



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος Εργασίας

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΑΕΡΙΩΝ

ΣΕ ΠΑΛΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

Όνοματεπώνυμο:

ΜΑΡΙΟΣ – ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΚΟΛΑΝΗΣ

Αρ. Μητρώου:

19389219

Επιβλέπων/ουσα:

Ευάγγελος Παπακίτσος

Ε.ΔΙ.Π. Α' Βαθμίδας

ΑΘΗΝΑ, 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN AND
PRODUCTION ENGINEERING**

Diploma Thesis

Title

Construction of a system for subjecting gases to pulsing resonance

Student:

MARIOS – KONSTANTINOS KOLANIS

Registration Number:

19389219

Supervisor:

E. C. PAPAITSOS

ATHENS, 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ
ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΥΠΟΒΟΛΗΣ ΑΕΡΙΩΝ
ΣΕ ΠΑΛΜΙΚΗ ΔΙΕΓΕΡΣΗ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΦΟΙΤΗΤΗ: ΜΑΡΙΟΣ ΚΟΛΑΝΗΣ

A.M.:19389219

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/α	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Ε.Χ. ΠΑΠΑΚΙΤΣΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
2	ΔΡΟΣΟΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	ΕΔΙΠ Α΄	
3	ΛΑΣΚΑΡΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ	ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ/ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Κολάνης Μάριος - Κωνσταντίνος του Χαριλάου, με αριθμό μητρώου 19389219, φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών βιομηχανικής σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.

Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών:



Κολάνης Μάριος-Κών/νος

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με το βήμα που μου δίνεται, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου για την ευκαιρία που μου δόθηκε να εκπονήσω τη διπλωματική μου εργασία σε ένα αντικείμενο ενδιαφέροντος και να κλείσω με το καλύτερο δυνατό τρόπο των κύκλο προπτυχιακών μου σπουδών. Οι ευχαριστίες αφορούν πρωτίστως τον υποψήφιο διδάκτορα Η. Χρυσοχέρη για την πολύτιμη καθοδήγησή του, τον Μηχανολόγο Μηχανικό Χ. Παπακίτσο για τη συμβολή του στις τρισδιάστατες εκτυπώσεις, καθώς και τον καθηγητή Ε. Παπακίτσο για την ανάληψη της παρούσας διπλωματικής. Επιπλέον, εκτιμώ ολόκληρο το ακαδημαϊκό διδακτικό προσωπικό για την προσφορά υψηλού επιπέδου μόρφωσης αλλά και παιδείας, καθώς και για τη παροχή κινήτρου για μεταγενέστερη εξέλιξη στον τομέα των μηχανικών βιομηχανικής σχεδίασης και παραγωγής. Τέλος, επιθυμώ να ευχαριστήσω το οικογενειακό μου περιβάλλον για τη ψυχολογική στήριξη που αποτελεί καταλυτικό ρόλο στην επίτευξη των σκοπών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	8
Abstract.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ	11
1.1 Παλμικό ηλεκτρικό πεδίο.....	11
1.2 Ηλεκτρονικά ισχύος.....	12
1.3 Πυκνωτές – Διηλεκτρικά.....	16
1.4 Η έννοια του παλμικού συντονισμού και πόλωση ιόντων.....	19
1.5 Παλμοί και περιοδικά σήματα.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΑΛΑΜΟΥ.....	26
2.1 Συστήματα CAD/CAM και 3D εκτύπωση.....	26
2.2 Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά μονωτικού θαλάμου.....	28
2.3 Σχεδιασμός θαλάμου.....	29
2.4 Εκτύπωση θαλάμου.....	34
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΠΑΛΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ.....	39
3.1 Θεωρητική αρχή λειτουργίας του κυκλώματος.....	39
3.2 Ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος.....	41
3.3 Προγραμματισμός μικροελεγκτή για παλμική διέγερση.....	46
3.4 Σχεδίαση και ολοκλήρωση PCB κυκλώματος	51
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	58
Βιβλιογραφία.....	61

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 1:Παράδειγμα εργαστηριακής διάταξης PEF [1].....	12
Εικόνα 2:Τετραγωνική κυματομορφή στην έξοδο αντιστροφέα.....	14
Εικόνα 3:Κυκλώματα μετατροπής εναλλασσόμενης και συνεχούς τάσης.....	15
Εικόνα 4:Κύκλωμα τροφοδοτικού AC/DC.....	16
Εικόνα 5:Διηλεκτρικό και χωρητικότητα πυκνωτή.....	17
Εικόνα 6:Κύκλωμα φόρτισης πυκνωτή.....	17
Εικόνα 7:Κύκλωμα εκφόρτισης πυκνωτή.....	18
Εικόνα 8:Κύκλωμα δημιουργίας τετραγωνικών παλμών με εκφόρτιση πυκνωτή.....	19
Εικόνα 9:Συντονισμός δείγματος από μαγνητικό πεδίο [18].....	21
Εικόνα 10:Τύποι πόλωσης ιόντων [20].....	23
Εικόνα 11:Παράδειγμα γραφικής αναπαράστασης ημιτονοειδούς σήματος.....	25
Εικόνα 12:Παράδειγμα αναπαράστασης τετραγωνικού παλμού.....	25
Εικόνα 13:Στιγμιότυπο ψηφιακού σχεδίου του θαλάμου στο AutoCad.....	30
Εικόνα 14:Στιγμιότυπο ψηφιακού σχεδίου στο FreeCAD.....	33
Εικόνα 15:Ψηφιακό μηχανολογικό σχέδιο του θαλάμου.....	33
Εικόνα 16:Ψηφιακό μηχανολογικό σχέδιο του καπακιού.....	34
Εικόνα 17:Θάλαμος κατά την εκτύπωση.....	36
Εικόνα 18:Εκτυπωμένος θάλαμος.....	36
Εικόνα 19:Εκτυπωμένο καπάκι θαλάμου.....	37
Εικόνα 20:Πλαϊνή όψη θαλάμου με ηλεκτρόδια.....	38
Εικόνα 21:Πρόσοψη θαλάμου με ηλεκτρόδια.....	38
Εικόνα 22:Inverter DAC-08N012.....	41
Εικόνα 23:Inverter PA354-G72-0.2D.....	41
Εικόνα 24:Αρχιτεκτονική Arduino Nano [17].....	46
Εικόνα 25:Στιγμιότυπο κώδικα στο Visual Studio Code.....	50
Εικόνα 26:Στιγμιότυπο σχεδίασης PCB.....	54
Εικόνα 27:PCB copper- Front side.....	54
Εικόνα 28:PCB copper- Bottom side.....	55
Εικόνα 29:PCB Silkscreen.....	55
Εικόνα 30:PCB 3D realistic view.....	56
Εικόνα 31:PCB 3D realistic view with rotary encoder.....	56
Εικόνα 32:PCB 3D realistic view with rotary encoder and arduino nano.....	57

Εικόνα 33:Ενδείξεις παλμογράφου.....	58
--------------------------------------	----

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 1:Block διάγραμμα κυκλωματικής διάταξης.....	40
Σχήμα 2:Block διάγραμμα εφαρμογής διακοπτόμενης υψηλής τάσης.....	40
Σχήμα 3:Διάγραμμα κυκλώματος IGBT και MOSFET.....	43
Σχήμα 4:Διάταξη κυκλώματος με Gate driver [27].....	44
Σχήμα 5:Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος παραγωγής παλμών.....	52

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στη παρούσα διπλωματική, πρόκειται να εξεταστεί ένα σύστημα παλμικής διέγερσης διατομικών κατά βάση αερίων, που θα εφαρμόζεται σε έναν θάλαμο από μονωτικό υλικό. Το έργο, χωρίζεται εξ' ολοκλήρου σε δύο βασικά μέρη – στόχους. Πρωταρχικός σκοπός του έργου μας, ως μηχανικοί, είναι η εύρυθμη απόκριση του συστήματος εκείνου καθώς και η επιλογή κατάλληλων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών μέσων για την επιθυμητή παλμική έξοδο μέσω της διαμόρφωσης και της σχεδίασης μιας PCB πλακέτας αλλά και κώδικα που να την υποστηρίζει. Το δεύτερο κομμάτι, αφορά τη κατασκευή του θαλάμου που θα συγκρατεί το ρευστό μέσω προσθετικής κατεργασίας και προετοιμασία του για τη σύνδεση με το πρώτο σκέλος. Δευτερεύουσας σημασίας και γενικότερο -απώτερο- σκοπό της χημικής μηχανικής, αποτελεί η ελεγχόμενη διάσπαση των μορίων του εκάστοτε αερίου με όλα τα οφέλη που την συνοδεύουν. Περιγραφικά, το αέριο θα εισέρχεται από την κατώτερη οπή του σωληνοειδούς θαλάμου και θα διοχετεύεται σε παλμικό πεδίο που θα βρίσκει χώρο σε μία έκταση της διατομής του. Σκοπός είναι, ο συντονισμός στην ιδιοσυχνότητα ταλάντωσης των μορίων του αερίου, με εκείνη των παλμών των οποίων θα δημιουργούνται και θα εφαρμόζονται σε εκείνο, μέσω διάταξης ηλεκτροδίων που θα εναλλάσσουν την πολικότητα του πεδίου από θετικό σε αρνητικό και αντίστροφα. Έπειτα, θα εξέρχονται τα προϊόντα διάσπασης σε ξεχωριστούς θαλάμους όπου θα φαίνεται και το αποτέλεσμα με εφαρμοσμένες χημικές μεθόδους. Στην ουσία κάνουμε λόγο για μια παραλλαγή της συμβατικής ηλεκτρόλυσης και την απόπειρα ανάπτυξης μιας λύσης από την προσέγγιση ενός μηχανικού. Στο σύνολο αυτού του έργου θα ασχοληθούμε με την υλοποίηση του θαλάμου και τις τεχνικές προδιαγραφές του, τη συγκέντρωση και τη σύνθεση ηλεκτρονικού υλικού και εξαρτημάτων για τη δημιουργία των επιθυμητών ηλεκτρικών παλμών σε επίπεδο έντασης και συχνότητας και τη μελέτη του συστήματός μας, εφαρμοσμένη με τρόπο που να προβάλλει όλες τις σκοπιές και τους περιορισμούς του.

