.1	Στάδιο Απαιτήσεων.....	56
2.4.2.2	Στάδιο Προδιαγραφών.....	56
2.4.2.3	Στάδιο Αρχιτεκτονικής.....	56
2.4.2.4	Στάδιο Σχεδίασης Υλικού.....	56
2.4.2.5	Στάδιο Σχεδίασης Λογισμικού.....	57
2.4.2.6	Στάδιο Ολοκλήρωσης Συστήματος.....	57
2.4.2.7	Στάδιο Ελέγχου/Δοκιμής.....	57
2.5	Θεωρία Αισθητήρων.....	57
2.5.1	Εισαγωγή.....	57
2.5.2	Τύποι Αισθητήρων.....	58
2.5.3	Χαρακτηριστικά Αισθητήρων.....	59
2.6	Επίλογος 2 ^{ου} Κεφαλαίου.....	68
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....	69
	ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ HALL	
3.1	Μελέτη Φαινομένου Hall.....	69
3.1.1	Εισαγωγή.....	69

3.1.2	Θεωρία του Φαινομένου Hall.....	69
3.1.3	Αισθητήρες Φαινομένου Hall.....	71
3.1.3.1	Αναλογικοί Αισθητήρες Φαινομένου Hall.....	73
3.1.3.2	Χαρακτηριστικά Αναλογικών Αισθητήρων Φαινομένου Hall.....	74
3.1.3.3	Αισθητήρες Φαινομένου Hall Τύπου Κατωφλίου ή Ψηφιακοί.....	76
3.1.3.3	Χαρακτηριστικά Αισθητήρων Φαινομένου Hall Τύπου Κατωφλίου ή Ψηφιακοί.....	78
3.1.3.4	Μαγνητικό Πεδίο και Αισθητήρες Hall.....	80
3.1.3.5	Εφαρμογές Αισθητήρων Hall.....	86
3.2	Θεωρητική Σχεδίαση Συστήματος Μετρητή Πυρομαχικών Τυφεκίου G3.....	87
3.2.1	Αρχική Ιδέα.....	87
3.2.2	Διερεύνηση της Ιδέας.....	87
3.2.3	Προκαταρκτική Σχεδίαση.....	90
3.2.3.1	Απαιτήσεις – Προδιαγραφές.....	90
3.2.3.2	Αρχιτεκτονική.....	93
3.2.3.3	Σχεδίαση Υλικών.....	94
3.2.3.4	Σχεδίαση Λογισμικού.....	96
3.3	Επίλογος 3 ^{ου} Κεφαλαίου.....	96
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....		97
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ		
4.1	Πλατφόρμα Ανάπτυξης «Arduino».....	97
4.1.1	Εισαγωγή.....	97
4.1.2	Βασικά Χαρακτηριστικά – Εκδόσεις.....	97
4.1.2.1	Arduino Uno.....	98
4.1.2.2	Arduino Mega.....	99
4.1.2.3	Arduino Leonardo.....	101
4.1.2.4	Arduino Micro	103
4.1.2.5	Arduino Nano.....	104
4.1.2.6	Arduino Lilypad.....	106

4.2	Πειραματική Διάταξη.....	107
4.2.1	Εξαρτήματα Μετρητή Πυρομαχικών G3.....	107
4.2.2	Φύλλα Δεδομένων «Datasheet» των Εξαρτημάτων.....	108
4.2.2.1	Linear Hall-Effect IC AH49E	108
4.2.2.2	Waveshare 49E Hall Sensor Module	110
4.2.2.3	MAX7219 IC Decoder	111
4.2.2.4	7 Segments 3 Digit Led Display Common Cathode.....	117
4.2.3	Συνδεσμολογία.....	119
4.2.4	Ανάπτυξη Κώδικα.....	123
4.3	Ανάπτυξη Android Εφαρμογής.....	130
4.3.1	Εισαγωγή.....	130
4.3.2	Περιγραφή App Inventor 2.....	130
4.3.3	Ανάπτυξη Λογισμικού Εφαρμογής.....	132
4.4	Έλεγχος/Δοκιμή.....	134
4.5	Αξιολόγηση.....	139
4.6	Δημιουργία Προτύπου.....	140
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	141
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	143
	ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	146

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η τελευταία 20ετία χαρακτηρίζεται από μια αλματώδη τεχνολογική εξέλιξη σε όλους τους τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας. Φυσικό και επόμενο είναι, από αυτή την αλματώδη εξέλιξη, να πρωτοπορούν οι στρατιωτικές τεχνολογικές εφαρμογές, όπως π.χ. η πλήρης ψηφιοποίηση του πεδίου της μάχης και η αναβάθμιση του εξοπλισμού των μαχητών.

Μελέτες έχουν δείξει ότι η εξέλιξη των όπλων τείνει να κάνει τις μάχες να διαρκούν λιγότερο και την έντασή τους να αυξάνει. Επίσης έχει αποδειχθεί ότι ένας έμπειρος μαχητής είναι δυνατόν με εκπαίδευση να συνηθίσει να μετρά σχεδόν ασυναίσθητα πόσες σφαίρες βάλλει, αλλά όχι με πλήρη ακρίβεια, και φυσικά είναι αδύνατον να μετρήσει όταν βάλλει κατά ριπάς. Επιπλέον, η χρήση όπλων με δυνατότητες βολής κατά ριπάς φέρνει στο προσκήνιο την απαίτηση να γνωρίζει ο επικεφαλής της ομάδας, αλλά και ο μαχητής, πόσα πυρομαχικά του απομένουν έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης έλεγχος της στάθμης των πυρομαχικών.

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή έχει ως στόχο τη μελέτη, σχεδίαση και ανάπτυξη ενός μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου. Αυτή τη στιγμή δεν υφίσταται κάποιο σύστημα που να χρησιμοποιείται από τις χερσαίες δυνάμεις των προηγμένων χωρών. Η κύρια ιδέα της εργασίας είναι η ανάπτυξη μιας μικρής ηλεκτρονικής συσκευής, η οποία προσαρμόζεται επί του τυφεκίου. Η συσκευή θα χρησιμοποιεί κατάλληλο αισθητήρα (Hall – Effect Sensor) για να «αντιλαμβάνεται» τότε ένα φυσίγγιο εισέρχεται στη θαλάμη και πυροδοτείται. Επίσης θα διαθέτει οπτική ένδειξη, ρυθμιζόμενη ανάλογα με τη χωρητικότητα του γεμιστήρα και ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας μέσω «Bluetooth», ώστε να μεταδίδει τις ενδείξεις σε κάποιο «Personal Assistant» ή παρόμοια φορητή συσκευή που παρακολουθεί το απόθεμα των πυρομαχικών.

Λέξεις Κλειδιά: Φαινόμενο Hall, Αισθητήρες, Μαγνητικό Πεδίο, Arduino, Bluetooth, App Inventor 2, G3A3-A4, Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.

ABSTRACT

The last 20 years are characterized by a rapid technological development in all areas of human activity. It goes without saying, from this swift development, that military technological applications, such as e.g. the complete digitalization of the battlefield and the upgrade of the fighters' equipment.

Studies have shown that the evolution of weapons inevitably leads to battles with smallest duration and increased intensity. It has also been shown that an experienced combatant can after training, get used to count almost how many bullets he fires, but not with complete accuracy, and of course it is impossible to count when firing in bursts. In addition, the use of weapons with burst capabilities brings forward the challenge for the team leader and the combatant as well, to know how much ammunition has they been left in order to attain complete control over the level of ammunition.

The present dissertation aims at the study, design and development of a rifle ammunition meter. For the time being there is no system used by the land forces of advanced countries. The main idea of the work is to develop a small electronic device, which adapts to the rifle. The device will use a suitable sensor (Hall - Effect Sensor) to "perceive" when a cartridge enters the chamber and is fired. It will also have a visual indication, a magazine capacity adjustment and short-range wireless communication via "Bluetooth", to transmit the indications to a "Personal Assistant" or similar mobile device that monitors the ammunition stock.

Keywords: Hall Effect, Sensors, Magnetic Field, Arduino, Bluetooth, App Inventor 2, G3A3-A4, Automatic Control Systems.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σήμερα, το στρατηγικό και επιχειρησιακό περιβάλλον επηρεάζεται από τα συνεχή εξοπλιστικά προγράμματα των κρατών, την καινοτομία του εκσυγχρονισμού των πλατφόρμων μάχης, τις απειλές στον κυβερνοχώρο, ενώ η ρομποτική και η τεχνητή νοημοσύνη είναι οι νέες μελλοντικές προκλήσεις. Υπό αυτό το πρίσμα αναδεικνύεται η ανάγκη και για τον εκσυγχρονισμό ή την τροποποίηση και του λοιπού εξοπλισμού των μαχητών, από τον απλό οπλίτη του πεζικού έως τον μαχητή ενός ειδικού τμήματος, προκειμένου να είναι σε θέση να ανταποκριθούν στις απαιτήσεις και την πολυπλοκότητα των αναλαμβανόμενων αποστολών.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας κρίνεται σκόπιμο να γίνει αναφορά στον εξοπλισμό του μελλοντικού στρατιώτη, στα προγράμματα αναβάθμισης που αναπτύσσονται από τα κράτη και στις τρέχουσες αναβαθμίσεις και δυνατότητες που προσφέρονται όσο αφορά τον οπλισμό. Ιδιαίτερη μνεία γίνεται στην ελληνική πραγματικότητα και στις δυνατότητες αναβάθμισης του κύριου τυφεκίου εφόδου (G3A3-A4) που χρησιμοποιούν οι ελληνικές Ένοπλες Δυνάμεις.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) και η θεωρία των αισθητήρων, οι οποίες είναι ουσιώδεις κατά την σχεδίαση και ανάπτυξη ενός συστήματος ή εφαρμογής.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφεται η θεωρία, η λειτουργία, τα χαρακτηριστικά και οι εφαρμογές του κύριου αισθητήρα (Hall Sensor) που θα χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου.

Στο τέταρτο κεφάλαιο αναπτύσσεται το πειραματικό μέρος της εργασίας, το οποίο περιλαμβάνει το υλικό, τις προδιαγραφές, τις ηλεκτρονικές διατάξεις και τον κώδικα του μετρητή. Επίσης αναλύεται και η ανάπτυξη της εφαρμογής android για τη διαχείριση των πυρομαχικών.

Τέλος παρατίθενται τα αποτελέσματα της δοκιμής του μετρητή και προτάσεις για την βελτίωση και χρήση του από τις Ένοπλες Δυνάμεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ο Εξοπλισμός του Στρατιώτη του Μέλλοντος

1.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει παρουσίαση των διαφόρων προγραμμάτων αναβάθμισης εξοπλισμού του «μελλοντικού στρατιώτη», που έχουν ανακοινωθεί από τις ένοπλες δυνάμεις των προηγμένων χωρών και της ιδιάζουσας σημασίας που έχουν στο σύγχρονο πεδίο της μάχης.

Θεμελιώδης στόχος των προγραμμάτων αυτών είναι να καταστήσουν τον οπλίτη του Πεζικού, ένα ολοκληρωμένο σύστημα μάχης, με αυξημένη δυνατότητα εξουδετέρωσης στόχων, επιβιωσιμότητα, κινητικότητα, διοίκηση και έλεγχο στη μάχη, έτσι ώστε να είναι εφικτή η επίτευξη δικτυοκεντρικής δυνατότητας μάχης με την πλήρη εκμετάλλευση των νέων τεχνολογιών.

Στο πλαίσιο αυτό έχουν παρουσιαστεί σε διάφορες εκθέσεις οπλικών συστημάτων και στρατιωτικής τεχνολογίας, «μετρητές πυρομαχικών», οι οποίοι ενσωματώνονται στα ατομικά τυφέκια που φέρουν οι μαχητές, χωρίς ωστόσο να έχουν συμπεριληφθεί μέχρι στιγμής, ως «υποσύστημα», σε κάποιο πρόγραμμα αναβάθμισης που βρίσκεται σε εξέλιξη ή έχει ολοκληρωθεί.

Επιπρόσθετα θα γίνει ιδιαίτερη μνεία στην προσπάθεια αναβάθμισης του ατομικού εξοπλισμού «μαχητή» των ελληνικών Ενόπλων Δυνάμεων και θα αναλυθούν οι δυνατότητες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κύριου ατομικού τυφεκίου εφόδου (G3A3-A4) που

χρησιμοποιείται από αυτές, ώστε να τεθούν οι βάσεις για την σχεδίαση και ανάπτυξη του «Μετρητή Πυρομαχικών» της παρούσας εργασίας.

1.2 Προγράμματα Αναβάθμισης

1.2.1 Αμερικανικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «Land Warrior»

Το «Land Warrior» ήταν ένα πρόγραμμα του στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών που ακυρώθηκε το 2007 αλλά επανεκκινήθηκε το 2008. Ο εξοπλισμός αποτελείται από ένα συνδυασμό προϊόντων εμπορίου και στρατιωτικού εξοπλισμού. [1]

Το αρχικό σύστημα κατασκευάστηκε γύρω από τα τυφέκια M16 - M4 «carbine». Τα τυφέκια φέρουν αρθρωτές βάσεις ράγας για την προσαρμογή εξοπλισμού ανάλογα με το είδος της κάθε αποστολής, όπως βιντεοκάμερα ημέρας, θερμικό περισκόπιο και αποστασιόμετρο λέιζερ [MFL (Multi-Function Laser)] που παρέχει πληροφορίες εμβέλειας και κατεύθυνσης. Αξίζει να σημειωθεί ότι η παροχή εικόνας από τις φερόμενες κάμερες του συστήματος επιτρέπει στο στρατιώτη να βάλει υπό γωνία ή πίσω από τη θέση μάχης, χωρίς να εκθέσει τον εαυτό του στα εχθρικά πυρά καθώς επίσης δύναται να επιβεβαιώσει τις απώλειες του εχθρού, χωρίς να αποκαλυφθεί η θέση του. [1]

Το «Land Warrior» έχει χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες μάχης στο Ιράκ, όπου αναπτύχθηκαν 229 σύνολα «Land Warrior» από το 4ο τάγμα του 9ου Συντάγματος Πεζικού, από τον Μάιο του 2007 έως τον Ιούνιο του 2008. Αργό-



Εικόνα 1.1 Εξοπλισμός «Land Warrior», όπως παρουσιάστηκε από το Στρατό των ΗΠΑ το 2006



Εικόνα 1.2 Χρησιμοποίηση του εξοπλισμού «Land Warrior» στο Ιράκ τον Ιούλιο του 2007

τερα το σύστημα αναπτύχθηκε στο Αφγανιστάν και παρέμεινε σε χρήση μέχρι την άνοιξη του 2012. Εξέλιξη του συστήματος «Land Warrior», αποτελεί το «Nett Warrior» που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά την άνοιξη του 2011, το οποίο ουσιαστικά είναι το «Land Warrior» των 4,5 κιλών με κάποιο βελτιωμένο πρόσθετο λογισμικό. Μεταγενέστερες αναβαθμίσεις περιλαμβάνουν την ενσωμάτωση φορητής οθόνης και ασύρματου «Rifleman», απλοποιώντας το σύστημα και μειώνοντας το βάρος στα 1,4 κιλά. Το Nett Warrior έχει τη δυνατότητα χρησιμοποίησης βελτιωμένων έξυπνων κινητών (smartphone), χρησιμοποιώντας διαφορετικά μοντέλα κατά τη διάρκεια της ανάπτυξής του, συμπεριλαμβανομένων των Motorola Atrix , Samsung Galaxy Note I και Samsung Galaxy Note 2 . [1],[2]

Οι αρχές σχεδίασης του συστήματος «Land Warrior» είναι οι παρακάτω:

- Ενσωμάτωση εξοπλισμού υψηλής τεχνολογίας σε φορητά όπλα.
- Παροχή επικοινωνιών και δυνατοτήτων διοίκησης και έλεγχου στο επίπεδο του στρατιώτη πεζικού.
- Ο μεμονωμένος στρατιώτης πεζικού θεωρείται ως μια ολοκληρωμένη μονάδα και όχι ως τμήμα μιας μεγαλύτερης δύναμης.
- Βελτίωση της θνησιμότητας ενός στρατιώτη.
- Αύξηση της επιβίωσης ενός στρατιώτη.

Αρχικά Το Land Warrior διαθέτε επτά κύρια υποσυστήματα:

- **Τον οπλισμό.**
- **Το ενσωματωμένο συγκρότημα κράνους.**

Συνδυάζει ένα ελαφρύ προηγμένο κράνος με έναν υπολογιστή και οθόνη OLED που παρέχει διάφορες πληροφορίες από ψηφιακούς χάρτες και τοποθεσίες στρατευμάτων μέχρι και εικόνα από τη βιντεοκάμερα που είναι τοποθετημένη στο όπλο.

- Προστατευτική ενδυμασία και εξοπλισμός.
- Υπολογιστής.

Παρέχει την ισχύ επεξεργασίας και την ικανότητα αποθήκευσης για το σύστημα. Βασίζεται σε έναν βασικό επεξεργαστή ARM (Advanced RISC Machine). Ο υπολογιστής που χρησιμοποιήθηκε είναι η πλακέτα «Ethernet Audio Interface» της Techsol. Η πλακέτα περιλαμβάνει διεπαφές «Ethernet» χαμηλής ισχύος, ήχου, GPS και γενικού σκοπού εισόδους/εξόδους GPIO «General Purpose Input/Output» για μπουτόν που χρησιμοποιούνται για την ρύθμιση της έντασης του ήχου, και των καναλιών «UP/DOWN». Ολόκληρη η φορητή πλακέτα υπολογιστή έχει μέγεθος όσο τα 2/3 μιας επαγγελματικής κάρτας. [1]



Εικόνα 1.3 Πλακέτα «Ethernet Audio Interface» της Techsol

- Πλοήγηση.

Παρέχει πληροφορίες θέσης, ενσωματώνει έναν δέκτη GPS και μια μονάδα υπολογισμού DRM (Digital Rights Management) που διατηρεί την ακριβή θέση όταν το σήμα GPS δεν είναι διαθέσιμο.

- Επικοινωνίες.
- Λογισμικό.

Το σύστημα λογισμικού τροφοδοτήθηκε από μια παραλλαγή του λειτουργικού συστήματος «Linux» και έχει μια αρθρωτή, ανοιχτή αρχιτεκτονική για περαιτέρω βελτίωση.

Στη συνέχεια προστέθηκαν οι παρακάτω αναβαθμίσεις:

- Παροχή τακτικής εικόνας στους αποβιβασμένους στρατιώτες για τη μείωση περιστατικών απωλειών από «φίλια πυρά».
- Φορητή ψηφιακή πλατφόρμα σχεδίασης αποστολών, για τους επικεφαλείς των τμημάτων.
- Μείωση βάρους και απαιτούμενης ισχύος λειτουργίας.
- Επεκτασιμότητα και προσαρμοστικότητα για διάφορες επιχειρησιακές αποστολές.

1.2.2 Ρωσικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «Ratnik»

Το Ratnik είναι ένα ρωσικό μελλοντικό σύστημα μάχης Πεζικού, παρόμοιο με το γαλλικό σύστημα Future Soldier «FELIN».

Έχει σχεδιαστεί για να βελτιώσει τη συνδεσιμότητα και την αποτελεσματικότητα του προσωπικού μάχης των Ρωσικών Ένοπλων Δυνάμεων. Οι βελτιώσεις περιλαμβάνουν εκσυγχρονισμένη προστατευτική εξάρτηση, κράνος με ειδική οθόνη ματιών (θερμική, μονόφθαλμη νυχτερινή όραση), συστήματα επικοινωνίας και ειδικά ακουστικά. Περιλαμβάνει 10 υποσυστήματα και 59 μεμονωμένα στοιχεία. Από τον Οκτώβριο του 2016, έχει ήδη χρησιμοποιηθεί στη μάχη. Η Τρίτη γενιά του συστήματος θα ενσωματώνει διάφορα βιομηχανικά εργαλεία, συμπεριλαμβανομένων των εξωσκελετών. [3],[4],[5],[6]



Εικόνα 1.4 Προηγμένο σύστημα μάχης «Ratnik-3» με ενσωματωμένο εξωσκελετό (Army-2017 defense exhibition)

Ο εξοπλισμός του «Ratnik» είναι ένα σύστημα σύγχρονων συσκευών προστασίας, επικοινωνίας, όπλων και πυρομαχικών. Αποτελείται από κράνος, την ολόσωμη προστατευτική ένδυση (κατασκευασμένη από ειδικό ύφασμα που εμποδίζει τον εντοπισμό στρατευμάτων από συσκευές υπερύθρων), προστασία ακοής, προστατευτικά γυαλιά, προστατευτικό σετ για γόνατα και αγκώνες, ένα εκτοξευτή χειροβομβίδων, οπλισμός κατάλληλος για χρήση κάτω από το νερό, τυφέκιο ελεύθερου σκοπευτή, πυρομαχικά, ένα μαχαίρι μάχης, καθώς και μέσα αναγνώρισης – παρακολούθησης ημέρας και νύχτας. Επίσης, το σύστημα περιλαμβάνει μία σκηνή, ένα πολυλειτουργικό μαχαίρι, φακό φωτισμού «tactical flashlight», ένα ρολόι, χειμερινό και καλοκαιρινό σετ παραλλαγής δύο πλευρών, μια αυτόνομη πηγή θερμότητας, ένα σακίδιο, ένα ατομικό φίλτρο νερού, προσωπίδες προστασίας για ραδιοβιολογικές – χημικές ουσίες, μέσα ακτινολογικού και χημικού ελέγχου και ιατρικό σάκο. [4]

Η διοίκηση, ο έλεγχος και η διακίνηση των πληροφοριών (C2I) της ομάδας, υλοποιείται από το σύστημα «Strelets» που παρέχει επικοινωνία φωνής και βίντεο. Περιλαμβάνει επίσης μια μονάδα πλοήγησης «GLONASS», έτσι ώστε ο αρχηγός της ομάδας να μπορεί να δει τη θέση κάθε στρατιώτη στον μικρό του υπολογιστή, σε μέγεθος βιβλίου. Με αυτόν τον υπολογιστή, μπορεί επίσης να δώσει διαταγές στην ομάδα του και να στείλει βίντεο και φωτογραφίες στη Μονάδα του. Εκτός αυτού, κάθε στρατιώτης έχει



Εικόνα 1.5 Εξοπλισμός «Ratnik»



Εικόνα 1.6 Σύστημα «Strelets»

τον δικό του μικρότερο τακτικό υπολογιστή με μέγεθος τηλεφώνου. Το σύστημα «Strelets» λειτούργησε στη Συριακή σύγκρουση για να στείλει δεδομένα – στόχους στα μαχητικά αεροσκάφη. [4]

Το «Ratnik» προστατεύει σχεδόν το 90% του σώματος ενός στρατιώτη. Το κύριο αντιβαλλιστικό γιλέκο, τύπου «6B45», έχει βαθμολογία 6 στην κατηγορία προστασίας, σύμφωνα με την προδιαγραφή «GOST R 50744-95» και ζυγίζει 7,5 kg (με την παραλλαγή «Assault» να ζυγίζει έως και 15 kg). Το αλεξίσφαιρο γιλέκο προστατεύει πλήρως από βολίδες τυφεκίων των $7,62 \times 39$ mm και από βολίδες τυφεκίων ελεύθερου σκοπευτή $7,62 \times 54$ mm, συμπεριλαμβανομένης της αυξημένης διείσδυσης των διατρητικών φυσιγγίων, ενώ ο μαχητής μπορεί να επιβιώσει από επαναλαμβανόμενες βολές, που γίνονται από κοντινή απόσταση. [4]



Εικόνα 1.7 Αντιβαλλιστικό γιλέκο «6B45» με κεραμικές πλάκες

Συγκεντρωτικά στοιχεία για τον εξοπλισμό του συστήματος «Ratnik» φαίνονται στον πίνακα:

Εξοπλισμός	Οπτικά Παρατήρησης
Η ομάδα μάχης «Ratnik» μπορεί να περιλαμβάνει το τυφέκιο εφόδου AK-12 ή AEK-971, το τυφέκιο ελεύθερου σκοπευτή 6VM7-1 και 6VM7 και το ελαφρύ πολυβόλο «Pecheneg»	Υπέρθρο κανάλι: - Ανίχνευση: 1.500 μ. - Αναγνώριση: 500 μ. Κανάλι ημέρας: - Ανίχνευση: 3.000 μ. - Ταυτοποίηση: 800 μ.
Χρήστες Συστήματος	Επικοινωνία
Ρωσία	Σύστημα επικοινωνίας «Andromeda-D»
Χώρα Προέλευσης	Βάρος «RATNIK»
Ρωσία	19 - 20 κιλά
Παρελκόμενα	Οπλισμός
Οπλα, οπτικά όπλων, σκοπευτικά ημέρας και νύχτας, επικοινωνίες φωνής και δεδομένων, προσωπικές επικοινωνίες, ρουχισμός, αντιβαλλιστικό κράνος και αντιβαλλιστική προστασία.	- AK-12 5,45 mm: 600 μ - 6VM7 και 6VM7M1 12,7 mm: 1.500 m - Pecheneg 7,62 mm: 100 έως 1.500 m
Προστασία	Διοικητική Μέριμνα
NBC, ομοιόμορφη ενσωματωμένη τεχνολογία μικροκυττάρων, ανθεκτική στη φλόγα, μάσκα με φίλτρο και παροχή νερού σε μολυσμένα περιβάλλοντα.	Μερίδα φαγητού και νερού για 1 ημέρα

Πίνακας 1. Συγκεντρωτικά Στοιχεία Εξοπλισμού «Ratnik»

1.2.3 Γαλλικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «FELIN»

Το «FELIN» (Fantassin à Équipement et Liaisons Intégrés, Integrated Infantryman Equipment and Communications), αποτελεί την τελευταία γενιά του εξοπλισμού μελλοντικού στρατιώτη πεζικού που χρησιμοποιείται από τον Γαλλικό Στρατό. Του εγχειρήματος «FELIN» ηγείται η γαλλική εταιρία «Sagem» σε συνεργασία με



Εικόνα 1.8 Εξοπλισμός συστήματος «FELIN»

αριστερές γαλλικές εταιρίες άμυνας, συμπεριλαμβανομένων των Nexter, Thales, Renault Trucks Defense, ELNO και MSA Gallet. Δίνει τη δυνατότητα προσθήκης διάφορων συνθέσεων εξοπλισμού για διάφορα επιχειρησιακά προφίλ όπως διμοιρίτης, ελεύθερος σκοπευτής, πολυβολητής και απλός στρατιώτης. Τα πρώτα 358 ολοκληρωμένα συστήματα FELIN παραδόθηκαν για δοκιμές εδάφους από το Γαλλικό Στρατό στις αρχές του 2007, ενώ η μαζική παραγωγή ξεκίνησε το 2008 [8], [9], [10], [11].



Εικόνα 1.9 «FELIN» Δυνατότητα βολής πίσω από τη θέση μάχης

Γενικά το σύστημα «FELIN» περιλαμβάνει ένα φορητό υπολογιστή, σταθμό ασύρματου για επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων, νέο ιματισμό μάχης με αντιβαλλιστικό γιλέκο και κράνος. Το Βάρος του συστήματος είναι 24kg σε τυπική διάταξη στρατιώτη Πεζικού, όπου



Εικόνα 1.10 Φορητός Υπολογιστής Συστήματος «FELIN»

βάνει το αυτόματο όπλο «FAMAS» και προμήθειες όπως φαγητό, νερό και πυρομαχικά. Το σύστημα FELIN ολοκληρώνεται με τον εξοπλισμό διασύνδεσης για τα θωρακισμένα οχήματα VAB και VBCI τα οποία διαθέτουν ατομικές πηγές ενέργειας για την επαναφόρτιση μπαταριών, φορτιστές μπαταριών που μπορούν να αποσπαστούν και λειτουργία συγχρονισμού πληροφοριακών συστημάτων μεταξύ των οχημάτων (SIT) και των διμοιριτών (SIT COMDE) [8].

Αναλυτικότερα το σύστημα «FELIN» περιλαμβάνει [8]:

- Νέα στολή και άρβυλα μάχης. Τα χιτώνια και τα παντελόνια έχουν «πτυσσόμενες» τσέπες, έτσι ώστε να επεκτείνονται για να επιδέχονται περισσότερα αντικείμενα. Επίσης η στολή είναι ανθεκτική στις φλόγες.

- Όσο αφορά την προστασία, στο αλεξίσφαιρο γιλέκο μπορούν να ενσωματωθεί εύκαμπτες και άκαμπτες βαλλιστικές πλάκες καθώς και ένα ηλεκτρονικό γιλέκο, το οποίο φέρει αρκετές λειτουργίες.

- Η ειδική παραλλαγή προσφέρει χαμηλή υπέρυθρη υπογραφή και ευφλεκτικότητα, καλή μηχανική αντοχή, μέχρι και επίστρωση εντομοαπωθητικού. Συμπεριλαμβάνει, επίσης, σπονδυλωτή, ελαστική και βαλλιστική προστατευτική επένδυση σε αγκώνες, γόνατα και χέρια. Επιπλέον, φέρει σκληρές αρθρωτές πλάκες για επιπρόσθετη προστασία σε συγκεκριμένες συνθήκες.



Εικόνα 1.11 Στολή Μάχης «FELIN»



Εικόνα 1.12 Στρατιώτες με Εξοπλισμό «FELIN»

- Ως κάλυμμα κεφαλής φέρει ένα ελαφρύ, εργονομικό κράνος, ιαλία με προστασία από λέιζερ, προστατευτικό γείσο και επένδυση στην περιοχή του σαγονιού. Ζυγίζει, μόλις, λίγο πάνω από 1.36 kg και σε σχέση με τον προκάτοχο του παρέχει βελτίωση στην προστασία κατά 80%.



Εικόνα 1.13 «FELIN» Νέο Εργονομικό Κράνος

- Για περιβάλλοντα Ράδιο – Βιοχημικού και Πυρηνικού πολέμου, οι στρατιώτες πεζικού έχουν σταθερή στολή που ενσωματώνει μικροκυβελοειδή τεχνολογία, μία μάσκα με φίλτρο αναπνευστικής υποστήριξης και παροχή νερού.

- Για την υποβοήθηση της παρατήρησης και σκόπευσης ο εξοπλισμός παρέχει πληθώρα συσκευών υψηλής αποδοτικότητας. Περιλαμβάνει οπτική συσκευή με δυνατότητα προβολής βίντεο από ποικίλες πηγές, υπέρυθρα σκόπευτρα όπλων (Sword T&D) και ενισχυτή φωτός για κάθε είδους αυτόματο όπλο με τυπικό διαμέτρημα 5.56, όπως τα FAMAS και Minimi, ένα εξειδικευμένο σκόπευτρο υπέρυθρων με τηλεμετρικό λέιζερ για σκοπευτικά τυφέκια (π.χ. FRF2) και πολυλειτουργικά ιαλία υπέρυθρων (JIM MR) για διμοιρίτες. Τα ιαλία και τα σκόπευτρα μπορούν να μεταφέρουν σταθερές και κινούμενες εικόνες στο σύστημα πληροφοριών.



Εικόνα 1.14 «FELIN» Πολυλειτουργικά ιαλία υπέρυθρων (JIM MR)

- Κάθε στρατιώτης έχει συνδεσιμότητα με το σύστημα «Man-Machine Interface (MMI)» με έγχρωμη οθόνη, προσωπικό σταθμό ασυρμάτου συνδεδεμένο στο δίκτυο πληροφοριών Πεζικού του τμήματος, ενσωματωμένο GPS και ακουστικά επικοινωνίας με οστεοφωνική τεχνολογία, μία νέα τεχνολογία που αιχμαλωτίζει την φωνή από την δόνηση του ρινικού οστού. Ως εκ τούτου, οι στρατιώτες μπορούν να ανταλλάξουν ταυτόχρονα δεδομένα ήχου και εικόνες με σχετικά μεγάλη ευκολία [8].

- Ο εξοπλισμός του Διμοιρίτη με το Σύστημα Διαχείρισης Μάχης, τον καθιστά ως ένα πραγματικό κόμβο επικοινωνιών, συνεισφέροντας έτσι σε ένα δίκτυο πλήρως ψηφιοποιημένου πεδίου μάχης. Το σύστημα είναι εγκατεστημένο σε ένα ελαφρύ φορητό υπολογιστή με στρατιωτικές προδιαγραφές και δίνει τη δυνατότητα στο Διμοιρίτη να ελέγχει τους ελιγμούς της διμοιρίας, να δώσει εντολές και να συγκεντρώσει πληροφοριακά δεδομένα από κάθε στρατιώτη στο πεδίο. Ο υπολογιστής επιτρέπει στους επικεφαλής, να ανταλλάζουν πληροφορίες (δεδομένα, εικόνες, βίντεο, ψηφιακούς χάρτες) και να επικοινωνήσουν χρησιμοποιώντας δίκτυα ασυρμάτων. Είναι απευθείας συνδεδεμένο στο (SIT) του οχήματος όταν χρησιμοποιείται μέσα σε αυτό, επιτρέποντας του να συγχρονίσει λειτουργικά δεδομένα και να κατεβάσει ψηφιακούς χάρτες [8], [12].



Εικόνα 1.15 Στολή Μάχης «FELIN»

Συγκεντρωτικά στοιχεία για τον εξοπλισμό του συστήματος «FELIN» φαίνονται στον παρακάτω πίνακα [8]:

Εξοπλισμός	Οπτικά Παρατήρησης
Η ομάδα μάχης «FELIN» μπορεί να περιλαμβάνει το τυφέκιο εφόδου «FAMAS» διαμέτρου 5,56 mm, το πολυβόλο «Minimi» διαμέτρου 5,56 mm και το τυφέκιο ελεύθερου σκοπευτή «FR F2»	Υπέρυθρο κανάλι: - Ανίχνευση: 1.100 μ. - Αναγνώριση: 500 μ. Κανάλι ημέρας: - Ανίχνευση: 3.000 μ. - Ταυτοποίηση: 800 μ.
Χρήστες Συστήματος	Επικοινωνία
Γαλλία	- Βάρος: 150 γραμμάρια - Εύρος Συχνοτήτων: 300 μέχρι 3.400 Hz
Χώρα Προέλευσης	Βάρος «RATNIK»
Γαλλία (France SAGEM main contractor)	24 κιλά
Παρεχόμενα	Οπλισμός
Οπλα, οπτικά όπλων, σκοπευτικά ημέρας και νύχτας, επικοινωνίες φωνής και δεδομένων, προσωπικές επικοινωνίες, ρουχισμός, αντιβαλλιστικό κράνος και αντιβαλλιστική προστασία.	- FAMAS 5,45 mm: 450 μ - FR F2 7,62 mm: 800 m - Minimi 5,45 mm: 300 έως 1.000 m
Προστασία	Διοικητική Μέριμνα
NBC, ομοιόμορφη ενσωματωμένη τεχνολογία μικροκυττάρων, ανθεκτική στη φλόγα, μάσκα με φίλτρο και παροχή νερού σε μολυσμένα περιβάλλοντα.	Μερίδα φαγητού και νερού για 1 ημέρα

Πίνακας 2. Συγκεντρωτικά Στοιχεία Εξοπλισμού «FELIN»

1.2.4 Προγράμματα λοιπών Χωρών

Στο ίδιο μήκος κύματος και οι λοιπές χώρες, αναπτύσσουν ξεχωριστά τα δικά τους συστήματα εξοπλισμού των στρατιωτών τους. Συνοπτικά αναφέρονται τα παρακάτω:

- **Αγγλικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «FIST»**

Το βρετανικό Υπουργείο Άμυνας είναι υπεύθυνο για την ανάπτυξη του προγράμματος FIST (Future Integrated Soldier Technology) για το Στρατό, τους Πεζοναύτες και το Σύνταγμα Προστασίας των βάσεων της RAF. Το



Εικόνα 1.16 Στρατιώτες με Εξοπλισμό Συστήματος «FIST»

πρόγραμμα αυτό ξεκίνησε το 1994 με την ονομασία FFSS (Future Fighting Soldier System). Για την αξιολόγηση του, πραγματοποιήθηκαν διάφορες ασκήσεις κατά τις οποίες, η απόδοση των ανδρών με εξοπλισμό «FIST», συγκρίθηκε με εκείνη των στρατιωτών που ήταν εφοδιασμένοι με συμβατικό εξοπλισμό. Τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν κατά την εξέλιξη του «FIST2», ενώ πρόσθετες δοκιμές πραγματοποιήθηκαν τον Οκτώβριο του 2005. Το καλοκαίρι του 2007 ολοκληρώθηκε η φάση αξιολόγησης και από το 2010 έχει αρχίσει η ανάπτυξη του προγράμματος.



Εικόνα 1.17 Δοκιμή του εξοπλισμού «FIST» στο πεδίο

Όμοια με τα προηγούμενα προγράμματα αναβάθμισης εξοπλισμού των σύγχρονων στρατιωτών, το «FIST» προσαρμόζει αρθρωτά ένα σύνολο εξοπλισμού αποτελούμενο από τη στολή μάχης, την αντιβαλλιστική προστασία, συστήματα παρατήρησης και



Εικόνα 1.18 Εξοπλισμός Μάχης Μελλοντικού Βρετανού Στρατιώτη, Millbrook Defense Exhibition, June 2010

σκόπευσης, σταθμό ασυρμάτου για όλη την ομάδα, δέκτη GPS, και ψηφιακούς χάρτες σε οθόνη κ.λπ., προκειμένου να αυξηθεί η συνολική αποτελεσματικότητά τους στο πεδίο της μάχης. Επίσης το σύστημα «FIST», δεν θα φέρεται από κάθε στρατιώτη, αλλά ο Διοικητής της Μονάδας θα καθορίσει τα συστήματα «FIST» που θα χρησιμοποιηθούν, προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις της αποστολής.

Στο μέλλον θα εξεταστεί η χρήση οθονών κράνους, οθονών στον καρπό, φορητών

υπολογιστών και συστημάτων επικοινωνίας. Πιθανή αναβάθμιση του συστήματος αποτελεί ο εξοπλισμός της εικόνας 1.18, που παρουσιάστηκε στη διεθνή αμυντική έκθεση στο Millbrook του Ηνωμένου Βασιλείου τον Ιούνιο του 2010. [13], [14], [15], [16], [17]

- **Γερμανικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «IdZ - Gladius»**

Το 1997 ο Γερμανικός Στρατός ξεκίνησε το πρόγραμμα «Infantryman of the future, Infanterist der Zukunft (idZ)», με το «Σύγχρονο Γερμανό Μαχητή» να διαθέτει φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή και οθόνες χειρός, σάκιο συσσωρευτών με ενσύρματες συνδέσεις και άλλες καλωδιώσεις για το σταθμό ασυρμάτου, που προσαρμόζονται μέσα στο φόρτο μάχης. Επιπλέον, μπορεί να τοποθετηθεί σακίδιο νερού και σάκος μεταφοράς. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα ταχείας απελευθερώσεως σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης. Επιπρόσθετα το ολοκληρωμένο σύστημα IC4U (Interconnected Command Control Communication Computer Unit), επιτρέπει την ανταλλαγή δεδομένων ανάμεσα στα μέλη της ομάδας Πεζικού, με οχήματα και με τα δίκτυα διοίκησης και ελέγχου. Ο στρατιώτης έχει στη διάθεση του ψηφιακή οθόνη απεικόνισης της τακτικής κατάστασης με ενσωματωμένο GPS. [14], [18], [19], [20]



Εικόνα 1.19 Στρατιώτες με εξοπλισμό «IdZ - Gladius»



Εικόνα 1.20 «IdZ - Gladius» Ολοκληρωμένο σύστημα IC4U

Συγκεντρωτικά ο διαθέσιμος εξοπλισμός του συστήματος «IdZ - Gladius» φαίνεται στην εικόνα 1.21.



Εικόνα 1.21 Διαθέσιμος Εξοπλισμός Συστήματος «IdZ - Gladius»

• Νορβηγικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «Normans»

Το ψηφιακό σύστημα στρατιωτών «Norwegian Modular Arctic Network Soldier (NORMANS)», θα παρέχει στους Νορβηγούς στρατιώτες βελτιωμένη τακτική εικόνα, ικανότητα πλοήγησης και αποτελεσματικό σχεδιασμό αποστολών, δίνον-



Εικόνα 1.22 Ψηφιακό Σύστημα Στρατιωτών «NORMANS»

ντας τους έτσι τη δυνατότητα να έχουν αυξημένη αποτελεσματικότητα και ασφάλεια στις επιχειρήσεις. Το σύστημα έχει περάσει από μια δεκαετή διαδικασία ανάπτυξης, όπου η Thales Norway ηγήθηκε της εκβιομηχάνισης του ψηφιακού συστήματος στρατιωτών «NORMANS» με την Teleplan Globe ως συνεργάτη.

Συνοπτικά το νέο Σύστημα Διαχείρισης Μάχης «Battle Management System (BMS)» του «NORMANS» δίνει τη δυνατότητα στην αποβιβασμένη ομάδα μάχης να επικοινωνεί με το όχημα μάχης, να γνωρίζει τη θέση του, την κατεύθυνση του Βορρά με τη νέα τρισδιάστατη πυξίδα, την κατεύθυνση και απόσταση από το επόμενο σημείο του δρομολογίου ή του αντικειμενικού σκοπού και τη δυνατότητα μεταβολής της κλίμακας της οθόνης. Επίσης όσο αφορά τη Διοίκηση και τον έλεγχο το κάθε μέλος της ομάδας και φυσικά ο επικεφαλής γνωρίζει πού βρίσκονται τα άλλα μέλη της καθώς και τη θέση του εχθρού, στην περίπτωση που κάποιο μέλος της ομάδας την τοποθετήσει. [21]



Εικόνα 1.23 Στρατιώτες με Εξοπλισμό «NORMANS», DSEi 2011 Defense & Security Technology Exhibition, London

- **Μαλαισιανό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη**

Ο Στρατός της Μαλαισίας παρουσίασε το σύνολο εξοπλισμού «Στρατιώτης του Μέλλοντος», το οποίο έχει υιοθετηθεί από τον Στρατό της Μαλαισίας. Το σύνολο του εξοπλισμού αποτελείται από έναν φορητό ηλεκτρονικό υπολογιστή αποθηκευμένο σε τσάντα πλάτης, μια τακτική μονάδα απεικόνισης (tablet), ένα σύστημα απεικόνισης προσαρμοσμένο στην κεφαλή και στον ένα οφθαλμό, ατομικό σύστημα επικοινωνιών εμβέλειας 1,5 χιλιομέτρου, μονάδα μεμακρυσμένου ελέγχου (RCU: Remote Control Unit) για

διασύνδεση του tablet με το φορητό υπολογιστή, κεντρική μονάδα ενέργειας και κάμερα καταγραφής επί του κράνους. Η διασύνδεση των συστημάτων γίνεται ενσύρματα και όχι ασύρματα. Κύριος ανάδοχος του προγράμματος είναι η εταιρία «Sapura Defense» της Μαλαισίας. Η τακτική μονάδα απεικόνισης ενσωματώνει λογισμικό διαχείρισης μάχης της Sapura. Η κεντρική μονάδα ενέργειας απο-



Εικόνα 1.24 «Στρατιώτης του Μέλλοντος», Sapura Defense, Μαλαισία

τελείται από μια μπαταρία διάρκειας τεσσάρων ωρών, εφόσον λειτουργούν όλα τα συστήματα ή οκτώ ωρών εάν στο σύστημα επικοινωνιών δεν ενεργοποιηθεί η επικοινωνία μέσω βίντεο, παρά μόνο αυτή του ήχου. [22], [23]

• Τουρκικό Πρόγραμμα Εξοπλισμού Στρατιώτη «CENKER TEK-ER»

Η εταιρία Aselsan παρουσίασε στην έκθεση IDEF 2017 που διεξήχθη στην Κωνσταντινούπολη, το όραμα της για τον «Τούρκο Στρατιώτη του Μέλλοντος». Οι έρευνες επικεντρώνονται σε δύο συστήματα, τη συλλογή φερόμενων ηλεκτρονικών CENKER και το σύστημα υποβοήθησης μεταφοράς φορτίων ASYA. [24], [25], [27], [28].

Το σύστημα «CENKER, TEK-ER» είναι ένα σύστημα ανοικτής και αναβαθμισίμης αρχιτεκτονικής και περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων νέο καμουφλάζ στολής, αντιβαλλιστικό κράνος και γιλέκο προστασίας (Level-3), μέσα ατομικής προ-



Εικόνα 1.25 Σύστημα «CENKER, TEK-ER», της Aselsan

στασίας, νέο οπλισμό, περισσότερα οπτικά βοηθήματα επί του όπλου και του κράνους, Mini – UAVs, συσκευές παρεμβολών, σύστημα πλοήγησης, σύστημα ανίχνευσης ελεύθερου σκοπευτή καθώς και καταγραφή της θέσης, των ζωτικών ενδείξεων και της δραστηριότητας του μαχητή. Επίσης τα υποσυστήματα GEZGIN «Electro – Optical Target Detection and Tracking System» και το SERCE «Unmanned Aerial Vehicle System» που αναπτύχθηκε από την Aselsan



Εικόνα 1.26 Στρατιώτες με Εξοπλισμό «CENKER, TEK-ER»

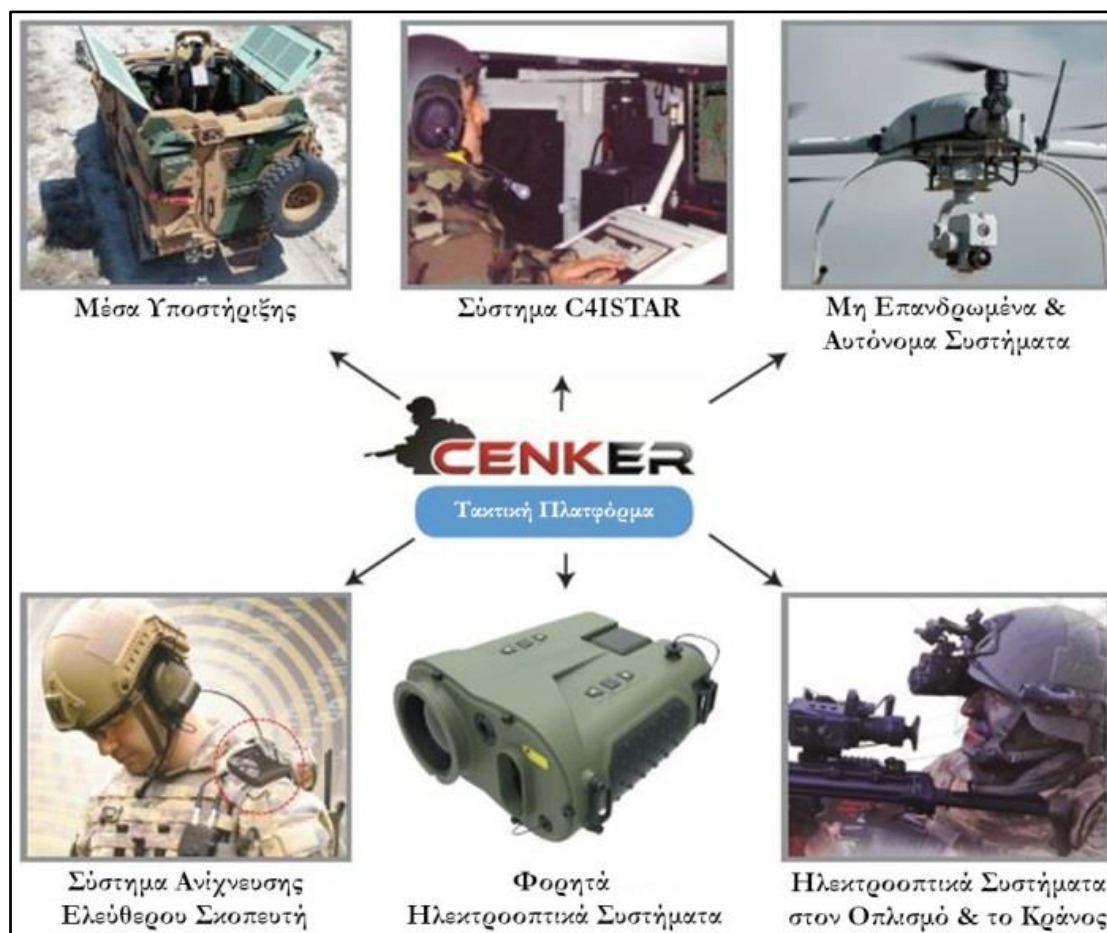
Microelectronics, αξιολογήθηκαν από την Διοίκηση Χερσαίων Δυνάμεων των τουρκικών Ένοπλων Δυνάμεων σε δοκιμές πεδίου μάχης, όπου διαπιστώθηκε η αποτελεσματική προσβολή των στόχων που εντοπίστηκαν από το σύστημα. [26]

Παράλληλα με το «CENKER, TEK-ER» αναπτύχθηκε και το σύστημα ASYA «Τακτικό Σύστημα Κινήσεως, Askeri Yürüyüş Asistanı», το οποίο είναι ένα νέο σύστημα εξωσκελετού που σχεδιάστηκε βάση προδιαγραφών των τουρκικών Ειδικών Δυνάμεων για να αυξήσει την απόδοση των στρατιωτών και των αστυνομικών διευκολύνοντας το περπάτημα, το τρέξιμο, την αναρρίχηση και το άλμα. Μεταφέρει το φορτίο από το μυοσκελετικό σύστημα του μαχητή, στα μηχανικά εξαρτήματα που προσαρμόζονται στις πλευρές του σώματος και τροφοδοτούνται με μπαταρία.[27], [28]



Εικόνα 1.27 Τακτικό Σύστημα Κινήσεως ASYA, της Aselsan

Συγκεντρωτικά η διαλειτουργικότητα του συστήματος «CENKER, TEK-ER», φαίνεται στην εικόνα 1.26



Εικόνα 1.28 Σύστημα «CENKER, TEK-ER», της Aselsan

1.3 Ελληνικό Πρόγραμμα Αναβάθμισης Εξοπλισμού Στρατιώτη

1.3.1 Πρόγραμμα «Μελλοντικός Έλληνας Μαχητής»

Το πρόγραμμα «Μελλοντικός Έλληνας Μαχητής» ήταν μια προσπάθεια του Ελληνικού Στρατού να εκσυγχρονίσει τον εξοπλισμό του Έλληνα Στρατιώτη και να τον καταστήσει μία αυτόνομη και ολοκληρωμένη μονάδα πυρός και επιτήρησης, ενταγμένη στην τεχνολογία του ψηφιακού πεδίου μάχης. Στο πλαίσιο αυτό το έτος 2006 οι ελληνικές εται-

ρείες «INTRACOM Defence Electronics» και «Theon Sensors» υπέβαλλαν πρόταση στη Γενική Διεύθυνση Αμυντικών Εξοπλισμών & Επενδύσεων (ΓΔΑΕΕ) για την ανάπτυξη του Δικτυοκεντρικού Συστήματος Πληροφοριών Μαχητή «WiDAC3S». [29], [30]

Το «WiDAC3S» περιελάμβανε υποσύστημα σκόπευσης όπλου με δυνατότητα λειτουργίας ημέρα και νύχτα καθώς και υποσύστημα επικοινωνιών και επεξεργασίας πληροφοριών, προσδιορισμού θέσης, διοίκησης και ελέγχου. Επίσης θα επέτρεπε την μεταφορά της εικόνας στόχευσης στο σταθμό διοίκησης σε αληθινό χρόνο, συνιστώντας μια λύση δικτυοκεντρικής διασύνδεσης και επιχειρησιακής πληροφόρησης σε επίπεδο στρατιωτικών επιχειρήσεων μικρών ομάδων.