Abstract

In this thesis, a pulsed stimulation system for sectional gas molecules applied to a chamber made of insulating material will be examined. The primary objective of our project, as engineers, is the smooth response of the system in question and the selection of suitable electrical and electronic means for the desired output, such as the design and configuration of a PCB, selection and usage of suitable integrated circuits, controlled by a microcontroller unit such as arduino, and its coding. Of secondary importance and exclusively linked with the chemical engineering field, is the chemical breakdown of the molecules of the representative gas, with all the benefits that accompany it. Descriptively, the gas will enter through the lower opening of the tubular chamber and will be directed into a pulsed electric field that will occupy an area of its cross-section. The goal is to force the gas molecules resonate at the same frequency of the applied pulsed electric field created. Then, the products of dissociation will exit into separate chambers where the result will be visible with applied chemical methods. Essentially, we are talking about a different approach of conventional electrolysis and the attempt to develop a solution from an engineer's perspective. This thesis as a whole, will deal with the implementation of the chamber and its technical specifications, the collection and composition of electronic material and components for the creation of the desired electrical pulses in terms of intensity and frequency, and the study of our system, applied in a way that highlights all its aspects and limitations.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο τομέας της ηλεκτρικής ενέργειας και κατ' επέκταση των ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων αποτέλεσε για πολλά χρόνια ισχυρό εργαλείο για τη δημιουργία συσκευών και εφευρέσεων πρωτοποριακών όσον αφορά την ανθρωπότητα και εξαιρετικά ωφέλιμων στο σύνολο της κοινωνίας. Η σημασία της ηλεκτρόλυσης και γενικότερα της διάσπασης και τροποποίησης ουσιών στα συστατικά τους επιφέρει μεγάλο και ωφέλιμο αποτύπωμα στο περιβάλλον, ανοίγοντας το δρόμο για τη μείωση ανεπιθύμητων και ρυπογόνων προϊόντων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες [2]. Η κατασκευή του Christopher E. Eccles [3], βασισμένη στην ίδια φιλοσοφία, έχει ως σκοπό τη δημιουργία καυσίμου μέσω του νερού. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι εκείνη της υποβολής ρευστού σε παλμικό συντονισμό. Στην ουσία, κάνουμε λόγο για το διαχωρισμό των ατόμων ενός μορίου του ρευστού που θα χρησιμοποιηθεί και την κατεύθυνσή τους ανάλογα με την κατάσταση ιονισμού τους. Μια τέτοια κατασκευή θα άνοιγε το δρόμο και για νέες καινοτόμες μεθόδους αντικατάστασης των συμβατικών πηγών ενέργειας ή της τροποποίησης των ανεπιθύμητων παραπροϊόντων τους σε μη ρυπογόνα απομονωμένα στοιχεία. Ακρογωνιαίο λίθο της κατασκευής μας, αποτελούν τα ηλεκτρονικά κυκλώματα και τα ηλεκτρονικά στοιχεία, τα οποία απαρτίζουν ένα αχανές πεδίο εφαρμογών σε όλους τους επιστημονικούς τομείς και τη καθημερινότητα. Πριν την εισαγωγή τους λοιπόν, συνιστάται μια πρώτη θεωρητική προσέγγιση των δυνατοτήτων και των αρχών που εκπροσωπούν. Η εργασία απαρτίζεται από 4 κεφάλαια εκ των οποίων το πρώτο θα εισάγει τις βασικές έννοιες και αρχές της ηλεκτρονικής, εγκλιματίζοντας τον αναγνώστη με τη φιλοσοφία και το σκοπό της κατασκευής. Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται η κατασκευή του θαλάμου, ο σχεδιασμός του και η προετοιμασία του για την ένταξη και σύνδεση του compact κυκλώματος παλμικής διέγερσης. Το τρίτο κεφάλαιο πραγματεύεται και επεξηγεί τη διαλειτουργικότητα του ηλεκτρονικού μέρους της κατασκευής. Θα αναλυθούν τα επιμέρους ηλεκτρονικά στοιχεία που θα χρησιμοποιήσουμε για τη διαμόρφωση του κυκλώματος που θα πρωτυποποιηθεί σε πλακέτα PCB, αλλά και ο κώδικας που θα το υποστηρίξει. Στο τέταρτο κεφάλαιο, θα γίνει αξιολόγηση της κατασκευής εξ' ολοκλήρου και εν συνεχεία θα αποτυπωθούν τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα, αξιολογώντας όχι μόνο την επιτυχία των προσδοκιών και των απαιτήσεων από πλευράς μας, αλλά και τις δυσκολίες και τους περιορισμούς που αντιμετωπίσαμε από την αρχή.

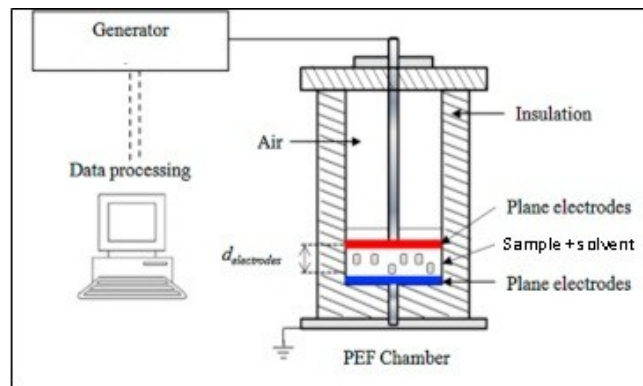
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

Η ηλεκτρική ενέργεια αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές συνιστώσες του παγκόσμιου πληθυσμού. Από τα πρώτα κιόλας θεμέλια, που εισήχθησαν τον 18ο αιώνα από τον Michael Faraday και τον Tomas Edison, δημιουργήθηκαν νέα μονοπάτια για την εξέλιξη της τεχνολογίας που απαρτίζει το κόσμο του σήμερα. Μέσα από την τριβή της πηγαίας γνώσης της επιστήμης και τεχνολογίας των υλικών με τις αρχές του ηλεκτρομαγνητισμού προέκυψαν τα πρώτα ηλεκτρονικά κυκλώματα που μας επέτρεψαν τη διαχείριση της ηλεκτρικής ενέργειας αποκλειστικά υπό τις ανάγκες του ανθρώπινου παράγοντα. Πρόκειται λοιπόν, να παρουσιάσουμε βασικές έννοιες που διέπουν την ηλεκτρονική διάταξη της κατασκευής μας.

1.1 Παλμικό ηλεκτρικό πεδίο

Η θεωρία του ηλεκτρικού πεδίου, διατυπώθηκε με σκοπό την εξήγηση στην ερμηνεία του νόμου του Coulomb. Κάθε ηλεκτρικό πεδίο, στην ουσία αποτελεί τον μεσάζοντα χώρο για τη μεταφορά των ελκτικών και απωστικών δυνάμεων μεταξύ φορτίων του ίδιου χώρου. Κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα ερμηνεύεται και λειτουργεί με βάση την κατευθυνόμενη ροή των ηλεκτρονίων που αποτελούν το ρεύμα μέσα από έναν αγωγό και στηρίζεται στην ύπαρξη αυτού του πεδίου. Μέσα σε αυτόν τον ηλεκτρικά φορτισμένο χώρο, διάφορες μεταβολές πραγματοποιούνται στο μικρόκοσμο των στοιχείων που παρευρίσκονται, γεγονός που απασχολεί ιδιαίτερα την επιστημονική κοινότητα. Στην κατασκευή μας, εισάγεται πλέον η έννοια του παλμικού ηλεκτρικού πεδίου, όπου παρουσιάζονται διαφορές ως προς τη διάρκεια και τα διαστήματα εφαρμογής ηλεκτροστατικών δυνάμεων στο χώρο. Αρχικά για τη δημιουργία ενός ηλεκτρικού πεδίου απαιτείται η δημιουργία θετικών και αρνητικών φορτίων. Στο σημείο αυτό, η δημιουργία διαφοράς δυναμικού είναι η πιο διακεκριμένη λύση για το σκοπό αυτό. Με τη χρήση πηγών διαφοράς δυναμικού ή τάσης, φορτία υποβάλλονται σε διεγέρσεις ελεγχόμενα και στη διάρκεια που θέλουμε ρυθμίζοντας την τάση εισόδου της πηγής. Η τάση αυτή ισούται με το γινόμενο του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα με την ολική του αντίσταση. Για τη μελέτη των αποτελεσμάτων της εφαρμογής των παλμικών ηλεκτρικών πεδίων, σε φορτία ή και ηλεκτρικά συστήματα, είναι απαραίτητη η ρύθμιση των κύκλων λειτουργίας (duty cycles) των παλμών τάσης ώστε να δημιουργείται το φαινόμενο της παλμικής διέγερσης. Όντας για χρόνια το συγκεκριμένο θέμα στη σφαίρα ενδιαφέροντος των επιστημόνων, τα παλμικά πεδία (PEF) έχουν μελετηθεί και χαρακτηριστεί ως βασική τεχνολογία σε εφαρμογές βιοτεχνολογίας [1]. Χρησιμοποιείται σε:

- Απενεργοποίηση βλαστικών κυττάρων μικροοργανισμών σε τρόφιμα υγρής μορφής
- Αποστείρωση πληγών και κατεστραμμένων κυτταρικών ιστών
- Θεραπείες καταπολέμησης κακοηθειών.



Εικόνα 1: Παράδειγμα εργαστηριακής διάταξης PEF

[1]

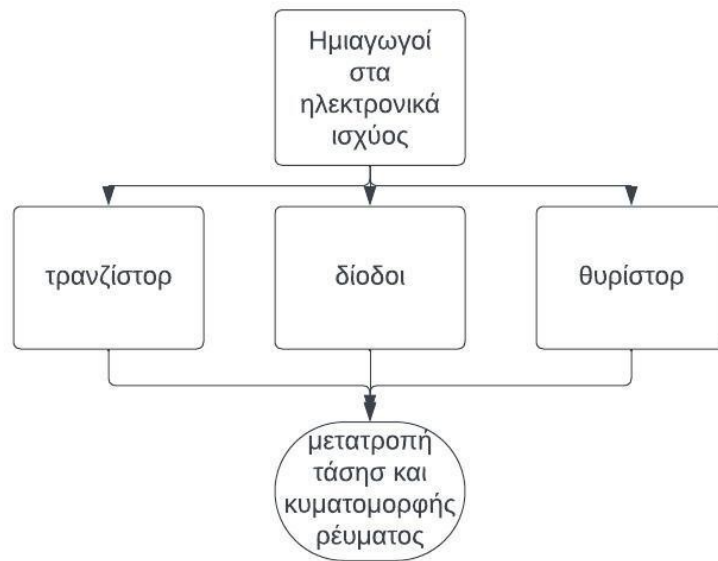
Γενικότερα, θα λέγαμε πως τα παλμικά πεδία έχουν ως σκοπό την ενεργειακή αποσταθεροποίηση των δεσμών μεταξύ ατόμων και μορίων και κατ' επέκταση της δομής των υπό εξέταση ουσιών.

1.2 Ηλεκτρονικά ισχύος

Απαραίτητη προϋπόθεση για την κατανόηση των παρουσιαζόμενων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και διατάξεων είναι η γνώση ηλεκτρονικών ισχύος. Μάς απασχολεί ιδιαίτερα στην εφαρμογή μας ο έλεγχος και η μετατροπή της τάσης που θα δημιουργήσουμε. Οι ημιαγωγοί, είναι υπεύθυνοι για τη μορφοποίηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων ισχύος που μας επιτρέπουν τις ομαλές τροποποιήσεις στο ρεύμα και την τάση. Ημιαγωγός, θεωρείται κάθε υλικό το οποίο συμπεριφέρεται άλλοτε ως μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος και άλλοτε ως αγωγός. Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στη χημική σύσταση των στοιχείων που τον αποτελούν. Στην ηλεκτρονική, έχει καθιερωθεί η χρήση του πυριτίου ως το βέλτιστο στοιχείο για την παραγωγή ημιαγωγών. Οι ημιαγωγοί ισχύος, ανάλογα με τον τύπο τους, παρέχονται στις ηλεκτρονικές διατάξεις με τη μορφή διακοπών ηλεκτρονικής μορφής. Οι 3 κατηγορίες με τις οποίες εμφανίζονται διαμορφώνονται με βάση το βαθμό ελέγχου στο κύκλωμα και είναι οι εξής [5]:

- Τρανζίστορ: Ημιαγωγός στερεάς κατάστασης 2 επαφών που ελέγχει τη ροή του ρεύματος τροποποιώντας τα παρεμβαλλόμενα σήματα
- Δίοδος: Ημιαγωγός στερεάς κατάστασης 1 επαφής που δημιουργεί μοναδικό κλειστό μονοπάτι μιας κατεύθυνσης στη ροή του ρεύματος

- **Θυρίστορ:** Ημιαγωγός στερεάς κατάστασης 3 επαφών που επιτρέπει και μπλοκάρει τη ροή ρεύματος ανάλογα με την κατάσταση πόλωσης της τάσης του.



Διάγραμμα 1: Ηλεκτρονικοί Ημιαγωγοί

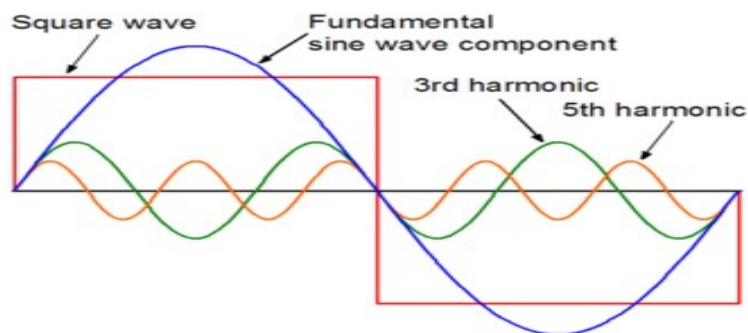
Η διαχείριση της ηλεκτρικής ισχύος είναι απαραίτητη όταν μιλάμε για ηλεκτρονικές διατάξεις και κυκλώματα, καθώς πρέπει να υπάρχουν κάποιες προδιαγραφές που τηρούνται κατά τη μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου, όπως στη περίπτωση μας την τάση, οι οποίες έχουν να κάνουν με την ενίσχυση και την τροποποίησή της ώστε να παρέχεται μια ασφαλής και ελεγχόμενη ροή κατά τη λειτουργία. Οι ημιαγωγοί στα ηλεκτρονικά ισχύος διατάσσονται με τέτοιο τρόπο εκτελώντας τις βασικές ακόλουθες μετατροπές:

1. **Ανορθωτής** → Μετατροπή της εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή (AC to DC)
2. **Αντιστροφέας** → Μετατροπή της συνεχούς τάσης σε εναλλασσόμενη (DC to AC)
3. **Κυκλομετατροπέας ή ελεγκτής AC** → Τροποποίηση των μετρήσιμων χαρακτηριστικών της εναλλασσόμενης τάσης (AC to AC)
4. **Καταμητής** → Τροποποίηση των μετρήσιμων χαρακτηριστικών της συνεχούς τάσης (DC to DC)

Οι ανορθωτές τάσης είναι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν το εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), το οποίο αναστρέφει περιοδικά την κατεύθυνσή του, σε συνεχές ρεύμα (DC), το οποίο ρέει μόνο προς μία κατεύθυνση. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως ανόρθωση. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλους τους τομείς της ηλεκτρονικής και της ηλεκτρικής ενέργειας. Μερικές από τις εφαρμογές τους περιλαμβάνουν τροφοδοτικά, φορτιστές μπαταριών, τροφοδοτικά για ηλεκτρονικές συσκευές και πολλές άλλες. Λειτουργούν με τη χρήση ημιαγωγών, όπως δίοδοι, για να επιτρέψουν τη ροή ρεύματος μόνο σε μία

κατεύθυνση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανορθωτών, όπως οι ανορθωτές μισού κύματος, πλήρους κύματος και γέφυρας. Κάθε τύπος έχει διαφορετικές ιδιότητες και εφαρμογές. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, παρόλο που οι ανορθωτές μετατρέπουν την εναλλασσόμενη τάση σε συνεχή, το DC που παράγουν συνήθως εμφανίζει "θόρυβο". Η εξομάλυνση της τάσης εξόδου και η αφαίρεση του θορύβου μπορεί να απομακρυνθεί με τη χρήση φίλτρων, όπως διατάξεις πυκνωτών.

Οι αντιστροφείς τάσης, αποτελούν ηλεκτρονικές διατάξεις οι οποίες μετατρέπουν τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη. Βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στον τομέα των ανανεώσιμων πηγών ενέργειας. Τα MOSFET τρανζίστορ, που βρίσκονται στο εσωτερικό του κύκλωμα, αντλούν συνεχή τάση χαμηλών τιμών από μια πηγή την οποία οδηγούν σε έναν μετασχηματιστή υψηλής τάσης. Έτσι δημιουργείται ένα σήμα υψηλότερης τάσης. Το σήμα αυτό έχει την ικανότητα να λάβει διάφορες μορφές εξόδου. Αυτή που μας ενδιαφέρει και συναντάται στη κατασκευή μας είναι το τετραγωνικό σήμα (square wave). Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της χρήσης ηλεκτρονικών διακοπών, όπως τρανζίστορ ισχύος, διόδους ισχύος, θυρίστορ και MOSFET ισχύος. Οι διακόπτες αυτοί ενεργοποιούνται και απενεργοποιούνται σε πολύ υψηλές συχνότητες, δημιουργώντας έτσι μια τετραγωνική κυματομορφή. Η τετραγωνική κυματομορφή είναι ένας τύπος εναλλασσόμενου ρεύματος που μεταβαίνει απότομα από μια θετική τιμή σε μια αρνητική τιμή και αντίστροφα.

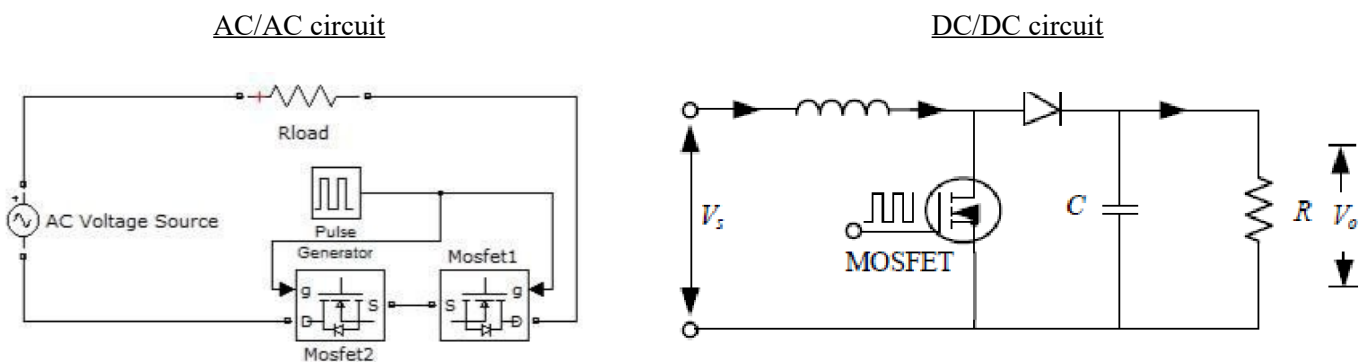


Εικόνα 2: Τετραγωνική κυματομορφή στην έξοδο αντιστροφέα

Οι κυκλομετατροπείς εναλλασσόμενης τάσης ή μετασχηματιστές AC/AC είναι συσκευές που διαχειρίζονται τα επίπεδα τάσης στις εισόδους και τις εξόδους κυκλωμάτων. Βασίζουν τη λειτουργία τους στην αρχή της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής και χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες, τους step-up και τους step-down μετασχηματιστές. Οι μετατροπείς αύξησης τάσης (step up) αυξάνουν την τάση εξόδου, επιτρέποντας στις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για υψηλότερη τάση να χρησιμοποιηθούν με μια τροφοδοσία χαμηλότερης τάσης. Αυτό επιτυγχάνεται έχοντας περισσότερες στροφές στο δευτερεύον πηνίο από ό,τι στο πρωτεύον πηνίο του μετασχηματιστή. Συνήθως χρησιμοποιούνται στους σταθμούς