Εικόνα 1.29 Προστατευτικός Εξοπλισμός Έλληνα Στρατιώτη

Το παραπάνω πρόγραμμα δεν υλοποιήθηκε ποτέ, ενώ το έτος 2012 ξεκίνησαν νέες προσπάθειες, οι οποίες σε πρώτη φάση περιελάμβαναν τη βελτίωση του υλικού που χρησιμοποιούν οι στρατιώτες. Στο πλαίσιο αυτό το ΓΕΣ προχώρησε στην αγορά υλικών ατομικού εξοπλισμού όπως [31]:

- Γυαλιά προστασίας.
- Επιγονατίδες και επιαγωνίδες.
- Συλλογές πρώτων βοηθειών.
- Γάντια.
- Σύγχρονο αντιβαλλιστικό κράνος από Kevlar.
- Άρβυλα κατασκευασμένα από GoreTex.

- Αορτήρες τριών σημείων για τα τυφέκια G3A3-A4.

Επίσης το έτος 2012 αναπροσαρμόστηκαν, σύμφωνα με τις τρέχουσες ανάγκες και τεχνολογικές εξελίξεις, οι απαιτήσεις του Ελληνικού Στρατού για το πρόγραμμα «Μελλοντικός Έλληνας Μαχητής», το οποίο και μετονομάστηκε σε «Μελλοντική Τεχνολογία και Εξοπλισμός του Στρατιώτη του Πεζικού». [29], [30]



Εικόνα 1.30 Ομάδα Μάχης Πεζικού, Σχολή Εφέδρων Αξιωματικών Πεζικού, 2015 [32]

Αναλυτικότερα ο εξοπλισμός του προγράμματος «Μελλοντική Τεχνολογία και Εξοπλισμός του Στρατιώτη του Πεζικού» θα περιλαμβάνει:

- Αντιβαλλιστικό κράνος με ακουστικό και μικρόφωνο.
- Σταθμό Ασυρμάτου για την Ομάδα.
- Ειδικό προστατευτικό εξοπλισμό όπως γυαλιά προστασίας και υλικά προστασίας για τους αγκώνες και τα γόνατα.
- Εργονομική ένδυση – υπόδηση και πλήρη εξάρτηση τύπου MOLLE με απάρτια και θήκες για την μεταφορά πυρομαχικών και λοιπού εξοπλισμού, με δυνατότητα μεταβολής της διαμόρφωσης του φόρτου.
- Αλεξίσφαιρο γιλέκο με ταινίες MOLLE και αντιβαλλιστικής πλάκας προστασίας.
- Υδροδοχείο πλάτης.

- Τηλέμετρο λέιζερ και ψηφιακή πυξίδα.
- Θερμική κάμερα και οθόνη λήψης πληροφοριών τοποθετημένων επί του κράνους.
- Σύστημα διαχείρισης διοίκησης και ελέγχου με υπολογιστή, για την μετάδοση και λήψη δεδομένων.
- Διασύνδεση του παραπάνω συστήματος με το όχημα μεταφοράς του μαχητή.
- Σύστημα παροχής ενέργειας, με επαναφορτιζόμενες μπαταρίες.

1.3.2 Το Τυφέκιο G3A3 – A4

1.3.2.1 Γενικά - Τεχνικά Χαρακτηριστικά

Το τυφέκιο G3 7,62 χιλ. είναι ένα αυτόματο όπλο για σύγχρονο αγώνα που συνδυάζει την ακρίβεια τυφεκίου ελεύθερου σκοπευτή με την ισχύ πυρός ενός πολυβόλου. Το όπλο είναι σχεδιασμένο να εκτελεί αυτόματη και ημιαυτόματη βολή από οποιαδήποτε θέση βάλλοντος [33]. Είναι αερόψυκτο και λειτουργεί με την παλινδρόμηση των κινητών μερών με τη βοήθεια των αερίων και του επανατατικού ελατηρίου. Τροφοδοτείται με γεμιστήρα των 20 φυσιγγίων. Κατατάσσεται στην κατηγορία των όπλων που λειτουργούν με σφήνωση, δηλαδή κατά την κίνηση προς τα εμπρός των κινητών μερών, πρέπει πρώτα να γίνει η σφήνωση του κλείστρου για να ακολουθήσει η πυροδότηση του φυσιγγίου.



Εικόνα 1.31 Το Τυφέκιο G3A3

Υπάρχουν οι παρακάτω 3 τύποι του τυφεκίου:

- Τυφέκιο με πλαστικό χειροφυλακτήρα και πλαστικό κοντάκιο, (G3A3).
- Τυφέκιο με πτυσσόμενο κοντάκιο με ή χωρίς δίποδα, (G3A4).
- Τυφέκιο με σκοπευτική διόπτρα (G3A3ZF).

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τυφεκίου G3 φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Χαρακτηριστικά	Δεδομένα
Διαμέτρημα κάνης	7,62 χιλ.
Ολικό μήκος τυφεκίου	1,02 μ.
Βάρος τυφεκίου με πλαστικό κοντάκιο, χωρίς γεμιστήρα	4,250 χλγ.
Βάρος τυφεκίου με μεταλλικό κοντάκιο, χωρίς γεμιστήρα	4,610 χλγ.
Βάρος γεμιστήρα αλουμινίου – χάλυβα	600 – 740 γρ.
Ταχυβολία θεωρητική	500-600 φυσ./λεπτό
Ταχυβολία πρακτική	120 φυσ./λεπτό
Αρχική ταχύτητα βολής	780-800 μ./δευτ.
Δραστικό βεληνεές	400 μ.
Μέγιστο βεληνεές	3700 μ.

Πίνακας 3. Τεχνικά Χαρακτηριστικά Τυφεκίου G3A3-A4

1.3.2.2 Κύρια Μέρη

Τα κύρια μέρη του τυφεκίου G3 φαίνονται στην εικόνα 1.31 και είναι τα παρακάτω:

1. Κορμός με την κάνη.
2. Μηχανισμός του κλείστρου.
3. Χειρολαβή με το μηχανισμό της σκανδάλης.
4. Κοντάκιο με το επανατατικό ελατήριο.
5. Χειροφυλακτήρας.
6. Γεμιστήρας.
7. Δίποδας.



Εικόνα 1.32 Κύρια Μέρη Τυφεκίου G3

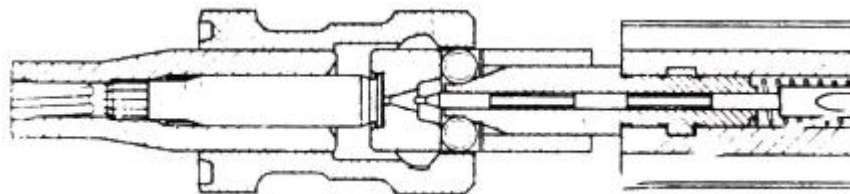
1.3.2.3 Περιγραφή Λειτουργίας

Η λειτουργία του όπλου εξετάζεται σε δύο φάσεις:

- 1η Φάση

Περιλαμβάνει το άνοιγμα του κλείστρου, δηλαδή, την κίνηση των κινητών μερών προς τα πίσω, κατά την οποία γίνονται οι παρακάτω ενέργειες:

1. Αποσφήνωση.
2. Απόφραξη.
3. Εξαγωγή κάλυκα.
4. Απόρριψη κάλυκα.
5. Προετοιμασία τροφοδοσίας.
6. Όπλιση της σφύρας.
7. Συσπείρωση του επανατατικού ελατηρίου.

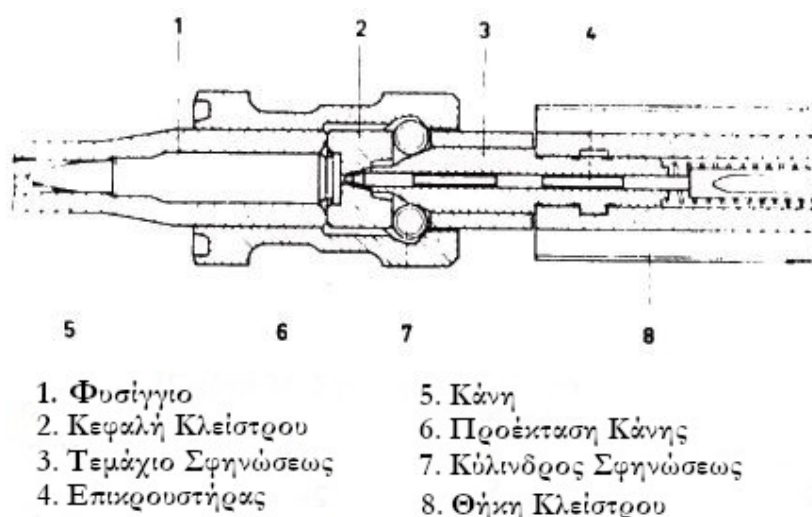


Εικόνα 1.33 Αποσφήνωση κλείστρου

- 2η Φάση

Περιλαμβάνει το κλείσιμο κλείστρου, δηλαδή, την κίνηση των κινητών μερών προς τα εμπρός, κατά την οποία γίνονται οι παρακάτω ενέργειες:

1. Παραλαβή νέου φυσιγγίου.
2. Εισαγωγή φυσιγγίου μέσα στη θαλάμη.
3. Έμφραξη.
4. Σφήνωση.



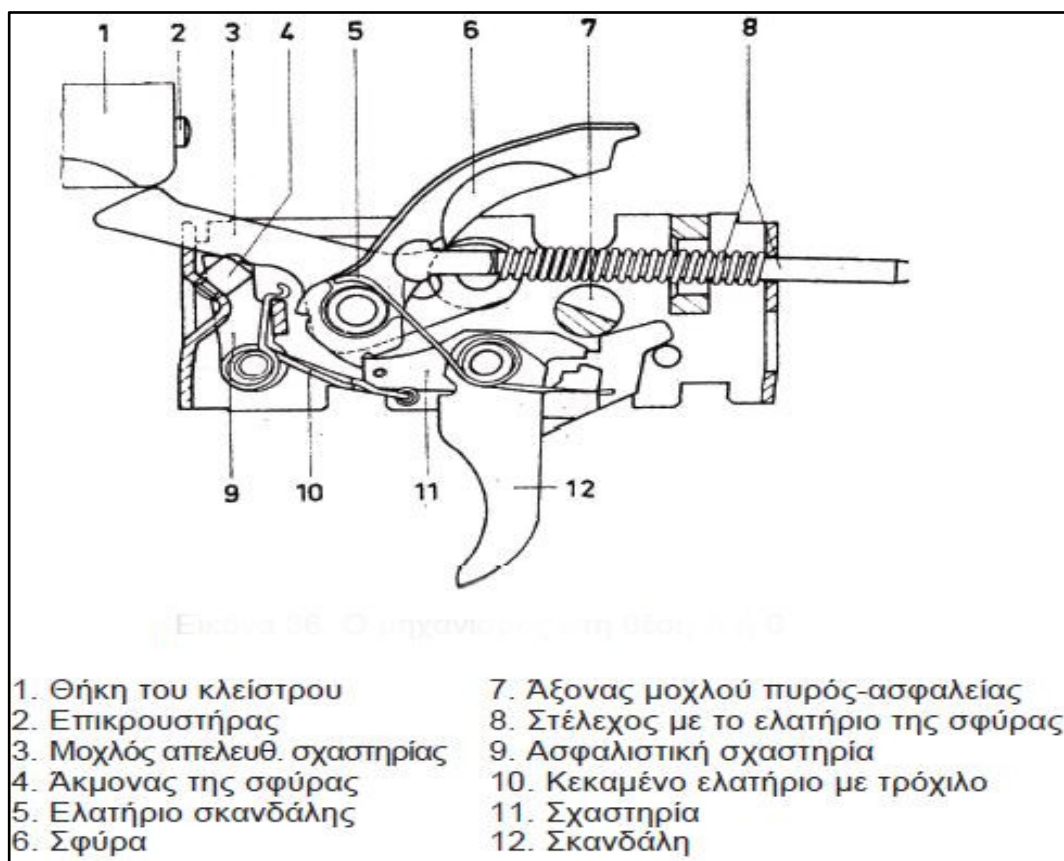
Εικόνα 1.34 Σφηνωμένο κλείστρο

- Οι δυνάμεις που ενεργούν είναι στην μεν πρώτη φάση, τα αέρια που δημιουργούνται από την καύση της πυρίτιδας του φυσιγγίου, στη δε δεύτερη, η τάση του επανατατικού ελατηρίου, που συσπειρώθηκε από την οπισθοδρόμηση του κλείστρου.

Κρίνεται σκόπιμο σε αυτό το σημείο της εργασίας να εξεταστεί αναλυτικά η λειτουργία του μηχανισμού της σκανδάλης καθόσον θα αποτελέσει τη βάση για τη λειτουργία του μετρητή πυρομαχικών.



Εικόνα 1.35 Μοχλός Πυρός και Ασφαλείας στη Θέση Ασφαλείας «Α» ή «0»

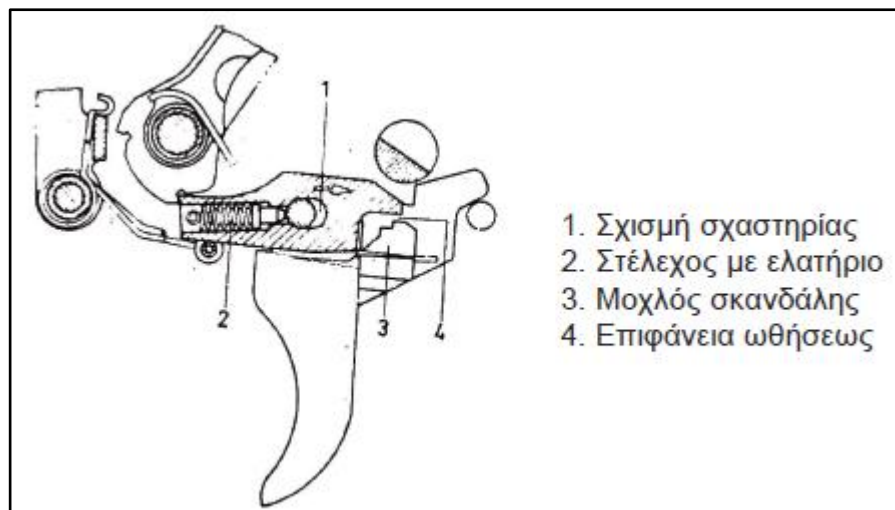


Εικόνα 1.36 Ο μηχανισμός της σκανδάλης στη Θέση «Α» ή «0»

Η λειτουργία της σκανδάλης θα αναλυθεί σε 3 φάσεις, όπως παρακάτω:

- Ο μοχλός πυρός και ασφαλείας στη θέση «Α» ή «0»

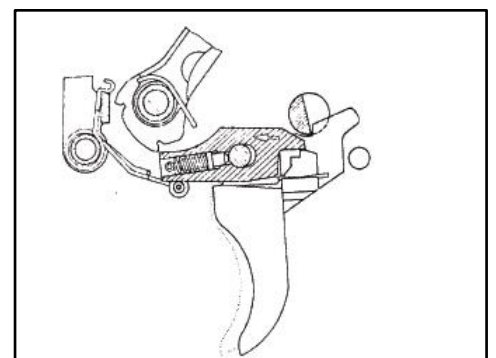
Με την κίνηση των κινητών μερών προς τα εμπρός η σφύρα εμπλέκει τη σχαστηρία με την εγκοπή της που αντιστοιχεί στη βολή κατά βολή, ενώ η σκανδάλη εμπλέκεται από τον άξονα του μοχλού πυρός και ασφαλείας και δεν μπορεί να πιεστεί, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.36.



Εικόνα 1.37 Σχαστηρία

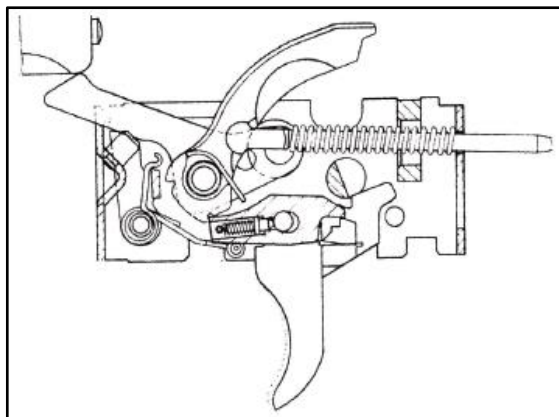
- Ο μοχλός πυρός και ασφαλείας στη θέση Βολή κατά βολή «BB» ή «1»

Στη θέση αυτή ο άξονας του μοχλού πυρός και ασφάλειας επιτρέπει περιορισμένη πίεση στη σκανδάλη και όταν αυτή πιέζεται, ο μοχλός της έρχεται σε επαφή με το πίσω τμήμα της σχαστηρίας, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.38.

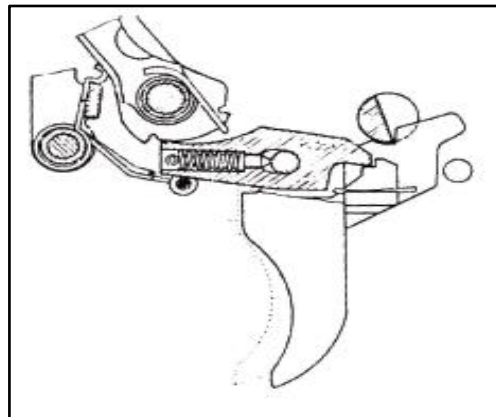


Εικόνα 1.38 Θέση Σχαστηρίας κατά την Αρχική Πίεση της Σκανδάλης

Καθώς η πίεση στη σκανδάλη εξακολουθείται, η πάνω άκρη της σχαστηρίας αποσυμπλέκεται από την εγκοπή της σφύρας που αντιστοιχεί στη βολή κατά βολή και απελευθερώνει τη σφύρα που τινάζεται από την πίεση του ελατηρίου της προς τα εμπρός και χτυπάει τον επικρουστήρα με αποτέλεσμα την πυροδότηση του φυσιγγίου, όπως φαίνεται στις εικόνες 1.39 και 1.40.



Εικόνα 1.39 Απελευθέρωση της Σφύρας



Εικόνα 1.40 Θέση Μηχανισμού μετά την Πυροδότηση

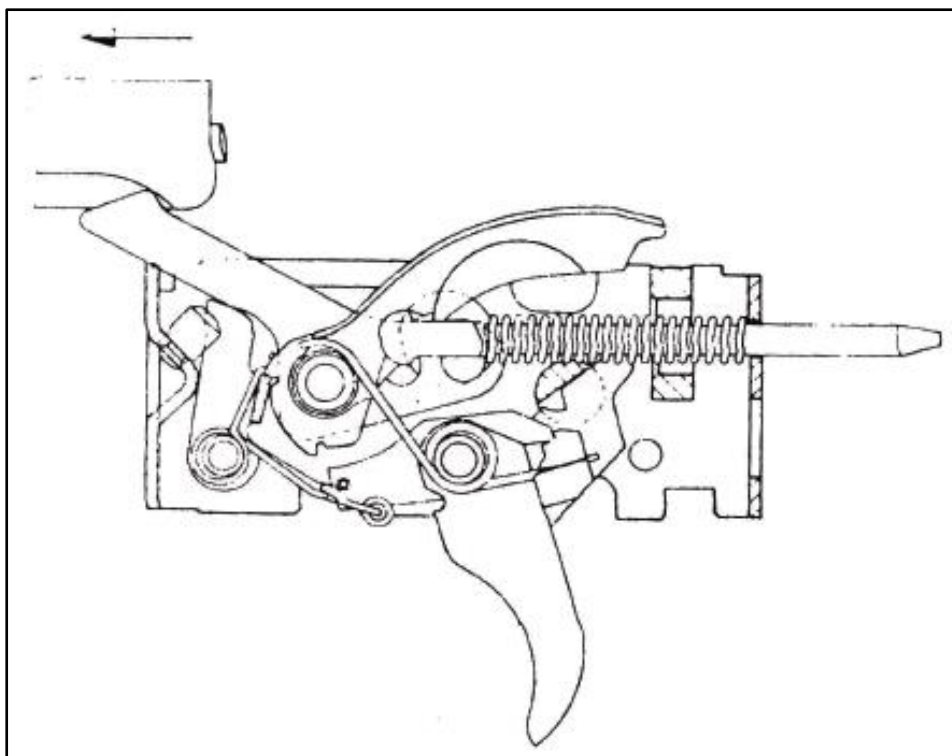
- Ο μοχλός πυρός και ασφαλείας στη θέση Βολή κατά ριπές «BP» ή «20»

Η τοποθέτηση του μηχανισμού στην παραπάνω θέση έχει σαν αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη μετατόπιση της σκανδάλης, όταν αυτή πιέζεται, που απαιτείται μόνο κατά την αυτόματη βολή.

Όταν η σκανδάλη πιέζεται, το πρώτο φυσίγγιο πυροδοτείται με τον ίδιο τρόπο όπως στην περίπτωση της βολής κατά βολή. Αλλά η μεγάλη μετατόπιση της σκανδάλης στρέφει τη σχαστηρία τόσο πολύ προς τα κάτω ώστε να μη μπορεί αυτή να εμπλέξει τη σφύρα. Έτσι η σφύρα κρατιέται μόνο από την ασφαλιστική σχαστηρία.

Κατά την κίνηση των κινητών μερών προς τα εμπρός η θήκη του κλειστρου πιέζει το μοχλό απελευθέρωσης προς τα κάτω αποσυμπλέκει την ασφα-

λιστική σχαστηρία και απελευθερώνει τη σφύρα. Η επανάληψη της λειτουργίας αυτής έχει σαν αποτέλεσμα την αυτόματη (κατά ριπές) βολή, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.41.



Εικόνα 1.41 Ο Μηχανισμός σε Θέση Βολής κατά Ριπές

1.3.2.4 Πρόγραμμα Αναβάθμισης Τυφεκίου G3A3 – A4

Το πρόγραμμα αναβάθμισης του τυφεκίου G3A3-A4 ανακοινώθηκε το Σεπτέμβριο του 2019 από το Ελληνικό Υπουργείο Άμυνας, το οποίο θα εκτελέσουν τα Ελληνικά Αμυντικά Συστήματα (ΕΑΣ). Οι τροποποιήσεις βασίζονται πάνω στη συλλογή αναβάθμισης της εταιρείας Spruhr. Μέχρι στιγμής τα ΕΑΣ έχουν αναβαθμίσει μόλις δύο τυφέκια τα οποία έχουν παραδώσει στη Διεύθυνση Πεζικού του ΓΕΣ για περαιτέρω επιχειρησιακή αξιολόγηση. Το κόστος της αναβάθμισης για κάθε G3A3 ανέρχεται στα 1.200 €, ενώ το βάρος του τυφεκίου θα αυξηθεί, μετά την αναβάθμιση κατά 400 γραμμάρια. [31]



Εικόνα 1.42 Ομάδα Μάχης με Αναβαθμισμένα τυφέκια G3A3 του Δ' Σώματος Στρατού από κονδύλια του ΓΕΣ

Στόχος του προγράμματος είναι η ολοκλήρωση της αναβάθμισης 5.000 τυφεκίων G3A3. Επιγραμματικά το πρόγραμμα αναβάθμισης των G3A3 περιλαμβάνει:

- Νέο πυσσόμενο κοντάκι.
- Ράγα τύπου Picatinny.
- Νέος χειροφυλακτήρας από αλουμίνιο αεροπορικού τύπου με ενσωματωμένες ράγες προσαρμογής Picatinny για την τοποθέτηση απαρτίων όπως τακτικός φακός.
- Κάθετη χειρολαβή με ενσωματωμένο δίποδα.
- Υποδομή για τοποθέτηση σκοπευτικού τύπου ερυθράς κουκίδας (Red Dot) την ημέρα και, προαιρετικά, για θερμικό σκοπευτικό τη νύχτα.



Εικόνα 1.43 Αναβαθμισμένο τυφέκιο G3A3 του Δ' Σώματος Στρατού

1.4 Σύγχρονα Συστήματα Μέτρησης Πυρομαχικών

Η μέτρηση των πυρομαχικών αποτελούσε ανέκαθεν σημαντικό παράγοντα για την απόδοση του μαχητή και γενικότερα της ομάδας μάχης. Όταν ο μαχητής γνωρίζει πόσα πυρομαχικά έχει στο γεμιστήριο μπορεί να κάνει τις αλλαγές στο σωστό χρόνο χωρίς να αιφνιδιαστεί, ο ομαδάρχης γνωρίζει πόσα πυρομαχικά απομένουν σε κάθε στρατιώτη και τέλος μετά από ένα αριθμό βολών το όπλο προγραμματίζεται για τη συντήρηση του.

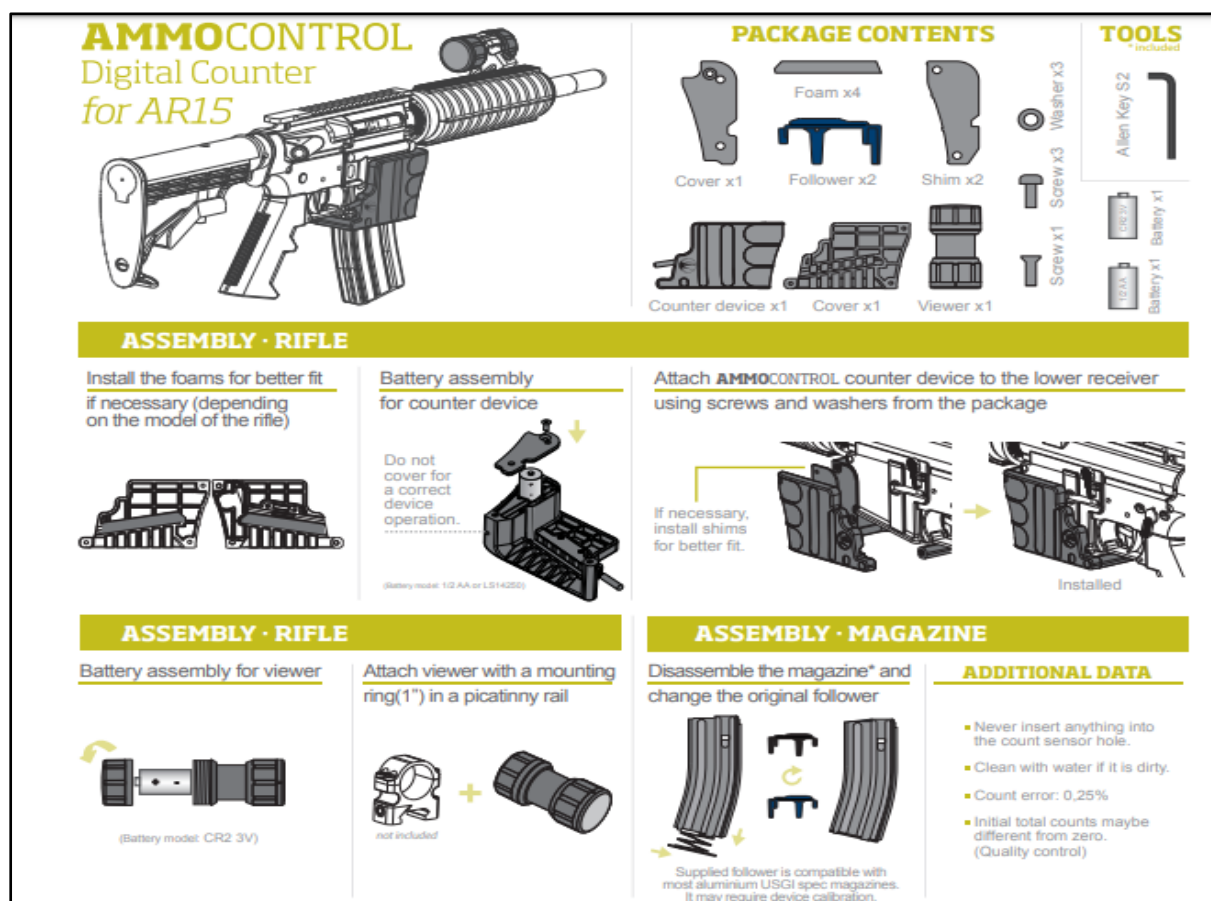
Στα διάφορα προγράμματα εξοπλισμού «Μελλοντικού Μαχητή», όπως π.χ. στο «Land Warrior», υπήρχε η εκδήλωση ενδιαφέροντος για την ενσωμάτωση μετρητή πυρομαχικών, χωρίς ωστόσο τελικά να έχει υιοθετηθεί κάποιο σύστημα μέχρι σήμερα.

Επίσης οι γεμιστήρες ευρείας χωρητικότητας επιδείνωσαν το πρόβλημα, με αποτέλεσμα να αναζητηθούν πιο πρακτικοί τρόποι μέτρησης, όπως η εισαγωγή τροχοδεικτικών φυσιγγίων στα τελευταία 10 και 5 φυσιγγία αντίστοιχα ή η προμήθεια γεμιστήρων με διάφανο παράθυρο επιθεώρησης φυσιγγίων. Σήμερα υπάρχουν αξιόλογες προτάσεις από τις εταιρίες RADETEC και Secubit, οι οποίες προσεγγίζουν με διαφορετική φιλοσοφία τη μέτρηση των πυρομαχικών.

Ο ψηφιακός μετρητής της RADETEC είναι μια ηλεκτρονική συσκευή ενσωματωμένη στη λαβή του όπλου και απεικονίζει σε πραγματικό χρόνο τον αριθμό των φυσιγγίων που απομένουν στο γεμιστήρα του όπλου. Καταγράφει επίσης τον συνολικό αριθμό των φυσιγγίων που βλήθηκαν για την αποτελεσματικότερη συντήρηση του όπλου. [34]

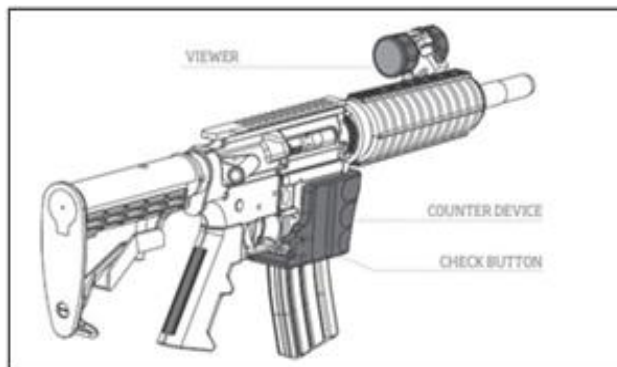


Εικόνα 1.44 Ψηφιακός Μετρητής της RADETEC σε πιστόλι Beretta 92FS και τυφέκιο AR15/M16



Εικόνα 1.45 Απάξια του Ψηφιακού Μετρητή της RADETEC για το τυφέκιο AR15/M16

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο ψηφιακός μετρητής πυρομαχικών της εταιρίας για το τυφέκιο AR-15/M16. Το σύστημα, όπως φαίνεται στις εικόνες 1.34 και 1.35 αποτελείται από δύο κύρια υποσυστήματα, την ψηφιακή συσκευή απεικόνισης και τη συσκευή μέτρησης. Επίσης όπως αναφέρεται στο φύλλο τεχνικών χαρακτηριστικών του μετρητή (εικόνα 1.34) θα πρέπει να αντικατασταθεί ο πρωτότυπος ανυψωτήρας φυσίγγιων του γεμιστήρα με τον αντίστοιχο της εταιρίας.



Εικόνα 1.46 Υποσυστήματα Ψηφιακού Μετρητή της RADETEC για το Τυφέκιο AR15/M16

Συνοπτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του έχουν όπως παρακάτω:

- Αρχίζει να εμφανίζει ένδειξη στην οθόνη, μόλις ο αριθμός των φυσίγγιων που παραμένουν μέσα στον γεμιστήρα είναι ίσος ή μικρότερος από 12 φυσίγγια.
- Πολυμερής κορμός ανθεκτικός σε υψηλούς κραδασμούς και θερμοκρασίες.
- Ευκολία στην εγκατάσταση.
- Η οθόνη προσαρμόζεται αυτόματα ανάλογα με τις συνθήκες του φωτός.
- Οι πληροφορίες είναι μόνο ορατές στον σκοπευτή.
- Χρησιμοποιεί μία μπαταρία CR2 3V και μία LS 14250 (ή ½ AA) 3.6V.
- Το σφάλμα μέτρησης αντιστοιχεί σε ποσοστό 0,25%.
- Πριν τη χρήση απαιτείται βαθμονόμηση της συσκευής.

Αντίθετα η Secubit ακολούθησε μία ριζικά διαφορετική προσέγγιση για τη μέτρηση των πυρομαχικών με το WeaponLogic, το οποίο είναι το πιο διαδεδομένο σύστημα ετοιμότητας και συντήρησης όπλων παγκοσμίως. Το σύστημα δεν παρέχει πληροφορίες σχετικά με τον αριθμό των φυσιγγίων που χρησιμοποιήθηκαν αλλά στην παροχή ενός εργαλείου για το τμήμα συντήρησης, έτσι ώστε να μπορεί να καθορίσει πότε ένα όπλο χρειάζεται συντήρηση επιτυγχάνοντας με αυτό τον τρόπο την αύξηση της αξιοπιστίας του. [35], [36]



Εικόνα 1.47 Αισθητήρες RFID Satellite και Weapon Logic Hub της Secubit

Τα υποσυστήματα του WeaponLogic (RFID Satellite και Weapon Logic Hub) τοποθετούνται επί του τυφεκίου και εντός της πιστολοειδής λαβής αντίστοιχα και λειτουργούν όπως ένα μαύρο κουτί που καταγράφει τα φυσίγγια που πυροδοτήθηκαν με ξηρό κρότο, που απλά πυροδοτήθηκαν, τον ρυθμό της πυροδότησης και ακόμα την χρήση πυρομαχικών υψηλότερης πίεσης. Η διάρκεια της μπαταρίας εκτιμάται στον εντυπωσιακό αριθμό των 15+ χρόνων. Κάθε μετρητής μπορεί να καταγράψει μέχρι και ένα εκατομμύριο βολές στην εφαρμογή συλλογής δεδομένων.

1.5 Επίλογος 1^{ου} κεφαλαίου

Στην προσπάθειά τους να επιτύχουν τον ψηφιακό στρατιώτη, οι διάφορες χώρες μέλη του ΝΑΤΟ και μη, ακολουθούν η καθεμιά το δικό της πρόγραμμα. Η φιλοσοφία των περισσότερων προγραμμάτων είναι κοινή. Ο απλός στρατιώτης του μέλλοντος θα αποσκοπεί, τόσο στο να επιβιώνει και να μάχεται, όσο και στο να συλλέγει και να μεταδίδει πληροφορίες που θα αξιοποιούνται από τα οπλικά συστήματα ακριβείας, τα οποία θα βρίσκονται πιο πίσω.

Στα παραπάνω προγράμματα **διαπιστώνεται ένα κενό, αυτό της μέτρησης και διαχείρισης των πυρομαχικών της ομάδας μάχης**. Ωστόσο, όπως προαναφέρθηκε δεν έχει υιοθετηθεί ακόμη κάποιο σύστημα μέχρι σήμερα, παρά το γεγονός ότι, σε κάποια προγράμματα κατά τη φάση της ανάπτυξης τους, υπήρχε η εκδήλωση ενδιαφέροντος για την ενσωμάτωση μετρητή πυρομαχικών επί των τυφεκίων.

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Εισαγωγή Στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου

2.1 Εισαγωγή

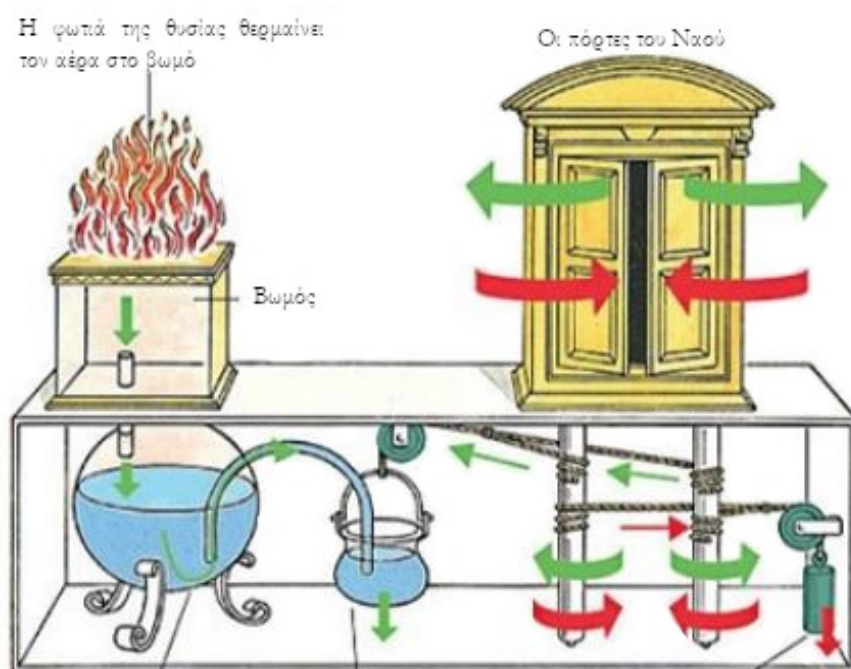
Σήμερα τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου (ΣΑΕ) αποτελούν ένα από τους σημαντικότερους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας. Έχουν εξελιχθεί σε ένα διεπιστημονικό πεδίο [43] με εφαρμογές σε περιοχές, όπως στον έλεγχο διεργασιών, στη ρομποτική, στην αυτοκινητοβιομηχανία, τις τηλεπικοινωνίες, τις δομικές κατασκευές, την ιατρική, την οικονομία και τις κοινωνικές επιστήμες. Η θεωρία του αυτομάτου ελέγχου δεν παρέχει λύσεις μόνο για την κατασκευή συσκευών ή εξαρτημάτων, αλλά συνεισφέρει και στην κατανόηση πολύπλοκων δυναμικών φαινομένων. Τα σύγχρονα ΣΑΕ [42] περιλαμβάνουν αισθητήρες, μετρικές διατάξεις, ενεργοποιητές και ένα σύνολο ελεγκτών που συντονίζονται υπό τον έλεγχο διεργασιών ενός υπολογιστικού συστήματος.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

Η προσπάθεια του ανθρώπου να κατασκευάσει συστήματα, τα οποία να λειτουργούν αυτόματα ξεκινά από την αρχαιότητα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αρχαίου ΣΑΕ είναι «ο ρυθμιστής του Ήρωνα του Αλεξανδρέως» [41]. Ο ρυθμιστής αυτός χρησιμοποιήθηκε για να ανοίγει αυτόματα η πύλη ενός ναού κατά την τέλεση των θυσιών. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.1 το σύστημα αυτοματισμού ήταν κρυμμένο μέσα στο έδαφος, πιθανόν για να εντυπωσιάζει τους πιστούς. Ο ρυθμιστής απαρτιζόταν από ένα μεγάλο δοχείο με νερό πακτωμένο στο έδαφος και συνδεδεμένο με το βωμό, από ένα μικρότερο δοχείο το οποίο ήταν συνδεδεμένο από τη μία μεριά με σχοινί στο μηχανισμό του αντίβαρου και από την άλλη με το

σταθερό δοχείο μέσω σωλήνωσης και από ένα μηχανισμό με σχοινιά και αντίβαρο, ο οποίος ανοιγόκλεινε την πύλη του ναού.

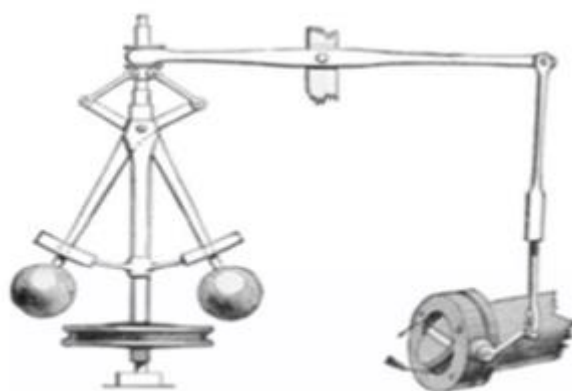
Όταν άναβε η φωτιά ζέστανε τον αέρα κάτω από το βωμό και αυτός με τη σειρά του έσπρωχνε το νερό από το μεγάλο δοχείο στο μικρό αυξάνοντας το βάρος του. Όταν έμπαινε αρκετό νερό στο μικρό δοχείο αυτό κατέβαινε προς τα κάτω παρασύροντας το αντίβαρο να ανέβει προς τα πάνω, με αποτέλεσμα ο μηχανισμός με τα σχοινιά να ανοίγει



Εικόνα 2.1 Ο ρυθμιστής του Ήρωνος του Αλεξανδρέως

την πύλη. Όταν έσβηνε η φωτιά, το νερό από το μικρό δοχείο επέστρεφε στο μεγάλο με αποτέλεσμα να κινείται προς τα πάνω υπό το βάρος του αντίβαρου και ο μηχανισμός να λειτουργεί αντίστροφα κλείνοντας την πύλη του ναού.

Το έτος 1769, ο James Watt [41] κατασκεύασε τον πρώτο φυγοκεντρικό ρυθμιστή ταχύτητας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ευρέως στη βιομηχανία για τον αυτόματο έλεγχο των ατμομηχανών. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.2 όταν η γωνιακή ταχύτητα της ατμομηχανής αυξάνεται, η φυγοκεντρική δύναμη σπρώχνει τις μάζες προς τα πάνω, με αποτέλεσμα η βαλβίδα του ατμού να κλείνει. Καθώς η βαλβίδα του ατμού κλείνει, ο ατμός



Εικόνα 2.2 Ο Φυγοκεντρικός Ρυθμιστής Ταχύτητας του Watt

που μπαίνει στο λέβητα μειώνεται, με αποτέλεσμα να μειώνεται και η γωνιακή ταχύτητα της μηχανής. Αντίστροφα όταν η γωνιακή ταχύτητα της μηχανής μειώνεται, οι μάζες κατεβαίνουν, η βαλβίδα του ατμού ανοίγει, αυξάνει ο ατμός που μπαίνει στη μηχανή, με αποτέλεσμα να αυξηθεί ξανά η γωνιακή ταχύτητα.

Τα ΣΑΕ αναπτύχθηκαν ραγδαία τα τελευταία 60 χρόνια [41]. Σημαντικό σταθμό αποτελεί η δεκαετία του '30 κατά την οποία εμφανίσθηκαν αξιόλογα θεωρητικά και πρακτικά αποτελέσματα. Τα επόμενα έτη και κυρίως κατά τη διάρκεια του Β' παγκόσμιου πολέμου και μέχρι το έτος 1957 περίπου, σημειώθηκε αξιόλογη έρευνα που χαρακτηρίζεται σήμερα ως κλασική θεωρία των ΣΑΕ. Το κύριο χαρακτηριστικό της κλασικής θεωρίας των ΣΑΕ είναι ότι αναφέρεται ως επί το πλείστον σε απλά συστήματα που έχουν μία είσοδο και μία έξοδο, οι δε μέθοδοι σχεδίασης είναι συνήθως γραφικές και δεν απαιτούν πολλά μαθηματικά.

Τα διάφορα επιτεύγματα από το έτος 1957 μέχρι και σήμερα, έδωσαν μία νέα διάσταση και μία μεγάλη ώθηση στον αυτοματισμό και χαρακτηρίζονται ως σύγχρονη θεωρία των ΣΑΕ. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι ότι αναφέρεται σε πολύπλοκα συστήματα με πολλές εισόδους και εξόδους, οι δε μέθοδοι σχεδίασης είναι ως επί το πλείστον αναλυτικές και απαιτούν πολλά μαθηματικά.

Μπορούμε λοιπόν να ορίσουμε ως χρονική έναρξη της σύγχρονης θεωρίας αυτομάτου ελέγχου τις αρχές της δεκαετίας του 1960 [43]. Την περίοδο αυτή οι ανάγκες επίλυσης προβλημάτων των διαστημικών προγραμμάτων, κυρίως των ΗΠΑ και της πρώην Σοβιετικής Ένωσης απέτελεσαν το γόνιμο έδαφος πάνω στο οποίο αναπτύχθηκαν προχωρημένες τεχνικές πολυμεταβλητών συστημάτων. Εκ των κυρίων ερευνητών της περιόδου αυτής είναι ο R. E. Kalman, στον οποίο αποδίδεται η θεμελίωση της κλασικής θεωρίας γραμμικών πολυμεταβλητών συστημάτων σε δομή χώρου κατάστασης. Οι εργασίες του R. Bellman στον τομέα του δυναμικού προγραμματισμού, του Pontryagin στον βέλτιστο έλεγχο και η γεωμε-

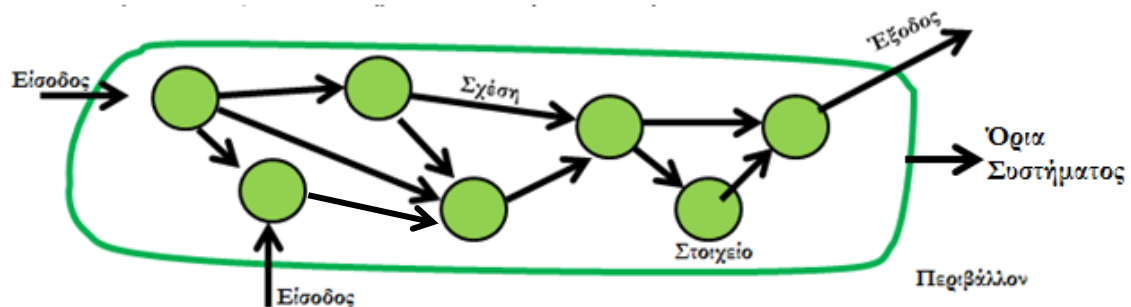
τρική προσέγγιση του θέματος από τον Wonham συμπληρώνουν τους βασικούς ερευνητές της σύγχρονης θεωρίας βέλτιστου ελέγχου γραμμικών και μη γραμμικών συστημάτων.