παραγωγής ενέργειας για να αυξήσουν την τάση για αποτελεσματική μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις. Οι μετατροπείς μείωσης τάσης μειώνουν την τάση εξόδου, επιτρέποντας στις συσκευές που έχουν σχεδιαστεί για χαμηλότερη τάση να χρησιμοποιηθούν με μια πρίζα υψηλότερης τάσης. Έχουν λιγότερες στροφές στο δευτερεύον πηνίο από ό,τι στο πρωτεύον. Χρησιμοποιούνται συνήθως για να μειώσουν την τάση σε ένα ασφαλέστερο επίπεδο για χρήση σε νοικοκυριά και ηλεκτρικές συσκευές. Και στους δύο τύπους μετατροπέων, το μεταβαλλόμενο ρεύμα σε ένα πηνίο προκαλεί μια ηλεκτρομαγνητική δύναμη (EMF) στο άλλο πηνίο. Αυτό επιτρέπει στην τάση να αυξηθεί ή να μειωθεί όπως χρειάζεται. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι όταν η τάση αυξάνεται, το ρεύμα μειώνεται, και αντίστροφα. Αυτό οφείλεται στη διατήρηση της ισχύος στο ηλεκτρικό κύκλωμα [5].

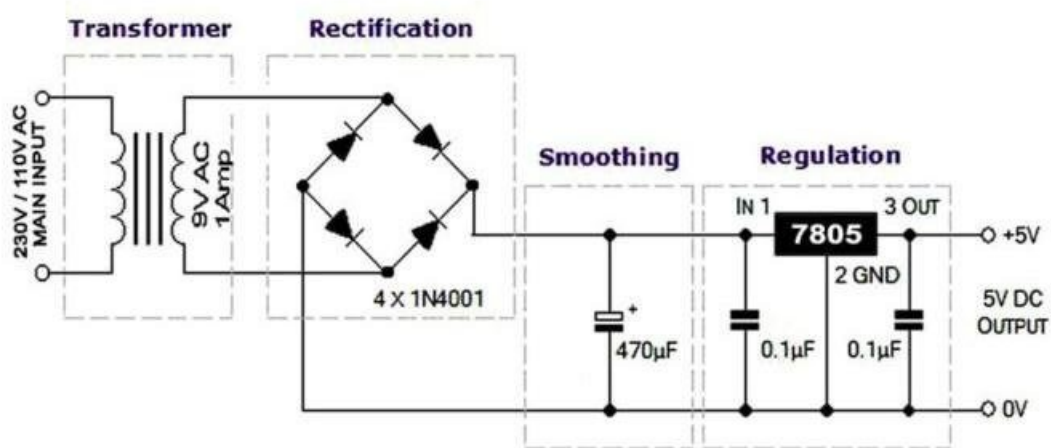
Αντίστοιχα, οι καταμητές ή DC-to-DC converters είναι σημαντικοί για τη μετατροπή και τη ρύθμιση της ηλεκτρικής ενέργειας σε διάφορες εφαρμογές, επιτρέποντας τη χρήση διαφορετικών συσκευών ή συστημάτων που λειτουργούν σε διαφορετικά επίπεδα τάσης. Κατά τη λειτουργία τους, χρησιμοποιούν τρανζίστορ μεγάλης διακοπτικής συχνότητας που ρυθμίζουν την αποκοπή τιμών συνεχούς τάσης από το φορτίο, διαμορφώνοντας μια διαφορετική μέση τιμή τάσης εξόδου, είτε ενισχυμένη είτε μειωμένη. Τους συναντάμε σε παλμοτροφοδοτικά, φορητές συσκευές, και συστήματα μετάδοσης ηλεκτρικής ενέργειας. [6]



Εικόνα 3: Κυκλώματα μετατροπής εναλλασσόμενης και συνεχούς τάσης

Αξιόλογη είναι η εφαρμογή των ηλεκτρονικών ισχύος στα τροφοδοτικά. Η τροφοδοσία που θα εφαρμοστεί στην κατασκευή μας, θα πρέπει να έχει τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ώστε να υποστηρίξει τις προδιαγραφές του στοιχείου με το οποίο συνδέεται. Κάθε συσκευή, η οποία διανέμει το προσλαμβανον ρεύμα και την τάση, διαμορφώνοντας τα ώστε να πληροί τις προδιαγραφές της τροφοδοτούμενης συσκευής, αποτελεί ένα τροφοδοτικό. Τα συνηθέστερα τροφοδοτικά αντλούν ενέργεια από τα δημόσια δίκτυα διανομής εναλλασσόμενης τάσης ενώ οι συσκευές που χρησιμοποιούμε απαιτούν συνεχή τάση για την ομαλή λειτουργία τους. Ένα τυπικό ενσωματωμένο τροφοδοτικό αρχικά μέσω ενός

μετασχηματιστή AC/AC, που αναφέραμε παραπάνω, επιφέρει την επιθυμητή τιμή εναλλασσόμενης τάσης. Εν συνεχεία, ένας ανορθωτής αποκόπτει τις αρνητικές ημιπεριόδους της κυματομορφής της τάσης και εξομαλύνει τις θετικές μέσω ειδικών φίλτρων αποτελούμενα από πυκνωτές. Η ανορθωμένη αυτή, πλέον, τάση διατηρείται σε συνεχή μορφή μέσω ενός σταθεροποιητή. Στην εικόνα 6 φαίνεται το κυκλωματικό διάγραμμα των παραπάνω λειτουργιών σε ένα τροφοδοτικό που μετατρέπει υψηλή εναλλασσόμενη τάση 230V σε συνεχή τάση 5V DC. [7]



Εικόνα 4: Κύκλωμα τροφοδοτικού AC/DC

1.3 Πυκνωτές – Διηλεκτρικά

Πυκνωτή, θεωρούμε ένα σύστημα δύο αγωγίων υλικών στα οποία παρεμβάλλεται ανάμεσα μονωτικό υλικό. Στην περίπτωση μας, μάς ενδιαφέρει ο επίπεδος πυκνωτής, καθώς τέτοια μορφή θα λάβει και στην κατασκευή μας. Αποτελείται από 2 επίπεδες αγωγίμες πλάκες, οι οποίες όταν φορτίζονται από εξωτερικό κύκλωμα δημιουργούν διαφορά δυναμικού καθώς και αναπτύσσουν φορτία αντίθετα (ίσα και αντίρροπα) μεταξύ τους. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η συγκράτηση και αποθήκευση ηλεκτρικής ενέργειας στο σώμα του [11]. Ανάλογα με το υλικό που βρίσκεται ανάμεσα στις δύο πλάκες διαφοροποιείται και η χωρητικότητα του πυκνωτή. Το υλικό αυτό καλείται διηλεκτρικό. Αυτό συμβαίνει καθώς :

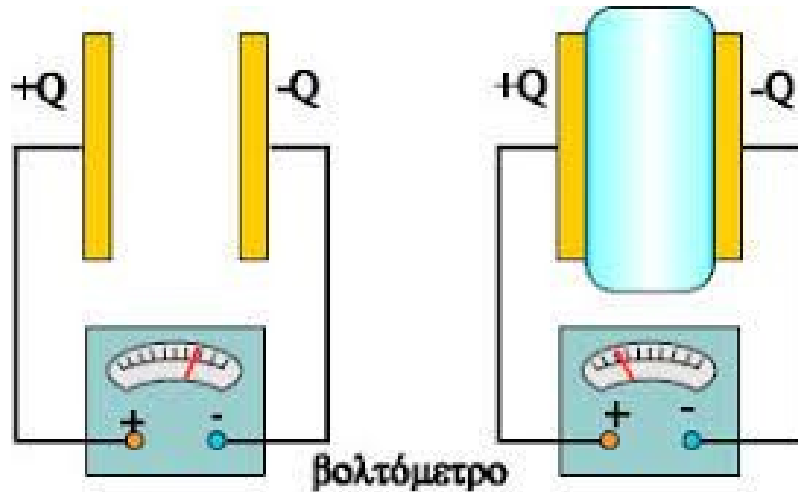
φορτίο ενός σπλισμού

Χωρητικότητα πυκνωτή : $C = Q/V$

τάση πυκνωτή

Στη **Εικόνα 5** φαίνονται 2 πυκνωτές. Ο πρώτος αποτελείται από τους 2 επίπεδους σπλισμούς και αέρα ως διηλεκτρικό μέσο. Ο δεύτερος είναι πανομοιότυπος , με τη διαφορά ότι ανάμεσα

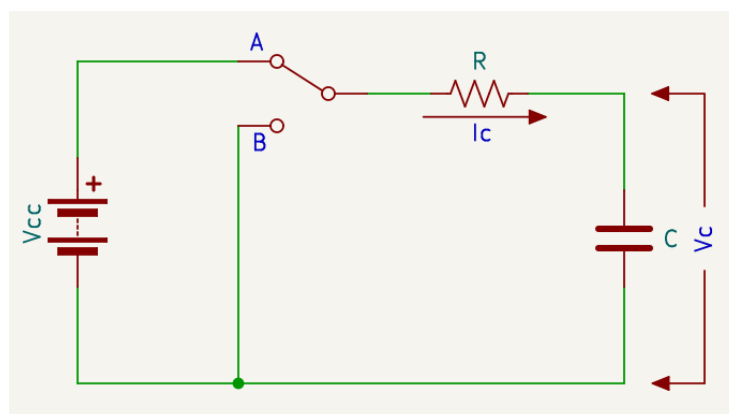
στους οπλισμούς του έχει τοποθετηθεί μονωτικό υλικό. Μετρώντας με ένα βολτόμετρο την τάση που δημιουργείται ανάμεσα στους οπλισμούς των 2 πυκνωτών θα παρατηρήσουμε πως η διαφορά δυναμικού του πρώτου είναι μεγαλύτερη από εκείνη του δεύτερου. Συνεπώς με βάση τον τύπο της χωρητικότητας γίνεται αντιληπτό πως με την προσθήκη ενός μονωτικού υλικού ως διηλεκτρικό αυξάνουμε τα όρια χωρητικότητας του πυκνωτή.



Εικόνα 5: Διηλεκτρικό και χωρητικότητα πυκνωτή

Ένας πυκνωτής είναι ένα ηλεκτρονικό στοιχείο που αποθηκεύει ηλεκτρική ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρικού πεδίου. Η διαδικασία φόρτισης και εκφόρτισης ενός πυκνωτή είναι αποτέλεσμα της λειτουργίας του, όταν συνδεθεί σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

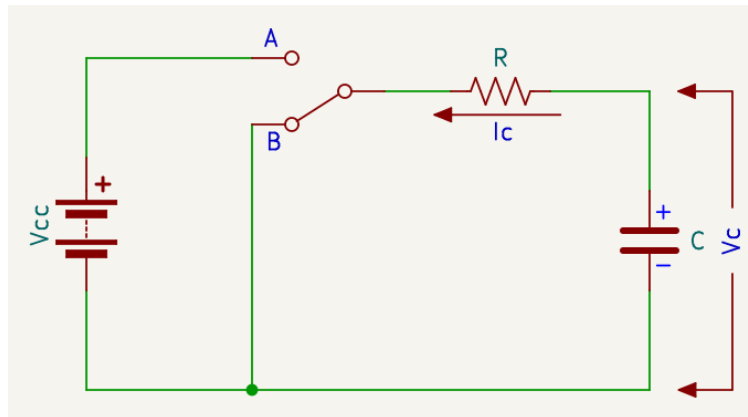
Φόρτιση Πυκνωτή: Όταν συνδέουμε έναν πυκνωτή σε μια πηγή τάσης, ο πυκνωτής αρχίζει να φορτίζεται. Αυτό σημαίνει ότι αποθηκεύει ενέργεια στο ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ των πλακών του.



Εικόνα 6: Κύκλωμα φόρτισης πυκνωτή

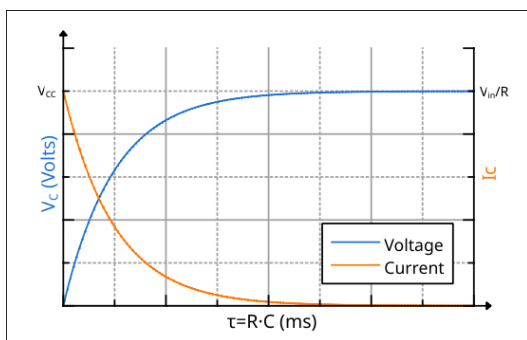
Εκφόρτιση Πυκνωτή: Όταν ο πυκνωτής αποσυνδέεται από την πηγή τάσης και συνδέεται σε ένα κύκλωμα (για παράδειγμα, μέσω μιας αντίστασης), αρχίζει να εκφορτίζεται. Κατά τη

διάρκεια της εκφόρτισης, ο πυκνωτής απελευθερώνει την αποθηκευμένη ενέργεια στο κύκλωμα.

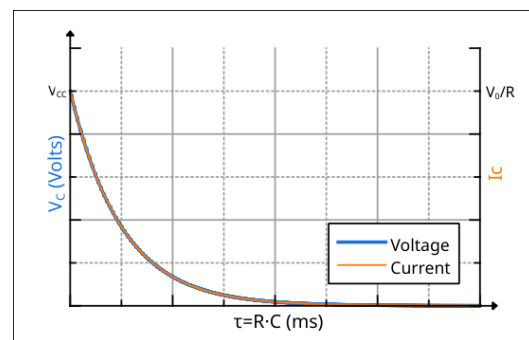


Εικόνα 7: Κύκλωμα εκφόρτισης πυκνωτή

Ακολουθούν τα γραφήματα που απεικονίζουν τη φόρτιση και την εκφόρτιση ενός πυκνωτή σε σχέση με την τάση της πηγής :



Γράφημα 1: Φόρτιση Πυκνωτή

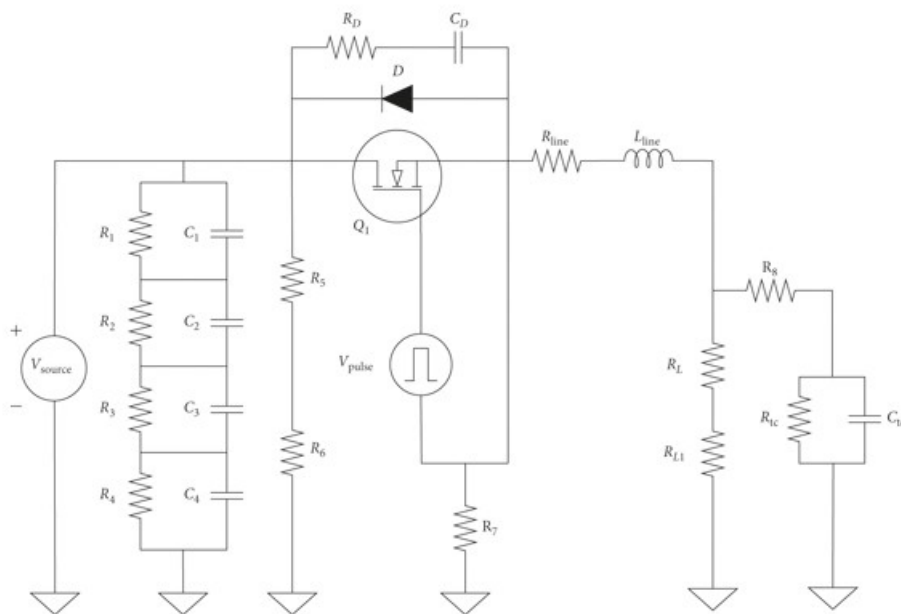


Γράφημα 2: Εκφόρτιση Πυκνωτή

Στα παραπάνω διαγράμματα, περιγράφεται ο ρυθμός φόρτισης και εκφόρτισης του πυκνωτή. Αριστερά, στο διάγραμμα φόρτισης ενός RC κυκλώματος παρατηρείται η εκθετική αύξηση της τάσης στα άκρα του πυκνωτή και η ταυτόχρονη μείωση του ρεύματος φόρτισης του οποίου η συμπεριφορά υπολογίζεται και από τον νόμο του Ωμ. Το τ αντιπροσωπεύει τη χρονική σταθερά που αποτυπώνει σε χρονική διάρκεια της τάξης των milliseconds, την τάση στα άκρα του πυκνωτή, μέχρι να γίνει ίση με εκείνη της πηγής. Δεξιά, βρίσκεται το αντίστοιχο γράφημα εκφόρτισης του RC κυκλώματος, όπου πλέον ο πυκνωτής εκφορτίζεται και μειώνεται το αποθηκευμένο του φορτίο. Συνεπώς η τάση του ακολουθεί την ίδια μείωση, η οποία φαίνεται στην πορτοκαλί καμπύλη. Η εκφόρτιση αυτή γίνεται εκθετικά, παρουσιάζοντας μεγαλύτερο ρυθμό στην αρχή της και ασθενέστερο όσο εξελίσσεται στο χρόνο.[19]

Ένα πρακτικό παράδειγμα στα πλαίσια της ασφαλούς εκφόρτισης πυκνωτή που χρησιμοποιήθηκε ως μέθοδος για εφαρμογή παλμικού ηλεκτρικού πεδίου είναι η ελεγχόμενη

εκφόρτιση πυκνωτή για την παραγωγή τετραγωνικών παλμών. Ο N. F. Kashri [4] αξιοποίησε το φαινόμενο της εκφόρτισης του πυκνωτή δημιουργώντας το κύκλωμα της εικόνας 8. Μια κεντρική πηγή τάσης συνδέεται στο κύκλωμα η οποία φορτίζει τον πυκνωτή. Ο πυκνωτής συγκρατεί το φορτίο του ώσπου η V_{pulse} (παλμός τάσης) να ενεργοποιήσει μέσω τρανζίστορ MOSFET (Q_1) ένα κύκλωμα snubber παράλληλα με εκείνο. Έτσι, εμφανίζεται ένα αγώγιμο μονοπάτι μεταξύ πηγής και φορτίου και ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω του τρανζίστορ στο φορτίο. Η επαγωγική αντίσταση του πηνίου L_1 και η αντίσταση που συνδέεται σε σειρά με αυτό, συντάσσονται με σκοπό να περιορίσουν τη ροή ρεύματος. Διαιρούν το ρεύμα έτσι ώστε το φορτίο να λαμβάνει ένταση ρεύματος εντός των πλαισίων των προδιαγραφών του. Επίσης, εμποδίζουν την υπέρβαση της τάσης εξόδου του παλμού κατά τη διάρκεια του χρόνου ενεργοποίησης και προσαρμόζουν την ελάχιστη τιμή τάσης που μπορεί να αξιοποιηθεί από την παλμογεννήτρια. Τέλος, ο θάλαμος στον οποίον θα εφαρμοστούν οι τετραγωνικοί παλμοί, μορφοποιείται στο αντίστοιχο σχηματικό διάγραμμα των παράλληλων διατάξεων πυκνωτών - αντιστάσεων ώστε να δημιουργηθεί η σωστή διηλεκτρική πόλωση στο σύνολο του συστήματος.