2.3 Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου

2.3.1 Γενικά

Πριν την περιγραφή της βασικής δομής ενός ΣΑΕ, κρίνεται σκόπιμο αρχικά να αναλυθούν οι βασικές έννοιες που διέπουν ένα σύστημα. Ορίζουμε λοιπόν ως σύστημα, ένα σύνολο από αντικείμενα μαζί με τις σχέσεις ανάμεσα σε αυτά και τα χαρακτηριστικά τους γνωρίσματα, έτσι ώστε να σχηματίζεται μία ενιαία ολότητα, η οποία είναι σε συνεχή επικοινωνία με το περιβάλλον. Όταν η συμπεριφορά του συστήματος εξαρτάται από το χρόνο, διαθέτει «μνήμη» και περιγράφεται με μαθηματικές εξισώσεις (διαφορικές, εξισώσεις διαφορών), ονομάζεται Δυναμικό Σύστημα.

Στο «περιβάλλον» ανήκουν όλα τα στοιχεία που βρίσκονται έξω από τον έλεγχο του συστήματος, αλλά επηρεάζουν τη συμπεριφορά του. Προσφέρει δεδομένα εισόδου και δέχεται τα αποτελέσματα της εξόδου. Ο νοητός διαχωρισμός που οριοθετεί (ξεχωρίζει) το σύστημα από το περιβάλλον ονομάζεται «όριο του συστήματος», όπως φαίνεται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3 Νοητός διαχωρισμός συστήματος με το περιβάλλον

Η συμπεριφορά του συστήματος περιγράφεται από μεταβλητές, όπως οι εισοδοι (ελεγχόμενοι), οι εξοδοι και οι διαταραχές (μη ελεγχόμενες εισόδοι), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.4. Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε τη συμπεριφορά του συστήματος και να το αναγκάσουμε να λειτουργεί με κάποιο επιθυμητό τρόπο εφαρμόζουμε μια διαδικασία, η οποία ονομάζεται έλεγχος.



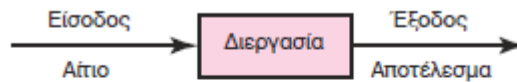
Εικόνα 2.4 Συμπεριφορά του Συστήματος

Έχοντας υπόψη τις παραπάνω βασικές έννοιες μπορούμε να πούμε ότι ΣΑΕ είναι ένα σύστημα που τα διάφορα μέρη του είναι κατάλληλα συνδεδεμένα μεταξύ τους, έτσι ώστε να συμπεριφέρονται αυτόματα κατά ένα προκαθορισμένο επιθυμητό τρόπο (απόκριση). [41], [43], [44], [45], [48], [49].

2.3.2 Βασική Δομή των ΣΑΕ

Η βάση για την ανάλυση των συστημάτων ελέγχου είναι η θεωρία των γραμμικών συστημάτων [45] (Γραμμικό Σύστημα: η έξοδος του συστήματος ακολουθεί την είσοδο, δηλαδή, όταν διπλασιάζεται ή τριπλασιάζεται η είσοδος, το ίδιο ισχύει και με την έξοδο), η οποία προϋποθέτει ότι υπάρχει σχέση «αιτίου – αποτελέσματος» μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που αποτελούν το σύστημα. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.5 η διεργασία εκτελείται από ένα στοιχείο του συστήματος και παριστάνεται συμβολικά με ένα ορθογώνιο

πλαίσιο. Το αίτιο που ενεργοποιεί το σύστημα είναι η είσοδος και το αποτέλεσμα που θα προκύψει από τη διεργασία είναι η έξοδος του συστήματος.



Εικόνα 2.5 Σχηματικό διάγραμμα Συστήματος με Είσοδο και Έξοδο

Προκειμένου να περιγραφεί η απόδοση ολόκληρου του ΣΑΕ χρησιμοποιείται η συνάρτηση μεταφοράς [42], η οποία καλείται η σχέση μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του συστήματος ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα η συνάρτηση μεταφοράς ορίζεται ως το πηλίκο της εξόδου προς την είσοδο:

$$\text{Συνάρτηση Μεταφοράς} = \frac{\text{Έξοδος}}{\text{Είσοδος}}$$

Κάθε σύστημα ελέγχου διαθέτει τουλάχιστον ένα ελεγκτή και ένα ενεργοποιητή [42]. Ο ελεγκτής είναι αυτός που παρέχει τη βελτιστοποίηση στο σύστημα και συνήθως είναι ένας μικροϋπολογιστής. Η είσοδος που λαμβάνει ο ελεγκτής καλείται σημείο αναφοράς (set point). Αυτό το σήμα εισόδου αντιπροσωπεύει την επιθυμητή έξοδο του συστήματος. Ο ενεργοποιητής (actuator) είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή, η οποία λαμβάνει το σήμα από τον ελεγκτή και το μετατρέπει σε ενέργεια.

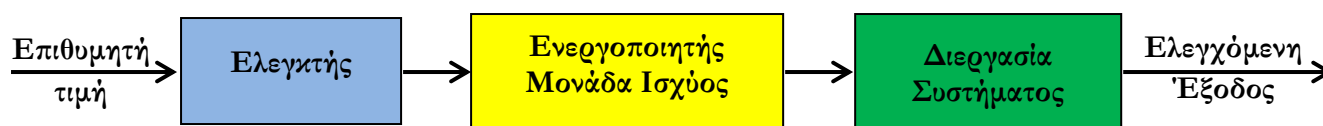


Εικόνα 2.6 Βασικά στοιχεία δομής ενός συστήματος

Τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες, στα ανοικτά (ανοικτού βρόγχου) και στα κλειστά (κλειστού βρόγχου) συστήματα.

2.3.2.1 Συστήματα Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου

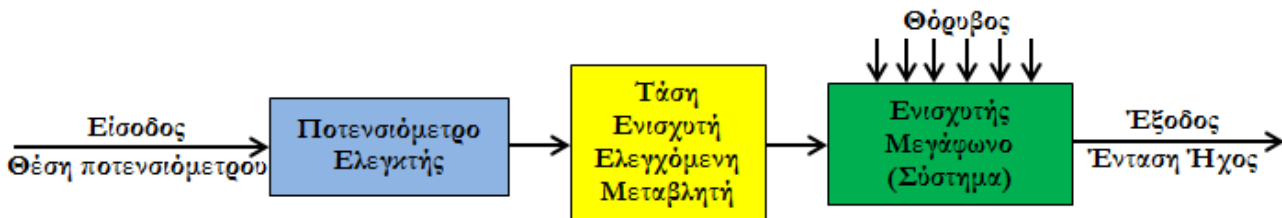
Στα συστήματα ελέγχου ανοικτού βρόγχου ο ελεγκτής ενεργεί στο σύστημα δίχως ανατροφοδότηση (feedback) του σήματος εξόδου, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.7. Αυτό σημαίνει ότι ο ελεγκτής δεν επιβεβαιώνει εάν ο ενεργοποιητής ενήργησε στο σύστημα σύμφωνα με την εντολή του. Επομένως ο έλεγχος του συστήματος ανοικτού βρόγχου εξαρτάται από τη γνώση που έχει ο ελεγκτής για τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του ενεργοποιητή και του συστήματος, ώστε να επενεργεί σε αυτό κατάλληλα.



Εικόνα 2.7 Διάγραμμα συστήματος ανοικτού βρόγχου

Παράδειγμα ανοικτού συστήματος είναι το πλυντήριο ρούχων [41]. Στο σύστημα αυτό ως ελεγκτής χρησιμοποιείται ένας «προγραμματιστής» που θέτει το πλυντήριο σε μία σειρά από λειτουργίες, όπως η αλλαγή νερού, στύψιμο ρούχων κ.λπ. Κατά τη διάρκεια των λειτουργιών αυτών, η έξοδος του συστήματος, δηλαδή, κατά το πόσο τα ρούχα πλένονται ικανοποιητικά ή όχι, δεν λαμβάνεται υπόψη. Το πλυντήριο απλώς εκτελεί μια σειρά από προκαθορισμένες εντολές.

Άλλο ένα παράδειγμα αποτελεί ο έλεγχος της εντάσεως ενός ραδιοφώνου [45]. Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.8 το ποτενσιόμετρο αποτελεί ένα στοιχείο ελέγχου σε ηλεκτρικά κυκλώματα. Με το ποτενσιόμετρο εισόδου μπορούμε να ελέγχουμε την τάση του ενισχυτή και συνεπώς την ένταση του ήχου στα μεγάφωνα του ραδιοφώνου.

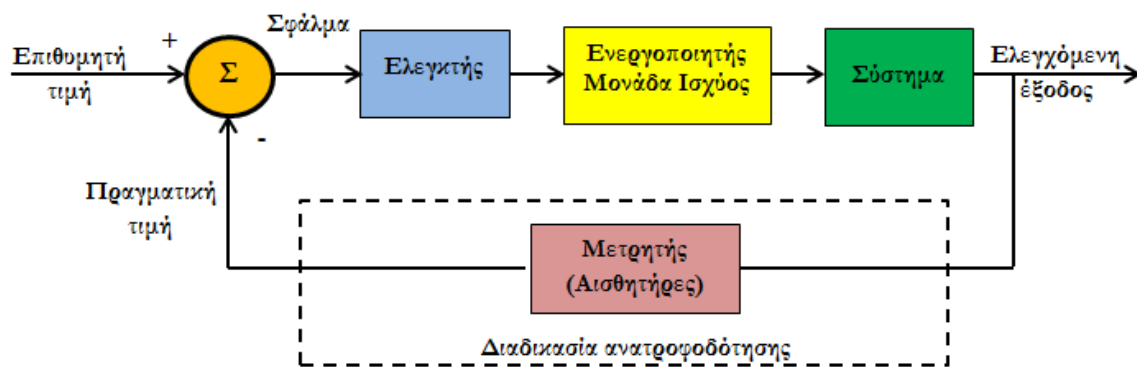


Εικόνα 2.8 Έλεγχος εντάσεως ραδιοφώνου

2.3.2.2 Συστήματα Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου

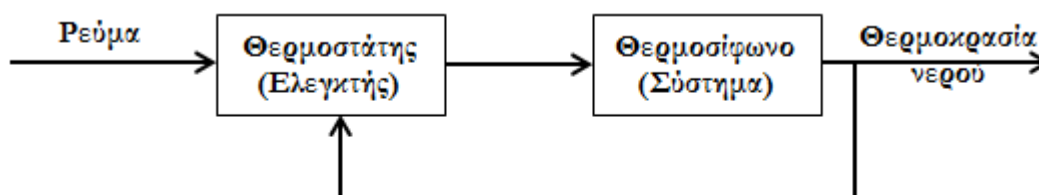
Στα συστήματα ελέγχου κλειστού βρόγχου ισχύουν επιπρόσθετα, η διαδικασία της μετρήσεως, όπου παρακολουθείται μονίμως από έναν ή περισσότερους αισθητήρες (μετρητές) η έξοδος του συστήματος και η διαδικασία της συγκρίσεως, όπου το σήμα του μετρητή συγκρίνεται με την επιθυμητή είσοδο αναφοράς από το συγκριτή, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.9. Η διαδικασία αυτή του ελέγχου προϋποθέτει μία ανάστροφη πορεία από την έξοδο προς την είσοδο και ονομάζεται ανάδραση (feedback) ή ανατροφοδότηση.

Το σφάλμα ελέγχου είναι το αποτέλεσμα της συγκρίσεως ανάμεσα στην πραγματική ελεγχόμενη έξοδο και την επιθυμητή είσοδο αναφοράς ενός συστήματος ελέγχου και αποτελεί τη διέγερση στον ελεγκτή του συστήματος. Το έργο του ελεγκτή είναι να πετύχει μηδενικό σφάλμα, το οποίο σημαίνει ότι η έξοδος του συστήματος είναι η ίδια με αυτή που υποδεικνύει η επιθυμητή τιμή.



Εικόνα 2.9 Διάγραμμα συστήματος κλειστού βρόγχου

Παράδειγμα κλειστού συστήματος είναι το θερμοσίφωνο [41], το οποίο όταν βρίσκεται σε λειτουργία διατηρεί τη θερμοκρασία του νερού στους 65 °C έως 70 °C. Το νερό θερμαίνεται από ένα ηλεκτρικό αντιστάτη και ως ελεγκτής της θερμοκρασίας χρησιμοποιείται ένας θερμοστάτης. Όταν η θερμοκρασία του νερού φθάσει τους 70 °C, ο διακόπτης του θερμοστάτη ανοίγει και διακόπτει την τροφοδοσία του ηλεκτρικού ρεύματος στον αντιστάτη. Στη συνέχεια η θερμοκρασία του νερού αρχίζει να πέφτει και όταν φθάσει τους 65 °C, ο διακόπτης του θερμοστάτη κλείνει και επανέρχεται η τροφοδοσία του ρεύματος στον αντιστάτη και έτσι η θερμοκρασία του νερού αρχίζει πάλι να ανεβαίνει. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται συνέχεια, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία του νερού να διατηρείται μέσα στα επιθυμητά όρια. Συμπεραίνουμε, λοιπόν, ότι το θερμοσίφωνο είναι το σύστημα και η θερμοκρασία του νερού η έξοδος του. Ο ελεγκτής (θερμοστάτης) δίνει την κατάλληλη είσοδο στο θερμοσίφωνο, η οποία επηρεάζεται από την έξοδο (θερμοκρασία νερού). Επομένως έχουμε ένα σύστημα κλειστού βρόγχου του οποίου η είσοδος είναι συνάρτηση της εξόδου.



Εικόνα 2.10 Το θερμοσίφωνο ως σύστημα κλειστού βρόγχου

2.3.3 Μέθοδοι Ελέγχου Συστημάτων

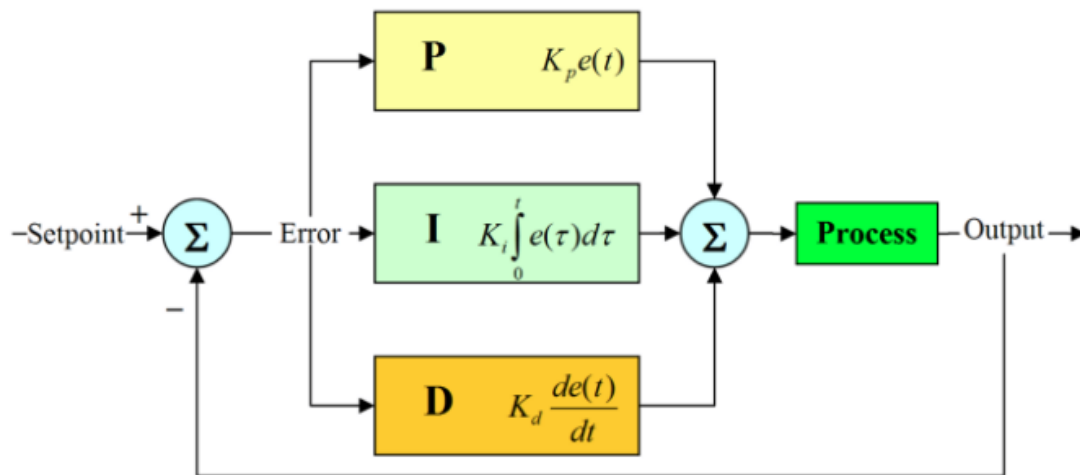
2.3.3.1 Έλεγχος PID

Ο ελεγκτής τριών όρων PID χρησιμοποιείται ευρέως στα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου [42]. Σκοπός του ελεγκτή PID είναι η γρήγορη διόρθωση του παραγόμενου σφάλματος κατά τη μεταβολή της επιθυμητής τιμής του συστήματος, με ελάχιστα φαινόμενα σφαλμάτων στη μορφή του σήματος διόρθωσης που μπορεί να οδηγήσουν

σε αστοχία του ελέγχου, όπως σε φαινόμενα αμείωτων ταλαντώσεων του συστήματος, μόνιμου σφάλματος κ.λπ..

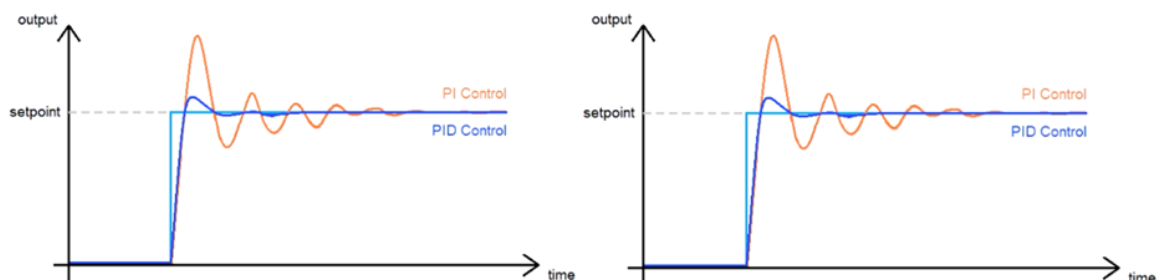
Για τη διόρθωση του παραγόμενου σφάλματος κατά τη μεταβολή της επιθυμητής τιμής του συστήματος, ο ελεγκτής PID παρέχει σήμα διόρθωσης που αποτελεί άθροισμα ενός αναλογικού (Proportional), ενός ολοκληρωτικού (Integral) και ενός παραγωγικού (Derivative) όρου. Στο πεδίο του χρόνου η συνάρτηση μεταφοράς ενός ελεγκτή PID δίνεται από τη σχέση:

$$u(t) = K_p e + K_i \int_0^t e d(t) + K_D \frac{de}{dt}$$



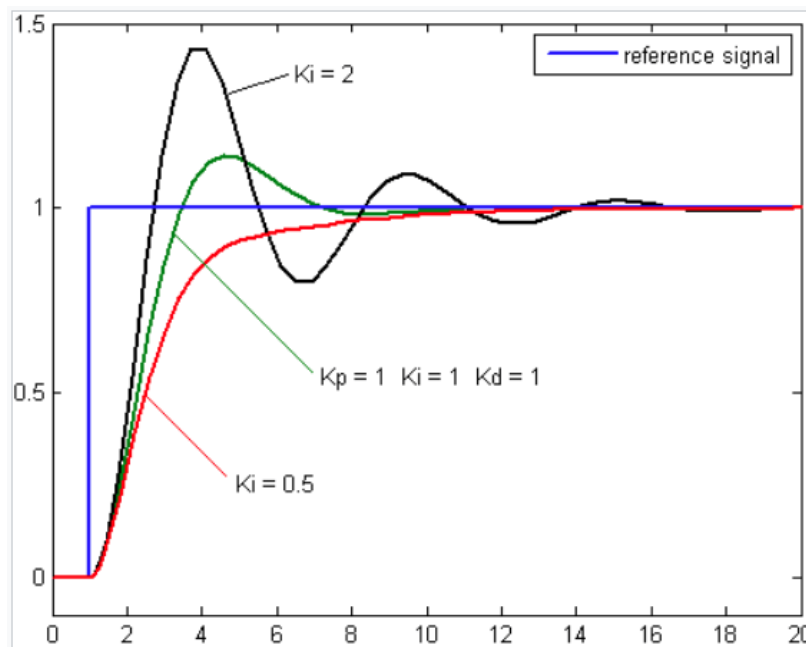
Εικόνα 2.11 Διάγραμμα μπλοκ ελεγκτή PID

Γενικά η απόκριση ενός συστήματος PID σε βηματική συνάρτηση εισόδου φαίνεται στην εικόνα 2.12.



Εικόνα 2.12 Απόκριση συστήματος ελέγχου PID σε βηματική συνάρτηση

Η ρύθμιση των τριών παραμέτρων (K_p , K_I και K_D) του ελεγκτή PID επιτυγχάνεται μέσω κανόνων ρύθμισης προσδιορισμού σε βηματικές αποκρίσεις του συστήματος. Στην εικόνα 2.13 παρατηρούμε την επίδραση επιλογής των παραμέτρων ρύθμισης σε ένα ελεγκτή PID με σήμα εισόδου μοναδιαίας βηματικής συνάρτησης. Από το γράφημα παρατηρούμε ότι ο βέλτιστος έλεγχος στην εξεταζόμενη περίπτωση, επιτυγχάνεται με τις παραμέτρους K_p και K_D σταθερές και την $K_I=1$.



Εικόνα 2.13 Απόκριση συστήματος ελέγχου PID σε βηματική συνάρτηση εισόδου με επίδραση του όρου ολοκλήρωσης K_I και με σταθερούς τους όρους K_p και K_D

2.3.3.2 Βέλτιστος Έλεγχος

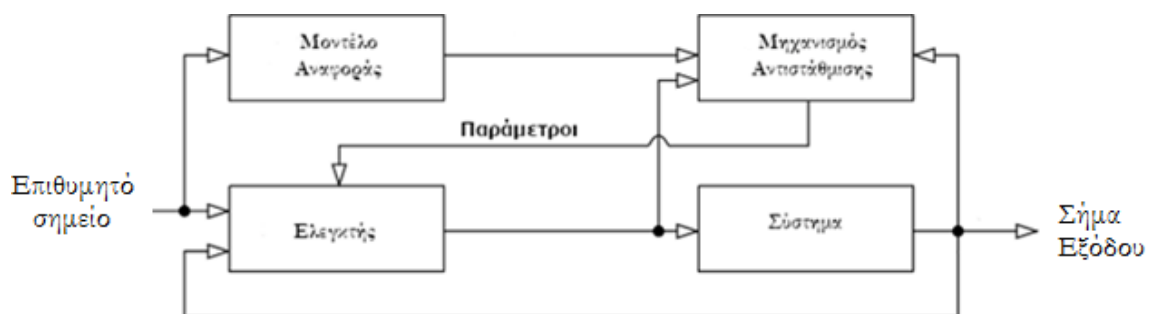
Η τεχνική του βέλτιστου ελέγχου (Optimal Control) αποσκοπεί στη μείωση σφαλμάτων για συγκεκριμένες παραμέτρους ενός συστήματος [42]. Αυτές οι παράμετροι κατέχουν διαφορετικούς δείκτες βάρους, συναρτήσει της επίδρασης τους στην ευστάθεια του συστήματος. Η βασική εξίσωση στην οποία στηρίζεται η μέθοδος του βέλτιστου ελέγχου καλείται Hamilton Jacobi Bellman (HJB). Η λύση αυτής της διαφορικής εξί-

σωσης δίνει τη βέλτιστη ευστάθεια του συστήματος. Ο βέλτιστος έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε σε ανοικτά είτε σε κλειστά συστήματα ελέγχου. Παράδειγμα βέλτιστου ελέγχου είναι επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας καυσίμου ενός οχήματος που κινείται σε μία διαδρομή. Ο βέλτιστος έλεγχος ελέγχει παραμέτρους με διαφορετικά βάρη, όπως τα όρια ταχύτητας, το μέσο όρο της κατανάλωσης καυσίμου, την επιτάχυνση του οχήματος, την κλίση της διαδρομής κ.λπ. και ενεργεί στην τιμή συγκεκριμένης συνάρτησης του συστήματος (π.χ. καύσιμα, επιτάχυνση κ.λπ.). [42]

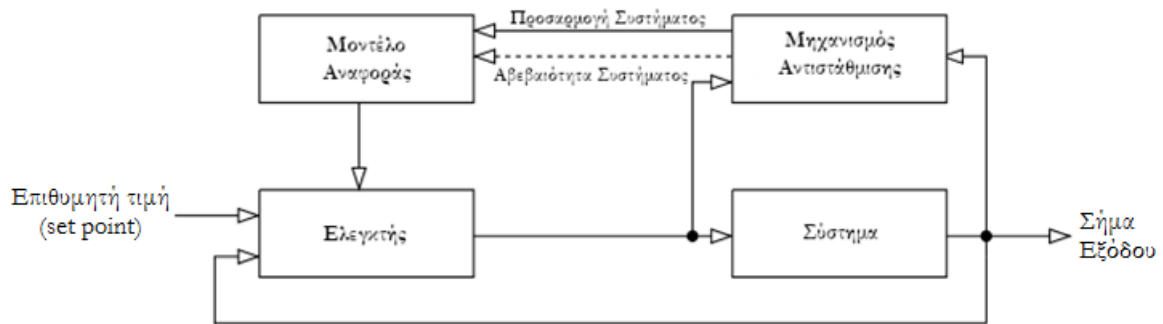
2.3.3.3 Προσαρμοστικός Έλεγχος

Ο προσαρμοστικός έλεγχος είναι μέθοδος ελέγχου που χρησιμοποιείται από έναν ελεγκτή, ο οποίος πρέπει να προσαρμόζεται σε ένα ελεγχόμενο σύστημα με παραμέτρους που ποικίλλουν ή αρχικά είναι αβέβαιες. Στον προσαρμοστικό έλεγχο (Adaptive Control) χρησιμοποιούνται δύο μοντέλα. Ένα μοντέλο αναφοράς του συστήματος, το οποίο περιγράφει την επιθυμητή συμπεριφορά του και ένα μοντέλο μηχανισμού προσαρμογής του συστήματος. Όταν το σύστημα αντιλαμβάνεται απόκλιση από την επιθυμητή τιμή, ο μηχανισμός προσαρμογής μεταβάλλει τις παραμέτρους του ελεγκτή για τον περιορισμό του σφάλματος.

Όταν ο μηχανισμός λαμβάνει δεδομένα από εκτιμώμενες τιμές των παραμέτρων του συστήματος, για τις οποίες θα ελεγχθεί ο ελεγκτής, τότε ο μηχανισμός καλείται αυτορυθμιζόμενος προσαρμοστικός έλεγχος. [42]



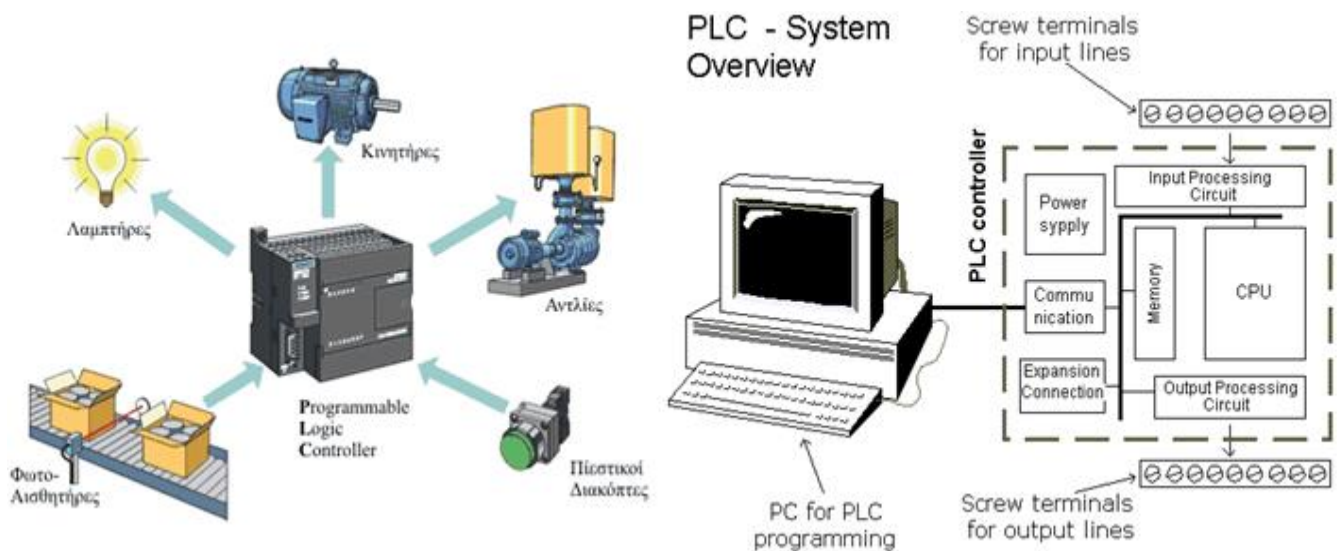
Εικόνα 2.14 Μοντέλο προσαρμοστικού ελέγχου



Εικόνα 2.15 Μοντέλο αυτορυθμιζόμενου προσαρμοστικού ελέγχου

2.3.3.4 Λογικός Έλεγχος

Ο λογικός έλεγχος στηρίζεται στην ύπαρξη λογικών καταστάσεων των μεταβλητών εισόδων του συστήματος (άλγεβρα Boole). Ένας προγραμματιζόμενος λογικός ελεγκτής (Programmable Logic Controller – PLC) δέχεται αναλογικά και ψηφιακά σήματα στις εισόδους του και μέσω ψηφιακής λογικής (συνδυαστικής και ακολουθιακής) ενεργεί στο σύστημα.



Εικόνα 2.16 Δομή ενός συστήματος PLC

2.3.3.5 Εύρωστος Έλεγχος

Εύρωστο έλεγχο (Robust control) ενός συστήματος επιτυγχάνουμε, όταν ο ελεγκτής θέτει σε ευστάθεια το σύστημα ανεξάρτητα της αβεβαιότητας του.

Αβεβαιότητα ενός μοντέλου ορίζεται το σύνολο των παραμέτρων ή των σφαλμάτων εκείνων που δεν περιγράφονται από κάποια μαθηματική εξίσωση και οδηγούν το σύστημα στην αστάθεια. [42]

2.3.3.6 Ευφυής Έλεγχος

Συστήματα με ευφυή έλεγχο καλούνται εκείνα τα συστήματα που ενσωματώνουν την ανθρώπινη εμπειρία στο μοντέλο. Οι μέθοδοι του ευφυούς ελέγχου είναι, η ασαφής λογική (fuzzy logic), τα έμπειρα συστήματα (expert systems), και τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks). [42]

2.4 Μεθοδολογία Σχεδίασης και Ανάπτυξης Συστημάτων Μετρήσεων και Ελέγχου

2.4.1 Εισαγωγή

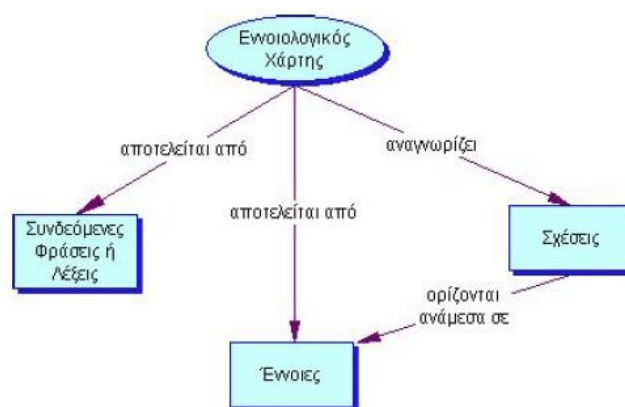
Η ανάπτυξη ενός νέου καινοτόμου συστήματος ή ακόμη και η βελτίωση ενός υπάρχοντος συστήματος απαιτεί την ύπαρξη μεθοδολογίας σχεδίασης και ξεκινά με τη σύλληψη της αρχικής ιδέας. Η μεθοδολογία περιλαμβάνει κάποια στάδια [42], τα οποία μεσολαβούν από τη σύλληψη της αρχικής ιδέας έως την ολοκλήρωση του προτύπου. Βασικό εργαλείο για την υλοποίηση του έργου αποτελούν οι «κεννοιολογικοί χάρτες» (εικόνα 2.15), οι οποίοι είναι διαγράμματα μέσω των οποίων απεικονίζουμε γραφικά την ανθρώπινη σκέψη και βοηθούν στην καταγραφή όλων των πιθανών ζητημάτων που θα εμφανισθούν κατά τη σχεδίαση και ανάπτυξη του συστήματος μας.

Τα στάδια που μεσολαβούν για την ανάπτυξη του προτύπου ενός συστήματος απεικονίζονται στην εικόνα 2.17. Στη φάση της διερεύνησης της ιδέας και της αξιολόγησης υπάρχει η λειτουργία της ανατροφοδότησης, με στόχο την περαιτέρω βελτίωση του προτύπου.

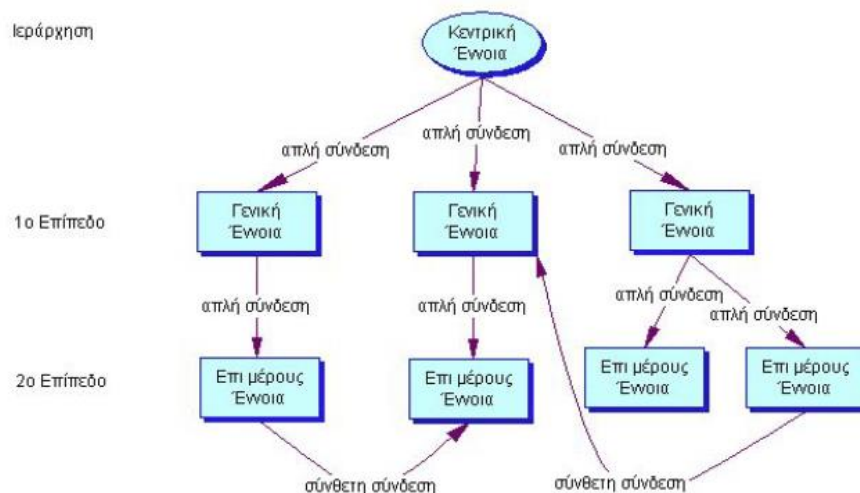


Εικόνα 2.17 Στάδια δημιουργίας προτύπου ενός συστήματος

Στην εικόνα 2.18 παραθέτονται τα συστατικά στοιχεία του εννοιολογικού χάρτη για την ανάπτυξη ενός συστήματος, ενώ στην εικόνα 2.19 παρουσιάζεται η γενική δομή ενός εννοιολογικού χάρτη κατά Novak & Gowin.



Εικόνα 2.18 Συστατικά στοιχεία του Εννοιολογικού Χάρτη



Εικόνα 2.19 Δομή ενός εννοιολογικού χάρτη κατά Novak & Gowin (1984)

2.4.2 Στάδια Σχεδίασης

2.4.2.1 Στάδιο Απαιτήσεων

Κατά το στάδιο των απαιτήσεων καταγράφονται όλα τα στοιχεία εκείνα, στα οποία θα πρέπει το σύστημα μετρήσεων και ελέγχου να ανταποκρίνεται στους σκοπούς του. Οι απαιτήσεις που καταγράφονται αποτελούν μια πολύ γενική περιγραφή του τελικού συστήματος με στοιχεία που αφορούν στη σχεδίαση, στην εργονομία, το κόστος, το μέγεθος κ.λπ..

2.4.2.2 Στάδιο Προδιαγραφών

Στο στάδιο των προδιαγραφών καθορίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά που θα φέρει το σύστημα. Οι προδιαγραφές σε σχέση με τις απαιτήσεις του συστήματος θα πρέπει να είναι ακριβής, ώστε να είναι ικανή η διαδικασία ελέγχου του συστήματος να πιστοποιήσει ότι η συγκεκριμένη κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις.

2.4.2.3 Στάδιο Αρχιτεκτονικής

Η αρχιτεκτονική του συστήματος παριστάνεται με χρήση δομικών διαγραμμάτων. Τα δομικά διαγράμματα δίνουν στους κατασκευαστές όλες εκείνες τις πληροφορίες που φέρει το σύστημα για την ολοκλήρωση του.

2.4.2.4 Στάδιο Σχεδίασης Υλικού

Στο στάδιο αυτό σχεδιάζεται το υλικό και το σύστημα συλλογής δεδομένων. Στοιχεία όπως αισθητήρες, ενεργοποιητές, ελεγκτές, μηχανικά και ηλεκτρομηχανικά συστήματα, οθόνες, πληκτρολόγια, κινητήρες κ.λπ. επιλέγονται βάση των τεχνικών χαρακτηριστικών του συστήματος.

2.4.2.5 Σχεδίασης Λογισμικού

Κατά το στάδιο της σχεδίασης του λογισμικού, έχοντας μια αναλυτική περιγραφή των δεδομένων και των επιθυμητών λειτουργιών του λογισμικού, μπορούμε να προβαίνουμε στη διαδικασία ανάλυσης των απαιτήσεων του.

2.4.2.6 Στάδιο Ολοκλήρωσης Συστήματος

Στο τελικό στάδιο της ολοκλήρωσης γίνεται σύνδεση όλων των μονάδων του συστήματος, ενώ ταυτόχρονα πραγματοποιούνται και δοκιμές σε όλες τις ανεξάρτητες μονάδες.

2.4.2.7 Στάδιο Ελέγχου/Δοκιμής

Για τον πλήρη έλεγχο του συστήματος μέτρησης πέρα από τον έλεγχο βάση των καταγεγραμμένων προδιαγραφών του συστήματος θα πρέπει να περιλαμβάνονται και επιμέρους δοκιμές. Οι δοκιμές αυτές αφορούν τη λειτουργία και την αξιοπιστία του συστήματος μέτρησης σε ακραίες καταστάσεις περιβάλλοντος εργασίας, όπως μηχανικές καταπονήσεις, στατικές εκφορτίσεις στο σώμα του συστήματος, υπερτάσεις τροφοδοσίας, σκόνη, αυξημένη θερμοκρασία κ.λπ..

2.5 Θεωρία Αισθητήρων

2.5.1 Εισαγωγή

Οι πρώτοι αισθητήρες εμφανίζονται μαζί με τα έμβια όντα και είναι τα όργανα μας. Το μάτι και το αυτί είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα, όπου το πρώτο ανιχνεύει τμήμα του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και το δεύτερο τον ήχο, δηλαδή, τα κύματα πίεσης.

Γενικά αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή που ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο [46]. Για παράδειγμα, το υδραργυρικό θερμόμετρο μετατρέπει τη μετρούμενη θερμοκρασία σε διαστολή, η οποία μπορεί να αναγνωστεί από ένα βαθμονομημένο σωλήνα. Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται σε καθημερινά αντικείμενα, όπως κουμπιά ανελκυστήρων ευαίσθητα στην αφή και λάμπες φωτισμού που εκπέμπουν λαμπρότερα ή απαλότερα αγγίζοντας τη βάση τους. Επίσης εφαρμογές τους συναντούμε στα κινητά τηλέφωνα, σε μηχανές, στην αεροναυπηγική, την ιατρική, τη βιομηχανία, τη ρομποτική, κ.λπ..

Η έννοια του αισθητήρα δεν πρέπει να συγχέεται με αυτή του μετατροπέα, ο οποίος ορίζεται ως μία δομή/συσκευή, η οποία μετατρέπει ένα φυσικό φαινόμενο σε ηλεκτρική πληροφορία μέσω μιας σειράς ενεργειακών μεταβολών. Ένας μετατροπέας περιέχει στη δομή του έναν ή περισσότερους αισθητήρες.

2.5.2 Τύποι Αισθητήρων

Οι αισθητήρες κατηγοριοποιούνται σε παθητικούς (passive) και ενεργούς (active). Όσοι απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία για να λειτουργήσουν ονομάζονται ενεργοί. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας γραμμικής μετατόπισης LVDT (Linear Variable Differential Transformers) πρέπει να τροφοδοτείται από κατάλληλη εναλλασσόμενη τάση. Οι αισθητήρες που δημιουργούν μόνοι τους μία τάση και δε χρειάζονται εξωτερική τροφοδοσία ονομάζονται παθητικοί. Τέτοιοι είναι για παράδειγμα οι πιεζοηλεκτρικοί κρύσταλλοι, που όταν πιεστούν αναπτύσσουν στα άκρα τους ηλεκτρική τάση.

Άλλος ένας διαχωρισμός των αισθητήρων προκύπτει όταν λαμβάνεται ως κριτήριο η αναφορά της μέτρησης του αισθητήρα σε κάποια κλίμακα. Έτσι έχουμε τους απόλυτους και τους σχετικούς αισθητήρες. Ως απόλυτος χαρακτηρίζεται ο αισθητήρας του οποίου το σήμα παραγωγής αναφέρεται σε μία απόλυτη (ακριβή) φυσική κλίμακα που είναι ανεξάρτητη από τις συνθήκες μέτρησης. Παράδειγμα απόλυτου αισθητήρα είναι η περίπτω-

ση του μετρητή πίεσης με αναφορά στο κενό. Ως σχετικός χαρακτηρίζεται ο αισθητήρας εκείνος, ο οποίος παράγει σήμα που αναφέρεται σε μια ειδική κλίμακα τιμών. Παράδειγμα σχετικού αισθητήρα είναι η περίπτωση του μανόμετρου [42].

2.5.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων

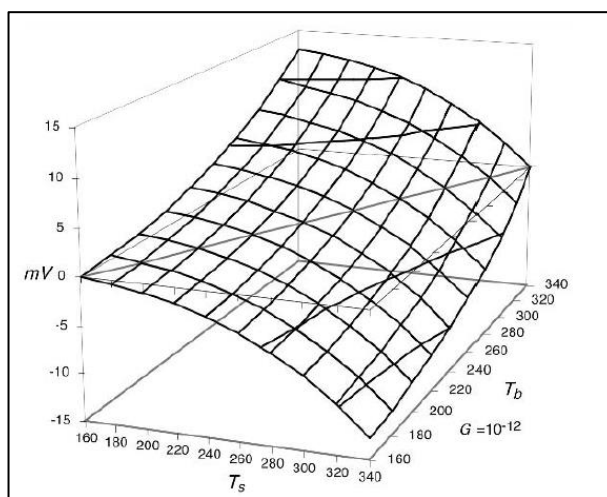
Κατά το στάδιο της σχεδίασης ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου, πρέπει να ορίζονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά που απαιτείται να έχουν οι αισθητήρες που θα χρησιμοποιηθούν. Τα χαρακτηριστικά που συνήθως εξετάζονται σε ένα αισθητήρα είναι τα παρακάτω:

- **Η συνάρτηση μεταφοράς**

Η συνάρτηση του σήματος εξόδου αποτελεί την ταυτότητα του αισθητήρα ή της μετρικής διάταξης[42]. Η σχέση εξόδου/εισόδου χαρακτηρίζεται από τη συνάρτηση μεταφοράς, η οποία καθορίζει την εξάρτηση μεταξύ του ηλεκτρικού σήματος S που παράγεται από τον αισθητήρα και του ερεθίσματος s που αποτελεί την είσοδο του αισθητήρα, δηλαδή,

$$S=f(s)$$

Η συνάρτηση αυτή μπορεί να είναι γραμμική ($S=a+bs$), λογαριθμική ($S=a+b \ln s$), εκθετική ($S=ae^{ks}$) ή και Πολυωνυμική ($S=a_0+a_1s^k$), όπου k : σταθερά. Πολλοί αισθητήρες παρουσιάζουν συνάρτηση μεταφοράς, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Στην περίπτωση αυτή η συνάρτηση μεταφοράς δεν παρουσιάζεται σε διδιάστατο επίπεδο, αλλά σε τριδιάστατη γραφική απεικόνιση, όπως φαίνεται στην εικόνα 2.20.



Εικόνα 2.20 Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς αισθητήρα θερμικής ακτινοβολίας

- **Η κλίμακα εισόδου**

Είναι το πεδίο τιμών του ερεθίσματος που δέχεται ο αισθητήρας ή ο μετατροπέας ως διέγερση και ορίζεται ως εξής:

$$\text{Περιοχή τιμών εισόδου (Range)} = (X_{\min}, X_{\max}).$$

- **Το εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου**

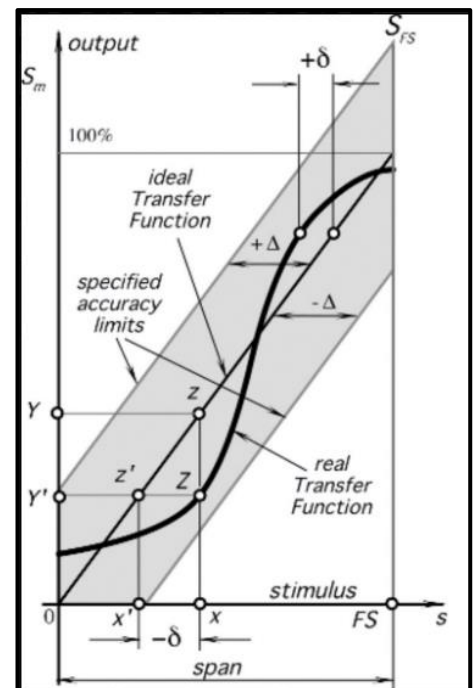
Το εύρος πλήρους κλίμακας εισόδου (Span, Input Full Scale – IFS) ενός αισθητήρα ή μετατροπέα, αποτελεί η αλγεβρική διαφορά της μέγιστης (X_{\max}) από την ελάχιστη (X_{\min}) τιμή του ερεθίσματος και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Span} = X_{\max} - X_{\min}$$

- **Το εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου**

Το εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου (Full Scale Output – FSO) αποτελεί η αλγεβρική διαφορά μεταξύ του μέγιστου (y_{\max}) και του ελάχιστου (y_{\min}) σήματος εξόδου σε όλο το πεδίο εισόδου του ερεθίσματος s του αισθητήρα ή του μετατροπέα και δίνεται από τη σχέση: $\text{FSO} = y_{\max} - y_{\min}$.

Στην εικόνα 2.21 φαίνεται η ιδανική καθώς και η πραγματική συνάρτηση μεταφοράς ενός αισθητήρα. Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι η πραγματική συνάρτηση μεταφοράς του αισθητήρα αποκλίνει ($\pm \Delta$) από την ιδανική. Η απόκλιση αυτή οδηγεί σε μη γραμμικά φαινόμενα και έτσι απαιτείται η χρήση λογισμικού ή υλικού για την αντιστάθμιση της απόκλισης.



Εικόνα 2.21 Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου συνάρτησης μεταφοράς

- **Η ακρίβεια**

Η ακρίβεια μιας διεργασίας ελέγχου προσδιορίζεται από την ακρίβεια που διαθέτει ο αισθητήρας ή ο μετατροπέας του συστήματος. Η ακρίβεια ενός συστήματος υπολογίζεται κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης. Ως ακρίβεια ενός αισθητήρα ορίζεται η διαφορά που παρουσιάζει το σήμα εξόδου σε σχέση με την πραγματική τιμή. Επειδή όμως η πραγματική τιμή ενός μεγέθους δεν είναι ποτέ γνωστή, λαμβάνουμε την ακρίβεια μέσω του σχετικού σφάλματος και ισχύει η παρακάτω σχέση:

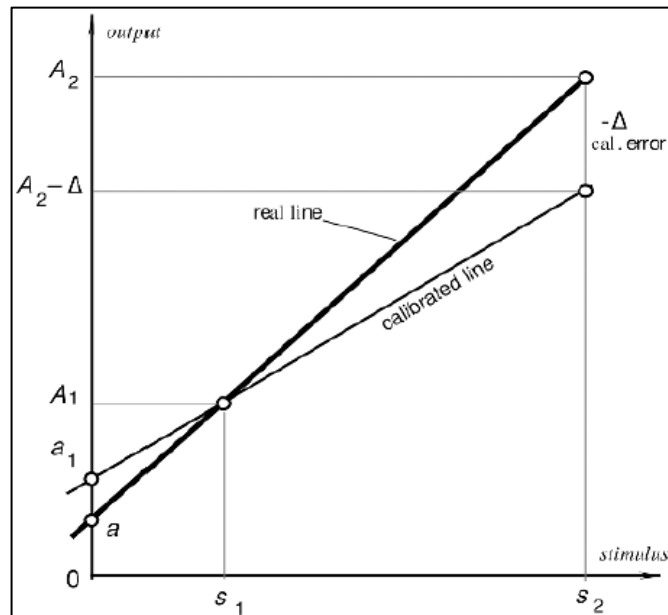
$$e_{res} = \frac{(\text{μετρούμενη τιμή} - \text{πραγματική τιμή})}{(\text{πραγματική τιμή})}$$

- **Η Βαθμονόμηση**

Η βαθμονόμηση (calibration) χρησιμοποιείται για την απόδοση της ακρίβειας των φυσικών προτύπων σε σχέση με τον αισθητήρα ή τον μετατροπέα που μετρά το μέγεθος. Οι διαδικασίες βαθμονόμησης μπορούν να ελέγξουν την κατάσταση ενός αισθητήρα ώστε να εξασφαλίσουν τη σωστή λειτουργία του στοιχείου και την αξιοπιστία των μετρήσεων.