Εικόνα 8: Κύκλωμα δημιουργίας τετραγωνικών παλμών με εκφόρτιση πυκνωτή

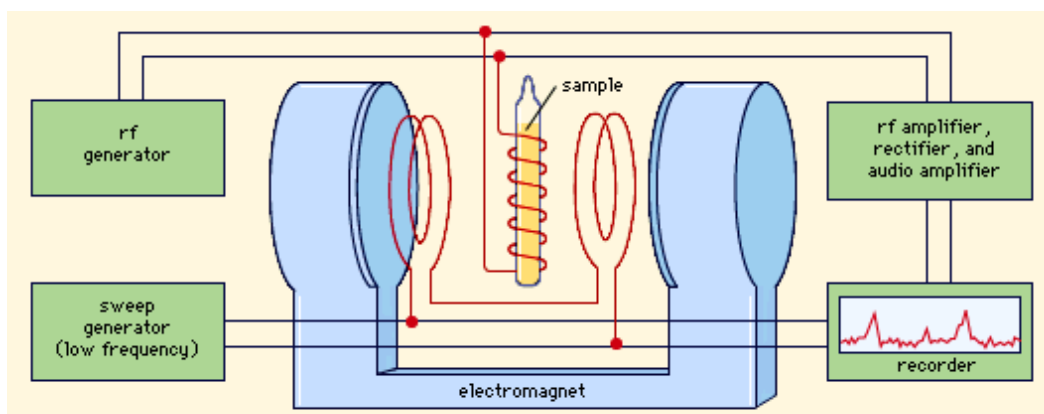
1.4 Η έννοια του παλμικού συντονισμού και πόλωση ιόντων

Συντονισμός, στα πλαίσια της φυσικής, θεωρείται η ταύτιση της συχνότητας ή ταλάντωσης ενός διεγέρτη με την ιδιοσυχνότητα του παθητικού-ταλαντωνόμενου σώματος. Σε ένα

σύστημα διεγέρτη – ταλαντωτή η κατάσταση συντονισμού αποτελεί και την πιο ενδιαφέρουσα, διότι παρουσιάζεται το μέγιστο δυνατό πλάτος ταλάντωσης και η μέγιστη δυνατή ενέργεια του συστήματος. Σε περίπτωση που δεν επιχειρείται περιορισμός του διεγέρτη, δηλαδή απόσβεση, το πλάτος αυτό τείνει θεωρητικά προς το άπειρο. Οι δυνάμεις μεταξύ των μορίων του ταλαντωτή-στοιχείου υπερνικούνται και έτσι επέρχεται, εν τέλει, η διάσπαση- αποσύνθεσή του. Η μεγάλη αυτή έκλυση ενέργειας των μορίων επιδρά και στην κινητική τους ενέργεια αυξάνοντάς τη. Πλέον τα ελεύθερα άτομα που έχουν προκύψει από τη διάσπαση των μορίων του ταλαντωνόμενου στοιχείου αποκτούν χαρακτήρα ιόντων και εφόσον κινούνται στο χώρο όπου αναπτύσσεται το ηλεκτρικό πεδίο, παρατηρείται ηλεκτρική έλξη, από τους φορείς του ηλεκτρικού αυτού πεδίου. Στην ουσία, επιδιώκεται ο έλεγχος της κατεύθυνσης ιόντων ρευστού, με βάση τα παλμικά ηλεκτρικά πεδία.

Η πόλωση προσανατολισμού στα ιόντα ενός αερίου που προκαλείται από ένα παλμικό ηλεκτρικό πεδίο, αναφέρεται στο φαινόμενο όπου η προσανατολισμένη κατάσταση των ιόντων εντός του αερίου επηρεάζεται από το ηλεκτρικό πεδίο που αλλάζει ραγδαία. Αυτός ο τύπος πόλωσης, είναι αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης μεταξύ του ηλεκτρικού πεδίου και των φορτισμένων σωματιδίων (ιόντων) στο αέριο. Όταν εφαρμόζεται ένα παλμικό ηλεκτρικό πεδίο σε ένα αέριο, το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στα φορτισμένα ιόντα, προκαλώντας την κίνησή τους. Η παλμική φύση του ηλεκτρικού πεδίου σημαίνει ότι η κατεύθυνση και η ένταση του πεδίου αλλάζουν ραγδαία με τον χρόνο. Ως αποτέλεσμα, τα ιόντα στο αέριο βιώνουν δυνάμεις που μεταβάλλονται με βάση τη συχνότητα και την ένταση του παλμικού σήματος, σε μέγεθος και κατεύθυνση. Η προσανατολιστική πόλωση συμβαίνει ως αντίδραση σε αυτές τις μεταβαλλόμενες δυνάμεις. Τα ιόντα στο αέριο προσπαθούν να ευθυγραμμιστούν με το ηλεκτρικό πεδίο, ακολουθώντας τις μεταβολές του. Οι γρήγορες αλλαγές στο ηλεκτρικό πεδίο οδηγούν τα ιόντα να διατάσσονται ανάλογα, προκαλώντας ένα δυναμικό αποτέλεσμα πόλωσης.

Αυτό το φαινόμενο, είναι ιδιαίτερα σημαντικό στο πλαίσιο παλμικών ηλεκτρικών πεδίων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως στη δημιουργία πλάσματος, σε εκπομπές αερίων ή σε ορισμένους τύπους χημικών αντιδράσεων. Η κατανόηση της προσανατολιστικής πόλωσης είναι ουσιώδης για τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς των ιόντων ως απόκριση σε παλμικά ηλεκτρικά πεδία και για τον σχεδιασμό συστημάτων ή διεργασιών που εμπλέκουν την αλληλεπίδραση των ιόντων με τέτοια πεδία.



Εικόνα 9: Συντονισμός δείγματος από μαγνητικό πεδίο [18]

Τα ιόντα είναι φορτισμένα σωματίδια που προκύπτουν από την απώλεια ή κέρδος ηλεκτρονίων από ένα άτομο. Αν ένα άτομο χάσει ένα ή περισσότερα ηλεκτρόνια, γίνεται θετικά φορτισμένο και ονομάζεται κατιόν. Αν, αντίθετα, αποκτήσει επιπλέον ηλεκτρόνια, γίνεται αρνητικά φορτισμένο και ονομάζεται ανιόν.

Η προσανατολισμένη κατάσταση των ιόντων αναφέρεται στο πώς αυτά τα φορτισμένα σωματίδια ευθυγραμμίζονται ή αλληλεπιδρούν με ένα εξωτερικό πεδίο, όπως ένα ηλεκτρικό πεδίο. Όταν ένα ιόν βρίσκεται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, το πεδίο ασκεί δύναμη πάνω στο φορτισμένο ιόν και αυτό ανταποκρίνεται με κίνηση. Η κίνηση αυτή μπορεί να περιλαμβάνει την προσανατολισμένη κίνηση του ιόντος, είτε προς την κατεύθυνση του πεδίου, είτε αντίθετα, ανάλογα με το είδος του ιοντικού φορτίου (θετικό ή αρνητικό). Ο προσανατολισμός των ιόντων σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, μπορεί να επηρεάσει τη συμπεριφορά και την κίνησή τους, είτε σε αέρια, είτε σε υγρά, είτε ακόμη και σε στερεά υλικά. Αυτός ο προσανατολισμός είναι σημαντικός σε πολλές φυσικές και χημικές διεργασίες, καθώς επηρεάζει τις αλληλεπιδράσεις και τις ιδιότητες των ιόντων σε διάφορα περιβάλλοντα.

Σε αντίθεση με τα αγώγιμα μέταλλα, όπου τα ηλεκτρόνια κυκλοφορούν ελεύθερα σε όλο το εύρος τους, τα διηλεκτρικά υλικά περιέχουν ζώνες όπου τα ηλεκτρόνια δεσμεύονται από ισχυρούς ομοιοπολικούς δεσμούς. Ωστόσο, όταν υπόκεινται σε ένα ηλεκτρικό πεδίο, αυτά τα δεσμευμένα φορτία μπορούν να υποστούν μετατόπιση ή πόλωση εντός ενός ατόμου ή μορίου. Η ηλεκτρική πόλωση αναφέρεται στη μετατόπιση των θετικών και αρνητικών ηλεκτρικών φορτίων σε αντίθετες κατευθύνσεις εντός των ατόμων ή μορίων ενός μη αγωγού, ή διηλεκτρικού υλικού, που προκαλείται από ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο.

Ενώ οι μικροσκοπικές μετατοπίσεις στα διηλεκτρικά υλικά δεν είναι τόσο εντυπωσιακές όσο στους αγωγούς, τα αποτελέσματά τους συνεισφέρουν στη χαρακτηριστική συμπεριφορά των διηλεκτρικών υλικών. Όταν εφαρμόζεται ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο σε ένα διηλεκτρικό υλικό, αυτό αναπτύσσει ζεύγη αντίρροπων δυνάμεων, αποκτώντας ένα δίπολο. Αυτή η

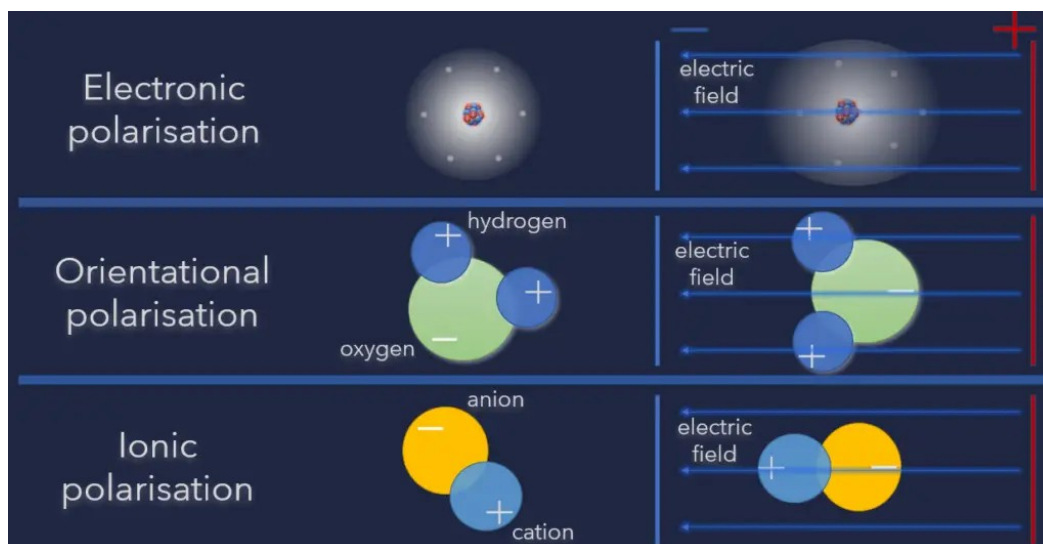
ιδιότητα των διηλεκτρικών ονομάζεται πολωσιμότητα. Όταν ένα ηλεκτρικό πεδίο δρα σε ένα μόριο, τα θετικά φορτία μετακινούνται κατά μήκος του πεδίου, ενώ τα αρνητικά φορτία μετακινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το αποτέλεσμα είναι να αυξάνονται οι διαμοριακές δυνάμεις, να ισχυροποιούνται και να αναπτύσσονται ομοιοπολικοί πολωμένοι δεσμοί κατά το μήκος του υλικού με αποτέλεσμα τη δημιουργία ηλεκτρικών διπόλων και πόλωση των μορίων. Υπάρχουν 3 είδη πόλωσης:

1. Ηλεκτρονική πόλωση: Εδώ, όταν εφαρμόζεται το εξωτερικό πεδίο, τα νέφη ηλεκτρονίων των ατόμων μετατοπίζονται εντός των διαστάσεων αυτών των ατόμων. Αυτό ονομάζεται ηλεκτρονική πόλωση.

2. Πόλωση προσανατολισμού: Η πόλωση αυτή, είναι είτε εγγενής στα μόρια είτε μπορεί να επιτευχθεί σε οποιοδήποτε μόριο όπου είναι δυνατή η ασύμμετρη παραμόρφωση των πυρήνων (παραμόρφωση πόλωσης). Πολωμένα μόρια, εμφανίζονται σε διηλεκτρικά υλικά όπου οι πιθανότητες σύγκρουσης θετικών και αρνητικών μορίων είναι μηδενικές. Αυτό συμβαίνει επειδή είναι όλα ασύμμετρα στη μορφή τους. Ένα τυπικό παράδειγμα είναι το H_2O . Όταν δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, τα ηλεκτρικά δίπολα αυτών των μορίων κινούνται σε μια μη προβλέψιμη κατεύθυνση. Ωστόσο, όταν υπάρχει ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο, τα μόρια θα ευθυγραμμιστούν προς την ίδια κατεύθυνση με το πεδίο και ο αριθμός τους θα αυξάνει, ανάλογα με την ένταση του υφιστάμενου πεδίου.

3. Ιοντική πόλωση: Η ιοντική πόλωση προκαλείται από σχετικές μετατοπίσεις μεταξύ θετικών και αρνητικών ιόντων σε ιονισμένα κρύσταλλα.

Συνολικά, τα διηλεκτρικά υλικά εκδηλώνουν ηλεκτρική πόλωση λόγω της μετατόπισης των δεμένων φορτίων εντός ατόμων ή μορίων ως απάντηση σε ένα εξωτερικό ηλεκτρικό πεδίο. Τα τρία είδη πόλωσης - ηλεκτρονική, προσανατολισμού και ιοντική - περιγράφουν διάφορους μηχανισμούς με τους οποίους τα διηλεκτρικά υλικά ανταποκρίνονται και αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικά πεδία.



Εικόνα 10: Τύποι πόλωσης ιόντων [20]

1.5 Παλμοί και περιοδικά σήματα

Παλμός, σε ένα ηλεκτρικό ή ηλεκτρονικό σύστημα, θεωρείται μια ξαφνική μεταβολή των μετρήσιμων χαρακτηριστικών του, για κάποιο χρονικό διάστημα και επιστροφή στην αρχική τους κατάσταση. Τα χαρακτηριστικά αυτά, για παράδειγμα, θα μπορούσαν να είναι η τάση του ή η ένταση του, όπου αυξάνονται μέχρι ένα πεπερασμένο σημείο, το μέγιστο ύψος του παλμού και τελικά με τη διαδοχική και περιοδική συνέχεια αυτών των παλμών δημιουργείται ένα περιοδικό σήμα. Οι παλμοί αυτού του σήματος όπως εξελίσσεται στον χρόνο μπορούν να πάρουν είτε θετικές είτε αρνητικές τιμές. Οι τιμές αυτές καθορίζονται από το πρόσημο της τάσης εξόδου και τις ρυθμίζουμε εμείς μέσω συγκεκριμένων διατάξεων, οι οποίες αποτελούν τις παλμογεννήτριες. Όταν παρουσιάζονται παλμοί μέσα στα σήματα, είτε ελεγχόμενοι είτε φυσικοί, αυτοί καθορίζουν και τη μαθηματική έκφραση των εν λόγω σημάτων. Το περιοδικό σήμα εμφανίζει κορυφές και κοιλάδες οι οποίες ανάλογα με τα μοτίβα επαναληψιμότητάς τους σχηματίζουν την περίοδο του σήματος. Η περίοδος ενός περιοδικού σήματος, αναφέρεται στο χρονικό διάστημα που χρειάζεται το σήμα να επαναληφθεί πλήρως. Με άλλα λόγια, είναι ο χρόνος που απαιτείται για να περάσει ένας πλήρης κύκλος του σήματος και να επαναληφθεί η ίδια κατάσταση.

Η περίοδος συνήθως συμβολίζεται με το γράμμα T και μετριέται σε δευτερόλεπτα. Αν το σήμα δεν είναι περιοδικό, τότε δεν έχει ορισμένη περίοδο. Για παράδειγμα, σε ένα απλό συνημίτονο, η περίοδος (T) είναι ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί ένας πλήρης κύκλος του συνημιτόνου, δηλαδή από τη μέγιστη θέση ισορροπίας, μέχρι την ελάχιστη θέση, και πίσω στην αρχική μέγιστη ισορροπία, μέσα στο ίδιο χρονικό διάστημα κάθε φορά. Αν το

σήμα είναι περιοδικό, τότε μπορούμε να λέμε ότι η τιμή του σε κάθε σημείο του χρόνου είναι η ίδια με την τιμή του μετά από ένα χρονικό διάστημα ίσο με την περίοδο. Μέσω της περιόδου εκφράζεται και ένα ακόμη βασικό μέγεθος του σήματος, η συχνότητα. Εκφράζεται από τη σχέση $f = 1/T$ και εκφράζει πόσες φορές οι τιμές του περιοδικού σήματος επαναλαμβάνονται στη μονάδα του χρόνου. Τη συχνότητα τη μετράμε σε Hertz. [12]

Το πλάτος ενός σήματος αναφέρεται στο μέγεθος της μέγιστης θετικής ή αρνητικής τιμής του. Το μέγεθος αυτό αναφέρεται στη χρονική του διάρκεια που εντάσσεται σε έναν περιοδικό του κύκλο και είναι η διαφορά μεταξύ των ακραίων τιμών του σήματος και της γραμμής του μηδενικού επιπέδου. Για παράδειγμα, σε ένα σήμα με πλάτος 5V, αυτό σημαίνει ότι η μέγιστη θετική ή αρνητική τιμή του σήματος είναι $\pm 5V$. Αν το σήμα διακυμαίνεται από +5V έως -5V, τότε το πλάτος του από κορυφή σε κορυφή είναι 10V, επειδή καλύπτει μια απόσταση 10V από τη μέγιστη τιμή στην ελάχιστη. Όσον αφορά τον έλεγχο του πλάτους στα σήματα, αρκεί να ρυθμίσουμε κατάλληλα την τάση εξόδου της παλμογεννήτριας ως προς το χρόνο.

Το Pulse Width Modulation (PWM) είναι μια τεχνική που χρησιμοποιείται στην ηλεκτρονική για το σκοπό αυτό με τη χρήση παλμών [8]. Η ιδέα είναι να αλλάζει η διάρκεια του χρόνου που το σήμα είναι σε υψηλό επίπεδο τάσης (θετικό ακρότατο) έναντι του χρόνου που είναι σε χαμηλό επίπεδο τάσης (μηδενική ή αρνητική στάθμη), δημιουργώντας ένα παλμικό σήμα. Η ρύθμιση του PWM συνήθως γίνεται ρυθμίζοντας τον λόγο κύκλου εργασίας (Duty Cycle), ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του χρόνου που το σήμα είναι σε υψηλό επίπεδο σε σχέση με τον συνολικό κύκλο. Ο λόγος κύκλου εργασίας μετράται συνήθως σε ποσοστά.

Ο κύκλος εργασίας υπολογίζεται ως εξής:

$$[D = \left(\frac{T_{\text{high}}}{T_{\text{total}}} \right) \times 100\%]$$

Όπου:

- T_{high} είναι ο χρόνος που το σήμα είναι σε μέγιστο επίπεδο τάσης
- T_{total} είναι ο συνολικός χρόνος του κύκλου.

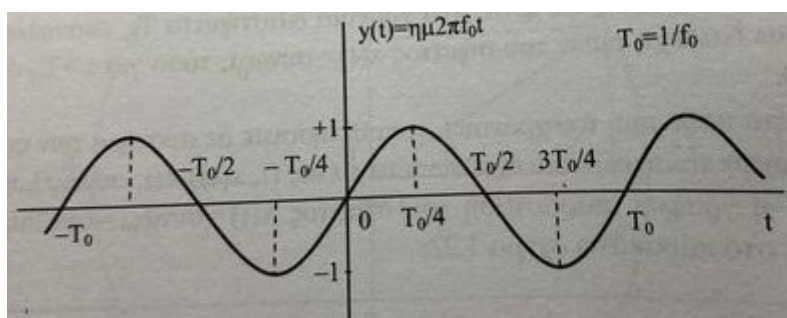
Για παράδειγμα, αν ο κύκλος εργασίας είναι 30%, αυτό σημαίνει ότι το σήμα είναι σε υψηλό επίπεδο για το 30% του συνολικού χρόνου.