- **Το σφάλμα βαθμονόμησης**

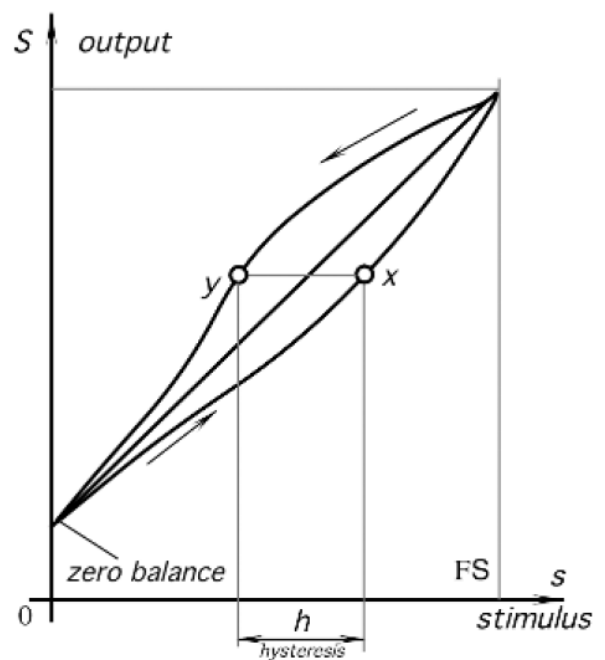
Η διαφορά μεταξύ των μετρήσεων ενός ερεθίσματος από ένα βαθμονομημένο αισθητήρα και από ένα μη βαθμονομημένο αποτελεί την τιμή του σφάλματος βαθμονόμησης. Αυτό καταγράφεται συνήθως στο τεχνικό εγχειρίδιο (datasheet) του αισθητήρα. Στην εικόνα 2.22 παρατηρούμε την απόκλιση που παρουσιάζει ένας βαθμονομημένος αισθητήρας, από έναν μη βαθμονομημένο, όταν αυτοί δεχθούν τα ίδια ακριβώς ερεθίσματα.



Εικόνα 2.22 Σφάλμα βαθμονόμησης

- **Η υστέρηση**

Ως υστέρηση ορίζεται το φαινόμενο στο οποίο ο αισθητήρας δεν επιστρέφει την ίδια τιμή του σήματος εξόδου, σε επαναλαμβανόμενα ίδια ερεθίσματα της εισόδου. Η υστέρηση ενός αισθητήρα δεν είναι σταθερή και μπορεί με τη συνεχή χρήση του στο χρόνο, το φυσικό υλικό του αισθητήρα να αλλοιωθεί και να παρουσιάζει μεγαλύτερο βαθμό υστέρησης. Στην εικόνα 2.23 παρατηρούμε τις διαφορετικές τιμές πλάτους της εξόδου που παρουσιάζει ο ίδιος αισθητήρας σε επαναλαμβανόμενα ίδια ερεθίσματα.



Εικόνα 2.23 Καμπύλη Υστέρησης

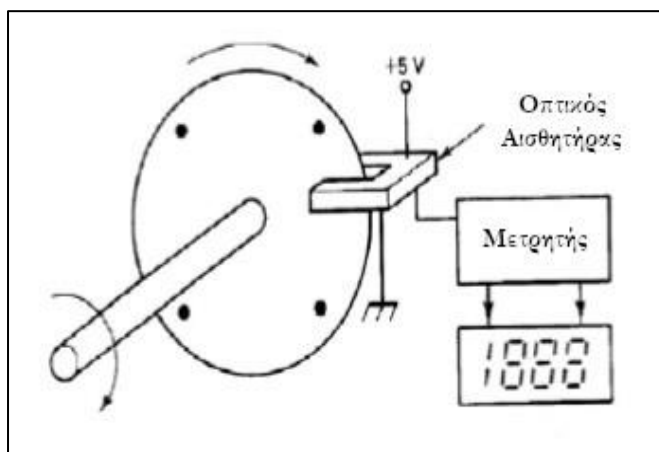
- **Η μη γραμμικότητα**

Όταν οι τιμές εξόδου ενός αισθητήρα παρουσιάζουν απόκλιση από την γραμμικότητα του, τότε μιλάμε για σφάλμα μη γραμμικότητας. Για την γραμμικοποίηση της εξόδου του στοιχείου εφαρμόζουμε μαθηματικές διορθώσεις με λογισμική εφαρμογή, όπως οι παρακάτω μέθοδοι γραμμικοποίησης:

1. Η χάραξη ευθείας μέσω της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων.
2. Η χάραξη ευθείας σύνδεσης των άκρων της μη γραμμικής καμπύλης.
3. Η χάραξη ευθείας μεταξύ των μέγιστων της μη γραμμικής καμπύλης.

- **Η διακριτική ικανότητα**

Ως διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα ορίζεται η μικρότερη ανιχνεύσιμη μεταβολή του μετρήσιμου μεγέθους. Στην εικόνα 2.24 φαίνεται ένας οπτικός κωδικοποιητής. Η διακριτική ικανότητα του συγκεκριμένου κωδικοποιητή είναι 90° , λόγω του ότι κάθε φορά που ο άξονας του περιστρέφεται κατά $1/4$ μίας περιστροφής, δημιουργείται ένας παλμός.



Εικόνα 2.24 Παράδειγμα διακριτικής ικανότητας οπτικού κωδικοποιητή

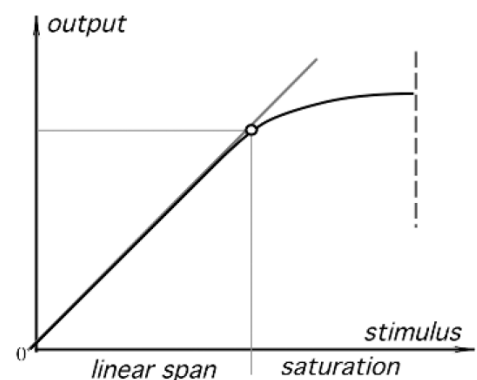
- **Η επαναληψιμότητα**

Σφάλμα επαναληψιμότητας καλείται το σφάλμα που παρουσιάζει ένας αισθητήρας, όταν για το ίδιο ερέθισμα δεν παράγει ίδιο σήμα εξόδου. Το σφάλμα επαναληψιμότητας δίνεται από τη σχέση:

$$\delta_r = \frac{\Delta}{FS} * 100\%$$

- **Ο συντελεστής κορεσμού**

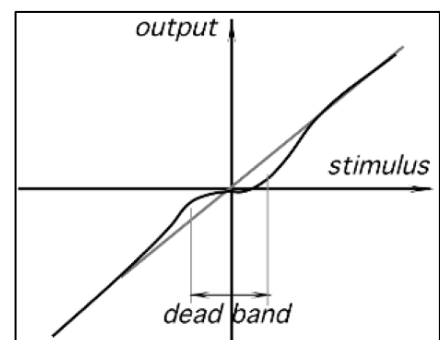
Συντελεστής κορεσμού είναι το σημείο στο οποίο ο αισθητήρας μετά από μία τιμή του ερεθίσματος παρουσιάζει στην έξοδο του κατάσταση κορεσμού. Στην εικόνα 2.25 απεικονίζεται το σημείο στο οποίο ο αισθητήρας μετά από μια τιμή του ερεθίσματος παρουσιάζει στην έξοδο του κατάσταση κορεσμού.



Εικόνα 2.25 Σημείο εμφάνισης κορεσμού

- **Η νεκρή ζώνη**

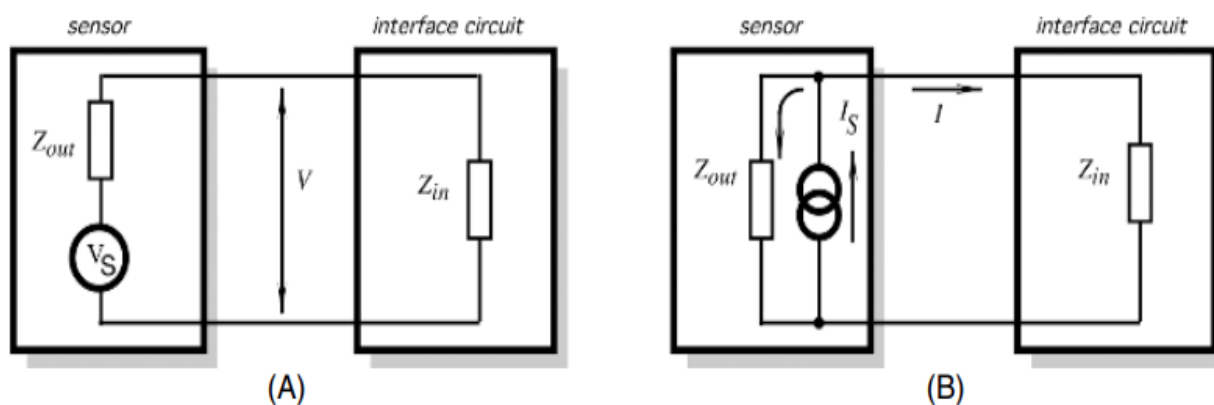
Νεκρή ζώνη χαρακτηρίζεται η μη δυνατότητα ανίχνευσης του ερεθίσματος ενός αισθητήρα για το οποίο το στοιχείο δεν παρουσιάζει καμία μεταβολή στην έξοδο του. Στην εικόνα 2.26 μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι, η έξοδος του αισθητήρα κοντά στην περιοχή των αρχικών τιμών ερεθισμάτων είναι μηδέν.



Εικόνα 2.26 Καμπύλη με εμφάνιση νεκρής ζώνης

- **Η σύνθετη αντίσταση εξόδου**

Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε την σύνθετη αντίσταση εξόδου Z_{out} του αισθητήρα για την καλύτερη διασύνδεση του με το ηλεκτρονικό κύκλωμα. Αυτή η σύνθετη αντίσταση συνδέεται είτε παράλληλα με την σύνθετη αντίσταση εισόδου Z_{in} του κυκλώματος (σύνδεση τάσης) ή σε σειρά (σύνδεση ρεύματος), όπως φαίνεται στην εικόνα 2.27.



Εικόνα 2.27 Σύνδεση αισθητήρα σε κύκλωμα, (Α) Σύνδεση τάσης, (Β) Σύνδεση ρεύματος

Στην περίπτωση της σύνδεσης τάσης (Α), για την ελαχιστοποίηση των παραμορφώσεων, προτιμάται ένας αισθητήρας με χαμηλότερο Z_{out} και κύκλωμα με υψηλό Z_{in} , ενώ στην περίπτωση της σύνδεσης ρεύματος (Β), προτιμάται ένας αισθητήρας με υψηλή σύνθετη αντίσταση εξόδου και κύκλωμα με χαμηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου.

- **Η διέγερση**

Διέγερση χαρακτηρίζεται το δυναμικό της τάσης ή η σταθερή ένταση ρεύματος που απαιτείται για τη λειτουργία ενός ενεργού αισθητήρα. Τυπικές τάσεις πόλωσης ή διέγερσης θεωρούνται τα 3,3, 5, 10, 12 Volt, ενώ οι αντίστοιχες τιμές του ρεύματος διέγερσης είναι τα 1, 50, 100, 200 mA.

- **Η αξιοπιστία**

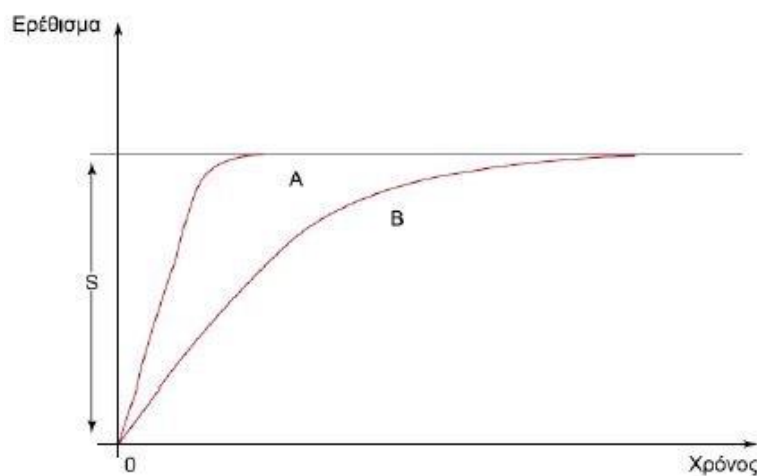
Αξιοπιστία καλείται η ικανότητα του αισθητήρα να λειτουργεί χωρίς σφάλματα για μεγάλο χρονικό διάστημα.

- **Το ελάχιστο σήμα κατωφλίου**

Ως ελάχιστο σήμα κατωφλίου (threshold) ενός αισθητήρα καλούμε εκείνη την τιμή του ερεθίσματος εισόδου που απαιτείται από τον αισθητήρα ώστε να ανιχνεύσει το ερέθισμα και να ανταποκριθεί σε αυτό.

- **Ο χρόνος απόκρισης**

Η απόκριση ενός αισθητήρα καλείται ο χρόνος που απαιτείται για να λάβει την τελική τιμή στην έξοδο του, για μία δεδομένη είσοδο. Η απόκριση ενός αισθητήρα επηρεάζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εισόδου, δηλαδή, είναι διαφορετική εάν το σήμα εισόδου είναι μεταβαλλόμενο ή σταθερό/αργά μεταβαλλόμενο. Στην εικόνα 2.28 παρατηρούμε ότι, ο αισθητήρας Α αντιδρά πιο γρήγορα χρονικά στη μεταβολή του μεγέθους σε σύγκριση με τον αισθητήρα Β.



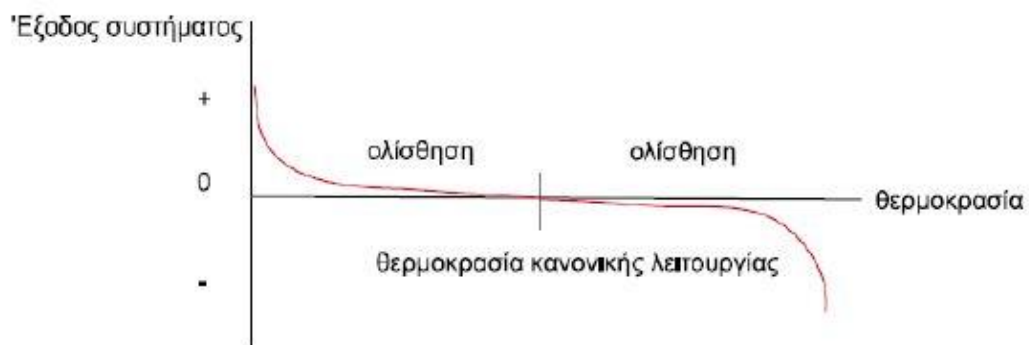
Εικόνα 2.28 καμπύλη χρόνου απόκρισης αισθητήρα

- **Ο θόρυβος**

Όλοι οι αισθητήρες παράγουν κάποιο θόρυβο παράλληλα με το σήμα εξόδου. Συχνή πηγή θορύβου είναι ο θερμικός θόρυβος των στοιχείων.

- **Η ολίσθηση**

Η ολίσθηση είναι ένα σύνθετο φαινόμενο αποτέλεσμα του οποίου είναι η αλλαγή στην τιμή της ευαισθησίας του αισθητήρα. Σε ολίσθηση οδηγούν οι μεταβολές των περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως η θερμοκρασία, η πίεση και η υγρασία που επιδρούν στα επιμέρους τμήματα του μετρικού συστήματος ή του αισθητήρα. Μηδενική ολίσθηση έχουμε όταν δεν μεταβάλλεται η θέση ηρεμίας του οργάνου. Στην εικόνα 2.29 φαίνεται το φαινόμενο της ολίσθησης ενός θερμικού αισθητήρα ακτινοβολίας, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.



Εικόνα 2.29 Ολίσθηση αισθητήρα λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας

- **Ο χρόνος προθέρμανσης**

Ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας αισθητήρας να λειτουργήσει και να ανταποκριθεί στα ερεθίσματα σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του, ονομάζεται χρόνος προθέρμανσης.

2.6 Επίλογος 2ου κεφαλαίου

Η σχεδίαση και κατασκευή ενός συστήματος μέτρησης και διαχείρισης πυρομαχικών αποτελεί στην ουσία ένα πρόβλημα σχεδίασης και ανάπτυξης ΣΑΕ. Στο 2^ο κεφάλαιο κρίθηκε σκόπιμο να αναπτυχθούν συνοπτικά η θεωρία των ΣΑΕ, η θεωρία των αισθητήρων, οι μέθοδοι ελέγχου και η μεθοδολογία σχεδίασης των συστημάτων ελέγχου, έτσι ώστε να τεθούν οι βάσεις για τη σχεδίαση και κατασκευή του μετρητή πυρομαχικών G3A3-A4 και της εφαρμογής διαχείρισης των πυρομαχικών του.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Φαινόμενο Hall

3.1 Μελέτη Φαινομένου Hall

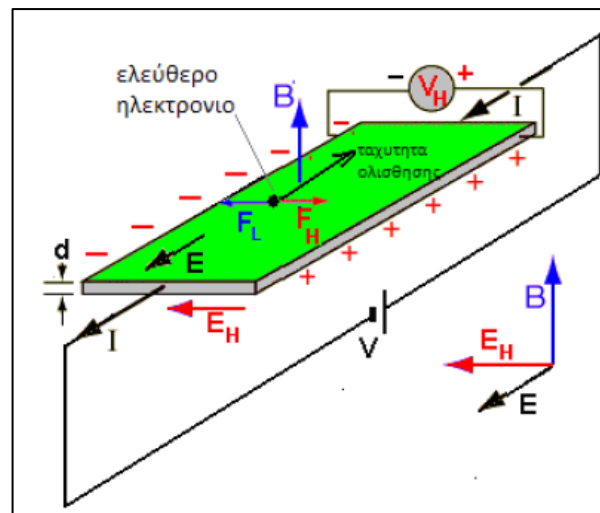
3.1.1 Εισαγωγή

Η ανακάλυψη του φαινομένου Hall έγινε το έτος 1879 από τον Edwin Herbert Hall (1855-1938) στο πλαίσιο της διδακτορικής του διατριβής στο Πανεπιστήμιο της Βαλτιμόρης. Ο Hall κατά την εξέταση πλακιδίων (αρχικά λεπτών φύλλων χρυσού), στα οποία διερχόταν ρεύμα κάθετα σε μαγνητικό πεδίο κατάφερε να μετρήσει μία διαφορά δυναμικού, η οποία ήταν ανάλογη της εντάσεως του διερχόμενου ρεύματος και της επαγωγής του μαγνητικού πεδίου. Την θεωρητική εξήγηση του φαινομένου είχε δώσει ήδη ο Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), πριν ακόμα διατυπωθεί η ηλεκτρονική θεωρία του ατόμου. Πρέπει να σημειωθεί ότι, την περίοδο εκείνη, δεν υπήρχε ο ενισχυτής για να αξιοποιήσει τεχνικά αυτό το φαινόμενο καθώς η τάση Hall είναι πολύ μικρή. Με την εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής και την εμφάνιση των ημιαγωγών πυριτίου, έγινε εφικτή η μέτρηση της αλλαγής τάσης, όταν το τσιπ πυριτίου τοποθετείται στη σωστή γωνία του μαγνητικού πεδίου. Σήμερα οι συσκευές φαινομένου Hall περιλαμβάνονται σε πολλά προϊόντα, από τους υπολογιστές έως τις εργαλειομηχανές, από τα αυτοκίνητα έως τα αεροσκάφη και τον ιατρικό εξοπλισμό [51], [52], [53].

3.1.2 Θεωρία του Φαινομένου Hall

Όπως ήδη αναφέρθηκε στην εισαγωγή, το φαινόμενο Hall εμφανίζεται στον εγκάρσιο άξονα ενός αγωγού, όταν αυτός διαρρέεται από ρεύμα κατά το διαμήκη άξονα του και βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο κάθετο στο διαμήκη και εγκάρσιο άξονα του

αγωγού. Όπως φαίνεται στην εικόνα 3.1 το μαγνητικό πεδίο ασκεί στους ηλεκτρικούς φορείς (ελεύθερα ηλεκτρόνια) μία δύναμη F_L (Δύναμη Lorentz) με κατεύθυνση κάθετη στην ταχύτητα ολίσθησης των φορέων. Η δύναμη αυτή ωθεί τους ηλεκτρικούς φορείς προς τη μια πλευρά του αγωγού. Η συσσώρευση των ηλεκτρικών φορέων του μεταλλικού δοκιμίου (ελεύθερα ηλεκτρόνια) προς τη μια παράπλευρη έδρα και η απουσία αυτών από την απέναντι έδρα (θετικό φορτίο), δημιουργεί ένα νέο ηλεκτρικό πεδίο έντασης E_H . Αυτό το εμφανιζόμενο ηλεκτρικό πεδίο, είναι κάθετο στην ένταση E του εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί η εφαρμοζόμενη τάση V στον μεταλλικό αγωγό. Ως αποτέλεσμα το ηλεκτρικό πεδίο έντασης E_H ασκεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια μια ηλεκτρική δύναμη F_H , που τελικά σε κατάσταση ισορροπίας αντισταθμίζει την μαγνητική δύναμη F_L . Η εμφάνιση του ηλεκτρικού πεδίου έντασης E_H , παράγει μια μετρήσιμη τάση μεταξύ των δύο απέναντι πλευρών του αγωγού [42], [51], [52], [54].



Εικόνα 3.1 Εμφάνιση του φαινομένου Hall σε μεταλλικό αγωγό

Συνεπώς, η αιτία του φαινομένου Hall, είναι η δύναμη Lorentz που ασκείται σε κάθε φορτίο που κινείται με ταχύτητα v μέσα στο μαγνητικό πεδίο και δίνεται από τον τύπο:

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}, \text{ όπου:}$$

B: η μαγνητική επαγωγή,

q: το ηλεκτρικό φορτίο του σωματιδίου και

v: η στιγμιαία ταχύτητα του φορτίου.

Η τάση Hall που αναπτύσσεται σε στοιχεία ημιαγωγών δίνεται από τη σχέση:

$$V_H = \frac{R_H B I}{d}, \text{ όπου:}$$

d: το πάχος του ημιαγωγού,

I: το ρεύμα που διαρρέει τον ημιαγωγό,

R_H : η σταθερά Hall, η οποία ισούται με $\frac{1}{n q}$ και

n: η συγκέντρωση ηλεκτρονίων.

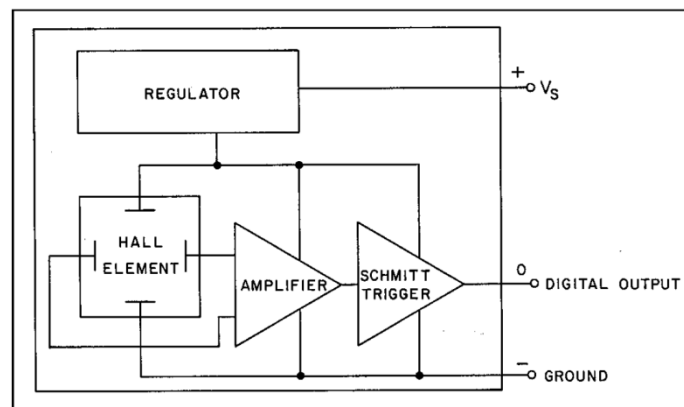
3.1.3 Αισθητήρες Φαινομένου Hall

Η χρησιμοποίηση αισθητήρων Hall αποτελεί ιδανική επιλογή για βιομηχανικές, αλλά και οικιακές εφαρμογές. Παρά το γεγονός ότι ο αισθητήρας Hall είναι αισθητήρας μαγνητικού πεδίου, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν βασικό εξάρτημα σε πολλών ειδών αισθητήρες, όπως αισθητήρια ρεύματος, θερμοκρασίας, πίεσης, θέσης, κ.λπ.. Απαραίτητη προϋπόθεση βέβαια είναι η ύπαρξη μαγνητικής ροής προς ανίχνευση και για αυτό το λόγο όταν τα αντικείμενα που πρόκειται να ανιχνευτούν δεν έχουν τέτοιες ιδιότητες χρησιμοποιούνται τεχνικές κατά τις οποίες κάποιο στοιχείο μαγνητικής ροής προστίθεται σε αυτά. Μερικά από τα γενικά χαρακτηριστικά των αισθητήρων Hall είναι τα παρακάτω:

- Σταθερή κατάσταση λειτουργίας.
- Μεγάλη διάρκεια ζωής.
- Υψηλή απόκριση.
- Δεν έχουν κινούμενα μέρη.
- Υψηλή επαναληψιμότητα.

- Λειτουργία σε ευρεία κλίμακα θερμοκρασίας (-40 έως +150 °C).

Στην εικόνα 3.2 φαίνεται η διάταξη του βασικού αισθητήρα Hall. Η ενισχυτική βαθμίδα του αισθητήρα αποτελείται από το διαφορικό ενισχυτή, ο οποίος ενισχύει τη διαφορά δυναμικού, δηλαδή την τάση Hall και το ρυθμιστή ρεύματος. Η τάση Hall είναι ένα χαμηλής ισχύος σήμα της τάξης των 30 microvolts κατά την παρουσία ενός μαγνητικού πεδίου 1 Gauss. Αυτή η χαμηλής ισχύος έξοδος απαιτεί ένα ενισχυτή με μικρό θόρυβο, υψηλή αντίσταση εισόδου και ρυθμιζόμενο κέρδος. Ένας διαφορικός ενισχυτής με τέτοια χαρακτηριστικά μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί με ένα στοιχείο Hall χρησιμοποιώντας τεχνολογία διπολικών τρανζίστορ. Επιπρόσθετα στην παραπάνω διάταξη προστίθεται και ένας ρυθμιστής ρεύματος εισόδου. Ο σκοπός του ρυθμιστή ρεύματος είναι να διατηρεί αυτό το ρεύμα σταθερό, έτσι ώστε η έξοδος του αισθητήρα να αντικατοπτρίζει μόνο την ένταση του μαγνητικού πεδίου, καθόσον η τάση Hall είναι συνάρτηση του ρεύματος εισόδου, όπως ήδη έχει αναφερθεί στην υποπαράγραφο 3.1.2 [51].



Εικόνα 3.2 Τυπική διάταξη βασικού αισθητήρα Hall

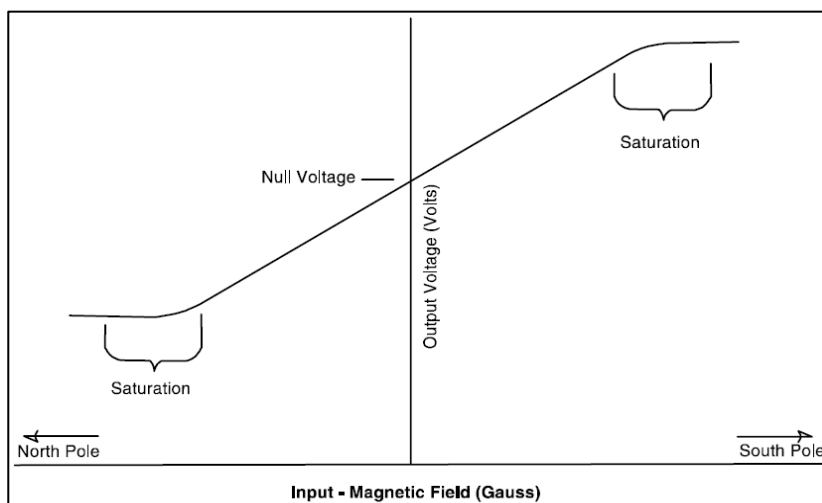
Οι αισθητήρες φαινομένου Hall συνήθως τοποθετούνται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα με μορφή πλακιδίου ή σε κυλινδρική μορφή, για ευκολότερη χρήση στις εφαρμογές. Συναντάμε κυρίως δύο τύπους αισθητήρων που αξιοποιούν το φαινόμενο

Hall, τους αναλογικούς αισθητήρες φαινομένου Hall και τους αισθητήρες φαινομένου Hall τύπου κατωφλίου ή ψηφιακούς. Σε ένα τυπικό αισθητήρα Hall υπάρχουν τρεις ακροδέκτες, δύο για την τροφοδοσία V_{CC} και τη γείωση και ένας τρίτος για την έξοδο (output).

3.1.3.1 Αναλογικοί Αισθητήρες Φαινομένου Hall

Όπως ήδη ειπώθηκε στην υποπαράγραφο 3.1.3, στην τυπική του διάταξη, ένας αναλογικός αισθητήρας φαινομένου Hall, περιλαμβάνει έναν σταθεροποιητή τάσης για την τροφοδοσία του ημιαγωγού και ένα ενισχυτή σήματος προκειμένου να γίνει ευκολότερη η διεπαφή με τα περιφερειακά ηλεκτρονικά κυκλώματα που θα συνδεθεί.

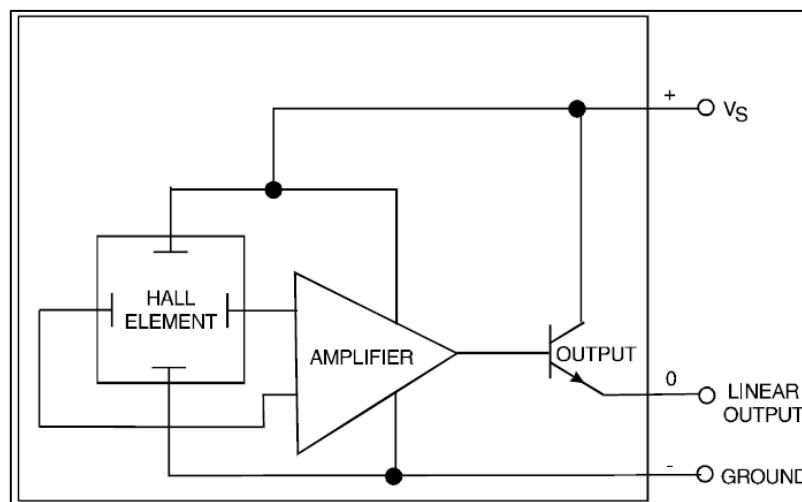
Οι αναλογικοί αισθητήρες στην έξοδό τους παρέχουν μια τάση, η οποία είναι ανάλογη του μαγνητικού πεδίου στο οποίο εκτίθενται. Επίσης η μετρούμενη τιμή του μαγνητικού πεδίου από τον αισθητήρα μπορεί να είναι θετική ή αρνητική. Ως αποτέλεσμα, η έξοδος του ενισχυτή θα οδηγηθεί είτε θετικά, είτε αρνητικά, απαιτώντας έτσι τροφοδοσία και στη θετική και στην αρνητική είσοδο. Για να αποφευχθεί η απαίτηση για διπλή τροφοδοσία χρησιμοποιείται είτε μια σταθερή αντιστάθμιση είτε πόλωση του διαφορικού ενισχυτή. Η τιμή της πόλωσης εμφανίζεται στην έξοδο όταν δεν υπάρχει μαγνητικό πεδίο και αναφέρεται ως μηδενική τάση (null voltage). Όταν το μαγνητικό πεδίο έχει θετικό πρόσημο, η έξοδος αυξάνεται πάνω από αυτή τη μηδενική τάση. Αντίστοιχα, η έξοδος μειώνεται κάτω από τη μηδενική τάση, για τις αρνητικές τιμές του μαγνητικού πεδίου, παραμένοντας όμως θετική, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3.



Εικόνα 3.3 Η έννοια της μηδενικής τάσης

Επισημαίνεται ότι, η έξοδος του ενισχυτή δεν μπορεί να υπερβεί τα όρια που επιβάλλει η πηγή τροφοδοσίας. Για την ακρίβεια, ο ενισχυτής θα φτάσει γρηγορότερα στο σημείο κορεσμού απ' ότι η πηγή τροφοδοσίας τα όριά της, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.3. Επίσης πρέπει να τονιστεί ότι, ο κορεσμός συμβαίνει μέσα στον ενισχυτή και όχι στο στοιχείο Hall. Έτσι, τα ισχυρά μαγνητικά πεδία δεν μπορούν να καταστρέψουν τους αισθητήρες Hall, αλλά τους οδηγούν σε κορεσμό.

Για να αυξηθεί περαιτέρω η ευελιξία της διεπαφής του αισθητήρα Hall και να μπορεί να γίνει πιο ευρύ το φάσμα χρήσης του στις διάφορες εφαρμογές, ενός ανοιχτού εκπομπού, ανοιχτού συλλέκτη ή push – pull τρανζίστορ προστίθεται στην έξοδο του διαφορικού ενισχυτή. Η εικόνα 3.4 δείχνει ένα πλήρη αναλογικό αισθητήρα Hall που ενσωματώνει όλες τις λειτουργίες που αναπτύχθηκαν παραπάνω.

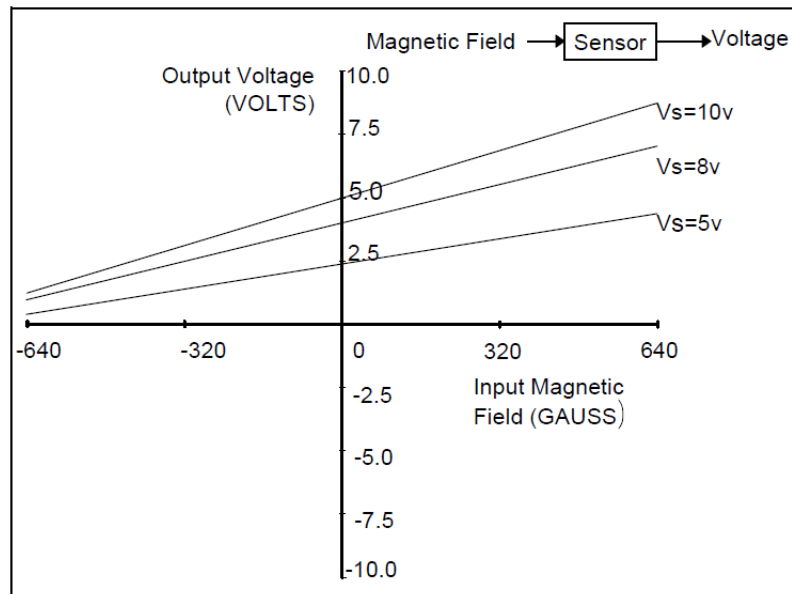


Εικόνα 3.4 Έξοδος απλού αναλογικού αισθητήρα Hall τύπου SS49/SS19

3.1.3.2 Χαρακτηριστικά Αναλογικών Αισθητήρων Hall

- Οι αναλογικοί αισθητήρες Hall λειτουργούν σε ένα μεγάλο πεδίο τιμών τάσης V_{CC} και είναι σταθεροί σε θορυβώδη περιβάλλοντα. Για μαγνητικό πεδίο ίσο με μηδέν η τάση εξόδου ενός αισθητήρα Hall είναι ίση με $V_{CC}/2$, όπως φαίνεται

στην εικόνα 3.4. Για παράδειγμα με τάση τροφοδοσίας 5V η τάση εξόδου του αισθητήρα Hall θα είναι ίση με 2,5V.



Εικόνα 3.5 Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς αναλογικού αισθητήρα Hall

• Συνάρτηση Μεταφοράς

Η συνάρτηση μεταφοράς για τους αναλογικούς αισθητήρες Hall, περιγράφει τη σχέση μεταξύ του μαγνητικού πεδίου (είσοδος) και της τάσης (εξόδου). Η συνάρτηση μεταφοράς για τον τυπικό αναλογικό αισθητήρα του παραδείγματος των εικόνων 3.4 και 3.5, μπορεί να εκφραστεί είτε με τη μορφή γραφήματος, είτε με τη μορφή εξίσωσης, όπως παρακάτω:

$$\left\{ \begin{array}{l} V_{out} \text{ (volts)} = (6,25 \times 10^{-4} \times V_s)B + (0,5 \times V_s) \\ -640 < B \text{ (Gauss)} < +640 \end{array} \right.$$

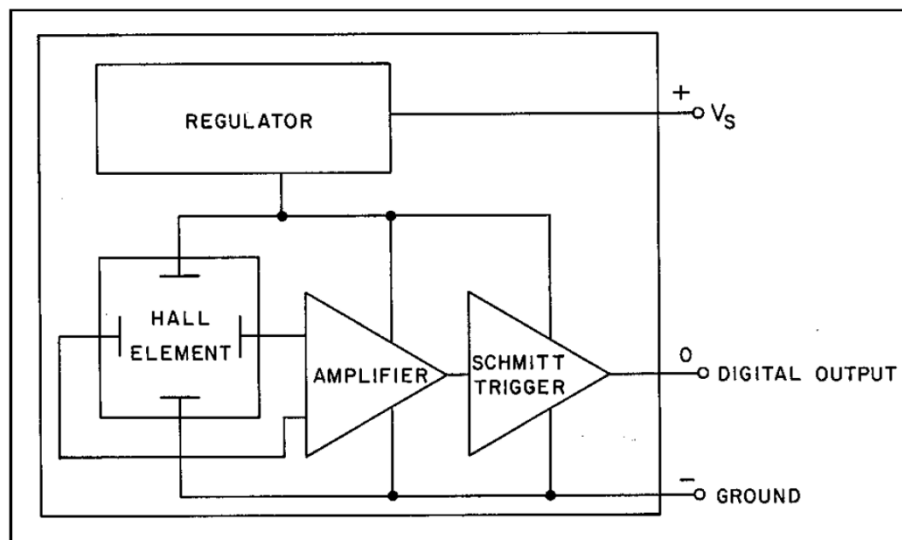
Η συνάρτηση μεταφοράς ενός αναλογικού αισθητήρα χαρακτηρίζεται από την ευαισθησία, το μηδενικό εύρος (Null Offset) και το εύρος της εξόδου (FSO). Η κλίση της καμπύλης στην εικόνα 3.5 ανταποκρίνεται στην ευαισθησία του αι-

σθητήρα. Ο παράγοντας $[B (6.25 \times 10^{-4} \times VS)]$ της συνάρτησης μεταφοράς εκφράζει και αυτός την ευαισθησία αυτού του αισθητήρα. Το μηδενικό εύρος (Null Offset) είναι η έξοδος ενός αισθητήρα με μηδενική μαγνητική διέγερση. Στην περίπτωση της συνάρτησης μεταφοράς της εικόνας 3.5, το μηδενικό εύρος είναι η τάση εξόδου στα 0 Gauss για μια σταθερή τάση τροφοδοσίας. Ο δεύτερος όρος της συνάρτησης μεταφοράς $[(0.5 \times VS)]$ εκφράζει αυτό το μηδενικό εύρος. Το εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου (FSO) για ένα αναλογικό αισθητήρα Hall δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Span} = V_{\text{out}} [(+) \text{ Gauss}] - V_{\text{out}} [(-) \text{ Gauss}]$$

3.1.3.3 Αισθητήρες Φαινομένου Hall Τύπου Κατωφλίου ή Ψηφιακοί

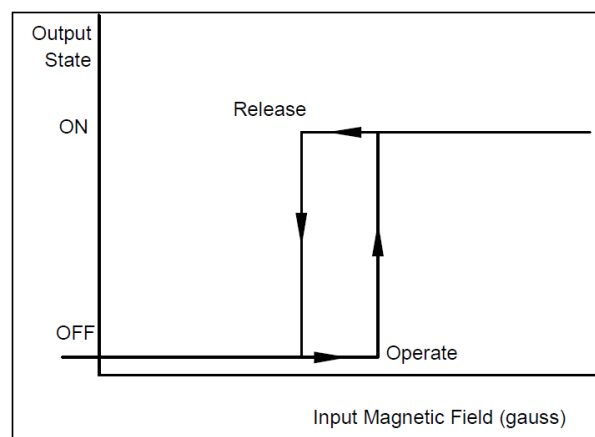
Στην τυπική του διάταξη, ένας αισθητήρας φαινομένου Hall με κατώφλι, εκτός από τον ενισχυτή όπως στον αναλογικό αισθητήρα φαινομένου Hall περιλαμβάνει και έναν ανιχνευτή σκανδαλισμού Schmitt, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.6.



Εικόνα 3.6 Τυπική διάταξη αισθητήρα Hall τύπου κατωφλίου/ψηφιακός

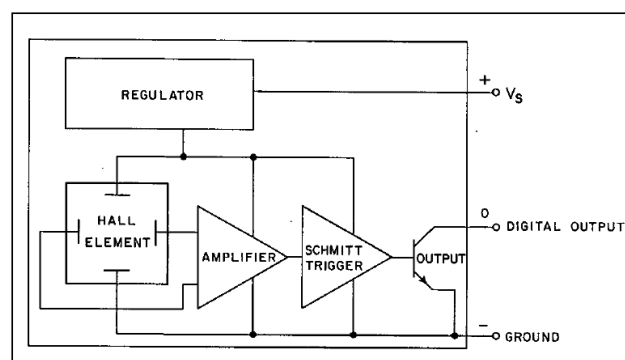
Το σήμα εξόδου σε έναν αισθητήρα Hall τύπου κατωφλίου παρουσιάζει ακμές. Όταν η πυκνότητα της ανιχνευόμενης μαγνητικής ροής ξεπερνά μια συγκε-

κριμένη τιμή κατωφλίου, ο σκανδαλιστής μεταβαίνει από υψηλή σε χαμηλή κατάσταση. Η υστέρηση της εξόδου εξουδετερώνει ανεπιθύμητες ταλαντώσεις εισάγοντας μια νεκρή ζώνη μέσα στην οποία η επίδραση του μαγνητικού πεδίου δεν επιδρά στην έξοδο αφού η τιμή κατωφλίου έχει ήδη ξεπεραστεί. Στους αισθητήρες φαινόμενου Hall τύπου κατωφλίου, η μέγιστη απόσταση στην οποία η έξοδος μεταβαίνει από υψηλή κατάσταση σε χαμηλή κατάσταση καλείται σημείο ελευθερίας. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στην εικόνα 3.7, οι ψηφιακοί αισθητήρες έχουν στην έξοδό τους δυο καταστάσεις: ON ή OFF.



Εικόνα 3.7 Υστέρηση αισθητήρα Hall τύπου κατωφλίου/ψηφιακός

Όπως και με τους αισθητήρες Hall αναλογικής εξόδου, ένα τρανζίστορ εξόδου προστίθεται ώστε να αυξήσει την ευελιξία της εφαρμογής, όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα 3.8.



Εικόνα 3.8 Ψηφιακός αισθητήρας Hall

3.1.3.3 Χαρακτηριστικά Αισθητήρων Hall Τύπου Κατωφλίου/Ψηφιακοί

- **Συνάρτηση Μεταφοράς**

Η συνάρτηση μεταφοράς για ένα ψηφιακό αισθητήρα Hall φαίνεται στην εικόνα 3.6. Τα βασικά χαρακτηριστικά στοιχεία εισόδου/εξόδου είναι το σημείο λειτουργίας, το σημείο απελευθέρωσης και η διαφορά μεταξύ αυτών. Καθώς το μαγνητικό πεδίο αυξάνεται, καμία αλλαγή δεν θα συμβεί στην έξοδο του αισθητήρα μέχρι να φτάσει στο σημείο λειτουργίας. Μόλις επιτευχθεί το σημείο λειτουργίας, ο αισθητήρας θα αλλάξει κατάσταση. Περαιτέρω αύξηση στην είσοδο, πέρα από το σημείο λειτουργίας, δεν θα έχει καμία επίδραση στη λειτουργία του αισθητήρα. Αν το μαγνητικό πεδίο μειωθεί κάτω από το σημείο λειτουργίας, η έξοδος θα παραμείνει σταθερή μέχρι να φτάσουμε στο σημείο απελευθέρωσης. Σ' αυτό το σημείο, η έξοδος του αισθητήρα θα επιστρέψει στην αρχική της κατάσταση (OFF). Ο σκοπός της διαφοράς μεταξύ του σημείου λειτουργίας και του σημείου απελευθέρωσης (υστέρηση) είναι να αποκλειστεί η περίπτωση του σφάλματος ενεργοποίησης η οποία μπορεί να προκληθεί από μικρές μεταβολές της εισόδου.

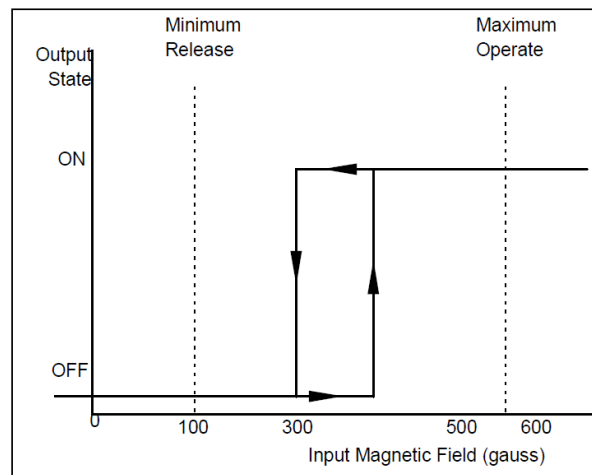
- **Χαρακτηριστικά Τροφοδοσίας**

Οι αισθητήρες ψηφιακής εξόδου διατίθενται σε δυο ειδών διατάξεις τροφοδοσίας. Ρυθμιζόμενοι και μη ρυθμιζόμενοι. Οι περισσότεροι ψηφιακοί αισθητήρες Hall είναι ρυθμιζόμενοι και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με πηγές τροφοδοσίας από 3,8 μέχρι 24 VDC. Οι μη ρυθμιζόμενοι χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές. Για τη λειτουργία τους απαιτείται μια ρυθμιζόμενη DC πηγή από 4,5 μέχρι 5,5V ($5 \pm 0,5V$).

- **Χαρακτηριστικά Εισόδου**

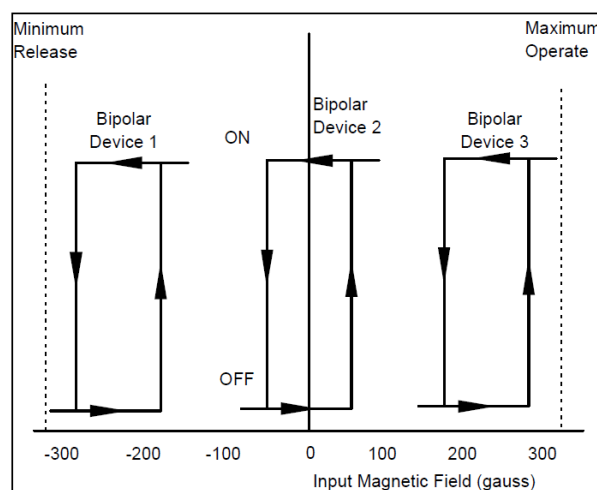
Τα χαρακτηριστικά εισόδου ενός αισθητήρα ψηφιακής εξόδου καθορίζονται αναφορικά με το σημείο λειτουργίας, το σημείο απελευθέρωσης και τη διαφορά δυναμικού. Στην εικόνα 3.9 φαίνονται τα χαρακτηριστικά εισόδου για ένα τυπικό

μονοπολικό αισθητήρα ψηφιακής εξόδου. Ως μονοπολικός καλείται ο αισθητήρας, όπου το μέγιστο σημείο λειτουργίας αλλά και το ελάχιστο σημείο απελευθέρωσης είναι θετικά (π.χ. νότιος πόλος του μαγνητικού πεδίου).



Εικόνα 3.9 Έξοδος μονοπολικού ψηφιακού αισθητήρα Hall

Αντίθετα ένας διπολικός αισθητήρας έχει θετικό μέγιστο σημείο λειτουργίας (νότιος πόλος) και αρνητικό ελάχιστο σημείο απελευθέρωσης (βόρειος πόλος). Οι συναρτήσεις μεταφοράς των διπολικών αισθητήρων Hall, φαίνονται στην εικόνα 3.10. Σημειώνεται ότι, υπάρχουν τρεις πιθανοί συνδυασμοί σημείων λειτουργίας και απελευθέρωσης με έναν διπολικό αισθητήρα.



Εικόνα 3.10 Έξοδος διπολικού ψηφιακού αισθητήρα Hall

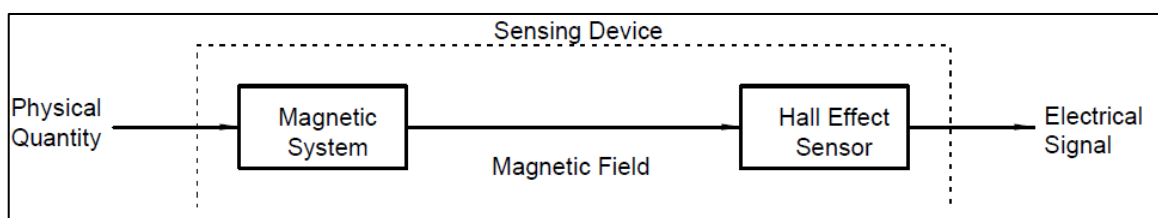
- **Χαρακτηριστικά Εξόδου**

Τα χαρακτηριστικά εξόδου ενός αισθητήρα ψηφιακής εξόδου καθορίζονται από τα αντίστοιχα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του τρανζίστορ εξόδου. Αυτά περιλαμβάνουν τον τύπο του τρανζίστορ (π.χ. NPN), το μέγιστο ρεύμα, την τάση διάσπασης, και χρόνο μεταγωγής.

3.1.3.4 Μαγνητικό Πεδίο και Αισθητήρες Hall

- Γενικά, οι αισθητήρες φαινομένου Hall μετατρέπουν ένα μαγνητικό πεδίο σε ένα αξιοποιήσιμο ηλεκτρικό σήμα. Εκτός από την ανίχνευση ενός μαγνητικού πεδίου, οι αισθητήρες Hall μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση και άλλων φυσικών ποσοτήτων, όπως η θέση, η ταχύτητα, η θερμοκρασία, κ.λπ..

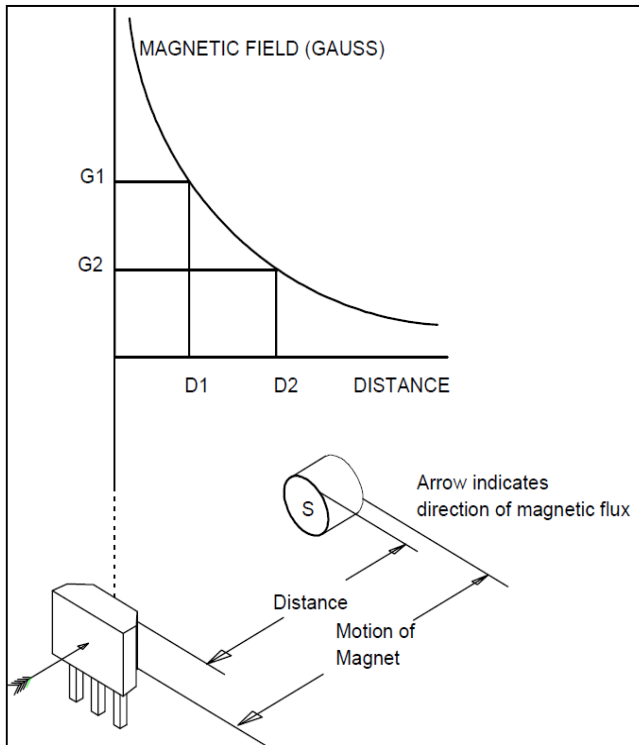
- Η ιδέα, λοιπόν, της ενσωμάτωσης των αισθητήρων Hall σε ένα μαγνητικό σύστημα, επιτρέπει την κατασκευή συσκευών που ανιχνεύουν διάφορα φυσικά μεγέθη, με αποτέλεσμα οι αισθητήρες Hall να χρησιμοποιούνται σε μια ποικιλία εφαρμογών και συσκευών. Το μαγνητικό σύστημα μετατρέπει τις διάφορες φυσικές ποσότητες σε ένα μαγνητικό πεδίο που μπορεί με τη σειρά του να γίνει αισθητό από τον αισθητήρα Hall. Το μπλοκ διάγραμμα στην εικόνα 3.11 απεικονίζει αυτήν την ιδέα.



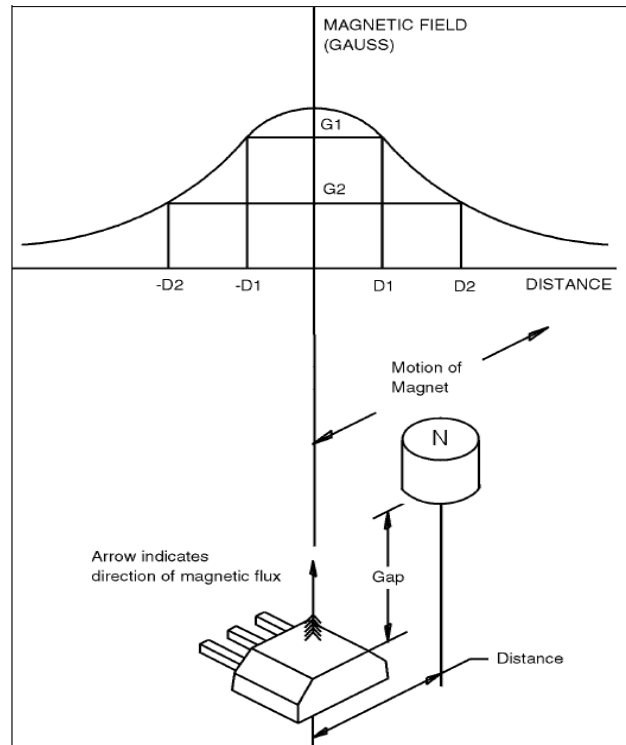
Εικόνα 3.11 Γενικό σύστημα φαινομένου Hall

- Η απόκριση των αισθητήρων Hall είναι συνάρτηση της απόστασης τους από το μαγνητικό πεδίο, αλλά και της κατεύθυνσης της κίνησης τους μέσα σε αυτό. Έτσι έχουμε, λοιπόν, διαφορετικές σχέσεις μετατόπισης – μαγνητικής ροής όταν ο

αισθητήρας ή αντίστοιχα το αντικείμενο με μαγνητικές ιδιότητες κινείται κάθετα προς το διαμήκη άξονα του αισθητήρα και διαφορετικές όταν ο αισθητήρας κινείται παράλληλα, όπως φαίνεται στις εικόνες 3.12 και 3.13 αντίστοιχα.



Εικόνα 3.12 Σχέση απόστασης – μαγνητικής ροής σε κίνηση κάθετη προς το διαμήκη άξονα του αισθητήρα Hall



Εικόνα 3.13 Σχέση απόστασης – μαγνητικής ροής σε κίνηση παράλληλη προς το διαμήκη άξονα του αισθητήρα Hall

- Οι γραμμές της μαγνητικής ροής είναι ένα διανυσματικό μέγεθος με συγκεκριμένη κατεύθυνση (από το βόρειο πόλο του μαγνήτη προς το νότιο πόλο του). Επίσης η πυκνότητα ροής έχει θετική πολικότητα εάν η κατεύθυνσή της είναι ίδια με την διεύθυνση αναφοράς του αισθητήρα. Το βέλος στις εικόνες 3.12 και 3.13 καθορίζει αυτήν την διεύθυνση αναφοράς.

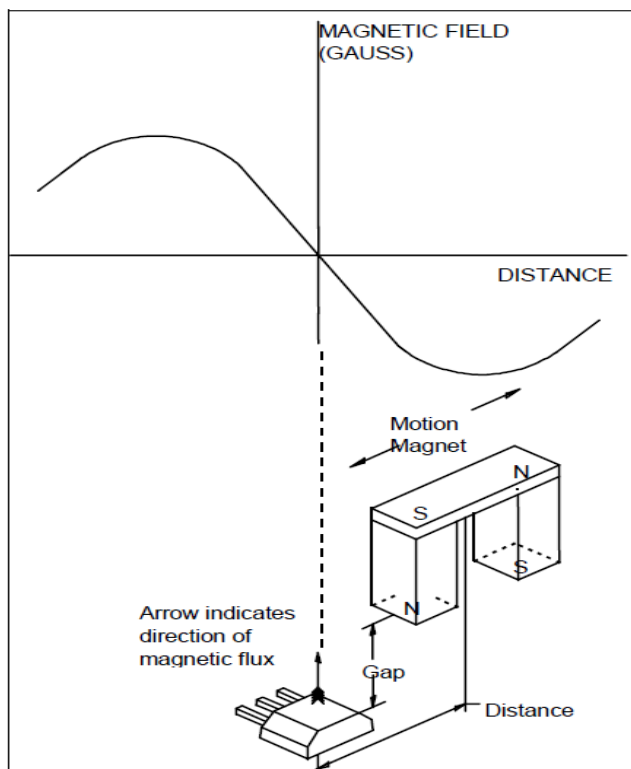
- Αναλυτικότερα στην εικόνα 3.12, απεικονίζεται η μονοπολική διάταξη σε λειτουργία «Head-on», για ενεργοποίηση ενός αισθητήρα φαινομένου Hall.

Ο όρος «Head-on» αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ο μαγνήτης κινείται σε σχέση με το σημείο αναφοράς του αισθητήρα. Όπως παρατηρούμε, ο μαγνήτης και ο αισθητήρας είναι τοποθετημένοι, έτσι ώστε ο νότιος πόλος του μαγνήτη να πλησιάσει την πρόσθια αισθητήρια επιφάνεια του αισθητήρα. Στη λειτουργία αυτή, μόνο γραμμές ροής προς την διεύθυνση αναφοράς (θετική) ανιχνεύονται, ενώ η σχέση μεταξύ Gauss και απόστασης δίνεται από τον νόμο αντίστροφου τετράγωνου, με την απόσταση να μετριέται από την εμπρόσθια επιφάνεια του αισθητήρα προς το κέντρο του νότιου πόλου του μαγνήτη, κατά μήκος της κατεύθυνσης κίνησης.

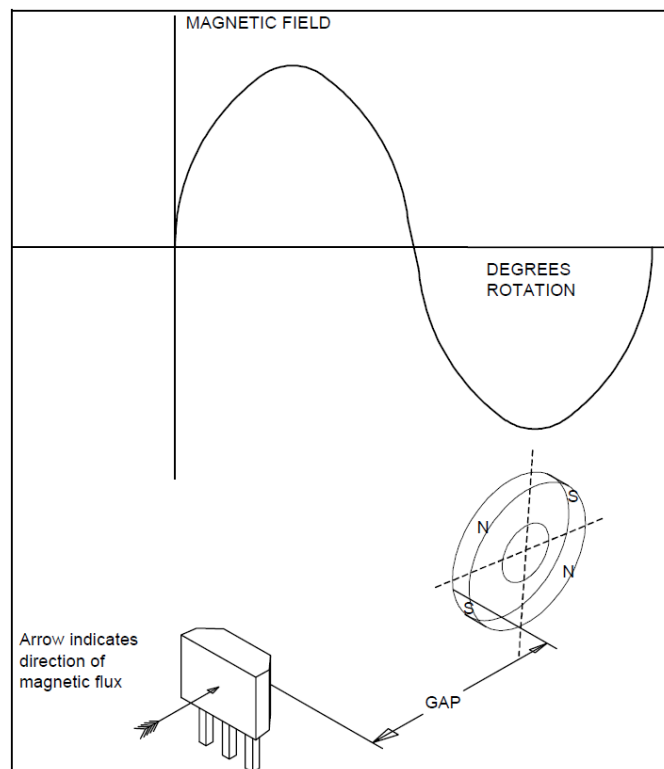
- Αντίστοιχα στην εικόνα 3.13 έχουμε τη μονοπολική διάταξη σε λειτουργία «Slide-by Mode», με το μαγνήτη να κινείται παράλληλα στην εμπρόσθια επιφάνεια του αισθητήρα. Η απόσταση μεταξύ του κέντρου του νότιου πόλου του μαγνήτη και της εμπρόσθιας επιφάνειας του αισθητήρα ονομάζεται διάκενο. Η σχέση μεταξύ Gauss και απόστασης μας δίνει μια καμπύλη σε σχήμα καμπάνας, η κορυφή (μέγιστο Gauss) της οποίας είναι συνάρτηση του διακένου (όσο μικρότερο είναι το διάκενο, τόσο υψηλότερη είναι η κορυφή της καμπύλης).

- Εκτός από την μονοπολική, έχουμε και την διπολική διάταξη, η οποία εκφράζεται με δύο λειτουργίες, την «Slide-by Mode» και «Slide-by Mode (Ring Magnet)». Στην εικόνα 3.14 απεικονίζεται η λειτουργία «Slide-by Mode», όπου η διάταξη αποτελείται από τον αισθητήρα Hall και από δύο μαγνήτες, οι οποίοι κινούνται με τον ίδιο τρόπο όπως στην μονοπολική λειτουργία «Slide-by Mode». Η απόσταση του διακένου μετριέται μεταξύ του κέντρου του ζεύγους μαγνητών και του σημείου αναφοράς του αισθητήρα. Η σχέση Gauss με την απόσταση αποδίδεται από μία καμπύλη σχήματος «S» που έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές μετατοπίσεις. Τα θετικά και αρνητικά μισά της καμπύλης είναι αποτέλεσμα, πρώτων της εγγύτητας του βόρειου ή του νότιου πόλου του μαγνήτη και

δεύτερον της κατεύθυνσης προσέγγισης του σημείου αναφοράς του αισθητήρα (δεξιά ή αριστερά του σημείου αναφοράς).



Εικόνα 3.14 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Slide-by Mode»

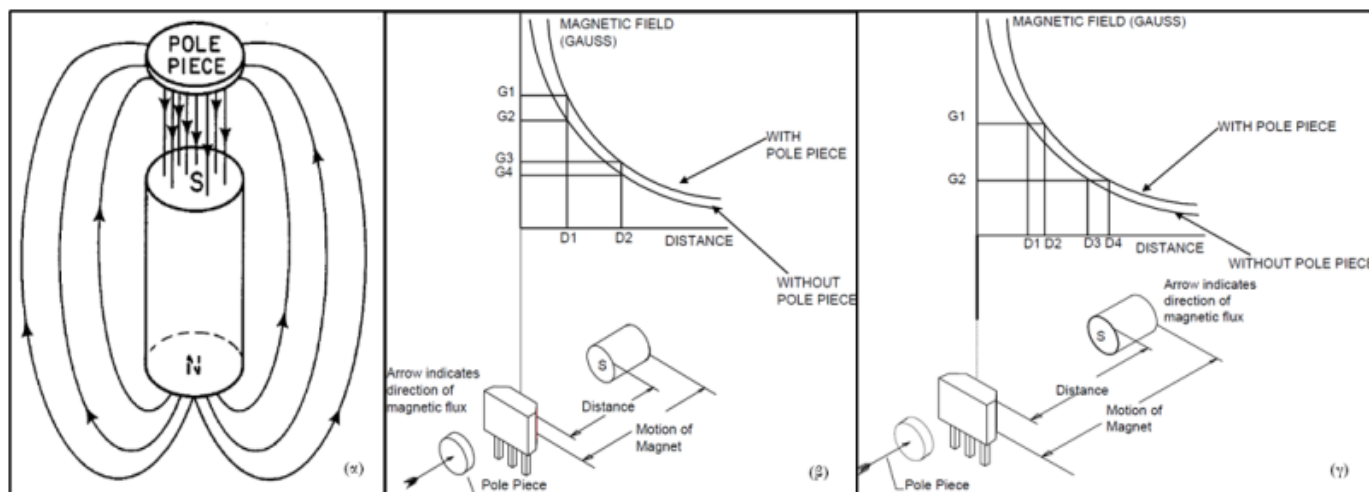


Εικόνα 3.15 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Slide-by Mode (Ring Magnet)»

- Η λειτουργία «Slide-by Mode (Ring Magnet)» αποτελεί παραλλαγή της λειτουργίας «Slide-by Mode». Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην εικόνα 3.15 στη διάταξη έχει τοποθετηθεί ένας μαγνήτης τύπου «Δακτυλίου». Πρόκειται για ένα δίσκο στην περιφέρεια του οποίου έχουν τοποθετηθεί κομμάτια μαγνητικού υλικού σε ζεύγη μαγνητισμένων πόλων (συνδυασμός Βορρά – Νότου). Στο παράδειγμα της εικόνας 3.15 ο «Ring Magnet» αποτελείται από δύο ζεύγη πόλων. Η έξοδος του αισθητήρα Hall από την περιστροφική κίνηση του δίσκου, μας δίνει μια ημιτονοειδή καμπύλη. Σημειώνεται ότι, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των ζευγών πόλων στην περιφέρεια του δίσκου, τόσο μικρότερο είναι το μέγιστο της καμπύλης. Επίσης παρατηρούμε ότι η ημιτονοειδής γραφική παράστα-

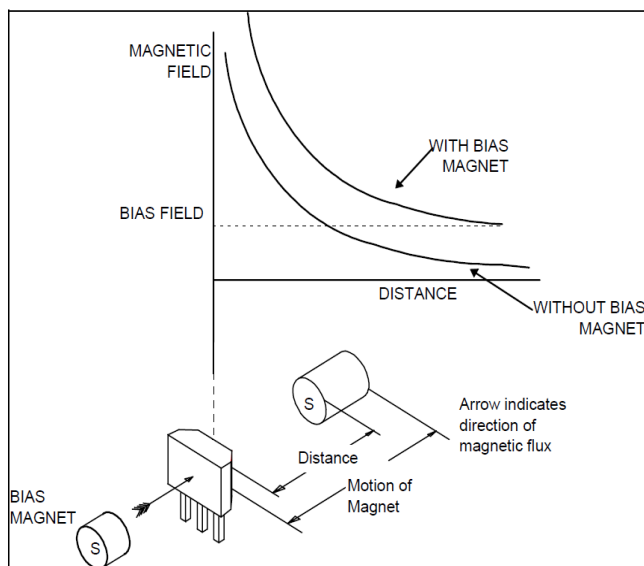
ση δεν είναι τελείως ομοιόμορφη, γεγονός που οφείλεται στη δυσκολία παραγωγής αυτού του είδους των μαγνητών, κυρίως, στις κατασκευαστικές ατέλειες που αφορούν την ομοιομορφία του υλικού στην περιφέρεια του δίσκου.

- Εάν στις παραπάνω μαγνητικές διατάξεις, εισάγουμε συμπυκνωτές ροής - «pole pieces» ή μαγνήτες πόλωσης «bias magnets», έχουμε ως αποτέλεσμα την αύξηση της μαγνητικής ροής.
- Οι συμπυκνωτές ροής - «pole pieces» είναι μαγνητικοί αγωγοί χάλυβα χαμηλού άνθρακα (ψυχρής έλασης). Χρησιμοποιούνται για να παρέχουν στις μαγνητικές γραμμές μια διαδρομή χαμηλής μαγνητικής αντίστασης, από το νότιο πόλο του μαγνήτη, μέσω του στοιχείου Hall και πίσω στον βόρειο πόλο του μαγνήτη. Μπορούν να λάβουν πολλές μορφές και συχνά επιτρέπουν τη χρήση μικρότερων ή φθηνών μαγνητών (ή φθηνών, λιγότερο ευαίσθητων συσκευών Hall) σε εφαρμογές όπου το μικρό μέγεθος ή η οικονομία είναι σημαντικά. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι, μπορούμε με αυτή την τεχνική να πετύχουμε αυξήσεις έως και 100%. Η παραπάνω λειτουργία φαίνεται στην εικόνα 3.16.

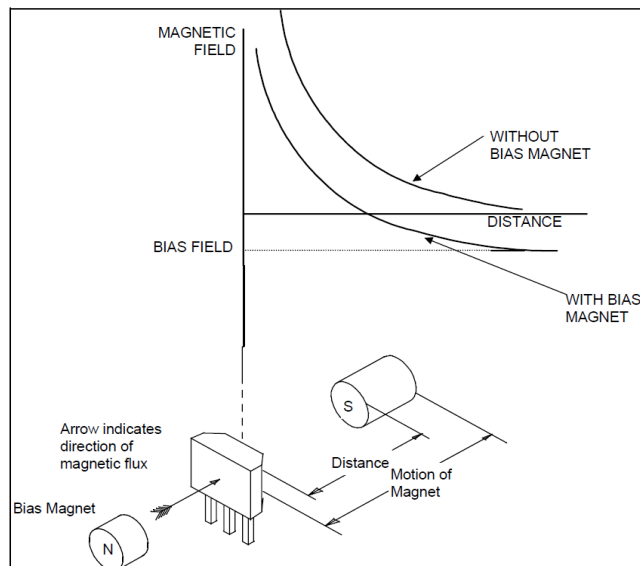


Εικόνα 3.16 (α) Μαγνητική ροή με προσθήκη «pole pieces», (β) Αύξηση μαγνητικής ροής για δεδομένη απόσταση, (γ) Ενεργοποίηση αισθητήρα σε μεγαλύτερη απόσταση με δεδομένη μαγνητική ροή

- Όπως προαναφέρθηκε η δεύτερη τεχνική αύξησης της μαγνητικής ροής σε ένα μαγνητικό σύστημα είναι, η πόλωση της συσκευής Hall με την τοποθέτηση στο πίσω μέρος αυτής, ενός σταθερού βόρειου ή νότιου πόλου ενός μαγνήτη, με σκοπό να μεταβάλλουμε τις τιμές των σημείων λειτουργίας και απελευθέρωσης. Όταν ο μαγνήτης πόλωσης είναι προσανατολισμένος με τους πόλους του στην ίδια κατεύθυνση με τον κινούμενο μαγνήτη, το αποτέλεσμα είναι ένα πρόσθετο πεδίο στο σημείο αναφοράς του αισθητήρα, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.17. Ο αντίστροφος προσανατολισμός του μαγνήτη πόλωσης φαίνεται στην εικόνα 3.18. Σε αυτή την διάταξη, εμφανίζεται ένα πολωμένο πεδίο (bias field) που ρυθμίζει τη συσκευή ως ανοικτή (ON), έως ότου ένα πλησιάσει ένας κινούμενος μαγνήτης με τους πόλους του προσανατολισμένους στην αντίθετη κατεύθυνση, με ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο, οπότε και το πεδίο πόλωσης εξασθενεί, με αποτέλεσμα τη διπολική λειτουργία. Στην ουσία ο αισθητήρας Hall λειτουργεί ως διακόπτης (ON – OFF).



Εικόνα 3.17 Μονοπολική Διάταξη - Λειτουργία «Head-On»



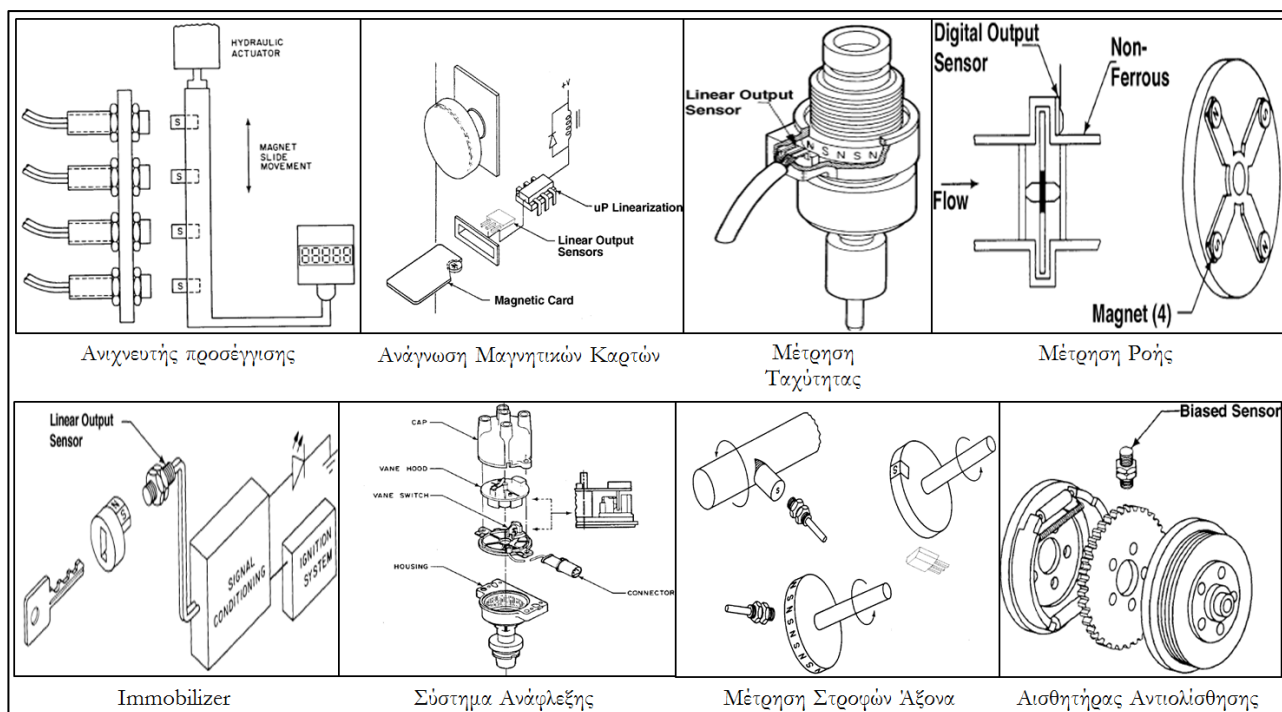
Εικόνα 3.18 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Head-On»

- Πρέπει να δίνεται προσοχή όταν χρησιμοποιούμε μαγνήτες πόλωσης, με αντίστροφο προσανατολισμό μαγνητικού πεδίου, καθώς υπάρχει κίνδυνος

μερικού απομαγνητισμού τους. Κατά συνέπεια, σε τέτοιες διαμορφώσεις, μόνο μαγνήτες με υψηλή δύναμη απομαγνητισμού θα πρέπει να χρησιμοποιούνται. Οι μαγνήτες που πληρούν αυτές τις προδιαγραφές είναι μαγνήτες σπάνιων γαιών, όπως π.χ. οι μαγνήτες νεοδυμίου.

3.1.3.5 Εφαρμογές Αισθητήρων Hall

Οι αισθητήρες φαινομένου Hall χρησιμοποιούνται συνήθως ως ανιχνευτές προσέγγισης, καθόσον μπορούν να ανιχνεύουν εξαιρετικά ασθενή μαγνητικά πεδία και μικρές αλλαγές της έντασης του μαγνητικού πεδίου. Παρόλα αυτά υπάρχει πληθώρα εφαρμογών, όπου γίνεται χρήση των αισθητήρων Hall, όπως για παράδειγμα: ανάγνωση μαγνητικών καρτών, συστήματα μέτρησης ταχύτητας, συστήματα μέτρησης ροής, σύστημα ακινητοποίησης αυτοκινήτου (immobiliser), συστήματα ανάφλεξης, μέτρηση στροφών άξονα, αισθητήρας αντιολίσθησης τροχών αυτοκινήτου κ.λπ. Συνοπτικά μερικές από τις εφαρμογές των αισθητήρων του φαινομένου Hall παρουσιάζονται στην εικόνα 3.19.



Εικόνα 3.19 Εφαρμογές αισθητήρων φαινομένου Hall

3.2 Θεωρητική Σχεδίαση Συστήματος Μετρητή Πυρομαχικών Τυφεκίου G3

3.2.1 Αρχική Ιδέα

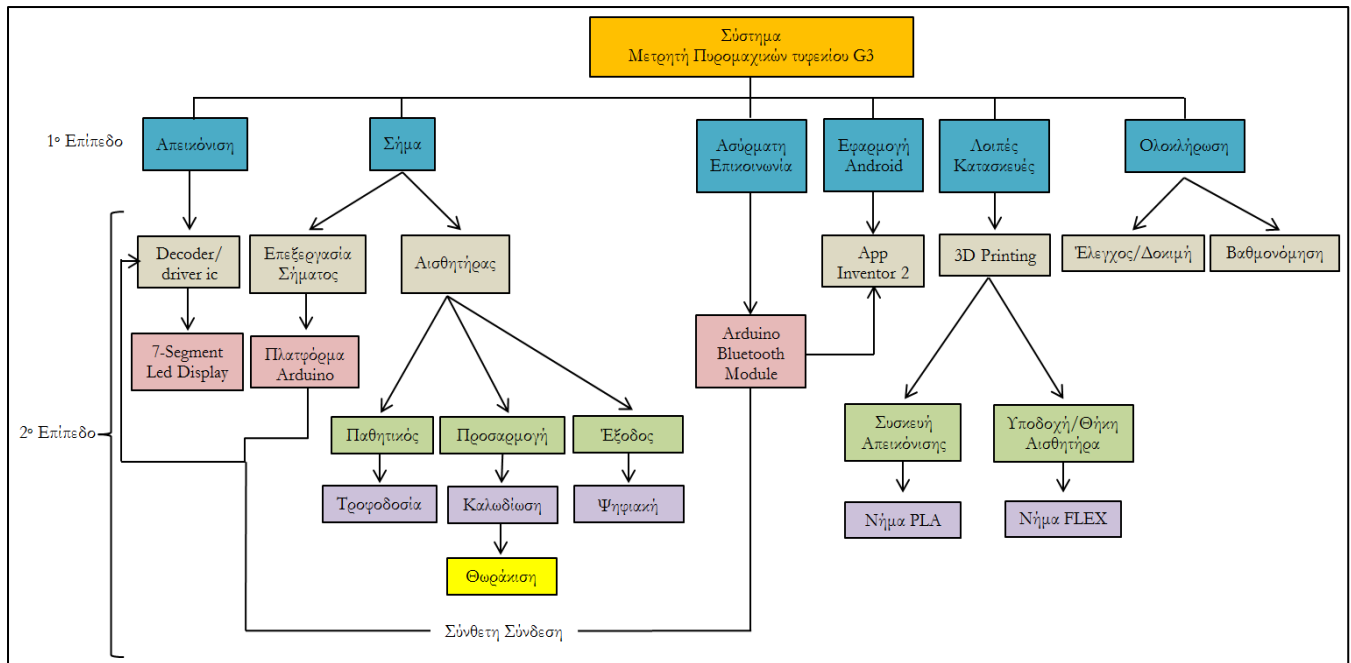
Οι βασικές έννοιες και τα στάδια για την σχεδίαση ενός συστήματος, αναπτύχθηκαν στο 2ο κεφάλαιο. Συνεπώς το πρώτο βήμα για τη σχεδίαση του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3 είναι η «Αρχική Ιδέα», δηλαδή, το τι θέλουμε να κάνουμε.

Έτσι, λοιπόν, η αρχική ιδέα της παρούσας εργασίας είναι να σχεδιαστεί μία μικρή ηλεκτρονική συσκευή (ammo counter), η οποία να προσκολλάται στο γεμιστήριο. Η συσκευή θα χρησιμοποιεί κατάλληλο αισθητήρα (Hall - Effect Sensor) για να «αντιλαμβάνεται» πότε ένα φυσίγγιο μετακινείται μέσα ή έξω από το γεμιστήριο. Επίσης πρέπει να διαθέτει οπτική ένδειξη της πληρότητας του γεμιστήρα, ασύρματη επικοινωνία μικρής εμβέλειας, ώστε να μεταδίδει τις ενδείξεις σε κάποιο Personal Assistant ή παρόμοια φορητή συσκευή και να μπορεί να ρυθμιστεί ως προς τη χωρητικότητα του γεμιστήρα ή των αποθεμάτων πυρομαχικών που παρακολουθεί.

3.2.2 Διερεύνηση της Ιδέας

- Στη φάση της διερεύνησης πραγματοποιείται ανάλυση της αρχικής ιδέας, σταθμίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν θα οδηγήσουν στη διαμόρφωση της γενικής ιδέας – του έργου που θα υλοποιηθεί. Στη φάση αυτή θα βοηθήσει σημαντικά η εννοιολογική προσέγγιση, με την οποία θα περιγράψουμε το πώς μπορεί να λειτουργήσει ο μετρητής πυρομαχικών, χωρίς να ληφθούν υπόψη οι λεπτομέρειες και τα στοιχεία της μηχανικής. Τα κυριότερα σημεία που εξετάζονται σε αυτό το στάδιο είναι: το συνολικό κόστος, η παραγωγή, η διαθεσιμότητα υλικών, η πολυπλοκότητα, η συμβατότητα, η αξιοπιστία, η συντήρηση, οι περιβαλλοντολογικοί περιορισμοί κ.λπ.

• Το εννοιολογικό διάγραμμα του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου φαίνεται στην εικόνα 3.20. Στο 1ο Επίπεδο αναπτύσσονται οι γενικές έννοιες του συστήματος, ήτοι η απεικόνιση, το σήμα, η ασύρματη επικοινωνία, η εφαρμογή android, οι λοιπές κατασκευές και η ολοκλήρωση του συστήματος. Στο 2ο Επίπεδο αναλύονται οι επιμέρους έννοιες καθώς και οι συνδέσεις μεταξύ των γενικών και επιμέρους εννοιών.



Εικόνα 3.20 Εννοιολογικό διάγραμμα συστήματος μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3

• Κατόπιν επεξεργασίας του εννοιολογικού διαγράμματος και των απαιτήσεων της αρχικής ιδέας, διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

1. Το συνολικό κόστος της συσκευής είναι χαμηλό καθώς θα χρησιμοποιηθούν φθηνά υλικά, τα οποία είναι διαθέσιμα στο εμπόριο.
2. Η κατασκευή του μετρητή πυρομαχικών είναι απλή, λόγω της χρήσης της 3D εκτύπωσης και της πλατφόρμας Arduino, η οποία προσφέρει τυποποίηση, αξιοπιστία και συμβατότητα με λοιπές τεχνολογίες και πρωτόκολλα.

3. Η προσαρμογή του μετρητή πυρομαχικών πάνω στο γεμιστήριο, παρουσιάζει τις κάτωθι δυσκολίες:

α. Το τμήμα υποδοχής του γεμιστήρα στον κορμό του τυφεκίου G3 δεν παρέχει τον απαραίτητο χώρο για την προσαρμογή συσκευής, όπως το παράδειγμα της εικόνας 1.45. Έτσι, λοιπόν, η συσκευή θα πρέπει να τοποθετηθεί πάνω στο γεμιστήριο με συνέπεια, ο μαχητής να είναι υποχρεωμένος να την αφαιρεί όταν αδειάζει ο γεμιστήρας και να την τοποθετεί στον επόμενο, γεγονός που καθιστά δυσλειτουργικό το όλο σύστημα.

β. Σε αντίθεση με το τυφέκιο M16 που είναι κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου, ο κορμός και ο γεμιστήρας του G3 είναι κατασκευασμένοι από χάλυβα, δηλαδή, από σιδηρομαγνητικό υλικό, το οποίο επηρεάζει τη λειτουργία του μαγνητικού συστήματος του μετρητή πυρομαχικών που θέλουμε να κατασκευάσουμε. Συνεπώς, η ανίχνευση της κίνησης των φυσιγγίων εντός του γεμιστήρα καθίσταται δύσκολή, πολύπλοκη και κοστοβόρα.

4. Καταλληλότερο τμήμα του τυφεκίου για την προσαρμογή του αισθητήρα, κρίνεται ο μηχανισμός της σκανδάλης, καθόσον παρέχει τον απαραίτητο χώρο, τα σημεία στήριξης και την ασφαλή λειτουργία του τυφεκίου, ενώ η κίνηση του άξονα της σφύρας κατά τη διαδικασία της βολής εξασφαλίζει την ενεργοποίηση του αισθητήρα.

5. Μοναδικό μειονέκτημα της προσαρμογής του αισθητήρα στο μηχανισμό της σκανδάλης είναι η ύπαρξη ισχυρών κραδασμών, οι οποίοι ενδέχεται να επηρεάσουν την λειτουργία (σφάλμα εξόδου) του αισθητήρα. Όπως φαίνεται στο εννοιολογικό διάγραμμα της εικόνας 3.20, το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τη χρήση νήματος τρισδιάστατης εκτύπωσης «FLEX», το οποίο θα απορροφά τους παραπάνω κραδασμούς.

Γενικής Ιδέας - Έργου

- **Ανατροφοδότηση της Αρχικής Ιδέας/Διαμόρφωση της**

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, η αρχική ιδέα τροποποιείται μόνο ως προς το σημείο που θα τοποθετηθεί ο αισθητήρας. Συνοψίζοντας, λοιπόν, η γενική ιδέα/έργο, το πρότυπο της οποίας θα κατασκευαστεί, είναι η δημιουργία ενός συστήματος μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου, το οποίο θα διαθέτει τη συσκευή απεικόνισης τοποθετημένη στον κορμό του τυφεκίου, τη συσκευή ανίχνευσης φαινομένου Hall τοποθετημένη στην πιστολοειδή λαβή και το μηχανισμό της σκανδάλης, ενώ η επικοινωνία του αισθητήρα με τη συσκευή απεικόνισης θα είναι ενσύρματη. Επίσης θα υπάρχει δυνατότητα ασύρματης επικοινωνίας μέσω Bluetooth με συσκευές λειτουργικού συστήματος android και οι μετρήσεις του μετρητή θα αποστέλλονται σε εφαρμογή android για τη διαχείριση των πυρομαχικών.

3.2.3 Προκαταρκτική Σχεδίαση

Η φάση της προκαταρκτικής σχεδίασης ξεκινά με την ολοκλήρωση της διαμόρφωσης της γενικής ιδέας, όπου καθορίζονται οι απαιτήσεις και οι προδιαγραφές του συστήματος, και ολοκληρώνεται με το λεπτομερή σχεδιασμό του συστήματος.

3.2.3.1 Απαιτήσεις – Προδιαγραφές

Οι προδιαγραφές σε σχέση με τις απαιτήσεις του συστήματος θα πρέπει να είναι ακριβής, ώστε κατά τη διαδικασία του ελέγχου να μπορεί να πιστοποιηθεί ότι η κατασκευή ικανοποιεί τις απαιτήσεις μας.

- **Συσκευή Απεικόνισης**

Η συσκευή απεικόνισης απαιτεί τη χρήση ενός Decoder/driver ic με συμβατό πρωτόκολλο, για τη σύνδεση της οθόνης με την πλατφόρμα ανάπτυξης, μία οθόνη led display, push buttons, ένα led και ένα ποτενσιόμετρο, ενώ οι προδιαγραφές των παραπάνω υλικών είναι οι κάτωθι:

1. Η οθόνη led display θα πρέπει να διαθέτει τρία ψηφία, κόκκινου χρώματος και μεγέθους ψηφίου 14.2 mm.
2. Τα push buttons θα είναι τύπου tact switch.
3. Το led χρώματος κίτρινου και διαμέτρου 5 mm.
4. Το ποτενσιόμετρο θα είναι τύπου trimmer potentiometer multiturn.

- **Πλατφόρμα Ανάπτυξης**

Η πλατφόρμα ανάπτυξης θα πρέπει να είναι μια πλακέτα «ανοικτού κώδικα», προσιτή στο κόστος, μικρή στο μέγεθος, με αρκετή υπολογιστική ισχύ, ικανοποιητικό αριθμό ψηφιακών και αναλογικών εισόδων/εξόδων, απλή στη χρήση και συμβατή με πλήθος αισθητήρων και επεξεργαστών.

- **Συσκευή Ανίχνευσης Μαγνητικού Πεδίου**

1. Ο αισθητήρας που θα χρησιμοποιηθεί για τη συσκευή ανίχνευσης του μαγνητικού πεδίου θα πρέπει να είναι παθητικού τύπου και με διασύνδεση ψηφιακή, ενώ οι προδιαγραφές του έχουν όπως παρακάτω:

VDC.

να είναι από -20 έως 20 mT.

έως 150 °C.

- Η τυπική τάση εισόδου να είναι 3,3 έως 5
- Το ρεύμα λειτουργίας από 10 έως 100 mA.
- Το εύρος μέτρησης του μαγνητικού πεδίου
- το εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας από -40
- Η απόκριση του της τάξης των 2 μ s.

2. Κατάλληλοι μαγνήτες για την εφαρμογή, είναι οι μαγνήτες τύπου νεοδυμίου (NdFeB), ενώ για τη συγκεκριμένη εφαρμογή θα χρειαστούμε ένα επινικελωμένο τετράγωνο μαγνήτη νεοδυμίου (NdFeB), μεγέθους 10mm x 10mm x 2mm.

3. Η καλωδίωση για τη σύνδεση της συσκευής ανίχνευσης με τη συσκευή απεικόνισης, θα πρέπει να διαθέτει θωράκιση για την αποφυγή θορύβων που μπορούν να προκαλέσουν σφάλμα στις μετρήσεις.

- **Ασύρματη Επικοινωνία**

Για την ασύρματη επικοινωνία απαιτείται η χρήση ενός Bluetooth Module συμβατού, τόσο με την πλακέτα ανάπτυξης, όσο και με τις πρόσφατες εκδόσεις android. Σημαντικές παράμετροι για την επιλογή του κατάλληλου Bluetooth Module είναι η δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας, ο ρυθμός μετάδοσης του διαμορφωμένου σήματος, το πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας, η τάση και το ρεύμα λειτουργίας.

- **Τροφοδοσία**

Ο συσσωρευτής που θα χρησιμοποιηθεί για να καλύψει τις απαιτήσεις τροφοδοσίας του μετρητή πυρομαχικών, πρέπει να πληροί τις παρακάτω προϋποθέσεις:

1. Να έχει μικρές διαστάσεις και να κυκλοφορεί ευρέως στο εμπόριο.

2. Η τάση του να καλύπτει το εύρος τιμών της τάσης εισόδου των περισσότερων πλακετών ανάπτυξης «ανοικτού κώδικα», δηλαδή, από 5 έως 20 V.

3. Σε συνάρτηση με την κατανάλωση της συσκευής, να έχει χωρητικότητα ικανή ώστε να παρέχει μεγάλη αυτονομία.

- **Λοιπές κατασκευές**

Για την κατασκευή της συσκευής απεικόνισης και της βάσης στήριξης στον κορμό του τυφεκίου θα γίνει χρήση της τεχνολογίας 3D printing και νημάτων φιλικών προς το περιβάλλον. Τα πλεονεκτήματα της παραπάνω τεχνολογίας θα έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους ανάπτυξης, την ταχύτητα και την ευελιξία στη

σχεδίαση, την ποιότητα και την αντοχή του τελικού προϊόντος. Η τεχνολογία των νημάτων που θα χρησιμοποιηθούν θα πρέπει να πληρούν τις παρακάτω προδιαγραφές:

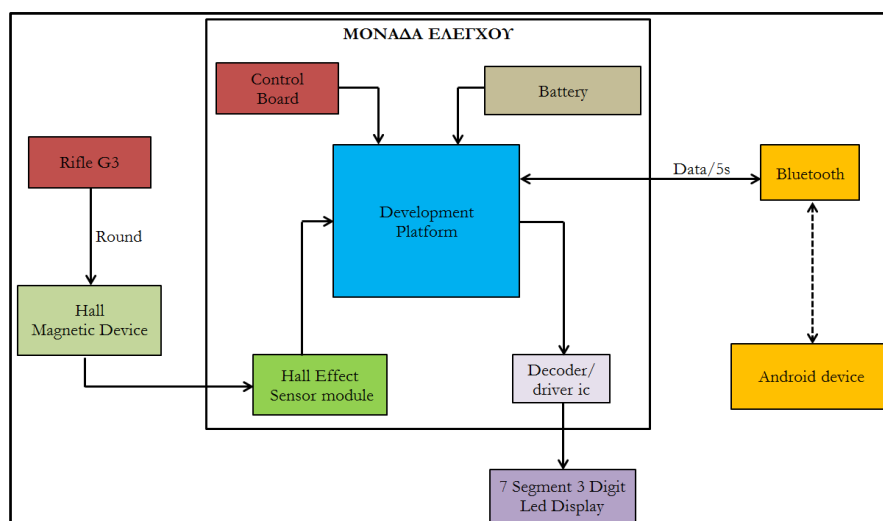
- Η σύνθεση του νήματος να είναι από 100% πέλλετ PLA, καθόσον είναι ευπροσάρμοστο και εύχρηστο, ενώ η ποιότητα των εκτυπώσεων χαρακτηρίζεται από την ωραία λαμπερή επιφάνεια και την αντοχή των κατασκευών.

- Να έχει πολύ χαμηλή συρρίνωση.
- Να είναι μη-τοξικό και βιοδιασπώμενο.
- Να είναι συμβατό με τους κανονισμούς

REACH (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) και RoHS (Restriction of Hazardous Substances in Electrical and Electronic Equipment), της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

3.2.3.2 Αρχιτεκτονική

Η αρχιτεκτονική του συστήματος παριστάνεται με χρήση δομικών διαγραμμάτων, τα οποία περιέχουν πληροφορίες για την οργάνωση του συστήματος ως σύνθεση των εξαρτημάτων. Η αρχιτεκτονική του συστήματος του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3 φαίνεται στην εικόνα 3.21.



Εικόνα 3.21 Αρχιτεκτονική συστήματος μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3

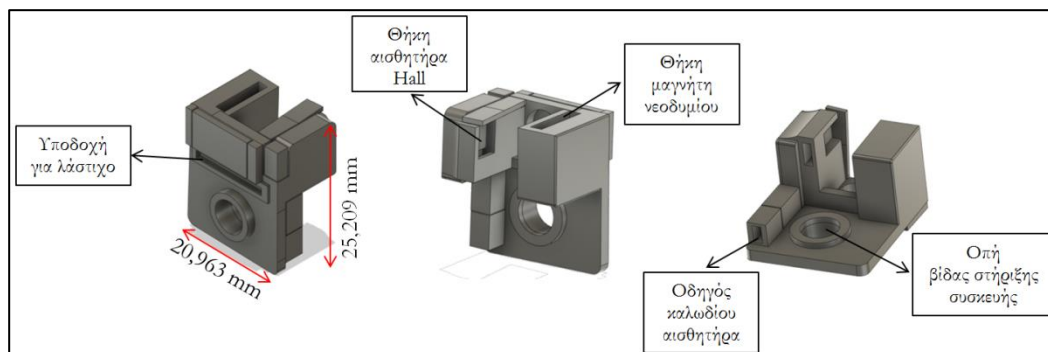
Με την πλακέτα ελέγχου ο χειριστής μέσω των tact switch, του led και του ποτενσιόμετρου, μπορεί να βαθμονομήσει τον αισθητήρα και να ρυθμίσει – αποθηκεύσει την χωρητικότητα του γεμιστήρα. Επίσης παρατηρούμε ότι, όταν το τυφέκιο G3 βάλει ένα φυσίγγιο, ενεργοποιεί την μαγνητική συσκευή εντός του μηχανισμού της σκανδάλης, η οποία παράγει ένα σήμα προς την πλακέτα επέκτασης του Hall sensor. Η πλακέτα επέκτασης έχει διασύνδεση ψηφιακή, οπότε μετατρέπει το σήμα σε ψηφιακή έξοδο προς την πλατφόρμα ανάπτυξης, η οποία επεξεργάζεται την είσοδο και παράγει εξόδους προς την οθόνη της συσκευής απεικόνισης και την πλακέτα επέκτασης Bluetooth.

3.2.3.3 Σχεδίαση Υλικών

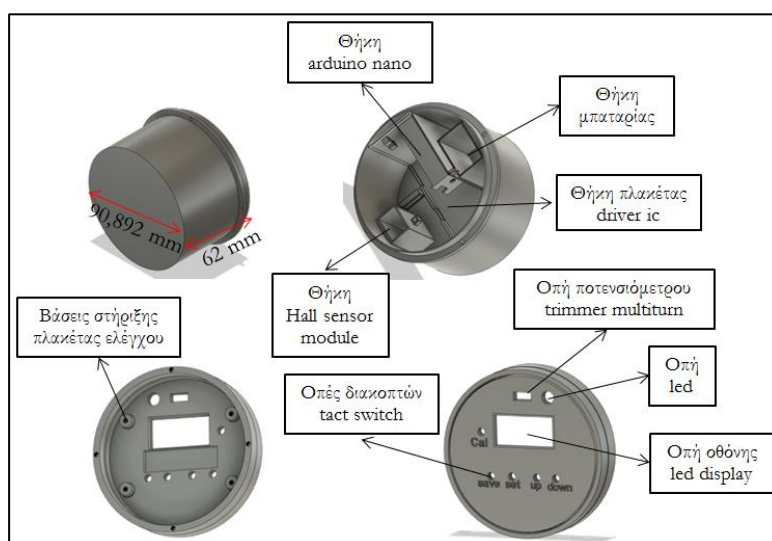
Βάση των απαιτήσεων και των τεχνικών προδιαγραφών που ήδη έχουν προαναφερθεί, επιλέχθηκαν τα παρακάτω υλικά για την κατασκευή του συστήματος του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3:

- Ως πλακέτα ανάπτυξης, η πλακέτα Arduino Nano.
- Για decoder/driver ic, ο μικροεπεξεργαστής «MAX7219».
- Ως πλακέτα επέκτασης Hall effect, ο αισθητήρας μαγνητικού πεδίου «Waveshare».
- Για την ασύρματη επικοινωνία, η πλακέτα επέκτασης «Bluetooth Module for Arduino - HC05/HC06».
- Για την οθόνη χρησιμοποιήθηκε ένα «3 Digit/7 Segment Common Cathode Red Led Display» με μέγεθος ψηφίου 14.2 mm.
- Η πλακέτα ελέγχου αποτελείται από 5 διακόπτες tact switch, 1 ποτενσιόμετρο τύπου trimmer potentiometer multiturn 10 KΩ και 1 led κίτρινου χρώματος υψηλής φωτεινότητας και διαμέτρου 5 mm.
- Ως πηγή θα χρησιμοποιηθεί 1 μπαταρία 9V.

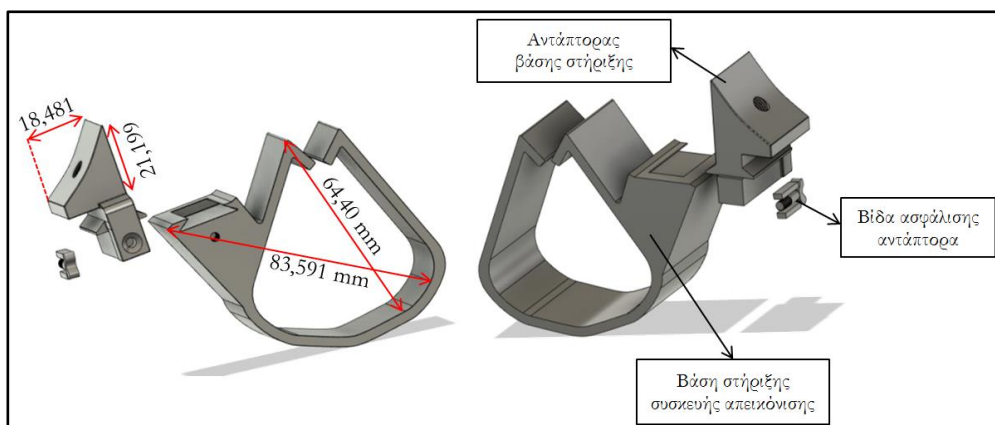
• Οι λεπτομέρειες για τις κατασκευές υποδοχής των ηλεκτρονικών με την τεχνολογία 3d printing, φαίνονται στις εικόνες 3.22, 3.23, 3.24.



Εικόνα 3.22 Κατασκευή υποδοχής συσκευής ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου



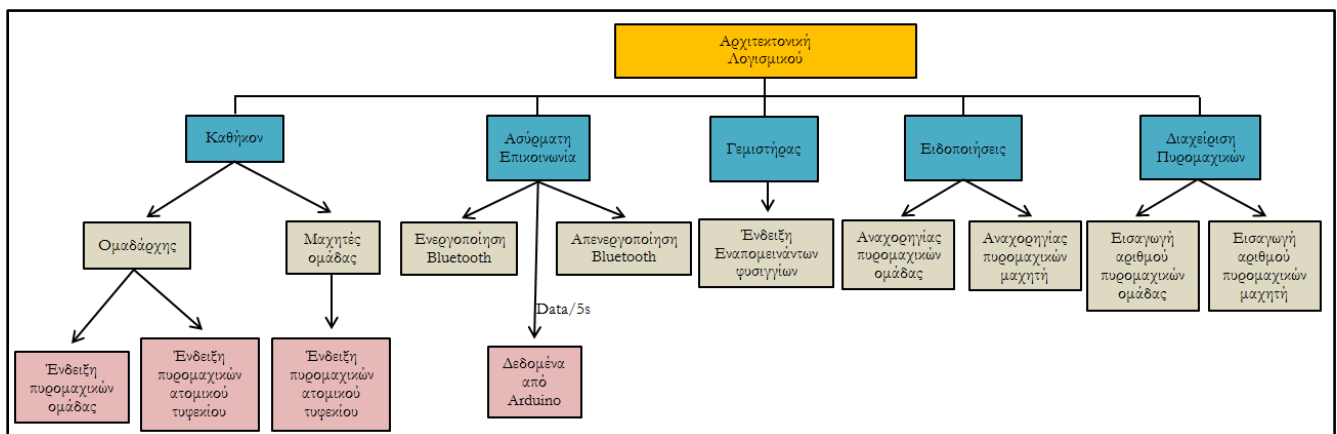
Εικόνα 3.23 Κατασκευή υποδοχής υποσυστημάτων συσκευής απεικόνισης



Εικόνα 3.24 Κατασκευή βάσης στήριξης συσκευής απεικόνισης

3.2.3.4 Σχεδίαση Λογισμικού

Έχοντας μια αναλυτική περιγραφή των δεδομένων και των επιθυμητών λειτουργιών του συστήματος του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3, καταλήγουμε στο παρακάτω εννοιολογικό διάγραμμα της εικόνας 3.25, που απεικονίζει τη διαδικασία ανάλυσης των απαιτήσεων του λογισμικού.



Εικόνα 3.25 Εννοιολογικό διάγραμμα αρχιτεκτονικής του λογισμικού

3.3 Επίλογος 3ου κεφαλαίου

Σε αυτό το κεφάλαιο, παρουσιάστηκαν οι βασικές έννοιες που αφορούν τους αισθητήρες Hall Effect. Εξετάστηκαν τόσο η θεωρία του φαινομένου Hall, όσο και οι αρχές του μαγνητισμού και πως αυτές αλληλεπιδρούν με το φαινόμενο Hall. Επίσης αναλύθηκε η λειτουργία και οι προδιαγραφές των αναλογικών και ψηφιακών αισθητήρων καθώς και οι τεχνικές αξιοποίησής τους.

Αυτές οι πληροφορίες αποτέλεσαν τη βάση για τη θεωρητική σχεδίαση του συστήματος μετρητή πυρομαχικών, ως μαγνητικού συστήματος. Η σχεδίαση ξεκίνησε από την αρχική ιδέα και έπειτα από το στάδιο της διερεύνησης προσδιορίστηκε η γενική ιδέα/έργο που πρόκειται να υλοποιηθεί. Έπειτα στο στάδιο της προκαταρκτικής σχεδίασης εξετάστηκαν οι απαιτήσεις, καθορίστηκαν προδιαγραφές του έργου και η αρχιτεκτονική του, ενώ τέθηκαν οι βάσεις για τη σχεδίαση του υλικού και του λογισμικού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Πειραματικό Μέρος

4.1 Πλατφόρμα Ανάπτυξης «Arduino»

4.1.1 Εισαγωγή

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανοικτού κώδικα και περιλαμβάνει μία απλή πλακέτα μικροελεγκτή μαζί με ένα περιβάλλον ανάπτυξης προγραμμάτων. Το Arduino πήρε το όνομα του από τον Arduino που ήταν στρατιωτικός Διοικητής της Ιβρέα και αργότερα βασιλιάς της Ιταλίας. Βασίζεται στους μικροελεγκτές Atmel AVR και η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιείται για τον προγραμματισμό τους είναι η Wiring C, η οποία αποτελεί παραλλαγή της γλώσσας C++, ενώ μέσα από την προσθήκη βιβλιοθηκών υποστηρίζονται περισσότερες λειτουργίες και δυνατότητες [56], [57], [59].

4.1.2 Βασικά Χαρακτηριστικά – Εκδόσεις

Υπάρχουν πολλές εκδόσεις και παραλλαγές, με διαφορετική έκδοση του μικροελεγκτή, που διαθέτουν περισσότερες ή λιγότερες δυνατότητες. Κάθε πλακέτα διαθέτει συμπληρωματικά εξαρτήματα για τη διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωση του σε άλλα κυκλώματα. Έτσι όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V, έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz, ένα σύνολο ακροδεκτών για είσοδο ή έξοδο (ψηφιακές και αναλογικές) και σύνδεση USB, η οποία επιτρέπει την επικοινωνία της με τον υπολογιστή. Επίσης ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής.

Οι βασικές εκδόσεις του Arduino καθώς και τα γενικά χαρακτηριστικά τους, έχουν όπως παρακάτω:

4.1.1.1 Arduino Uno

Το Arduino Uno αποτελεί την βασική πλακέτα της τεχνολογίας Arduino. Βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της Atmel και είναι συμβατό με πλήθος αισθητήρων και επεκτάσεων.

Αναλυτικότερα, η πλακέτα διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (6 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδους), 6 αναλογικές εισόδους, 1 θύρα USB (τύπου B) για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας ή από απλή μπαταρία, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 μεγακύκλους (Crystal 16MHz).

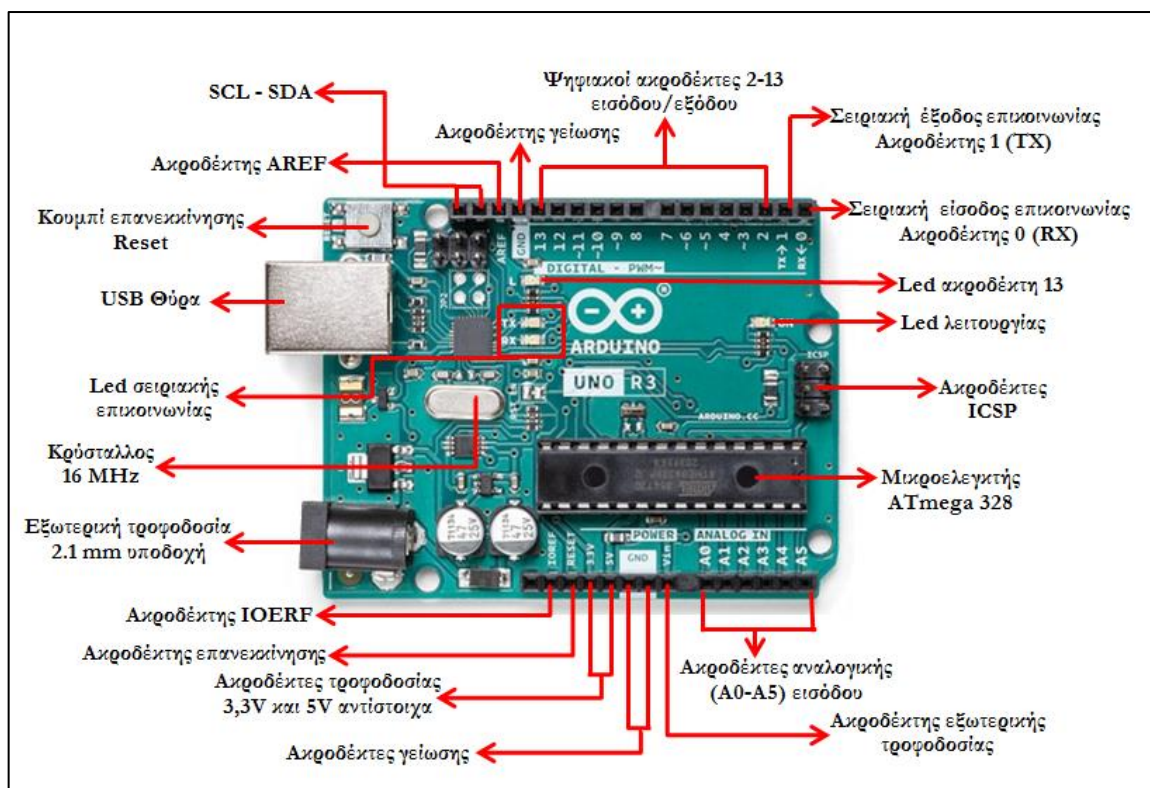
Επιπλέον η μνήμη Flash του Arduino Uno είναι 32 KB και χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος. Τέλος λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB ή με 9V/12V DC από την είσοδο της τροφοδοσίας.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Uno, φαίνονται στην εικόνα 4.1 και στον πίνακα 4.1.

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12 V
Όρια εξωτερικής τροφοδοσίας	6-20 V
Ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι	14 (εκ των οποίων 6 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι	6
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40 mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 0,5 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)

EEPROM	1 KB (ATmega328)
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Διαστάσεις - Βάρος	L 68.6mm / W 53.4mm – 25g

Πίνακας 4.1 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino Uno



Εικόνα 4.1 Ο «χάρτης» του Arduino Uno

4.1.1.2 Arduino Mega

Το Arduino Mega είναι πιο εξελιγμένη πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και προτείνεται για περίπλοκες κατασκευές που απαιτούν μεγαλύτερη μνήμη και περισσότερες εισόδους/εξόδους. Η βασική της διαφορά είναι η χωρητικότητα της μνήμης και το πλήθος των εισόδων εξόδων για την σύνδεση με εξωτερικές συσκευές.

Αναλυτικότερα, η πλακέτα διαθέτει 54 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (15 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδους), 16 αναλογικές ει-

σόδους, 4 σειριακές θύρες, 1 θύρα USB (τύπου B) για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας ή από απλή μπαταρία, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 μεγακύκλους (Crystal 16MHz).

Επιπλέον, η μνήμη Flash του Arduino Mega είναι 256KB, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος και είναι ικανή να δεχτεί τα περισσότερα περίπλοκα προγράμματα σε αντίθεση με την μικρότερη έκδοση, το Arduino Uno. Τέλος λειτουργεί με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB ή με 9V/12V DC από την είσοδο της τροφοδοσίας χωρίς να υπάρχει κίνδυνος ηλεκτροπληξίας.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Mega, φαίνονται στην εικόνα 4.2 και στον πίνακα 4.2.



Εικόνα 4.2 Το Arduino Mega 2560 REV3

Μικροελεγκτής	ATmega2560
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12 V

Όρια εξωτερικής τροφοδοσίας	6-20 V
Ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι	54 (εκ των οποίων 15 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι	16
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40 mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	256 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 8 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Διαστάσεις - Βάρος	L 101.52mm / W 53.3mm – 37g

Πίνακας 4.2 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino Mega

4.1.1.3 Arduino Leonardo

Το Arduino Leonardo συμπεριλαμβάνεται στις βασικές πλακέτες της τεχνολογίας Arduino. Κύριο χαρακτηριστικό της πλακέτας είναι ότι, χρησιμοποιεί μικροελεγκτή με ενσωματωμένο USB και μπορεί να αναγνωριστεί ως πληκτρολόγιο ή ποντίκι.

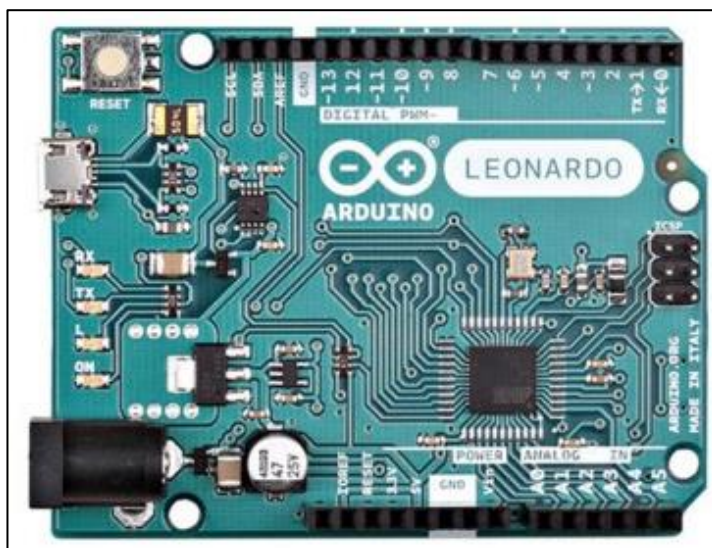
Το Arduino Leonardo βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega32U4 της Atmel. Αναλυτικότερα, η πλακέτα διαθέτει 20 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (7 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξοδοι και 12 σαν αναλογικές εισοδοι), 1 θύρα microUSB για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 είσοδο τροφοδοσίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί εναλλακτικά για τροφοδοσία από τροφοδοτικό πρίζας ή από απλή μπαταρία, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 μεγακύκλους (Crystal 16MHz).

Επιπλέον, η μνήμη Flash του Arduino Leonardo είναι 32KB, χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του προγράμματος και είναι ικανή να δεχτεί τα περισ-

σότερα απλά προγράμματα. Τέλος λειτουργεί σε χαμηλές τάσης, με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB ή με 9V/12V DC από την είσοδο της τροφοδοσίας.

Το Arduino Leonardo είναι παρόμοια πλακέτα με το Arduino Micro, διότι χρησιμοποιούν τον ίδιο μικροελεγκτή (ATmega32U4) με ενσωματωμένη USB επικοινωνία, όπου δίνουν την δυνατότητα να τις αναγνωρίζει ο υπολογιστής σαν συσκευές πληκτρολογίου ή ποντίκι και να επικοινωνούν με αυτόν χωρίς να απαιτείται δεύτερος μικροελεγκτής για την επικοινωνία όπως το Arduino Uno που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Mega, φαίνονται στην εικόνα 4.3 και στον πίνακα 4.3.



Εικόνα 4.3 Το Arduino Leonardo

Μικροελεγκτής	ATmega32U4
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-12 V
Όρια εξωτερικής τροφοδοσίας	6-20 V
Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι	20 (εκ των οποίων 7 υποστηρίζουν PWM)

Αναλογικές εισοδοι	12
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40 mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 4 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Διαστάσεις - Βάρος	L 68.6mm / W 53.3mm – 20g

Πίνακας 4.3 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino Leonardo

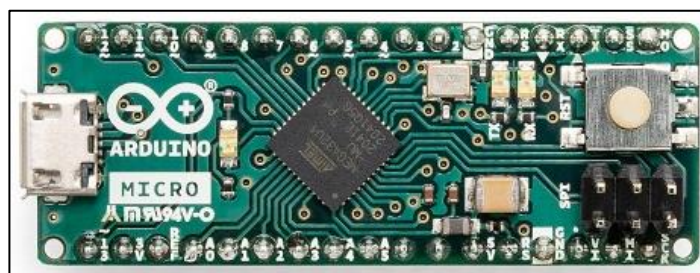
4.1.1.4 Arduino Micro

Το Arduino Micro είναι από τις μικρότερες πλακέτες της τεχνολογίας Arduino και προτείνεται να την χρησιμοποιήσει κάποιος σε καθημερινές εφαρμογές όπου αυτές απαιτούν να είναι μικρές σε μέγεθος.

Το Arduino Micro βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega32U4 της Atmel. Αναλυτικότερα, διαθέτει 20 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (7 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξόδοι και 12 σαν αναλογικές εισοδοι), 1 θύρα microUSB για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 μεγακύκλους (Crystal 16MHz).

Επιπλέον, η μνήμη Flash του Arduino Micro είναι 32KB, ικανή να δεχτεί τα περισσότερα απλά προγράμματα. Τέλος λειτουργεί με χαμηλές τάσεις, τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του microUSB.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Mega, φαίνονται στην εικόνα 4.4 και στον πίνακα 4.4



Εικόνα 4.4 Το Arduino Micro

Μικροελεγκτής	ATmega32U4
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-9 V
Όρια εξωτερικής τροφοδοσίας	6-9 V
Ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι	20 (εκ των οποίων 7 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι	12
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	20 mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 4 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Διαστάσεις - Βάρος	L 48mm / W 18mm – 13g

Πίνακας 4.4 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino Micro

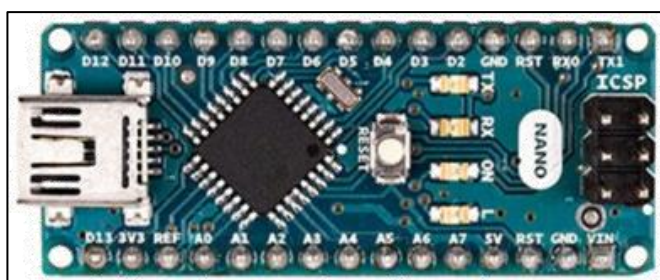
4.1.1.5 Arduino Nano

Το Arduino Nano αποτελεί την πιο μικρή πλακέτα της τεχνολογίας Arduino και είναι η μικρή έκδοχή του Arduino Uno. Βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega328 της Atmel, διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους ή εξόδους (6 από αυτές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σαν PWM εξοδοι), 6 αναλογικές εισόδους, 1 θύρα Mini-B USB για τον προγραμματισμό και την τροφοδοσία της πλακέτας, 1 υποδοχή ICSP και τέλος κουμπί για

το reset της πλακέτας. Ο μικροελεγκτής είναι συγχρονισμένος στους 16 μεγακύκλους (Crystal 16MHz).

Επιπλέον, η μνήμη Flash του Arduino Nano είναι 32KB, ικανή να δεχτεί τα περισσότερα απλά προγράμματα. Τέλος λειτουργεί σε χαμηλή τάση, με τροφοδοσία 5V DC από την είσοδο του USB.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Nano, φαίνονται στην εικόνα 4.5 και στον πίνακα 4.5



Εικόνα 4.5 Το Arduino Nano

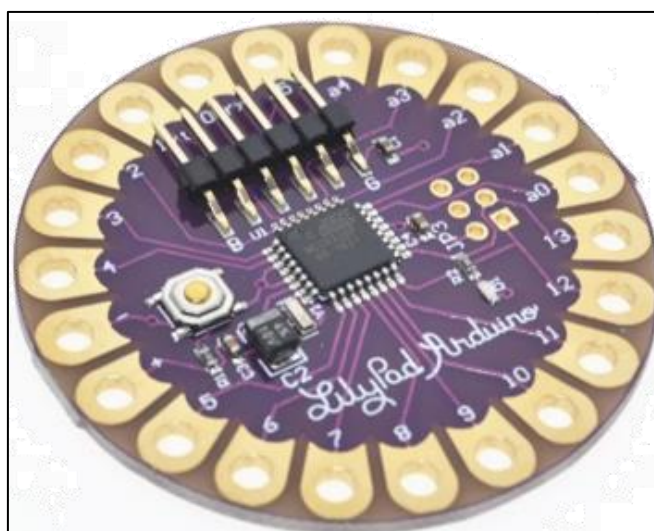
Μικροελεγκτής	ATmega32U4
Τάση λειτουργίας	5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	7-9 V
Όρια εξωτερικής τροφοδοσίας	6-9 V
Ψηφιακές εισοδοι και εξοδοι	20 (εκ των οποίων 7 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι	12
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	20 mA
Μέγιστο ρεύμα για τον ακροδέκτη 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 4 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	2.5 KB
EEPROM	1 KB
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz
Διαστάσεις - Βάρος	L 48mm / W 18mm – 13g

Πίνακας 4.5 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino Nano

4.1.1.6 Arduino Lilypad

Σε ορισμένες ειδικές εφαρμογές (όπως για παράδειγμα στην υγεία) υπάρχει ανάγκη ενσωμάτωσης αυτοματοποιημένων συστημάτων στα ρούχα των ασθενών. Ένα τέτοιο σύστημα μπορεί να αναπτυχθεί με τη χρήση του Arduino Lilypad που αποτελεί μία ειδική έκδοση Arduino.

Συγκεντρωτικά οι δυνατότητες και τα χαρακτηριστικά του Arduino Lilypad, φαίνονται στην εικόνα 4.6 και στον πίνακα 4.6.



Εικόνα 4.6 Το Arduino LilyPad 328

Μικροελεγκτής	ATmega328V
Τάση λειτουργίας	2.7-5.5 V
Τάση εξωτερικής τροφοδοσίας	2.7-5.5 V
Ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι	14 (εκ των οποίων 6 υποστηρίζουν PWM)
Αναλογικές εισοδοι	6
Μέγιστο συνεχές ρεύμα ανά ακροδέκτη εισόδου/εξόδου	40 mA
Flash Memory	16 KB(ATmega328), εκ των οποίων τα 2 KB χρησιμοποιούνται για τον bootloader
SRAM	1 KB

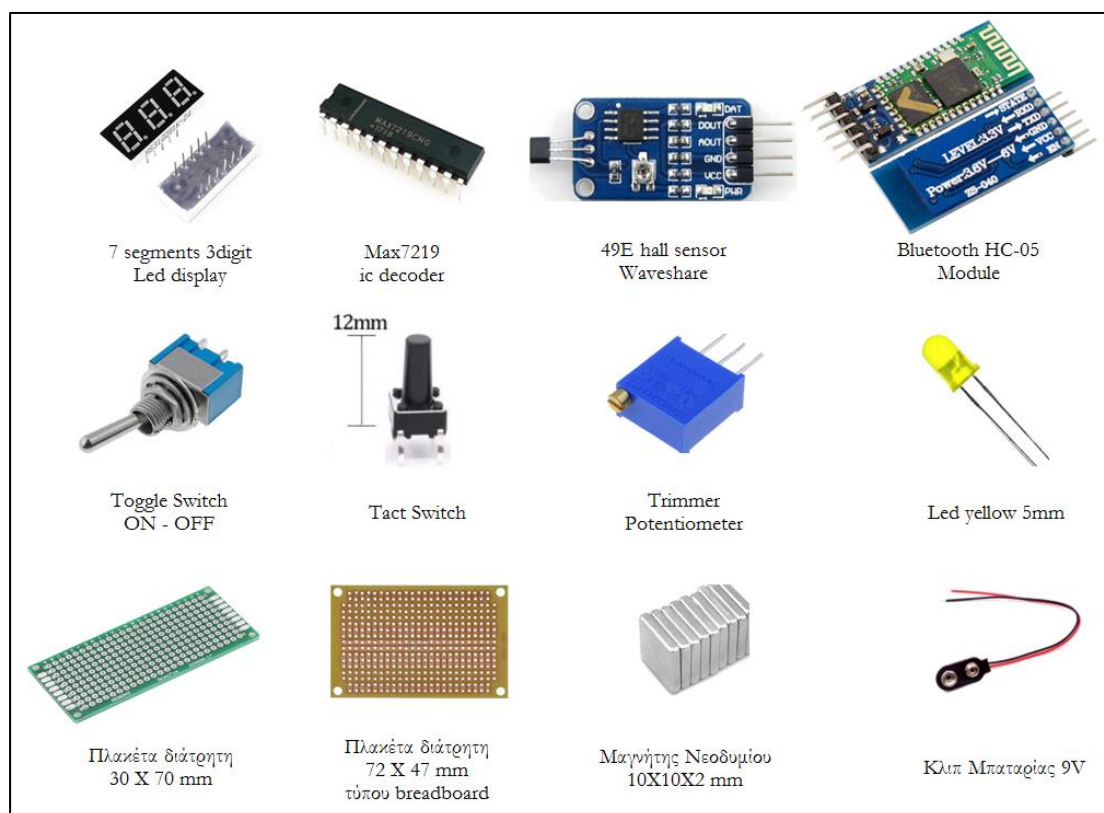
EEPROM	512 KB
Ταχύτητα ρολογιού	8 MHz

Πίνακας 4.6 Βασικά χαρακτηριστικά Arduino LilyPad 328

4.2 Πειραματική Διάταξη

4.2.1 Εξαρτήματα Μετρητή Πυρομαχικών G3

Τα εξαρτήματα που θα χρησιμοποιηθούν στο μετρητή πυρομαχικών του τυφεκίου G3 φαίνονται στην εικόνα 4.6. Πρόκειται για ηλεκτρονικά εξαρτήματα που πληρούν τις προδιαγραφές που περιγράφηκαν στο κεφάλαιο 3, το κόστος τους είναι το ελάχιστο δυνατό και διακρίνονται για τη μεγάλη αξιοπιστία τους.



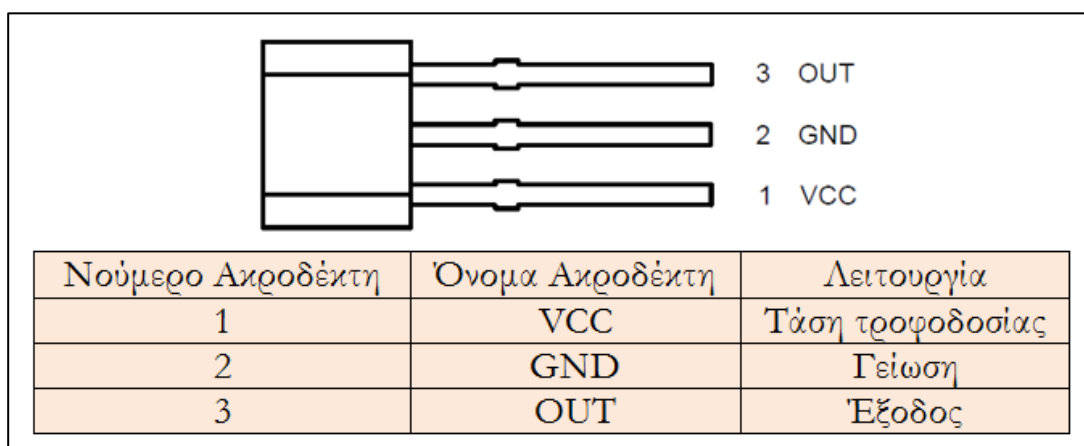
Εικόνα 4.7 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα μετρητή πυρομαχικών G3

4.2.2 Φύλλα δεδομένων «Datasheet» των Εξαρτημάτων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του Arduino Nano αναλύθηκαν στο τμήμα 4.1, οπότε κρίνεται σκόπιμο στη συνέχεια να αναλυθούν τα χαρακτηριστικά του βασικού αισθητήρα και των επεκτάσεων του συστήματος του μετρητή πυρομαχικών.

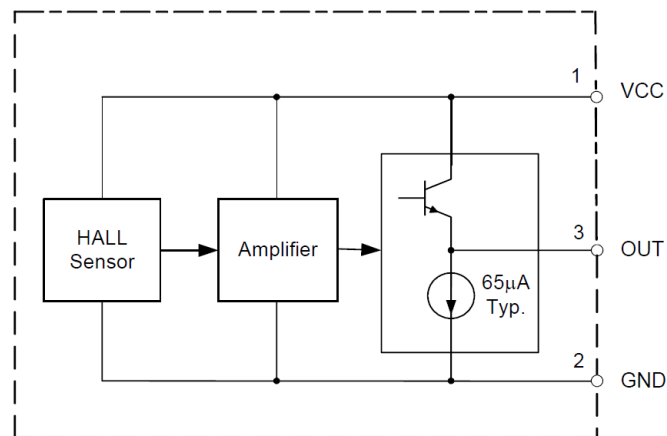
4.2.2.1 Linear Hall-Effect IC AH49E

Ο αισθητήρας AH49E είναι μία μικρή, ευέλικτη γραμμική συσκευή φαινομένου Hall που λειτουργεί από το μαγνητικό πεδίο που παράγεται από ένα μόνιμο μαγνήτη ή ηλεκτρομαγνήτη. Η τάση εξόδου καθορίζεται από την τάση τροφοδοσίας και ποικίλλει ανάλογα με τη δύναμη του μαγνητικού πεδίου. Το ολοκληρωμένο κύκλωμα διαθέτει χαμηλή έξοδο θορύβου, γεγονός που καθιστά περιττή τη χρήση εξωτερικού φιλτραρίσματος. Η διαμόρφωση των ακροδεκτών του αισθητήρα φαίνεται στην εικόνα 4.8.



Εικόνα 4.8 Ακροδέκτες αισθητήρα AH49E

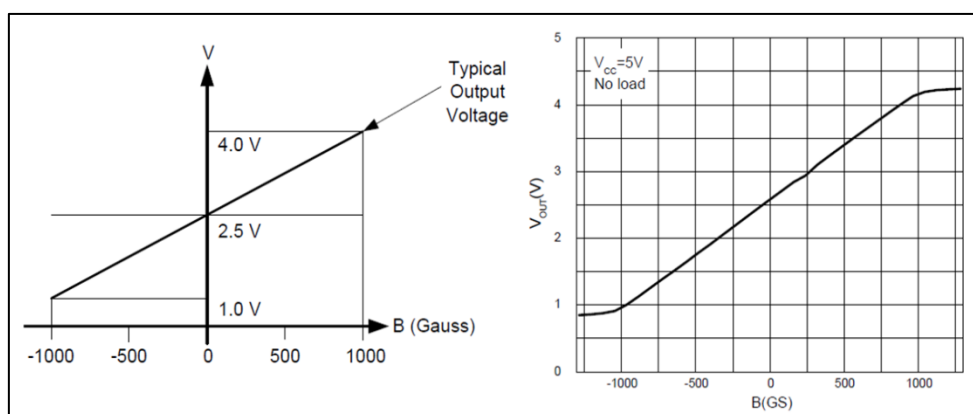
Το λειτουργικό διάγραμμα του αισθητήρα ακολουθεί την χαρακτηριστική τυπική διάταξη των γραμμικών αισθητήρων Hall, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.9.



Εικόνα 4.9 Λειτουργικό διάγραμμα αισθητήρα AH49E

Τα χαρακτηριστικά της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα και η καμπύλη της τάσης εξόδου σε συνάρτηση με την ένταση του μαγνητικού πεδίου φαίνονται στην εικόνα 4.10.

Όταν δεν υπάρχει εξωτερικό μαγνητικό πεδίο ($B = 0\text{GS}$), η τάση εξόδου είναι ίση με το ήμισυ της τάσης τροφοδοσίας. Επίσης, οι διακυμάνσεις της στάθμης τάσης προς τα πάνω ή κάτω είναι συμμετρικές. Μεγαλύτερη μαγνητική ευαισθησία επιτυγχάνεται με παροχή τάσης τροφοδοσίας 6V, αλλά η επιλογή αυτή έχει ως συνέπεια το αυξημένο κόστος τροφοδοσίας.



Εικόνα 4.10 Χαρακτηριστικά συνάρτησης μεταφοράς αισθητήρα AH49E

Τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του αισθητήρα, έχουν όπως στον πίνακα

4.7.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage	VCC	-	3.0	-	6.5	V
Operating Temperature	T _{OP}	-	-40	-	85	°C
Supply Current	I _{CC}	-	-	3.5	4.5	mA
Quiescent Output Voltage	V _{NULL}	@ B=0GS	2.25	2.5	2.75	V
Output Voltage Sensitivity	-	B=0GS to ±1000GS	1.1	1.6	2.1	mV/GS
Output Voltage Span	V _{OS}	-	1.0 to (VCC-1.0)	0.8 to (VCC-0.8)	-	V
Output Resistor	R _O	-	-	60	120	Ω
Magnetic Field Range	B	-	±650	±1000	-	GS
Linearity of Span	-	-	-	0.7	-	%
Output Noise	-	BW=10Hz to 10kHz	-	90	-	μV

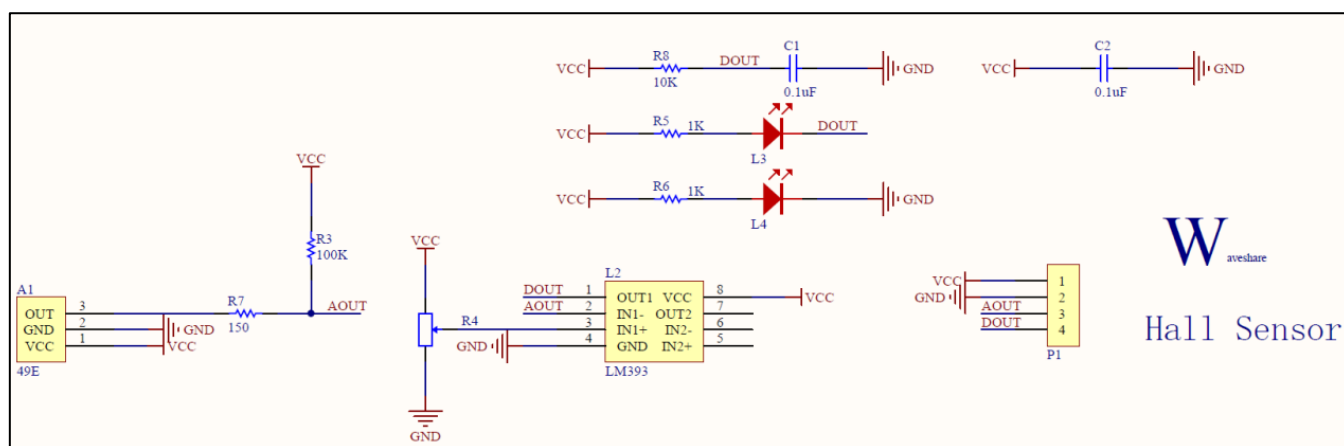
Πίνακας 4.7 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά αισθητήρα AH49E

4.2.2.2 Waveshare 49E Hall Sensor module

Πρόκειται για μία πλακέτα επέκτασης που αποτελείται από το στοιχείο Hall και κατάλληλες ηλεκτρονικές διατάξεις (συσκευή ρύθμισης τάσης), οι οποίες ενισχύουν το σήμα, όταν ο αισθητήρας έρθει σε επαφή με μαγνητικό πεδίο. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του, είναι τα παρακάτω:

- Τυπική Τάση Εισόδου: 3.3-5 VDC.
- Ρεύμα Λειτουργίας: 10 mA.
- Διασύνδεση: Αναλογική - Ψηφιακή.
- Διαστάσεις: 27 x 15.5mm.

Η συσκευή ρύθμισης της τάσης βασίζεται στον συγκριτή τάσης LM393, ο οποίος έχει αναλογικές και ψηφιακές εξόδους. Η ρύθμιση της ευαισθησίας της συσκευής επιτυγχάνεται την ενσωμάτωση στο κύκλωμα ενός ποτενσιόμετρου. Αναλυτικότερα η ηλεκτρονική διάταξη της πλακέτας επέκτασης «Waveshare 49E Hall Sensor» φαίνεται στην εικόνα 4.11.



Εικόνα 4.11 Ηλεκτρονικό διάγραμμα μαγνητικού αισθητήρα waveshare 49E

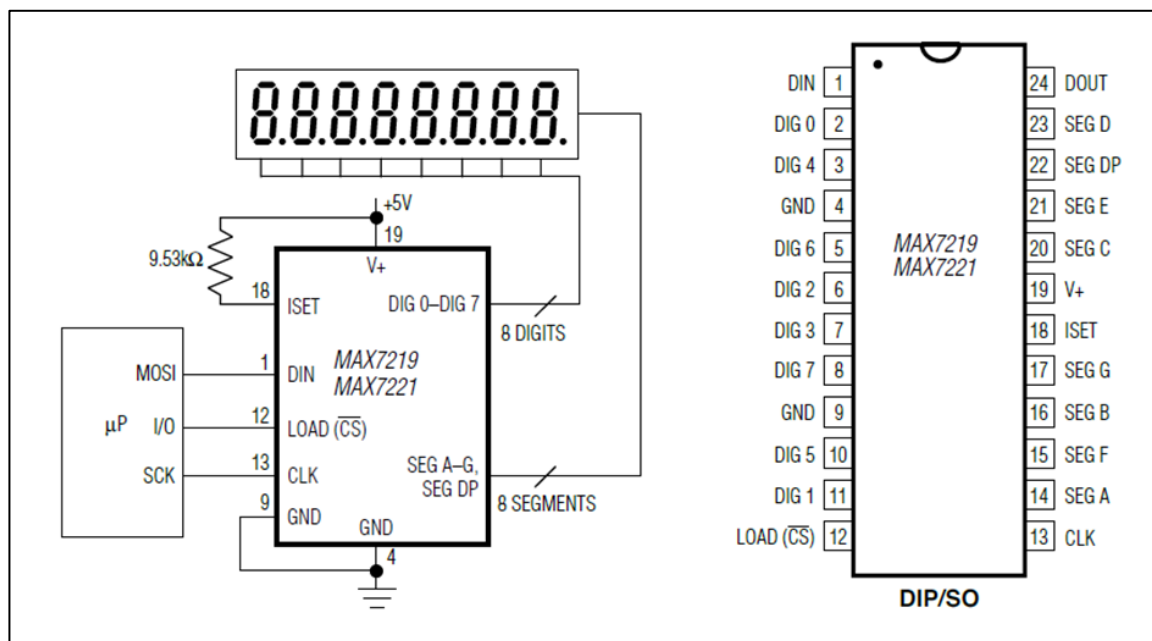
4.2.2.3 MAX7219 IC Decoder

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX7219 είναι οδηγός για LED display κοινής καθόδου, που επιτρέπει σε ένα μικροελεγκτή να επικοινωνεί με αριθμητικά display LED επτά τμημάτων (7 segments) και μέχρι οκτώ ψηφία (ή 64 ανεξάρτητες διόδους LED). Μπορεί να συνδεθεί με όλους τους κοινούς τύπους μικροελεγκτών με 3-wire σειριακή επικοινωνία. Περιλαμβάνει τη δυνατότητα αναμονής με χαμηλή κατανάλωση 150μΑ, αναλογικό και ψηφιακό έλεγχο φωτεινότητας, ανιχνευτή – καταχωριστή που ορίζει τον αριθμό των ψηφίων που χρησιμοποιούνται για απεικόνιση και λειτουργία ελέγχου που αναγκάζει όλα τα LEDs να ανάψουν [60].

Το MAX7219 δίνει την επιλογή στο σχεδιαστή να επιλέξει εάν θα χρησιμοποιήσει αποκωδικοποίηση code-B ή όχι για κάθε ψηφίο ξεχωριστά. Επίσης περιέχει μνήμη 8X8 RAM για αποθήκευση των δεδομένων κάθε ψηφίου. Μόνο μια εξωτερική αντίσταση χρειάζεται για τον ορισμό της τιμής του ρεύματος σε καθένα από όλα τα

LEDs. Μεμονωμένα ψηφία μπορούν να δεχτούν δεδομένα, χωρίς την εγγραφή των δεδομένων σε όλα τα ψηφία.

Η τυπική ηλεκτρονική διάταξη για τις εφαρμογές με το MAX7219 και η διαμόρφωση των ακροδεκτών του, φαίνεται στην εικόνα 4.12.



Εικόνα 4.12 Τυπική ηλεκτρονική διάταξη και διαμόρφωση ακροδεκτών οδηγού MAX7219

Αναλυτικά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του οδηγού MAX7219, έχουν όπως τον πίνακα 4.8.

Parameter	Symbol	Conditions	Min	Typ	Max	Unit
Input Current DIN, CLK, LOAD, CS	I_{IH} , I_{IL}	$V_{IN} = 0V$ or $V+$	-1	-	1	μA
Logic High Input Voltage	V_{IH}	-	3.5	-	-	V
Logic Low Input Voltage	V_{IL}	-	-	-	0.8	V
Operating Supply Voltage	$V+$	-	4.0	-	5.5	V

Operating Supply Current	I ⁺	RSET = open circuit	-	-	8	mA
		All segments and decimal point on, ISEG ₋ = -40mA	-	330	-	
Digit Drive Sink Current	I _{DIGIT}	V ₊ = 5V, V _{OUT} = 0.65V	320	-	-	mA
Segment Drive Source Current	ISEG	T _A = +25°C, V ₊ = 5V, V _{OUT} = (V ₊ - 1V)	-30	-40	-45	Ω
CLK Clock Period	t _{CP}	-	100	-	-	ns
CLK Pulse Width High	t _{CH}	-	50	-	-	ns
CLK Pulse Width Low	t _{CL}	-	50	-	-	ns
CLK Rise to CS or LOAD Rise Hold Time	t _{CSH}	-	0	-	-	ns
DIN Setup Time	t _{DS}	-	25	-	-	ns
DIN Hold Time	t _{DH}	-	0	-	-	ns
Load-Rising Edge to Next Clock Rising Edge (MAX7219 only)	t _{LDCK}	-	50	-	-	ns
Data-to-Segment Delay	t _{DSPD}	-	-	-	2.25	ms
Operating Temperature Ranges	T	MAX7219E_G/MAX7221E_G	-40	-	+85	°C

Πίνακας 4.8 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά του οδηγού MAX7219

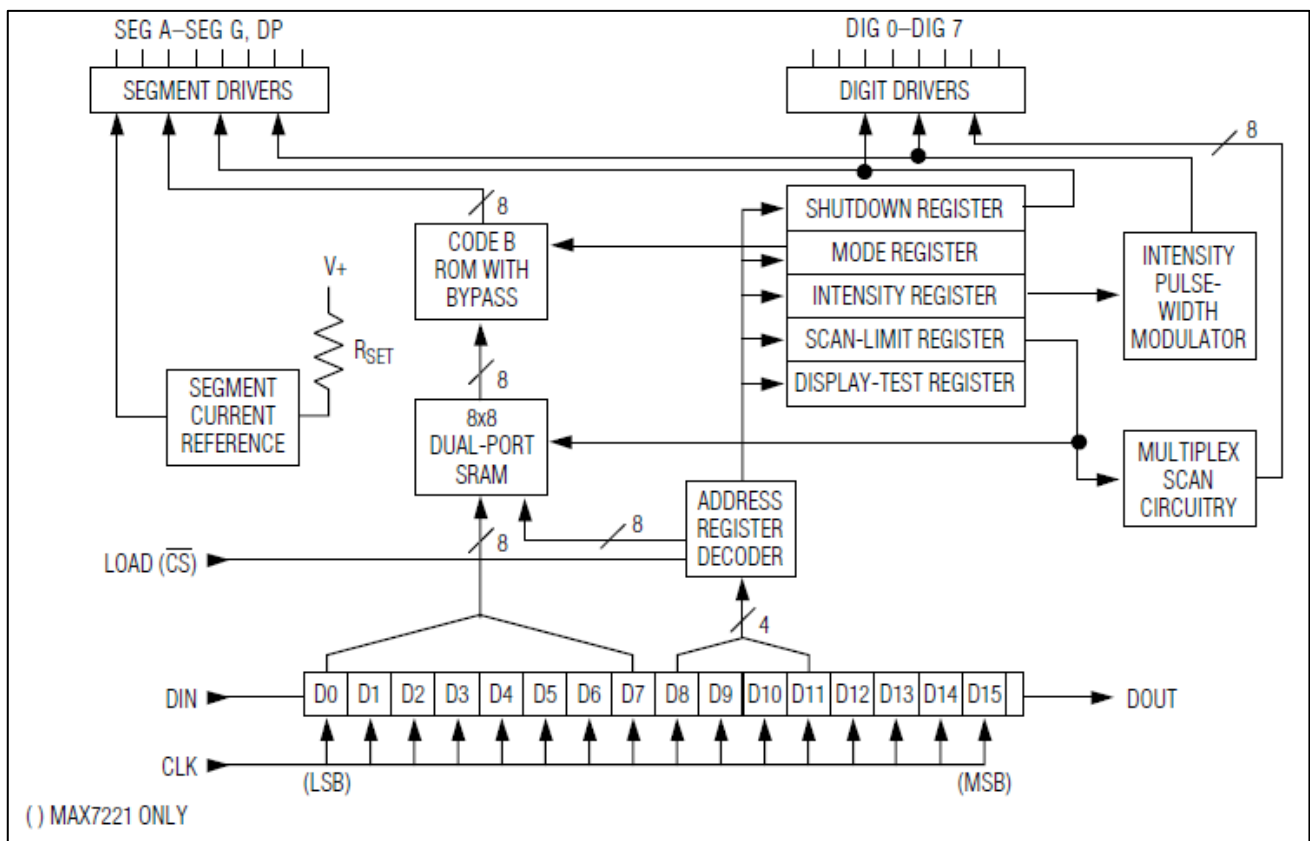
Ο οδηγός MAX7219 περιέχει καταχωρητές που βοηθούν στην λειτουργία του. Οι καταχωρητές αυτοί χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Στους καταχωρητές ελέγχου που ορίζουν την λειτουργία του οδηγού και
- Στους καταχωρητές ψηφίων που περιέχουν τα δεδομένα του κάθε ψηφίου.

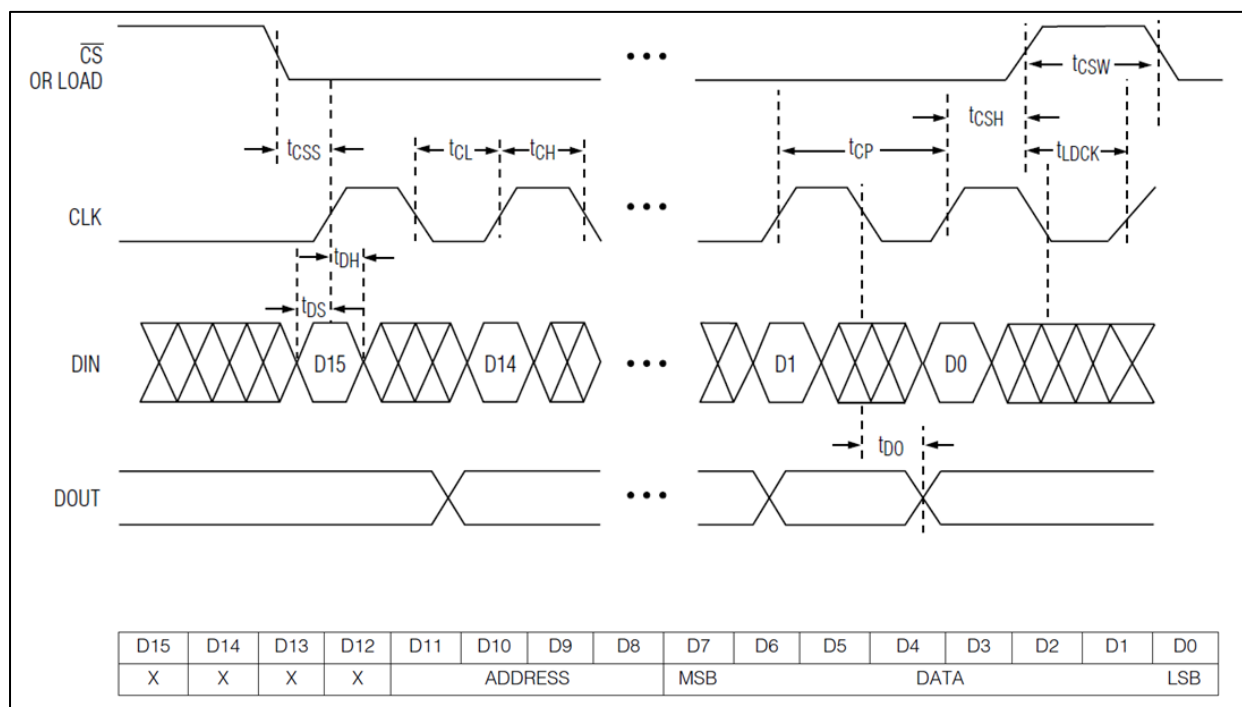
Όπως φαίνεται στις εικόνες 4.13 και 4.14, ο μικροελεγκτής προσπελαίνει κάθε καταχωρητή του MAX7219 με ένα πακέτο δεδομένων 16-bit, που στέλνονται σειριακά στον ακροδέκτη D_{IN}. Τα δεδομένα ολισθαίνουν στον εσωτερικό καταχωρη-

τή ολίσθησης του οδηγού σε κάθε θετική ακμή του ακροδέκτη CLK. Στο σημείο αυτό τονίζεται ότι ο οδηγός MAX7219 δέχεται δεδομένα ανεξάρτητα από την κατάσταση του ακροδέκτη LOAD. Τα δεδομένα που εισέρχονται στον ακροδέκτη D_{IN} , διαδίδονται διαμέσου του καταχωρητή ολίσθησης και εμφανίζονται στον ακροδέκτη του οδηγού D_{OUT} 16,5 κύκλους του ρολογιού αργότερα.

Στο πακέτο δεδομένων 16-bit, το κάθε bit ονομάζεται D0 έως D15. Τα bit στο διάστημα D8-D11 περιέχουν την διεύθυνση του καταχωρητή που θέλουμε να προσπελάσουμε, ενώ τα bit στο διάστημα D0-D7 περιέχουν τα δεδομένα που περικλείει ο καταχωρητής. Τα bit στο διάστημα D12-D15 δεν έχουν κάποιο λειτουργικό ρόλο.



Εικόνα 4.13 Λειτουργικό διάγραμμα οδηγού MAX7219



Εικόνα 4.14 Διάγραμμα χρονισμού και μορφή σειριακών δεδομένων

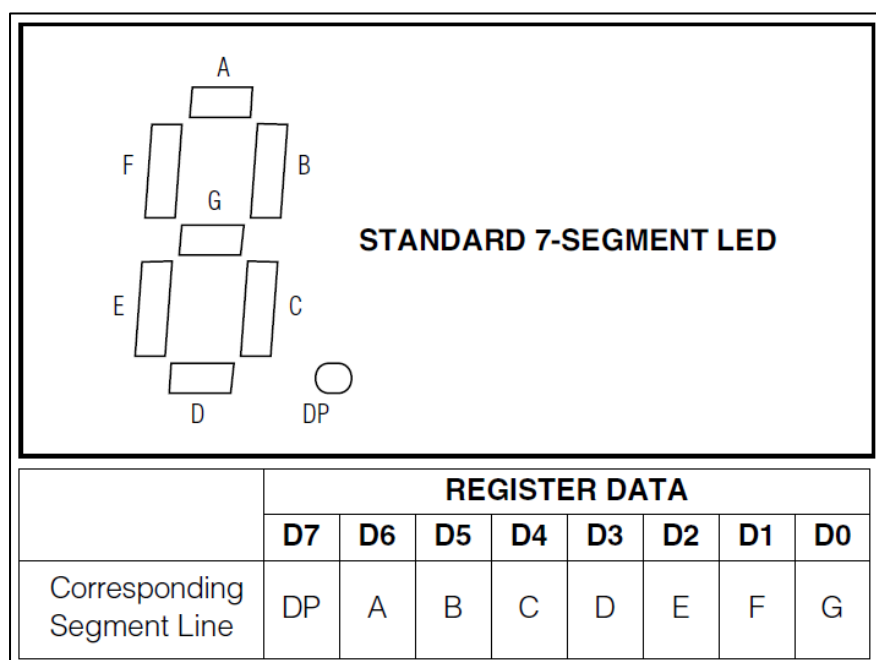
Ο καταχωρητής αποκωδικοποίησης ορίζει για κάθε ψηφίο αποκωδικοποίηση BCD code B (0-9, E, H, L, P, και -) ή όχι αποκωδικοποίηση. Κάθε ένα bit του καταχωρητή αποκωδικοποίησης αντιστοιχεί και σε ένα ψηφίο του display. Το λογικό HIGH επιτρέπει την αποκωδικοποίηση ενώ το λογικό LOW δεν ορίζει αποκωδικοποίηση. Όταν χρησιμοποιείται η κωδικοποίηση μόνο τα κατώτερα 4-bit στους καταχωρητές ψηφίων υπολογίζονται ενώ τα υψηλότερα bits D4-D6 αγνοούνται, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.15. Το bit D7 ορίζει την υποδιαστολή (SEG DP), το οποίο είναι ανεξάρτητο από την αποκωδικοποίηση και είναι θετικής λογικής, δηλαδή, όταν D7=1 φωτίζεται η υποδιαστολή.

Όταν δεν έχει επιλεγεί αποκωδικοποίηση, τα δεδομένα στα bits D7-D0 αντιστοιχούν στα επτά τμήματα των ψηφίων όταν οδηγούνται από το MAX7219. Η εικόνα 4.16, δείχνει την αντιστοιχία των bits του καταχωρητή ψηφίων με τα τμήματα του ψηφίου απεικόνισης όταν δεν έχουμε αποκωδικοποίηση.

7-SEGMENT CHARACTER	REGISTER DATA						ON SEGMENTS = 1							
	D7*	D6-D4	D3	D2	D1	D0	DP*	A	B	C	D	E	F	G
0		X	0	0	0	0		1	1	1	1	1	1	0
1		X	0	0	0	1		0	1	1	0	0	0	0
2		X	0	0	1	0		1	1	0	1	1	0	1
3		X	0	0	1	1		1	1	1	1	0	0	1
4		X	0	1	0	0		0	1	1	0	0	1	1
5		X	0	1	0	1		1	0	1	1	0	1	1
6		X	0	1	1	0		1	0	1	1	1	1	1
7		X	0	1	1	1		1	1	1	0	0	0	0
8		X	1	0	0	0		1	1	1	1	1	1	1
9		X	1	0	0	1		1	1	1	1	0	1	1
—		X	1	0	1	0		0	0	0	0	0	0	1
E		X	1	0	1	1		1	0	0	1	1	1	1
H		X	1	1	0	0		0	1	1	0	1	1	1
L		X	1	1	0	1		0	0	0	1	1	1	0
P		X	1	1	1	0		1	1	0	0	1	1	1
blank		X	1	1	1	1		0	0	0	0	0	0	0

*The decimal point is set by bit D7 = 1

Εικόνα 4.15 Πίνακας αποκωδικοποίησης οδηγού MAX7219



Εικόνα 4.16 Λειτουργία χωρίς κωδικοποίηση - Αντιστοιχία bits και display

Η λειτουργία των ακροδεκτών του οδηγού MAX7219, φαίνεται στην εικόνα 4.17.

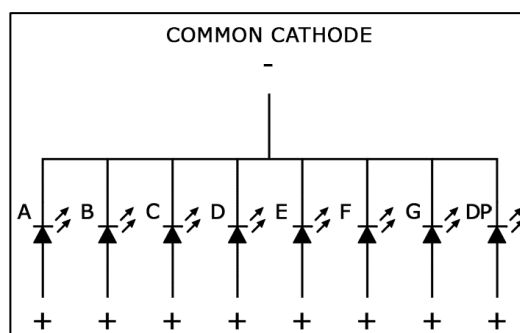
PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial-Data Input. Data is loaded into the internal 16-bit shift register on CLK's rising edge.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG 0-DIG 7	Eight-Digit Drive Lines that sink current from the display common cathode. The MAX7219 pulls the digit outputs to V+ when turned off. The MAX7221's digit drivers are high-impedance when turned off.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected)
12	LOAD (MAX7219)	Load-Data Input. The last 16 bits of serial data are latched on LOAD's rising edge.
	\overline{CS} (MAX7221)	Chip-Select Input. Serial data is loaded into the shift register while \overline{CS} is low. The last 16 bits of serial data are latched on \overline{CS} 's rising edge.
13	CLK	Serial-Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT. On the MAX7221, the CLK input is active only while \overline{CS} is low.
14-17, 20-23	SEG A-SEG G, DP	Seven Segment Drives and Decimal Point Drive that source current to the display. On the MAX7219, when a segment driver is turned off it is pulled to GND. The MAX7221 segment drivers are high-impedance when turned off.
18	ISSET	Connect to VDD through a resistor (RSET) to set the peak segment current (Refer to <i>Selecting RSET Resistor and Using External Drivers</i> section).
19	V+	Positive Supply Voltage. Connect to +5V.
24	DOUT	Serial-Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later. This pin is used to daisy-chain several MAX7219/MAX7221's and is never high-impedance.

Εικόνα 4.17 Αναλυτική λειτουργία ακροδεκτών οδηγού MAX7219

Τέλος, όπως προαναφέρθηκε η φωτεινότητα του display μπορεί να ρυθμιστεί ψηφιακά χρησιμοποιώντας τον καταχωρητή φωτεινότητας (διεύθυνση=XA). Ο ψηφιακός έλεγχος προκαλείται από τον εσωτερικό διαμορφωτή παλμών, ο οποίος ελέγχεται από την χαμηλότερη τετράδα bits του καταχωρητή φωτεινότητας. Ο διαμορφωτής παρέχει μέση τιμή ρεύματος σε 16 βήματα από μια μέγιστη τιμή 31/32 έως την χαμηλότερη 1/32 της κορυφής ρεύματος που ορίζεται από την αντίσταση RSET. Η μικρότερη τιμή που θα πρέπει να έχει η αντίσταση RSET είναι 9,53 KΩ.

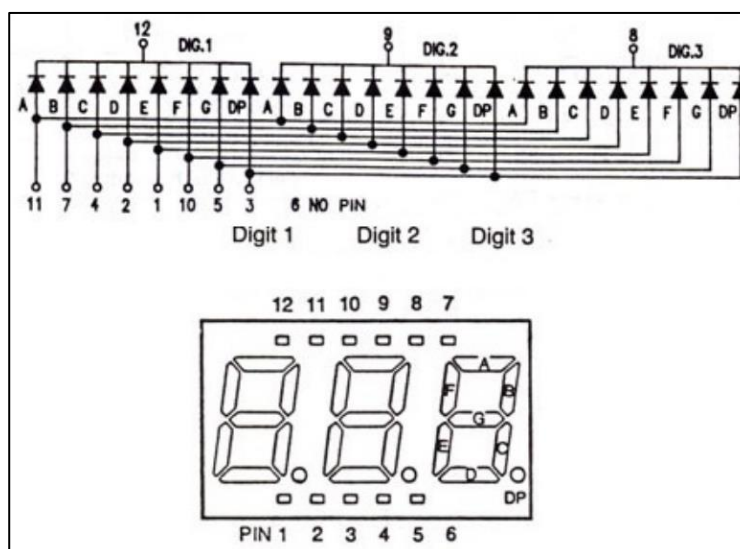
4.2.2.3 7 Segments 3 Digit Led Display Common Cathode

Στα Led Display κοινής καθόδου, όλες οι κάθοδοι είναι συνδεδεμένες με την γείωση και τα μεμονωμένα τμήματα ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται με την εναλλαγή ισχύος στις ανόδους, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.18.



Εικόνα 4.18 Ηλεκτρικό εσωτερικό κύκλωμα μεμονωμένου 7 Segment Led Display Common Cathode

Στη συσκευή του μετρητή πυρομαχικών χρησιμοποιήθηκε μία οθόνη «7 segment led», πολλαπλών ψηφίων (3 digit), με 12 ακροδέκτες, οι οποίοι είναι διαχωρισμένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι κοινοί για το κάθε ψηφίο. Το ηλεκτρικό διάγραμμα της οθόνης φαίνεται στην εικόνα 4.19.



Εικόνα 4.19 Ηλεκτρικό διάγραμμα 7 segment 3 digit led display common cathode

Γενικά οι οθόνες 7 segments led display διακρίνονται για την ακρίβεια, τη σαφήνεια και τη βέλτιστη λειτουργικότητά τους. Αναλυτικότερα τα βασικά ηλεκτρικά παρατίθενται στον πίνακα 4.9.

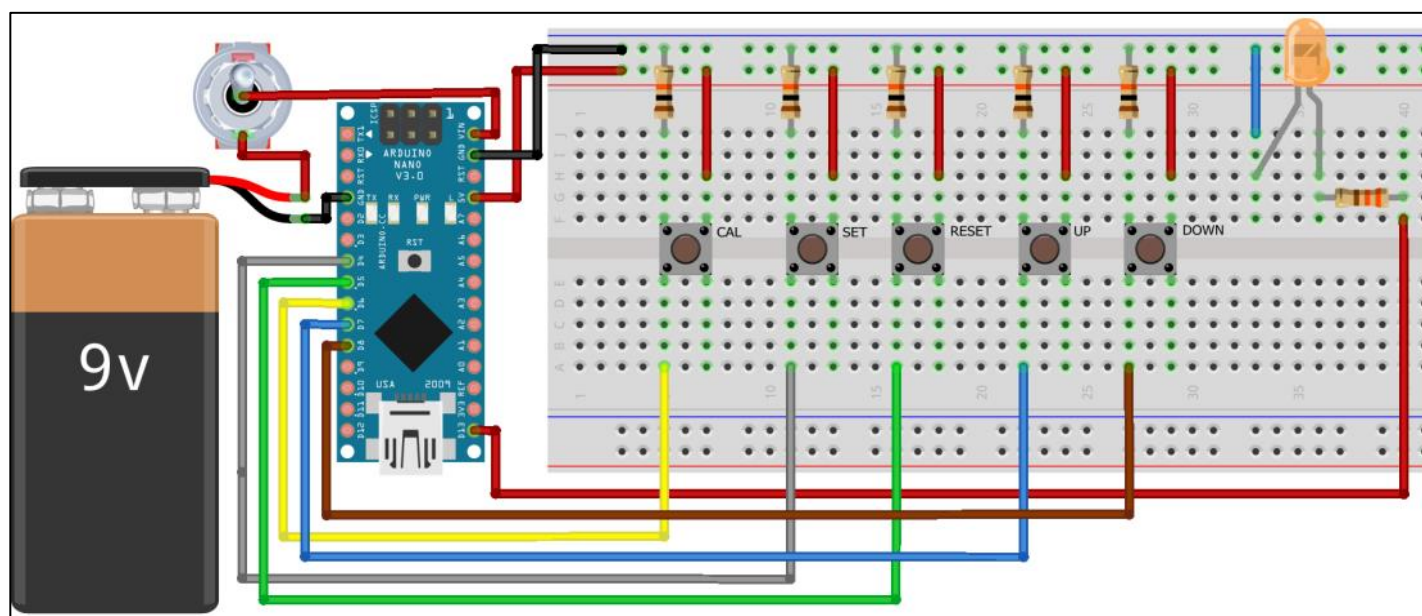
Τύπος οθόνης	Seven segments
Διαμόρφωση	Κοινής Καθόδου
Αριθμός Ακροδεκτών	12
Χρώμα Led	Κόκκινο
Αριθμός ψηφίων	3
Υψος ψηφίου	14 mm
Ρεύμα λειτουργίας	10 mA
Μήκος κύματος	640 nm
Διαστάσεις οθόνης 3 ψηφίων	L: 18 mm – W: 19 mm – H: 8.31 mm

Πίνακας 4.9 Ηλεκτρικά χαρακτηριστικά οθόνης 7 segments 3 digit led

4.2.3 Συνδεσμολογία

Η συνδεσμολογία – ηλεκτρονική διάταξη του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3, παρουσιάζεται κατά υποσύστημα για την ευκολότερη αποτύπωση και κατανόηση της. Η σχεδίαση των ηλεκτρονικών διατάξεων έγινε με τη βοήθεια του λογισμικού «Fritzing».

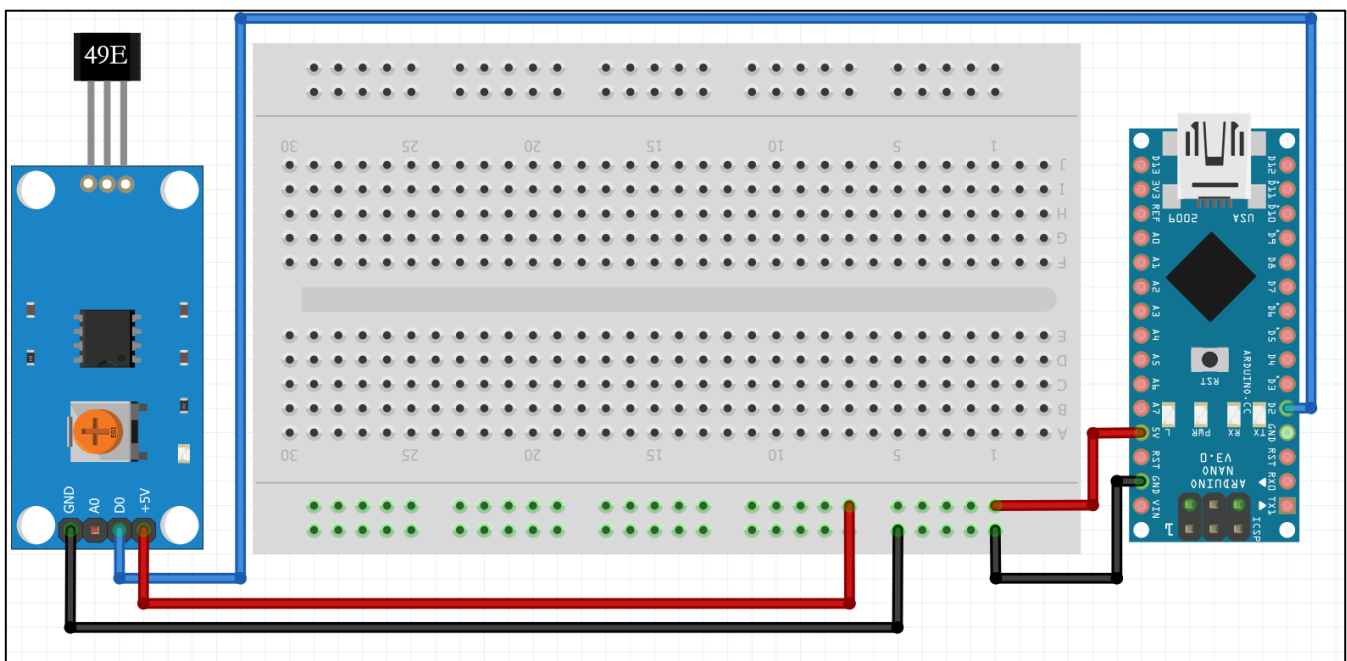
- Συνδεσμολογία Πλακέτας Εντολών Μετρητή Πυρομαχικών G3



Εικόνα 4.20 Συνδεσμολογία πλακέτας Εντολών

Στην εικόνα 4.20, φαίνεται η συνδεσμολογία της πλακέτας ελέγχου του μετρητή. Αναλυτικότερα η πλακέτα αποτελείται από 5 διακόπτες τύπου tact switch για τις λειτουργίες: calibration «Cal» (Βαθμονόμηση, Θέση D6) – SET (Αποθήκευση, , Θέση D4) – RESET (Επαναγέμιση, Θέση D5) – UP (Αύξηση Αριθμού, Θέση D7) – DOWN (Μείωση Αριθμού, Θέση D8). Η συνδεσμολογία των διακοπτών γίνεται με αντιστάσεις pull-down 10 KΩ, έτσι ώστε το πάτημα τους να ανιχνεύεται στην είσοδο ως στάθμη «HIGH». Επίσης στη διάταξη έχει συνδεθεί ένα πορτοκαλί led 5mm μαζί με μία αντίσταση 330Ω στην ψηφιακή είσοδο D13, ούτως ώστε να ειδοποιείται ο μαχητής, όταν ο αριθμός των φυσιγγίων εντός του γεμιστήρα μικρότερος ή ίσος με 3. Τέλος για την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση του μετρητή τοποθετήθηκε ένας κεντρικός διακόπτης ON-OFF τύπου toggle switch.

- Συνδεσμολογία Πλακέτας Επέκτασης Αισθητήρα Hall Effect

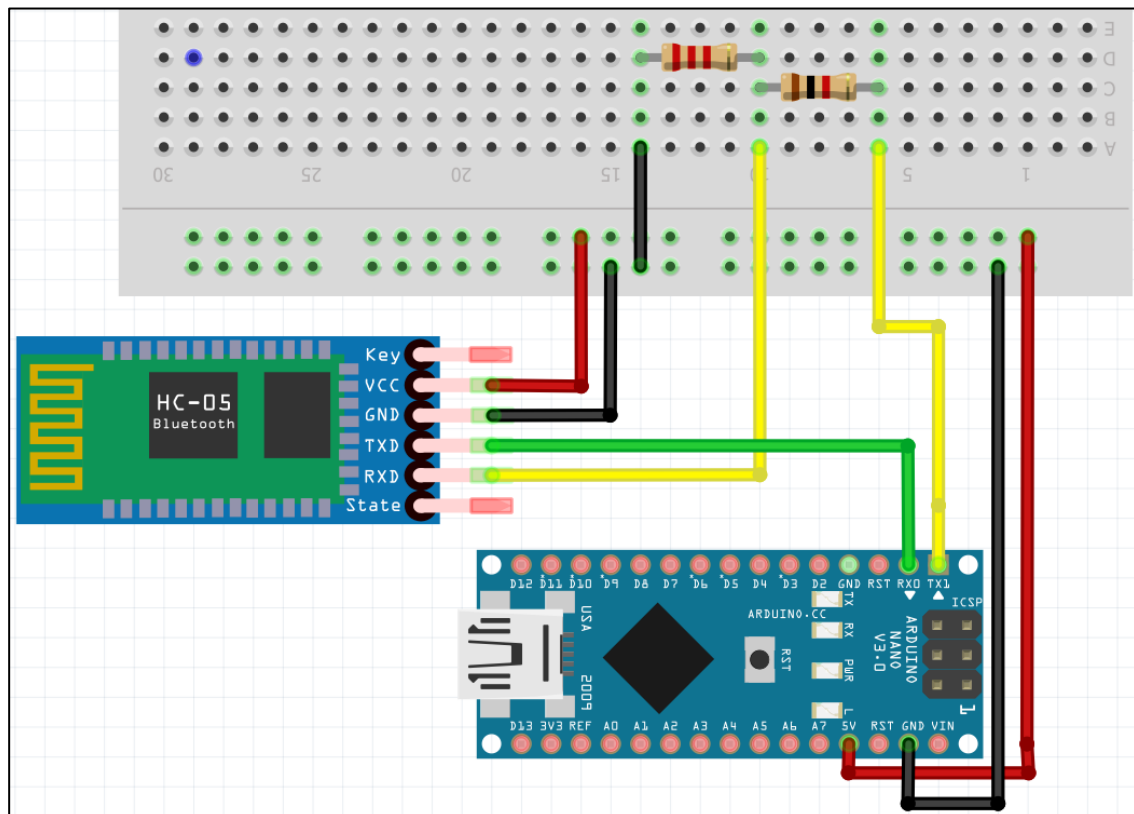


Εικόνα 4.21 Συνδεσμολογία πλακέτας επέκτασης αισθητήρα Hall Effect

Στην εικόνα 4.21, φαίνεται η συνδεσμολογία της πλακέτας επέκτασης του αισθητήρα Hall, με την ψηφιακή έξοδό του να συνδέεται με τον ακροδέκτη D2 του Arduino Nano.

Αναλυτικότερα το module «Waveshare 49E Hall Sensor» αποτελείται από τον αισθητήρα hall 49E, τον συγκριτή τάσης LM393 που παρέχει στο κύκλωμα την ψηφιακή και αναλογική έξοδο και ένα ποτενσιόμετρο για τη ρύθμιση της ευαισθησίας του αισθητήρα.

- Συνδεσμολογία Πλακέτας Επέκτασης Bluetooth HC-05



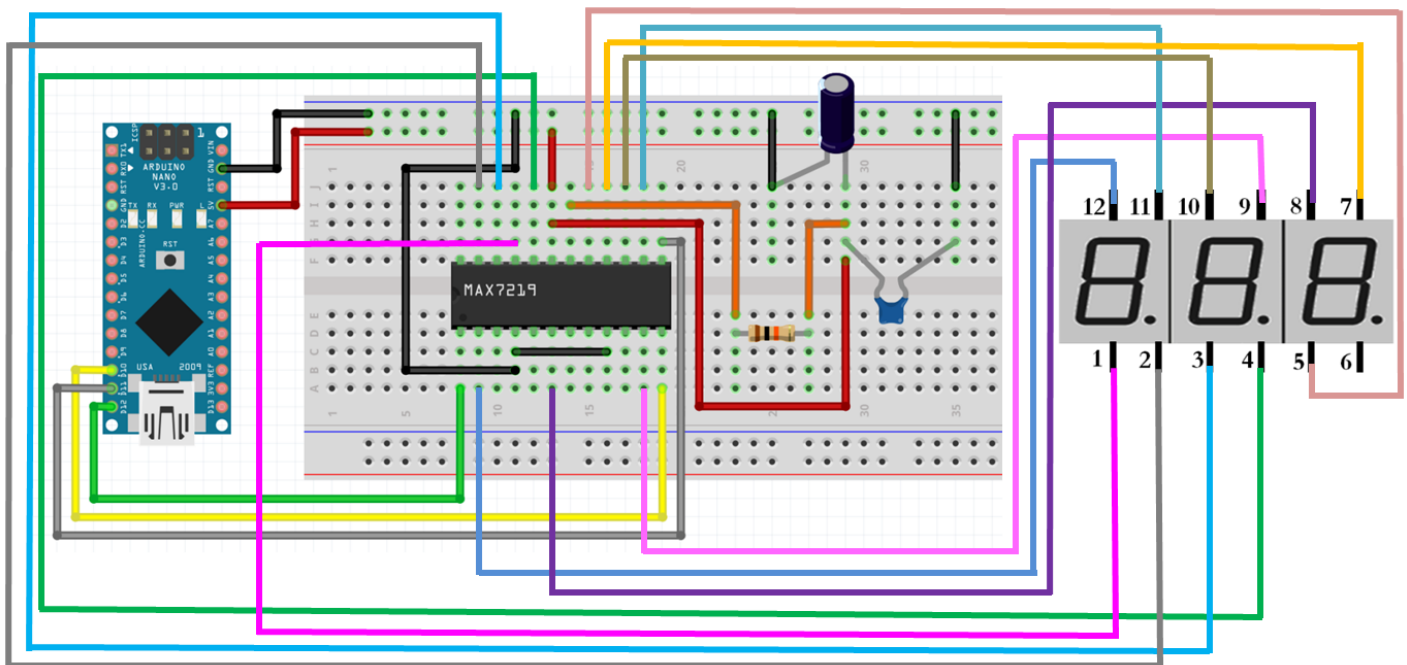
Εικόνα 4.22 Συνδεσμολογία πλακέτας επέκτασης Bluetooth HC-05

Στην εικόνα 4.22, φαίνεται η συνδεσμολογία της πλακέτας επέκτασης του Bluetooth HC-05, η οποία διαθέτει 6 ακροδέκτες. Για τη βασική λειτουργία χρησιμοποιούνται οι ακροδέκτες VCC, GND, TXD και RXD.

Συγκεκριμένα οι ακροδέκτες VCC και GND χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία του module HC-05 και συνδέονται στα pin 5V και GND του Arduino Nano. Ο TXD είναι ο ακροδέκτης σειριακής αποστολής δεδομένων προς τον μικροελεγκτή και συν-

δέεται με το pin RX0 της σειριακής λήψης του Arduino. Αντίστοιχα ο RXD είναι ο ακροδέκτης σειριακής λήψης δεδομένων από το μικροελεγκτή και συνδέεται με το pin TX1 σειριακής αποστολής του Arduino. Στο σημείο αυτό πρέπει να τονιστεί ότι, ενώ η τροφοδοσία του module γίνεται με τάση 3.6V έως 6V, η στάθμη σημάτων είναι RXD και TXD είναι 3.3V. Για τον ακροδέκτη TXD δεν υπάρχει θέμα, γιατί είναι έξοδος προς το Arduino, το οποίο αντιλαμβάνεται την τάση 3.3V ως «HIGH». Αντίθετα όμως για τον ακροδέκτη RDX αποτελεί πρόβλημα καθόσον δέχεται τα σήματα από το Arduino, τα οποία είναι στάθμης 5V, γεγονός το οποίο μπορεί να προκαλέσει ζημιά στο module. Το πρόβλημα λύνεται με την προσθήκη ενός διαιρέτη τάσης, όπως φαίνεται στη διάταξη της εικόνας 4.22. Ο υπολογισμός των αντιστάσεων γίνεται ως εξής: Η έξοδος του διαιρέτη πρέπει να είναι 3.3V και επειδή το αρχικό σήμα από το Arduino είναι 5V η πτώση τάσης στην 1^η αντίσταση είναι $5 - 3.3 = 1.7V \approx 3.3\Omega/2$. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει χρήση αντιστάσεων με λόγο 1:2.

- Συνδεσμολογία Πλακέτας Οδήγησης του Led Display



Εικόνα 4.23 Συνδεσμολογία πλακέτας οδήγησης Led Display

Στην εικόνα 4.23, φαίνεται η συνδεσμολογία της πλακέτας οδήγησης του led Display. Αναλυτικότερα η συνδεσμολογία είναι σύμφωνη με τις τυπικές ηλεκτρονικές διατάξεις των εικόνων 4.12 και 4.13. Επιπλέον στην διάταξη προστέθηκαν δύο πυκνωτές, ένας ηλεκτρολυτικός 10 μF και ένας κεραμικός 100 nF για την απορρόφηση του θορύβου. Τέλος ο ακροδέκτης ISET συνδέεται με μία αντίσταση 10 K Ω , η οποία ρυθμίζει την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.

4.2.4 Ανάπτυξη Κώδικα

Όπως ήδη έχει αναφερθεί ο κώδικας που αναπτύσσεται για το Arduino βασίζεται στη γλώσσα προγραμματισμού Wiring C, η οποία υποστηρίζει τους κλασικούς κανόνες του δομημένου προγραμματισμού. Κάθε πρόγραμμα αποτελείται από δύο τουλάχιστον συναρτήσεις.

Η πρώτη ονομάζεται setup και ο κώδικας που περιλαμβάνει εκτελείται μόνο μία φορά κατά την εφαρμογή τροφοδοσίας στο Arduino. Συνήθως χρησιμοποιείται για αρχικοποίηση.

Η δεύτερη συνάρτηση ονομάζεται loop και εκτελείται συνέχεια, όσο υπάρχει τροφοδοσία στο Arduino. Τα ελάχιστα συστατικά ενός προγράμματος έχουν όπως παρακάτω:

```
Void setup()
{
    //εντολές που εκτελούνται μία φορά
}

Void loop()
{
    //εντολές που εκτελούνται συνέχεια
}
```

Το σύμβολο «//» παραπέμπει σε σχόλια.

Αναλυτικά, για την σύνταξη του κώδικα του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3, χρησιμοποιήθηκαν δύο βιβλιοθήκες, οι οποίες εισάγονται στην αρχή του προγράμματος πριν την συνάρτηση setup.

```
#include "DigitLedDisplay.h" //βιβλιοθήκη για την οδήγηση του led display
```

```
#include <SoftwareSerial.h> //βιβλιοθήκη, η οποία επιτρέπει τη σειριακή επικοινωνία των ψηφιακών ακροδεκτών του Arduino
```

```
DigitLedDisplay ld = DigitLedDisplay(12, 10, 11); // Εντολή της βιβλιοθήκης DigitLedDisplay.h για την σύνδεση των ακροδεκτών του MAX7219 με το Arduino [DIN (D12), LOAD (D10) CLK (D11)]
```

```
int i; //εισάγουμε μία μεταβλητή, η οποία μετράει τον τρέχοντα αριθμό των φυσιγγίων που υπάρχουν στο γεμιστήριο.
```

```
int j; //εισάγουμε μία μεταβλητή, η οποία χρησιμοποιείται για την αποθήκευση της επιλεγθείσας χωρητικότητας του γεμιστήρα.
```

```
int k = -1; //εισάγουμε μία μεταβλητή για τη μέτρηση της κατανάλωσης των πυρομαχικών και την αποστολή της στην εφαρμογή android.
```

```
/* Ορίζουμε τους ακροδέκτες για τη σειριακή επικοινωνία. */
```

```
const byte rxPin = 1;
```

```
const byte txPin = 0;
```

```
SoftwareSerial mySerial (rxPin, txPin);
```

```
/* Ορίζουμε τις συνδέσεις των υπολοίπων ακροδεκτών */
```

```
const int buttonUp = 7;
```

```
const int buttonDown = 8;
```

```
const int buttonSet = 4;
```

```
const int buttonReset = 5;
```

```
const int buttonCal = 6;
```

```
const int hallCounter = 2;
int led = 13;
/* Ορίζουμε την κατάσταση (στάθμη) των διακοπών */
int buttonUpState = 0;
int buttonDownState = 0;
int buttonSetState = 0;
int buttonResetState = 0;
int buttonCalState = 0;
/* Ορίζουμε την κατάσταση (στάθμη) του αισθητήρα */
int hallcountervalue = 0;
unsigned long lastReading = 0;
/* Αρχικοποιούμε την λογική μεταβλητή «execute» με την τιμή false */
boolean execute = false;
```

Ακολουθεί η συνάρτηση setup, στην οποία γίνεται η αρχικοποίηση των συσκευών και ορίζονται οι αρχικές ρυθμίσεις του συστήματος.

```
void setup( ) {
Serial.begin(9600); // Αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας (ταχύτητα 9600 bps)
ld.setBright(4); // Ρύθμιση φωτεινότητας led display (min:1, max:15)
ld.setDigitLimit(3); // Καθορίζουμε τον αριθμό των ψηφίων του led display
ld.write(1,B01001110); // Εντολή στο led display να εμφανίσει στο ψηφίο 1 το «C»
ld.write(2,B01110111); // Εντολή στο led display να εμφανίσει στο ψηφίο 2 το «A»
ld.write(3,B10001110); // Εντολή στο led display να εμφανίσει στο ψηφίο 3 το «L.»
/* καθορίζουμε τις εισόδους/εξόδους των ψηφιακών ακροδεκτών */
pinMode(buttonUp, INPUT);
pinMode(buttonDown, INPUT);
pinMode(buttonSet, INPUT);
```



```
pinMode(buttonReset, INPUT);
```

```
pinMode(buttonCal, INPUT);
```

```
pinMode(hallCounter, INPUT);
```

```
pinMode(led, OUTPUT);
```

```
/* Με την εντολή while ( ) εισάγουμε κώδικα για τη βαθμονόμηση του αισθητήρα. Ο χειριστής έχει στη διάθεση του 30 δευτερόλεπτα για να εκτελέσει τον έλεγχο και εάν απαιτείται τη βαθμονόμηση του αισθητήρα. Στην περίπτωση που πατώντας το buttonCal ανάψει το led και η οθόνη εμφανίζει τρεις παύλες, ο αισθητήρας είναι σωστά βαθμονομημένος. Στην αντίθετη περίπτωση κρατώντας πατημένο το buttonCal, ο χειριστής περιστρέφει το ποτενσιόμετρο στην πρόσοψη του μετρητή έως ότου ανάψει το led και εμφανιστούν οι τρεις παύλες. */
```

```
while (millis() < 30000){
```

```
    buttonCalState = digitalRead(buttonCal);
```

```
    hallcountervalue = digitalRead(hallCounter);
```

```
    if (buttonCalState == HIGH && hallcountervalue == HIGH){
```

```
        digitalWrite(led, HIGH);
```

```
        ld.write(1,B00000001); // εμφάνιση στο ψηφίο 1 του χαρακτήρα «-»
```

```
        ld.write(2,B00000001); // εμφάνιση στο ψηφίο 2 του χαρακτήρα «-»
```

```
        ld.write(3,B00000001); // εμφάνιση στο ψηφίο 3 του χαρακτήρα «-»
```

```
    }
```

```
}
```

```
digitalWrite(led, LOW);
```

```
ld.write(1,B11001110); // εμφάνιση στο ψηφίο 1 του χαρακτήρα «C.»
```

```
ld.write(2,B00000001); // εμφάνιση στο ψηφίο 2 του χαρακτήρα «-»
```

```
ld.write(3,B00000001); // εμφάνιση στο ψηφίο 3 του χαρακτήρα «-»
```

```
}
```

Τέλος στη συνάρτηση loop, έχει γραφτεί ο κώδικας για τη λειτουργία της συσκευής, ο οποίος εκτελείται συνεχώς.

```
void loop() {
```

```
/* Δηλώνουμε τις παρακάτω μεταβλητές για να μπορούμε να διαβάζουμε την κατάσταση των διακοπών σε κάθε κύκλο του προγράμματος */
```

```
int buttonUpState = digitalRead(buttonUp);
```

```
int buttonDownState = digitalRead(buttonDown);
```

```
int buttonSetState = digitalRead(buttonSet);
```

```
int buttonResetState = digitalRead(buttonReset);
```

```
/* Δομή ελέγχου με την εντολή if για τη λειτουργία του buttonReset */
```

```
if (buttonResetState == HIGH)
```

```
{
```

```
delay(100);
```

```
i=j; // Εάν πατηθεί το Reset επαναφέρουμε την μεταβλητή που μετράει την ποσότητα των πυρομαχικών εντός του γεμιστήρα στην αποθηκευμένη τιμή της μεταβλητής j. Αυτή η ενέργεια υλοποιείται σε κάθε τοποθέτηση νέου γεμιστήρα.
```

```
/* Το πρώτο ψηφίο έχει σταθερή ένδειξη «C.». Για την εμφάνιση της τιμής του i στα υπόλοιπα δύο ψηφία (Μέτρηση από 00 μέχρι 99), εφαρμόστηκε η μέθοδος της αριθμητικής των υπολοίπων (modulo). Επειδή το κάθε ψηφίο μετράει 10 αριθμούς (0 έως 9) η ένδειξη του ψηφίου των δεκάδων θα προκύπτει από τη διαίρεση της τιμής της μεταβλητής i με το 10, ενώ το υπόλοιπο της διαίρεσης θα εμφανίζεται στο ψηφίο των μονάδων */
```

```
ld.printDigit(i%10,2); //Υπόλοιπο διαίρεσης
```

```
ld.printDigit(i/10,1); // Διαίρεση της τιμής της μεταβλητής με το 10
```

```
}
```

```
if (buttonSetState == HIGH)
```

```
{  
delay(100);  
j=i; // Εάν πατηθεί το Set καθορίζουμε τη χωρητικότητα του γεμιστήρα. Αυτό υλοποιείται  
ρυθμίζοντας την τιμή της μεταβλητής i με τα button Up και Down και στη συνέχεια πατώντας το button Set.  
ld.printDigit(i%10,2);  
ld.printDigit(i/10,1);  
}  
if (buttonUpState == HIGH & i<99)  
{  
delay(100);  
i=i+1; // Εάν πατηθεί το Up η ένδειξη των πυρομαχικών αυξάνει κατά 1.  
ld.printDigit(i%10,2);  
ld.printDigit(i/10,1);  
}  
if (buttonDownState == HIGH & i>0)  
{  
delay(100);  
i=i-1; // Εάν πατηθεί το Down, η ένδειξη των πυρομαχικών μειώνεται κατά 1.  
ld.printDigit(i%10,2);  
ld.printDigit(i/10,1);  
}  
  
/* Δηλώνουμε την παρακάτω μεταβλητή για να μπορούμε να διαβάσουμε την κατάσταση  
του αισθητήρα σε κάθε κύκλο του προγράμματος */  
  
int hallcountervalue = digitalRead(hallCounter);
```

/* Δομή ελέγχου με την εντολή if για τη λειτουργία του αισθητήρα και την ανίχνευση της κίνησης του άξονα της σφύρας του μηχανισμού της σκανδάλης κατά τη βολή */

```
if (hallcountervalve == HIGH && execute == false && i>0) {
```

```
  i=i-1;
```

```
  k=k+1;
```

```
  ld.printDigit(i%10,2);
```

```
  ld.printDigit(i/10,1);
```

```
  execute = true;
```

```
}
```

```
if (hallcountervalve == LOW && execute==true && i>0) {
```

```
  execute = false;}
```

/* Δομή ελέγχου με την εντολή if για την λειτουργία ειδοποίησης του μαχητή, όταν ο αριθμός των φυσιγγίων εντός του γεμιστήρα είναι μικρότερος ή και ίσος με 3 */

```
if (i<=3 && i>0) {
```

```
  digitalWrite(led, HIGH);
```

```
}
```

```
else {
```

```
  digitalWrite(led, LOW);
```

```
}
```

/* Δομή ελέγχου με την εντολή if για την αποστολή δεδομένων, μέσω σειριακής επικοινωνίας και του Bluetooth module */

```
if (millis() - lastReading >= 5000){
```

```
  lastReading = millis();
```

```
  Serial.print(i);
```

Serial.print(' '); // Χαρακτήρας για τον διαχωρισμό και την αναγνώριση των μεταβλητών i και k από τον κώδικα της εφαρμογής Android.

Serial.print(k);

k=0;}

}

4.3 Ανάπτυξη Android Εφαρμογής

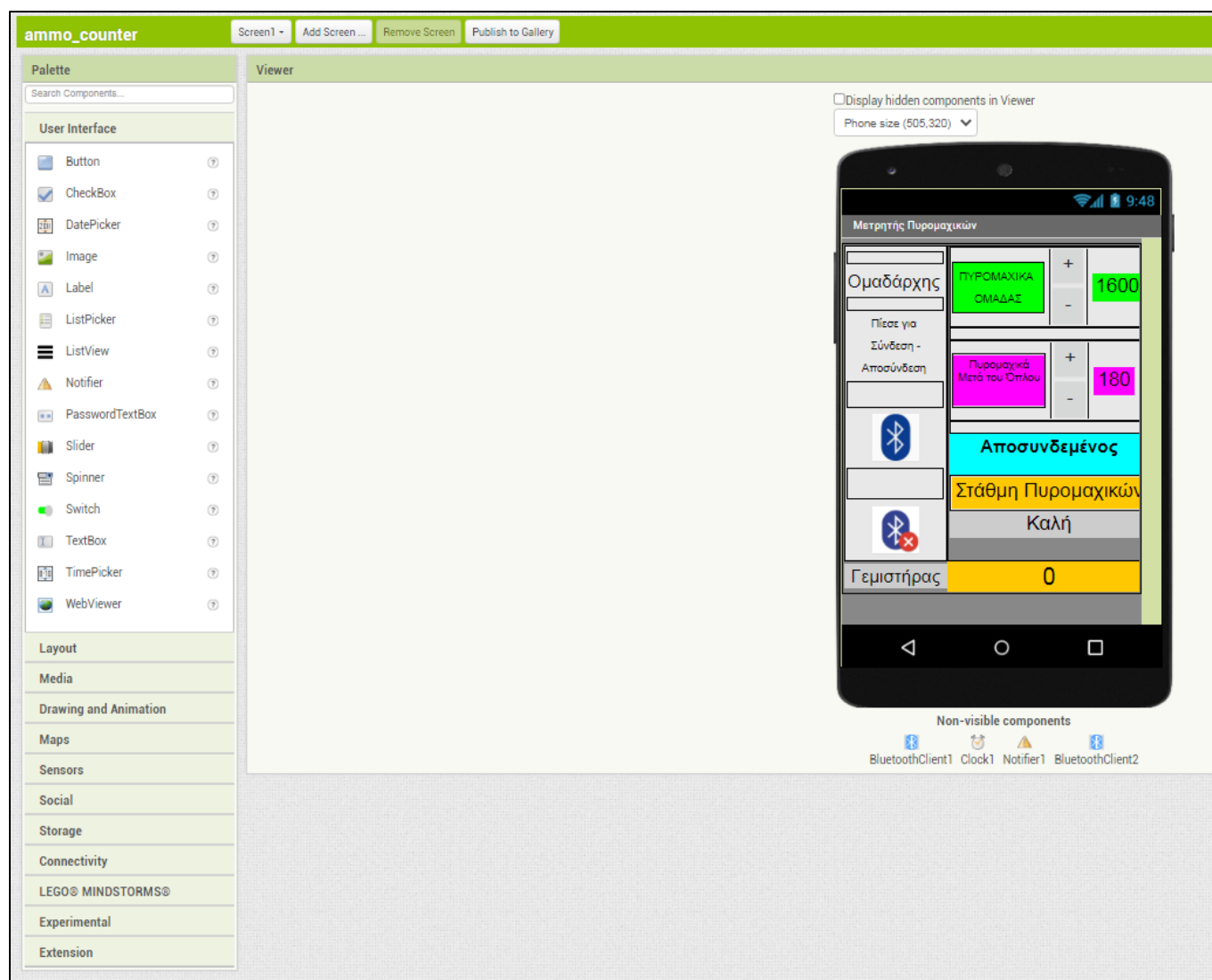
4.3.1 Εισαγωγή

Το AppInventor είναι ένα περιβάλλον οπτικού προγραμματισμού, το οποίο επιτρέπει την ανάπτυξη εφαρμογών για συσκευές με λειτουργικό σύστημα Android. Πρόκειται για μια εφαρμογή ιστού, η οποία αναπτύχθηκε αρχικά από την Google και πλέον συντηρείται από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο Μασαχουσέτης (Massachusetts Institute of Technology – MIT). Η ανάπτυξη των προγραμμάτων γίνεται με πλακίδια, γεγονός που επιτρέπει στο AppInventor να απευθύνεται σε ένα μεγάλο εύρος χρηστών. [56], [58].

4.3.2 Περιγραφή App Inventor 2

Το περιβάλλον ανάπτυξης της εφαρμογής αποτελείται από δύο κύρια εργαλεία, τον Designer και τον Block Editor.

Ο Designer επιτρέπει τη σχεδίαση της διεπαφής της εφαρμογής. Εδώ καθορίζονται τα στοιχεία που θα περιλαμβάνει η εφαρμογή, καθώς και οι αρχικές τιμές των ιδιοτήτων τους. Στην αρχική οθόνη του Designer υπάρχουν 5 περιοχές (Palette, Viewer, Components, Media και Properties), όπως φαίνεται στην εικόνα 4.24. Όσα αντικείμενα αποτελούν μέρος της οπτικής διεπαφής του χρήστη με την εφαρμογή (π.χ. κουμπιά, εικόνες, πλαίσια κειμένου) εμφανίζονται μέσα στην οθόνη, ενώ τα υπόλοιπα, όπως οι αισθητήρες ή τα εργαλεία επικοινωνίας (Bluetooth) εμφανίζονται στο κάτω μέρος της οθόνης, ως Non – Visible Components.



Εικόνα 4.24 Περιβάλλον εργασίας του Designer

Στον Block Editor αναπτύσσεται ο κώδικας της εφαρμογής, που καθορίζει τη λειτουργία και τη συμπεριφορά των αντικειμένων που έχουν προστεθεί στον Designer. Ο προγραμματισμός γίνεται με πλακίδια. Στον block Editor η οθόνη χωρίζεται σε 3 περιοχές, Blocks, Media και Viewer, όπως φαίνεται στην εικόνα 4.25. Στην περιοχή Blocks υπάρχουν όλα τα πλακίδια εντολών που μπορούμε να προσθέσουμε στο πρόγραμμά μας. Το μενού Media χρησιμοποιείται για το ανέβασμα αρχείων εικόνας, ήχου και βίντεο, ενώ η περιοχή Viewer είναι ο χώρος εργασίας όπου σχηματίζεται ο κώδικας, με τα πλακίδια να κου-

μπώνουν μεταξύ τους σχηματίζοντας μπλοκ εντολών. Τέλος η εφαρμογή μας δίνει τη δυνατότητα να αναπτύξουμε κώδικά σε περισσότερες από μία οθόνες.



Εικόνα 4.25 Περιβάλλον εργασίας του Block Editor

4.3.3 Ανάπτυξη Λογισμικού Εφαρμογής

Η ανάπτυξη του κώδικα της εφαρμογής «ammo counter», ακολουθεί τις απαιτήσεις του εννοιολογικού διαγράμματος του λογισμικού της υποπαραγράφου 3.2.3.4 «Σχεδίαση Λογισμικού». Αναλυτικότερα το πρώτο τμήμα του κώδικα περιλαμβάνει τις αρχικοποιήσεις των μεταβλητών και των συσκευών και έχει όπως παρακάτω:

- Αρχικά κάνουμε αρχικοποίηση της καθολικής μεταβλητής global ammo και δημιουργούμε μία άδεια λίστα μέσα στην οποία θα εισάγονται οι τιμές των μεταβλητών που θα λαμβάνονται από το Arduino μέσω του Bluetooth.

initialize global ammo to create empty list

- Στη συνέχεια ακολουθεί ο κώδικας για την αυξομείωση του αριθμού των διαθέσιμων πυρομαχικών.

```

when Αύξηση1.Click
do set Χορηγηθέντα_Ομάδας.Text to Χορηγηθέντα_Ομάδας.Text + 1

when Μείωση1.Click
do set Χορηγηθέντα_Ομάδας.Text to Χορηγηθέντα_Ομάδας.Text - 1

when Αύξηση2.Click
do set Χορηγηθέντα.Text to Χορηγηθέντα.Text + 1

when Μείωση2.Click
do set Χορηγηθέντα.Text to Χορηγηθέντα.Text - 1

```

- Τέλος ο κώδικας για την αρχικοποίηση του Bluetooth έχει ως εξής:

```

when ListPicker1.BeforePicking
do set ListPicker1.Elements to BluetoothClient1.AddressesAndNames

when ListPicker1.AfterPicking
do if call BluetoothClient1.Connect address ListPicker1.Selection
then set ListPicker1.Elements to BluetoothClient1.AddressesAndNames

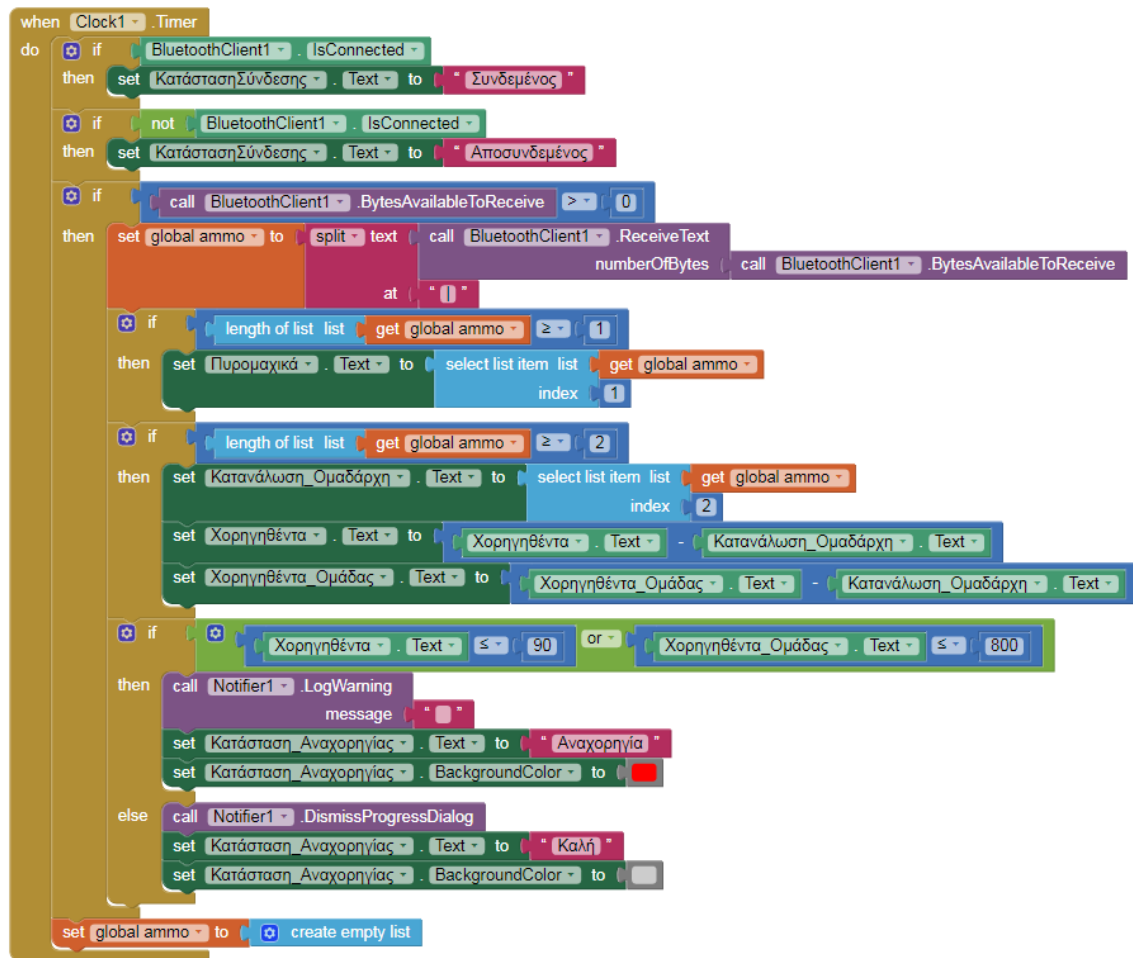
when Bluetooth_disconnect.Click
do call BluetoothClient1.Disconnect

when Screen1.ErrorOccurred
component functionName errorNumber message
do call BluetoothClient1.Disconnect
set ΚατάστασηΣύνδεσης.Text to "Αποσυνδεδεμένος"

```

Για τη λειτουργία της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η συνθήκη «when clock.timer», όπου ο κώδικας εντός της, εκτελείται κάθε 1000 ms. Ο κώδικας εντός της συνθήκης περιλαμβάνει τρεις συνθήκες if. Οι δύο πρώτες αφορούν την ένδειξη της κατάστασης του Bluetooth (ενεργοποιημένο ή απενεργοποιημένο) και η τρίτη τη λειτουργία της εφαρμο-

γής στην περίπτωση που Arduino έχει στείλει σειριακά δεδομένα. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω κώδικα όταν υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από το Bluetooth, αυτά αρχικά διαχωρίζονται με το σύμβολο «|» και στη συνέχεια επιλέγονται για να καθορίσουν την τιμή της καθολικής μεταβλητής. Επίσης στον κώδικα έχει προστεθεί και λειτουργία ειδοποίησης, όταν ο αριθμός των πυρομαχικών πέσει κάτω από μια ορισμένη στάθμη. Τέλος η καθολική μεταβλητή μηδενίζεται για να λάβει νέες ενημερωμένες τιμές.

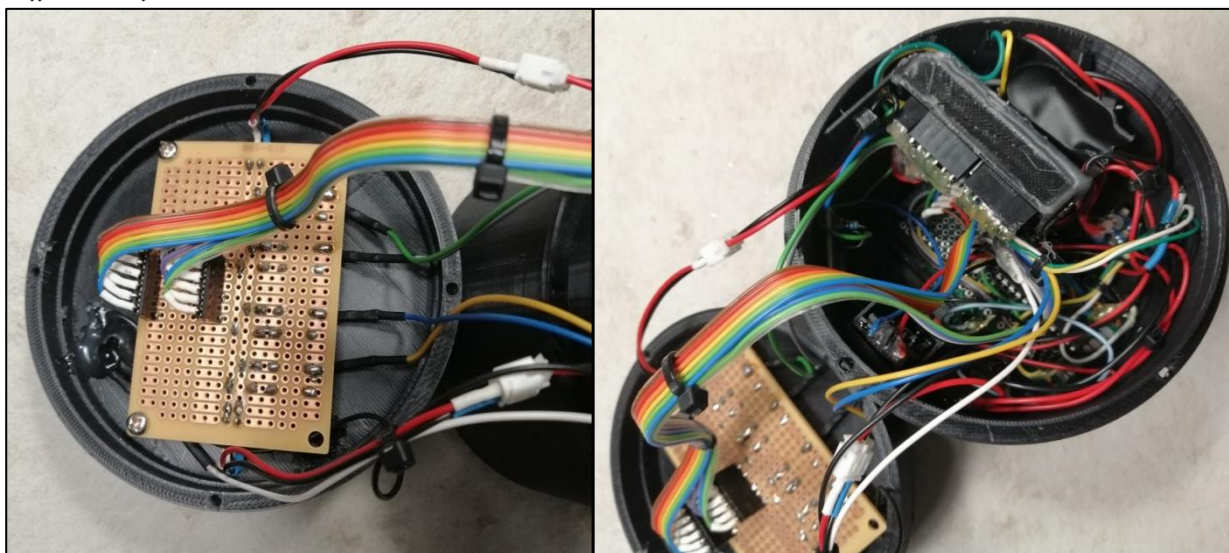


4.4 Έλεγχος/Δοκιμή

Για τον πλήρη έλεγχο του συστήματος του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3, πέρα από τη δοκιμή του βάσης των καταγεγραμμένων προδιαγραφών, ο μετρητής αξιολογήθηκε και σε επιμέρους ελέγχους για να εξακριβωθεί η λειτουργία και αξιοπιστία του σε

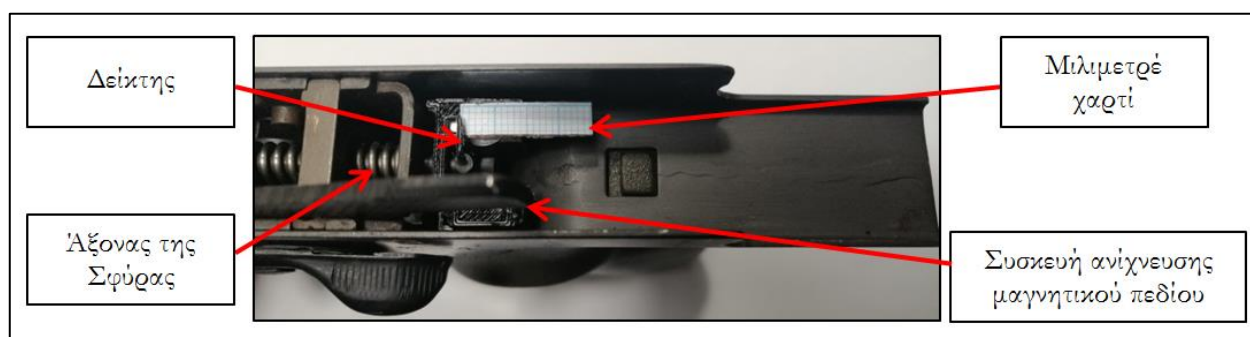
ακραίες καταστάσεις περιβάλλοντος εργασίας, όπως μηχανικές καταπονήσεις, κραδασμοί, καιρικές συνθήκες κ.λπ..

Στην εικόνα 4.26 φαίνεται η συσκευή απεικόνισης με συνδεδεμένα όλα τα υποσυστήματα της.



Εικόνα 4.26 Σύνδεση υποσυστημάτων συσκευής απεικόνισης

Για τον έλεγχο της λειτουργίας του μαγνητικού αισθητήρα, που είναι τοποθετημένος εντός του μηχανισμού της σκανδάλης, χρησιμοποιήθηκε η διάταξη της εικόνας 4.26. Πάνω στον άξονα της σφύρας τοποθετήθηκε ένας δείκτης και στο σώμα της κατασκευής του μαγνητικού αισθητήρα ένα κομμάτι μιλιμετρέ χαρτί. Στο Arduino φορτώθηκε κώδικας, ώστε να μπορεί να υπολογίσει την μεταβολή της τάσης και της έντασης του μαγνητικού πεδίου συναρτήσει της μετατόπισης του άξονα της σφύρας.



Εικόνα 4.27 Διάταξη μέτρησης της μεταβολής της μαγνητικής ροής

Ο κώδικας για τις πειραματικές μετρήσεις που φορτώθηκε στο Arduino έχει όπως παρακάτω:

const int pinHall = A0; //Ορισμός καθολικής μεταβλητής «pinHall» για την μέτρηση της εξόδου του αισθητήρα Hall, στην αναλογική θύρα A0.

void setup() {

pinMode(pinHall, INPUT); // Καθορισμός του ακροδέκτη A0, ως εισόδου.

Serial.begin(9600); // Αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας.

}

void loop() {

float measure = analogRead(pinHall); // Ορίζουμε τη μεταβλητή «float measure» για να μπορούμε να μετράμε τις τιμές του αισθητήρα από την αναλογική είσοδο A0.

float outputV = measure * 5.0 / 1023; //Η αναλογική είσοδος/έξοδος δίνει ή δέχεται τιμές από 0 έως 1023, οπότε για να μετατρέψουμε αυτό το εύρος, σε μετρήσιμη τάση με εύρος από 0 έως 5V, διαιρούμε το 5 με το 1023 και πολλαπλασιάζουμε με την τρέχουσα τιμή του αισθητήρα.

Serial.println("Output Voltage = ");

Serial.print(outputV); //Εκτύπωση του αποτελέσματος της τιμής της τάσης σε mV στη σειριακή οθόνη του προγράμματος Arduino IDE.

Serial.println("V");

/ Δομή ελέγχου με την εντολή if για την αποστολή δεδομένων, μέσω σειριακής επικοινωνίας και του Bluetooth module flux density */*

float magneticFlux = (outputV - 2.5)/0.0015; //η εξίσωση του κώδικα προκύπτει από το διάγραμμα της συνάρτησης μεταφοράς του αισθητήρα (γραμμική τύπου $S=a+bs$) της ει-
κόνας 4.10.

Serial.println("Magnetic Flux Density = ");

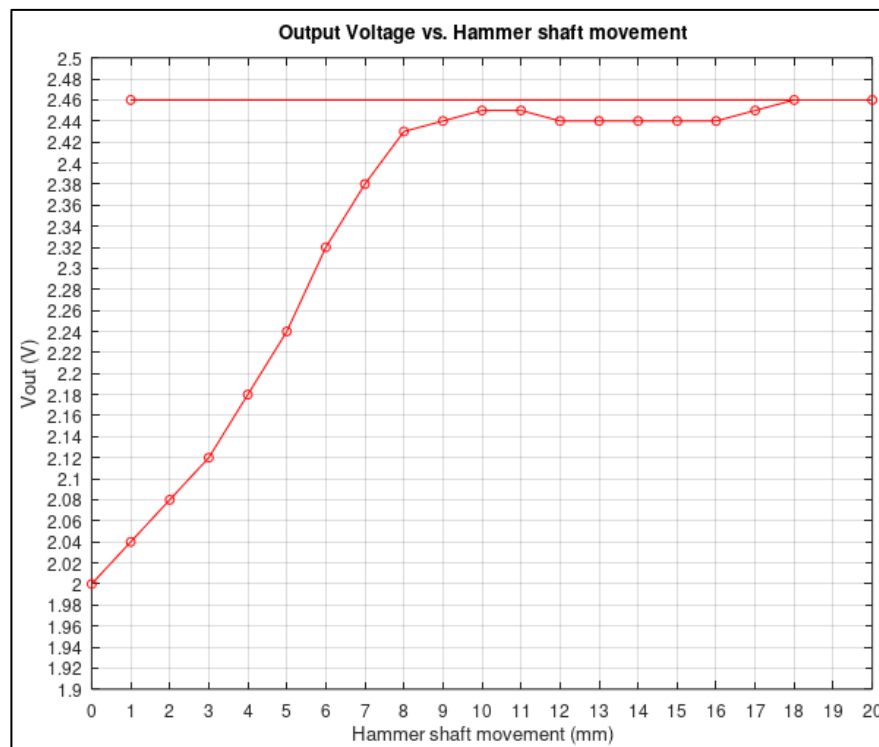
Serial.print(magneticFlux);

```
Serial.println(" G");  
delay(2000);  
}
```

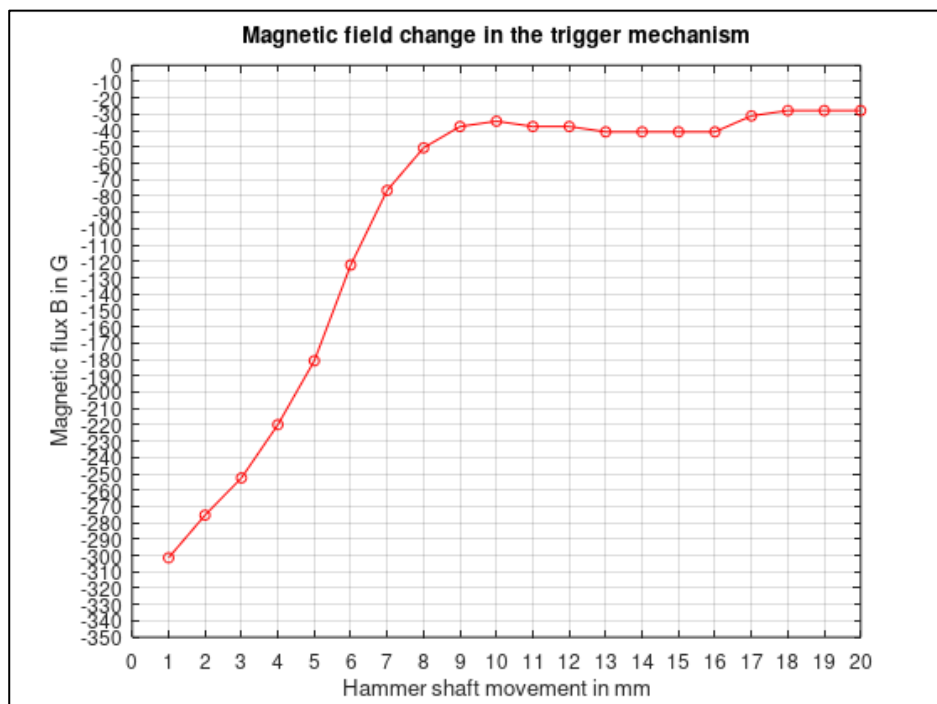
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων φαίνονται στις εικόνες 4.28 και 4.29.

Στο διάγραμμα της τάσης εξόδου του αισθητήρα σε συνάρτηση με την κίνηση του άξονα της σφύρας εντός της συσκευής ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου παρατηρούμε ότι, η καμπύλη της τάσης αυξάνει μέχρι τα 11 mm και στη συνέχεια ο αισθητήρας φθάνει σε κορεσμό.

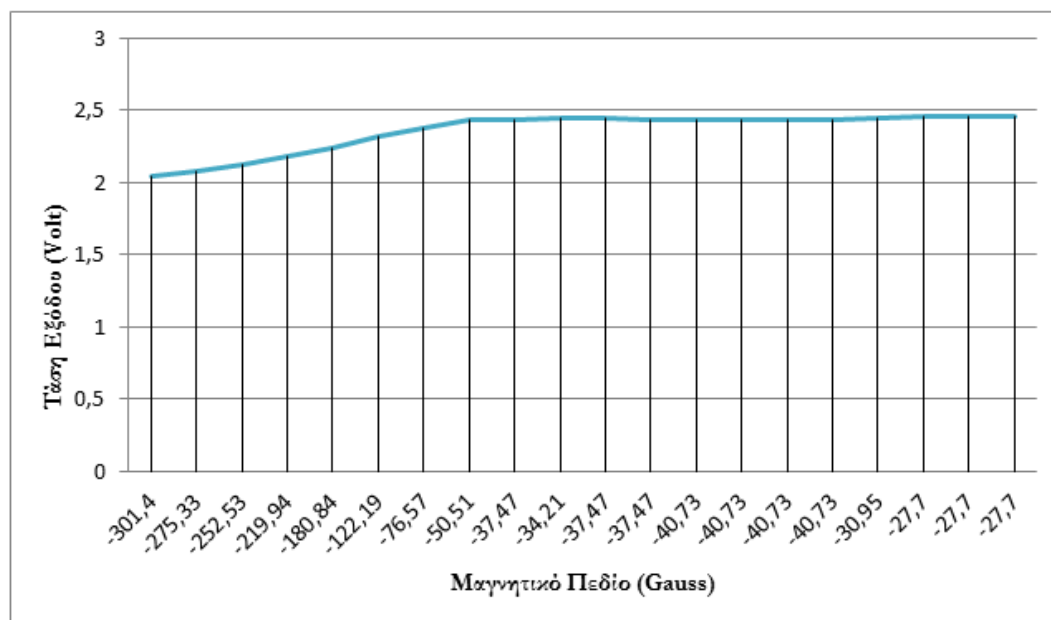
Όμοια αποτελέσματα έχουμε και στο διάγραμμα της μαγνητικής ροής σε συνάρτηση με την κίνηση του άξονα της σφύρας εντός της συσκευής ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου, όπου η τιμή της έντασης του μαγνητικού πεδίου αυξάνεται μέχρι τα 11 mm και στη συνέχεια ο αισθητήρας φθάνει σε κορεσμό, ενώ στην εικόνα 4.30 από το διάγραμμα της τάσης εξόδου σε συνάρτηση με την μαγνητική ροή επιβεβαιώνεται η γραμμικότητα του αισθητήρα.



Εικόνα 4.28 Διάγραμμα της τάσης εξόδου συναρτήσει της κίνησης του άξονα της σφύρας



Εικόνα 4.29 Διάγραμμα της μαγνητικής ροής συναρτήσει της κίνησης του άξονα της σφύρας



Εικόνα 4.30 Διάγραμμα της τάσης εξόδου συναρτήσει της μαγνητικής ροής

4.5 Αξιολόγηση

Η αξιολόγηση του μετρητή πυρομαχικών υλοποιήθηκε σε δύο φάσεις, ενώ οι δοκιμές λειτουργίας του πραγματοποιήθηκαν σε πεδίο βολής, για λόγους ασφαλείας.

- Στην πρώτη φάση της αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκαν αβολίδωτα φυσίγγια, για να διαπιστωθούν, πρώτον η λειτουργία του τυφεκίου μετά την προσθήκη της συσκευής μέτρησης του μαγνητικού πεδίου στο μηχανισμό της σκανδάλης και δεύτερον η ανταπόκριση της συσκευής στις προδιαγραφές που τέθηκαν κατά τη σχεδιάσή της. Από τις δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν διαπιστώθηκαν τα παρακάτω:

- Η λειτουργία του μετρητή κατά τη φάση της αρχικοποίησης ήταν σύμφωνη με τις προδιαγραφές, χωρίς να παρουσιάζει προβλήματα ή δυσλειτουργίες.

- Σφάλμα στη μέτρηση του μετρητή, της τάξης του 30%, κατά τις βολές, όπου κατά τη πυροδότηση 20 φυσιγγίων, ο μετρητής κατάφερε να μετρήσει τα 14 φυσίγγια. Το παραπάνω πρόβλημα εντοπίστηκε ότι οφείλεται στη σχεδίαση της συσκευής ανίχνευσης, όπου και τροποποιήθηκε η θέση του Hall Effect.

- Ισχυροί κραδασμοί στο εσωτερικό του μηχανισμού της σκανδάλης, που οφείλονται κυρίως κατά την κρούση της σφύρας στον επικρουστήρα κατά την πυροδότηση του φυσιγγίου και οι οποίοι επηρέαζαν τη λειτουργία του μετρητή. Το παραπάνω πρόβλημα επιλύθηκε, όπως προαναφέρθηκε με τη χρήση νήματος 3D «Flex» και από τη θωράκιση του καλωδίου (περίβλημα αλουμινίου και συνεστραμμένα καλώδια) που συνδέει τη συσκευή μέτρησης και τη συσκευή απεικόνισης.

- Η δεύτερη φάση της αξιολόγησης πραγματοποιήθηκε σε πεδίο βολής με πραγματικά πυρά, όπου οι μετατροπές της πρώτης φάσης επίλυσαν τα τεχνικά προβλήματα και διαπιστώθηκε η σωστή λειτουργία του μετρητή, σύμφωνα με τις απαιτήσεις και προδιαγραφές που τέθηκαν. **Αξιοσημείωτο** είναι το γεγονός ότι, ο μετρητής πυρομαχικών και η εφαρμογή κατά την διάρκεια των δοκιμών δεν παρουσίασαν καμία δυσλειτουργία.

4.6 Δημιουργία Προτύπου

Με την ολοκλήρωση της φάσης της αξιολόγησης, έχουμε τη δημιουργία του προτύπου. Στην συγκεκριμένη εργασία, το πρότυπο δεν θεωρείται μια έτοιμη συσκευή, που πληροί τις προδιαγραφές για να χρησιμοποιηθεί σε συνθήκες μάχης, αλλά η επιτυχής τεχνική ολοκλήρωση μιας θεωρητικής ιδέας. Για την παραγωγή της συγκεκριμένης συσκευής, αλλά πόσο μάλλον τη χρήση της από τις ΕΔ, θα πρέπει να επανασχεδιαστούν το περίβλημα και η βάση στήριξης της συσκευής απεικόνισης, αλλά και η ηλεκτρονική διάταξη, ώστε να αποκτήσει η συσκευή τις στρατιωτικές προδιαγραφές και να μειωθεί το μέγεθός της.

Το ολοκληρωμένο πρότυπο του μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3, παρουσιάζεται στην εικόνα 4.31.



Εικόνα 4.31 Πρότυπο μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας, με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, δημιουργήθηκε ένας λειτουργικός μετρητής πυρομαχικών για το τυφέκιο εφόδου G3. Φυσικά, οι αρχές λειτουργίας του μπορούν να εφαρμοστούν και σε άλλα οπλικά συστήματα, με την κατάλληλη διαμόρφωση της συσκευής ανίχνευσης του μαγνητικού πεδίου.

Σκοπός της εργασίας ήταν να παρουσιάσει στον αναγνώστη βήμα προς βήμα, την ανάγκη, τη θεωρία και τη μεθοδολογία για τη δημιουργία ενός συστήματος μέτρησης πυρομαχικών, που θα ενσωματωθεί στο σύγχρονο εξοπλισμό των «Μαχητών» των ΕΔ.

Έτσι, λοιπόν, στο πλαίσιο αυτό παρουσιάστηκαν στο 1^ο κεφάλαιο οι εξελίξεις στον τομέα του ατομικού εξοπλισμού των στρατιωτών, όπου και διαπιστώθηκε η ανάγκη για την ενσωμάτωση ενός τέτοιου συστήματος, καθώς αποφέρει σημαντικά οφέλη στην επιχειρησιακή λειτουργία της ομάδας μάχης. Επίσης στο 2^ο και 3^ο κεφάλαιο αναπτύχθηκε η θεωρία και οι απαιτούμενες διαδικασίες για την ολοκλήρωση του εγχειρήματος. Τέλος στο 4^ο κεφάλαιο, παραθέτονται οι τεχνικές προδιαγραφές, η σχεδίαση, η κατασκευή, η δοκιμή και η αξιολόγηση του προτύπου του μετρητή.

Από τις δοκιμές και την αξιολόγηση του προτύπου του μετρητή πυρομαχικών προκύπτουν τα κάτωθι:

- Η μέτρηση πυρομαχικών με τη χρήση αισθητήρων φαινομένου Hall είναι εφικτή και αξιόπιστη.
- Διαπιστώθηκε ότι, οι αισθητήρες Hall επηρεάζονται από τους κραδασμούς κατά ένα μικρό ποσοστό, όμως με τις κατάλληλες διατάξεις το φαινόμενο αυτό είναι αντιμετωπίσιμο.
- Μετά από διορθωτικές παρεμβάσεις, κυρίως στην κατασκευή του μετρητή, το ποσοστό σφάλματος του μετρητή είναι σχεδόν μηδενικό.

Για την επιχειρησιακή αξιοποίηση του παραπάνω προτύπου παραθέτονται οι παρακάτω σκέψεις:

➤ Ο μετρητής πυρομαχικών αποτελεί πρότυπο εργασίας και όχι συσκευή που πληροί προδιαγραφές για τη χρήση του από τις ΕΔ. Απαιτείται, λοιπόν επανασχεδίαση του περιβλήματος, της βάσης στήριξης της συσκευής απεικόνισης, αλλά των ηλεκτρονικών διατάξεων, ώστε να αποκτήσει η συσκευή τις στρατιωτικές προδιαγραφές και να μειωθεί το μέγεθός της.

➤ Εκτιμάται ότι, η μεταφορά των ηλεκτρονικών διατάξεων στο εσωτερικό της πιστολοειδούς λαβής, η κατάργηση της συσκευής απεικόνισης και η αντικατάσταση της με «έξυπνα» πολυλειτουργικά γυαλιά που προσαρμόζονται επί του κράνους, αποτελεί καλύτερη επιχειρησιακή αξιοποίηση της ιδέας του μετρητή πυρομαχικών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] https://en.wikipedia.org/wiki/Land_Warrior
- [2] <https://asianmilitaryreview.com/2018/02/sensors-working-overtime/>
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/Ratnik_\(program\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Ratnik_(program))
https://www.armyrecognition.com/russia_russian_military_field_equipment/ratnik_future_soldier_individual_soldier_combat_gear_system_technical_data_sheet_specifications_pictures_video_12205165.html
- [4] https://www.armyrecognition.com/weapons_defence_industry_military_technology_uk/roster_details_new_exoskeletons.html
- [5] <https://militarymachine.com/ratnik-3/>
- [6] <https://en.wikipedia.org/wiki/FÉLIN>
https://www.armyrecognition.com/france_french_army_military_equipment_uk/felin_sagem_future_soldier_infantry_equipment_soldier_gear_technical_data_sheet_specifications_uk.html
- [7] <https://en.wikipedia.org/wiki/FÉLIN>
- [8] <https://asianmilitaryreview.com/2018/02/sensors-working-overtime/>
- [9] <https://www.soldiermod.com/volume-4/felin-sagem.html>
- [10] <https://www.safran-electronics-defense.com/land-defense/infantry/neofelis-integrated-system-dismounted-soldiers>
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Future_Integrated_Soldier_Technology
- [12] <https://defence.pk/pdf/threads/global-future-soldier-programs.279003/>
- [13] <https://www.army-technology.com/projects/fist/>
- [14] https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/272203/6697.pdf
- [15] https://www.armyrecognition.com/dvd_2010_defense_actualites_news_pictures_video/index.php
https://www.armyrecognition.com/dsei_2017_news_online_show_daily_coverage_report_u/rheinmetall_from_germany_introduces_new_gladius_2.0_soldier_system_dsei_2017.html
- [16] https://www.rheinmetall-defence.com/en/rheinmetall-defence/public_relations/themen_im_fokus/gladius/
- [17]

- [20] https://en.wikipedia.org/wiki/Infanterist_der_Zukunft
https://www.armyrecognition.com/october_2011_news_defense_army_military_industry/norwegian_defence_mod_choose_thales_for_realisation_of_normans_digitised_soldier_system_0410113.html
- [21] https://www.armyrecognition.com/may_2018_global_defense_security_army_news_industry/future_soldier_system_for_malaysian_army.html
- [22] https://www.aselsan.com.tr/CENKER_Soldier_Command_and_Control_System_4767.pdf
- [23] <https://defencereview.gr/to-diko-tis-stratioti-toy-mellontos-paroysiase-i-malaisia/>
- [24] https://www.pronews.gr/amyna-asfaleia/toyrkia/614368_o-toyrkos-stratiotis-toy-mellontos-apo-tin-gnosti-etairia-aselsan
- [25] <https://www.defenceturkey.com/en/content/cenker-tested-at-egirdir-mountain-commando-school-3840>
- [26] https://www.aselsan.com.tr/Askeri_Yuruyus_Asistani_1242.pdf
- [27] <https://defence-blog.com/news/army/aselsan-debuts-new-asya-exoskeleton-system.html>
- [28] <https://www.amyntika.gr/to-programma-mellontikos-ellinas-machitis-ke-i-elliniki-amintiki-viomichania/>
- [29] <https://www.amyntika.gr/to-programma-mellontikos-ellinas-machitis-ke-i-elliniki-amintiki-viomichania/>
- [30] *Επικαιρά, Τεύχος 206, 26/09-02/10/2013*
- [31] <http://defenceline.gr/index.php/enoples-dynameis/stratos-kshras/item/3440-pezikio>
- [32] *ΕΕ 7-61, Το Τυφέκιο G3A3 – A4, ΓΕΣ/ΔΕΚΠ/Φεβρουάριος 2010*
- [33] https://www.radetecusa.com/wp-content/uploads/2020/04/QuickStart_DigitalAR15-1-1.pdf
- [34] <https://adsinc.com/latest-round-counter-tech-secubit/>
- [35] <https://weaponlogic.ai>
- [36] [United States Army Natick Soldier Research,
https://www.wired.com/images_blogs/dangerroom/2009/05/dplus2009_11641-1.pdf](https://www.wired.com/images_blogs/dangerroom/2009/05/dplus2009_11641-1.pdf)
- [37] *Bonnie, Hahn Robert II and Jezior. Urban Warfare and the Urban Warfighter of 2025 .Washington: Parameters,1999*
- [38] <https://www.soldiermod.com/volume-22/pdfs/articles/programmes-overview-jan-2019.pdf>
- [39] <https://www.soldiermod.com/volume-22/pdfs/articles/programmes-overview-jan-2019.pdf>

- [40] <https://www.te.com/content/dam/te-com/documents/aerospace-defense-and-marine/white-papers/future-soldier-systems-matt-mcalonis-whitepaper.pdf>
- [41] Π.Ν. Παρασκευόπουλος (2007), Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Θεωρία και Εφαρμογές, Τόμος Α, ΣΑΕ Συνεχούς Χρόνου.
- [42] Δρ. Κωνσταντίνος Καλοβρέκτης, Δρ. Νικόλαος Κατέβας (3^η Έκδοση), Αισθητήρες Μέτρησης και Ελέγχου, Ηλεκτρικές Μετρήσεις, Τεχνολογία Μετρήσεων.
- [43] www.kallipos.gr, Αναστάσιος Πουλιέζος (2015), Σύγχρονη Θεωρία Ελέγχου, ISBN:978-960-603-027-7
- [44] https://en.wikipedia.org/wiki/Systems_theory
- [45] Ι. Γ. Βλαχογιάννη, Δ. Α. Παπαχρήστου, Γ. Ε. Χαμηλοθώρη, Εισαγωγή στον Αυτόματο Έλεγχο, Αυτοματισμοί Πλοίων, Ίδρυμα Ευγενίδου, 2009
- [46] <https://el.wikipedia.org/wiki/Αισθητήρας>
- [47] http://www.hep.upatras.gr/class/download/download/ais_mik_sis_sil_ded/sensornotes.pdf, Αθανάσιος Α. Αργυρίου, 2004, Αισθητήρες Ημιαγωγών, Αισθητήρες Θερμικοί, μηχανικοί, μαγνητικοί, αισθητήρες ακτινοβολίας και χημικοί αισθητήρες
- [48] Ogata K., Modern Control Engineering (5th Ed), Prentice Hall, 2009
- [49] Dorf R.C., Bishop R.H., Σύγχρονα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου, Εκδόσεις Τζιόλα, 12^η Έκδοση, 2016
- [50] https://en.wikipedia.org/wiki/PID_controller
- [51] <https://sensing.honeywell.com/hallbook.pdf>
- [52] https://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect
- [53] https://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hall#Biography
- [54] <https://docplayer.gr/126138261-3-fysiki-ton-imiagogon.html>, Σημειώσεις Μαθήματος, Φυσική των Ημιαγωγών & Διατάξεων, Δ. Τριάντης
- [55] <https://www.allegromicro.com/en/insights-and-innovations/technical-documents/hall-effect-sensor-ic-publications/hall-effect-ic-applications-guide>
- [56] Παναγιώτης Παπάζογλου M.Sc, ph.D., Σπύρος – Πολυχρόνης Λιώνης M.Sc., 2^η Έκδοση (2018), Ανάπτυξη Εφαρμογών με το Arduino.
- [57] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [58] https://en.wikipedia.org/wiki/App_Inventor_for_Android
- [59] <https://www.arduino.cc>
- [60] <https://learnelectronics.gr/oi-οδηγοι-led-ντισπλέι-max7219-και-max7221/>

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Κεφάλαιο 1°

Εικόνα 1.1 Εξοπλισμός «Land Warrior», όπως παρουσιάστηκε από το Στρατό των ΗΠΑ το 2006.....	6
Εικόνα 1.2 Χρήση του εξοπλισμού «Land Warrior» στο Ιράκ τον Ιούλιο του 2007.....	6
Εικόνα 1.3 Πλακέτα «Ethernet Audio Interface» της Tech-sol.....	8
Εικόνα 1.4 Προηγμένο σύστημα μάχης «Ratnik-3» με προσαρμοσμένο εξωσκελετό (Army-2017 defense exhibition).....	9
Εικόνα 1.5 Εξοπλισμός «Ratnik».....	10
Εικόνα 1.6 Σύστημα «Strelets».....	10
Εικόνα 1.7 Αντιβαλλιστικό γιλέκο «6B45» με κεραμικές πλάκες.....	11
Εικόνα 1.8 Εξοπλισμός συστήματος «FELIN».....	12
Εικόνα 1.9 «FELIN» Δυνατότητα βολής πίσω από τη θέση μάχης.....	12
Εικόνα 1.10 Φορητός υπολογιστής συστήματος «FELIN».....	12
Εικόνα 1.11 Στολή μάχης «FELIN».....	13
Εικόνα 1.12 Στρατιώτες με εξοπλισμό «FELIN».....	13
Εικόνα 1.13 «FELIN» Νέο εργονομικό κράνος.....	14
Εικόνα 1.14 «FELIN» Πολυλειτουργικά κιάλια υπερέθρων (JIM MR).....	14
Εικόνα 1.15 Στολή μάχης «FELIN».....	15
Εικόνα 1.16 Στρατιώτες με εξοπλισμό συστήματος.....	16
Εικόνα 1.17 Δοκιμή εξοπλισμού «FIST» στο πεδίο.....	17
Εικόνα 1.18 Εξοπλισμός μάχης μελλοντικού Βρετανού στρατιώτη, Millbrook defense exhibition, June 2010.....	17
Εικόνα 1.19 Στρατιώτες με εξοπλισμό «Idz - Gladius».....	18
Εικόνα 1.20 «Idz - Gladius» Ολοκληρωμένο σύστημα IC4U.....	18
Εικόνα 1.21 Διαθέσιμος εξοπλισμός συστήματος «Idz - Gladius».....	19
Εικόνα 1.22 Ψηφιακό σύστημα στρατιωτών «NORMANS».....	19
Εικόνα 1.23 Στρατιώτες με εξοπλισμό «NORMANS», DSEi 2011 defense & security technology exhibition, London.....	20

Εικόνα 1.24 «Στρατιώτης του Μέλλοντος», Sapura Defense, Μαλαισία.....	21
Εικόνα 1.25 Σύστημα «CENKER, TEK-ER», της Aselsan.....	21
Εικόνα 1.26 Στρατιώτες με εξοπλισμό «CENKER, TEK-ER».....	22
Εικόνα 1.27 Τακτικό σύστημα κινήσεως ASYA, της Aselsan.....	22
Εικόνα 1.28 Σύστημα «CENKER, TEK-ER», της Aselsan.....	23
Εικόνα 1.29 Προστατευτικός εξοπλισμός του Έλληνα Στρατιώτη.....	24
Εικόνα 1.30 Ομάδα μάχης Πεζικού, Σχολή Εφέδρων Αξιωματικών Πεζικού, 2015..	25
Εικόνα 1.31 Το τυφέκιο G3A3.....	26
Εικόνα 1.32 Κύρια μέρη Τυφεκίου G3.....	28
Εικόνα 1.33 Αποσφήνωση κλειστρου Τυφεκίου G3.....	29
Εικόνα 1.34 Σφηνωμένο κλειστρο Τυφεκίου G3.....	29
Εικόνα 1.35 Μοχλός πυρός και ασφαλείας στη θέση ασφαλείας «Α» ή «0».....	30
Εικόνα 1.36 Ο μηχανισμός της σκανδάλης στη θέση «Α» ή «0».....	30
Εικόνα 1.37 Σχαστηρία.....	31
Εικόνα 1.38 Θέση σχαστηρίας κατά την αρχική πίεση της σκανδάλης.....	31
Εικόνα 1.39 Απελευθέρωση της σφύρας.....	32
Εικόνα 1.40 Θέση μηχανισμού μετά την πυροδότηση.....	32
Εικόνα 1.41 Ο μηχανισμός σε θέση βολής κατά ριπές.....	33
Εικόνα 1.42 Ομάδα μάχης με αναβαθμισμένα τυφέκια G3A3 του Δ' Σώματος Στρατού από κονδύλια του ΓΕΣ.....	34
Εικόνα 1.43 Αναβαθμισμένο τυφέκιο G3A3 του Δ' Σώματος Στρατού.....	35
Εικόνα 1.44 Ψηφιακός μετρητής της RADETEC σε πιστόλι Beretta 92 FS και στο τυφέκιο AR15/M16.....	36
Εικόνα 1.45 Απάρτια του ψηφιακού μετρητή της RADETEC για το τυφέκιο AR15/M16.....	36
Εικόνα 1.46 Υποσυστήματα ψηφιακού μετρητή της RADETEC για το τυφέκιο AR15/ M16.....	37
Εικόνα 1.47 Αισθητήρες RFID satellite και Weapon Logic Hub της Secubit.....	38
Κεφάλαιο 2°	
Εικόνα 2.1 Ο ρυθμιστής του Ήρωος του Αλεξανδρέως.....	42
Εικόνα 2.2 Ο φυγοκεντρικός ρυθμιστής ταχύτητας του Watt.....	42
Εικόνα 2.3 Νοητός διαχωρισμός συστήματος με το περιβάλλον.....	44

Εικόνα 2.4 Συμπεριφορά του συστήματος.....	45
Εικόνα 2.5 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος με είσοδο και έξοδο.....	46
Εικόνα 2.6 Βασικά στοιχεία δομής ενός συστήματος.....	46
Εικόνα 2.7 Διάγραμμα συστήματος ανοικτού βρόγχου.....	47
Εικόνα 2.8 Έλεγχος εντάσεως ραδιοφώνου.....	48
Εικόνα 2.9 Διάγραμμα συστήματος κλειστού βρόγχου.....	48
Εικόνα 2.10 Το θερμοσίφωνο ως σύστημα κλειστού βρόγχου.....	49
Εικόνα 2.11 Διάγραμμα μπλοκ ελεγκτή PID.....	50
Εικόνα 2.12 Απόκριση συστήματος ελέγχου PID σε βηματική συνάρτηση.....	50
Εικόνα 2.13 Απόκριση συστήματος ελέγχου PID σε βηματική συνάρτηση εισόδου με επίδραση του όρου ολοκλήρωσης K_I και με σταθερούς τους όρους K_P και K_D	51
Εικόνα 2.14 Μοντέλο προσαρμοστικού ελέγχου.....	52
Εικόνα 2.15 Μοντέλο αυτορυθμιζόμενου προσαρμοστικού ελέγχου.....	53
Εικόνα 2.16 Δομή ενός συστήματος PLC.....	53
Εικόνα 2.17 Στάδια δημιουργίας προτύπου ενός συστήματος.....	55
Εικόνα 2.18 Συστατικά στοιχεία του εννοιολογικού χάρτη.....	55
Εικόνα 2.19 δομή ενός εννοιολογικού χάρτη κατά Novak & Gowin.....	55
Εικόνα 2.20 Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς αισθητήρα θερμικής ακτινοβολίας.....	59
Εικόνα 2.21 Εύρος πλήρους κλίμακας εξόδου συνάρτησης μεταφοράς.....	60
Εικόνα 2.22 Σφάλμα βαθμονόμησης.....	62
Εικόνα 2.23 Καμπύλη Υστέρησης.....	62
Εικόνα 2.24 Παράδειγμα διακριτικής ικανότητας οπτικού κωδικοποιητή.....	63
Εικόνα 2.25 Σημείο εμφάνισης κορεσμού.....	64
Εικόνα 2.26 Καμπύλη με εμφάνιση νεκρής ζώνης.....	64
Εικόνα 2.27 Σύνδεση αισθητήρα σε κύκλωμα, (Α) Σύνδεση τάσης, (Β) Σύνδεση ρεύματος.....	65
Εικόνα 2.28 Καμπύλη χρόνου απόκρισης αισθητήρα.....	66
Εικόνα 2.29 Ολίσθηση αισθητήρα λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας.....	67
Κεφάλαιο 3°	
Εικόνα 3.1 Εμφάνιση του φαινομένου Hall σε μεταλλικό αγωγό.....	70

Εικόνα 3.2 Τυπική διάταξη βασικού αισθητήρα Hall.....	72
Εικόνα 3.3 Η έννοια της μηδενικής τάσης.....	73
Εικόνα 3.4 Έξοδος απλού αναλογικού αισθητήρα Hall.....	74
Εικόνα 3.5 Γραφική παράσταση συνάρτησης μεταφοράς αναλογικού αισθητήρα Hall.....	75
Εικόνα 3.6 Τυπική διάταξη αισθητήρα Hall τύπου κατωφλιού/ψηφιακός.....	76
Εικόνα 3.7 Υστέρηση αισθητήρα Hall τύπου κατωφλιού/ψηφιακός.....	77
Εικόνα 3.8 Ψηφιακός αισθητήρας Hall.....	77
Εικόνα 3.9 Έξοδος μονοπολικού ψηφιακού αισθητήρα Hall.....	79
Εικόνα 3.10 Έξοδος διπολικού ψηφιακού αισθητήρα Hall.....	79
Εικόνα 3.11 Γενικό σύστημα φαινομένου Hall.....	80
Εικόνα 3.12 Σχέση απόστασης – μαγνητικής ροής σε κίνηση κάθετη προς το διαμήκη άξονα του αισθητήρα Hall.....	81
Εικόνα 3.13 Σχέση απόστασης – μαγνητικής ροής σε κίνηση παράλληλη προς το διαμήκη άξονα του αισθητήρα Hall.....	81
Εικόνα 3.14 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Slide-by Mode».....	83
Εικόνα 3.15 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Slide-by Mode (Ring Magnet)».....	83
Εικόνα 3.16 (α) Μαγνητική ροή με προσθήκη «pole piece», (β) Αύξηση μαγνητικής ροής για δεδομένη απόσταση, (γ) Ενεργοποίηση αισθητήρα σε μεγαλύτερη απόσταση με δεδομένη μαγνητική ροή.....	84
Εικόνα 3.17 Μονοπολική Διάταξη - Λειτουργία «Head-On».....	85
Εικόνα 3.18 Διπολική Διάταξη - Λειτουργία «Head-On».....	85
Εικόνα 3.19 Εφαρμογές αισθητήρων φαινομένου Hall.....	86
Εικόνα 3.20 Εννοιολογικό διάγραμμα συστήματος μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3.....	87
Εικόνα 3.21 Αρχιτεκτονική συστήματος μετρητή πυρομαχικών G3.....	93
Εικόνα 3.22 Κατασκευή υποδοχής συσκευής ανίχνευσης μαγνητικού πεδίου.....	95
Εικόνα 3.23 Κατασκευή υποδοχής υποσυστημάτων συσκευής απεικόνισης.....	95
Εικόνα 3.24 Κατασκευή βάσης στήριξης συσκευής απεικόνισης.....	95
Εικόνα 3.25 Εννοιολογικό διάγραμμα αρχιτεκτονικής του λογισμικού.....	96
Κεφάλαιο 4°	
Εικόνα 4.1 Ο «χάρτης» του Arduino Uno.....	99
Εικόνα 4.2 Το Arduino Mega 2560 REV3.....	100

Εικόνα 4.3 Το Arduino Leonardo.....	102
Εικόνα 4.4 Το Arduino Micro.....	104
Εικόνα 4.5 Το Arduino Nano.....	105
Εικόνα 4.6 Το Arduino Lilypad.....	106
Εικόνα 4.7 Ηλεκτρονικά εξαρτήματα μετρητή πυρομαχικών G3.....	107
Εικόνα 4.8 Ακροδέκτες αισθητήρα AH49E.....	108
Εικόνα 4.9 Λειτουργικό διάγραμμα αισθητήρα AH49E.....	109
Εικόνα 4.10 Χαρακτηριστικά συνάρτησης μεταφοράς αισθητήρα AH49E.....	109
Εικόνα 4.11 Ηλεκτρονικό διάγραμμα μαγνητικού αισθητήρα Waveshare 49E.....	111
Εικόνα 4.12 Τυπική ηλεκτρονική διάταξη και διαμόρφωση ακροδεκτών οδηγού MAX7219.....	112
Εικόνα 4.13 Λειτουργικό διάγραμμα οδηγού MAX7219.....	114
Εικόνα 4.14 Διάγραμμα χρονισμού και μορφή σειριακών δεδομένων.....	115
Εικόνα 4.15 Πίνακας αποκωδικοποίησης οδηγού MAX7219.....	116
Εικόνα 4.16 Λειτουργία χωρίς κωδικοποίηση - Αντιστοιχία bits και display.....	116
Εικόνα 4.17 Αναλυτική λειτουργία ακροδεκτών οδηγού MAX7219.....	117
Εικόνα 4.18 Ηλεκτρικό εσωτερικό κύκλωμα μεμονωμένου 7 segments led display common cathode.....	118
Εικόνα 4.19 Ηλεκτρικό διάγραμμα 7 segments led display common cathode.....	118
Εικόνα 4.20 Συνδεσμολογία πλακέτας εντολών.....	119
Εικόνα 4.21 Συνδεσμολογία πλακέτας επέκτασης αισθητήρα hall effect.....	120
Εικόνα 4.22 Συνδεσμολογία πλακέτας επέκτασης Bluetooth HC-05.....	121
Εικόνα 4.23 Συνδεσμολογία πλακέτας οδήγησης led display.....	122
Εικόνα 4.24 Περιβάλλον εργασίας του designer.....	131
Εικόνα 4.25 Περιβάλλον εργασίας του block editor.....	132
Εικόνα 4.26 Σύνδεση υποσυστημάτων συσκευής απεικόνισης.....	135
Εικόνα 4.27 Διάταξη μέτρησης της μεταβολής της μαγνητικής ροής.....	135
Εικόνα 4.28 Διάγραμμα τάσης εξόδου συναρτήσει της κίνησης του άξονα της σφύρας.....	137
Εικόνα 4.29 Διάγραμμα μαγνητικής ροής συναρτήσει της κίνησης του άξονα της σφύρας.....	138
Εικόνα 4.30 Διάγραμμα της τάσης εξόδου συναρτήσει της μαγνητικής ροής.....	138
Εικόνα 4.31 Πρότυπο μετρητή πυρομαχικών τυφεκίου G3.....	140