Τα περισσότερα περιοδικά σήματα μπορούν να περιγραφούν με μια συνάρτηση που εξαρτάται από τον χρόνο. Ανάλογα με το σχήμα της συνάρτησης, τα περιοδικά σήματα μπορούν να χωριστούν σε διάφορα είδη. Δύο από τα βασικότερα είδη σημάτων στο τομέα της ηλεκτρονικής είναι:

1. Ημιτονοειδές (Sine Wave): Το ημιτονοειδές σήμα είναι μια συνάρτηση που περιγράφεται από τη μορφή :

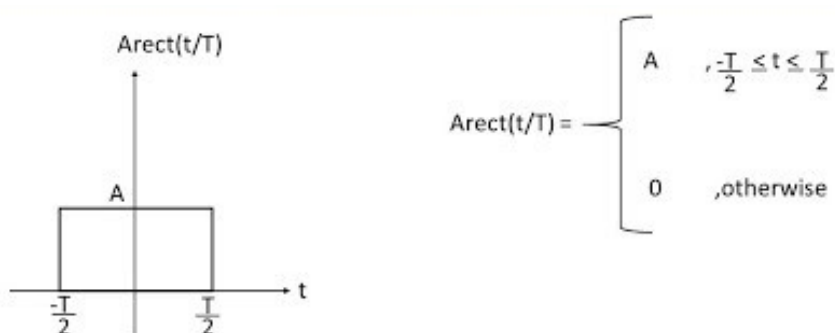
$$(A \sin(2\pi ft + \phi))$$

όπου A είναι το πλάτος, f η συχνότητα, t ο χρόνος, και ϕ η φάση. Το γινόμενο $2\pi f$ εκφράζει την κυκλική συχνότητα του σήματος και μετριέται σε rad/sec. Συνεπώς η γραφική παράσταση ενός ημιτονικού σήματος με μηδενική φάση και πλάτος $A=1$ θα εκφράζεται ακόλουθα: $y = \sin(2\pi f_0 t)$



Εικόνα 11: Παράδειγμα γραφικής αναπαράστασης ημιτονοειδούς σήματος

2. Τετραγωνικό (Square Wave): Ο τετραγωνικός παλμός είναι ένας τύπος κύματος που χαρακτηρίζεται από το ότι η τάση (ή η ένταση) αλλάζει από μια σταθερή τιμή σε μια άλλη σταθερή τιμή εξασφαλίζοντας σταθερό πλάτος αλλά και κύκλο λειτουργίας τουλάχιστον για μια ημιπερίοδο. Η συνάρτηση που εκφράζει τον τετραγωνικό παλμό αποτελείται από δύο σκέλη, έχοντας διακριτές τιμές στα χρονικά διαστήματα που υποδεικνύουν τα όρια αλλαγής του πλάτους και της διάρκειας του παλμού. Συμβολίζεται ως "παλμός" ή "rectangular pulse" και μπορεί να εκφραστεί μαθηματικά ως άθροισμα αρμονικών, δηλαδή ημιτονικών σημάτων σε συχνότητες που είναι ακέραια πολλαπλάσια με εκείνον. Όταν το πλάτος είναι ίσο με μια περίοδο του παλμού τότε έχουμε τετραγωνικό παλμό, καθώς γραφικά έχουμε ισότητα πλευρών. Σε κάθε άλλη γενικότερη περίπτωση προτιμάται ο όρος ορθογώνιος παλμός. [13]



Εικόνα 12: Παράδειγμα αναπαράστασης τετραγωνικού παλμού

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΘΑΛΑΜΟΥ

Για τη δημιουργία του παλμικού πεδίου και τη διοχέτευση του αερίου στα πλαίσια της εργασίας, απαιτείται η κατασκευή ενός θαλάμου από μονωτικό υλικό. Ο θάλαμος αυτός θα μορφοποιηθεί με σκοπό την απροβλημάτιστη ροή του αερίου εντός των τοιχωμάτων του και την εύκολη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων και των ηλεκτρονικών διατάξεων εντός και εκτός, κατ' επέκταση. Θα πρέπει να πληροί συγκεκριμένες προδιαγραφές όσον αφορά το μέγεθος και τη μορφή του, το υλικό κατασκευής του, καθώς και να ληφθεί υπόψη η πιο αποδοτική, γρήγορη και οικονομική λύση υλοποίησης του με τα σύγχρονα εργαλεία που έχει στη διάθεσή του ένας μηχανικός.

2.1 Συστήματα CAD/CAM και 3D εκτύπωση

Τα συστήματα CAD (Computer Aided Design) και CAM (Computer Aided Manufacturing) αντιπροσωπεύουν τα σύγχρονα ψηφιακά εργαλεία που έχει στη διάθεσή του ένας μηχανικός για τη σχεδίαση και την απτή δημιουργία μιας εφαρμογής. Οι εφαρμογές αυτές έχουν να κάνουν από την κατασκευή ενός απλού εξαρτήματος, τη σύνθεση βιομηχανικών εγκαταστάσεων, το αρχιτεκτονικό σχέδιο ενός κτηρίου, μέχρι και τη σχεδίαση του κυκλώματος ισχύος ή του ηλεκτρονικού κυκλώματος μιας συσκευής. Πλέον υπάρχουν δεκάδες προγράμματα ψηφιακής δημιουργίας και αναπαράστασης αντικειμένων, το καθένα με προσωποποιημένες παραμέτρους και λειτουργίες, ώστε ο χρήστης να έχει πληθώρα επιλογών και να διαλέξει με βάση τις ανάγκες και την εμπειρία του. Η φιλοσοφία των εργαλείων αυτών βασίζεται στη μαθηματική μοντελοποίηση και αναπαράσταση σημείων στο καρτεσιανό επίπεδο, μεταφράζοντας αυτά τα δεδομένα σε γραφικές απεικονίσεις και σχήματα πάνω στην επιφάνεια εργασίας. Υπάρχει η δυνατότητα για σχεδίαση στις δύο διαστάσεις, έχοντας ελευθερία αποκλειστικά στη διαστασεολόγηση και την ανάλυση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του αντικειμένου κατά τις βασικές του όψεις, δηλαδή την πρόοψη, την κάτοψη, την πλάγια όψη, την άνοψη και την πίσω όψη. Η ουσία των CAD προγραμμάτων, όμως, βρίσκεται στο κομμάτι της τρισδιάστατης σχεδίασης και ανάλυσης, καθώς εκείνη επιτρέπει τη μετάβαση στα συστήματα CAM και τη δημιουργία αντικειμένων μέσα από αυτοματοποιημένες και ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές. Η σχεδίαση στις 3 διαστάσεις εκφράζεται μέσω στερεών ψηφιακών μοντέλων όπου παρουσιάζεται γέμισμα και ταξινόμηση του χώρου. Αυτά προκύπτουν από τα πρώιμα μοντέλα ακμών και επιφανειών, εμφανίζοντας περισσότερες δυνατότητες όσον αφορά τη σχεδιομελέτη και την

προώθηση σε συστήματα CAM [10]. Έχοντας ολοκληρώσει το σχέδιο προς κατασκευή, αυτό αποθηκεύεται με τη μορφή αρχείου και είτε μπορεί να προωθηθεί στο στάδιο εκτύπωσής του είτε να διατεθεί σε πλατφόρμα open-source στο ευρύ κοινό. Πλέον, το αρχείο είναι σε θέση να περάσει στο στάδιο της εξαγωγής (export) ώστε να υποστηρίζεται από το CAM σύστημα. Δύο είναι οι κύριες μέθοδοι κατεργασίας που υποστηρίζονται από CAM εργαλεία, η προσθετική και η αφαιρετική. Στην προσθετική μέθοδο έχουμε τη δημιουργία αντικειμένων με την προσθήκη υλικού, συνήθως διαδοχικών στρώσεων με τη μικρότερη δυνατή απώλεια υλικού. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση των τρισδιάστατων εκτυπωτών, οι οποίοι αποτελούν τις κύριες εργαλειομηχανές στην κατηγορία τους, μαζί με τις διάφορες παραλλαγές τους. Στην αφαιρετική μέθοδο, εμφανίζεται η χρήση εργαλειομηχανών CNC (Computerized Numerical Control), οι οποίες αφαιρούν υλικό από ένα αρχικό κομμάτι αναφοράς μέχρι την ολοκληρωμένη διαμόρφωσή του με αποτέλεσμα τη δημιουργία του τελικού αντικειμένου. Οι αφαιρετικές μέθοδοι είναι κατάλληλες για την κατασκευή αντικειμένων με υψηλή ακρίβεια, αντοχή και απόδοση από ισχυρότερα υλικά, όπως είναι το μέταλλο και το ατσάλι, εφαρμόζοντας στην πράξη βασικές μηχανικές κατεργασίες που αφορούν την τόννευση, την κοπή και το φρεζάρισμα των αντικειμένων, με αυτοματοποιημένο τρόπο.

Το 3D printing αναφέρεται στη δημιουργία αντικειμένων με τη χρήση τρισδιάστατων εκτυπωτών. Θερμοπλαστικά κυρίως υλικά, όπως PLA (polylactic acid), ABS (Acrylonitrile butadiene styrene), TPU (Thermoplastic Polyurethane) και διάφορα άλλα υπό τη μορφή νήματος και τυποποιημένων μορφών ανάλογα με το μέγεθος και τα μηχανικά χαρακτηριστικά του εκτυπωτή, θερμαίνονται μέχρι το σημείο τήξης τους και κατόπιν εναποτίθενται στρώση προς στρώση στην περιοχή εκτύπωσης δημιουργώντας το τρισδιάστατο τελικό αντικείμενο. Το υλικό ρέει μέσα από τη μύτη εξαγωγής (extrusion nose) με προκαθορισμένο ρυθμό, ποσότητα και διαδρομή, τα οποία αποτελούν παραμέτρους που ελέγχει ο χρήστης. Η μέθοδος της τρισδιάστατης εκτύπωσης πλεονεκτεί σε θέμα κόστους και χρόνου κατασκευής καθώς συναντάται συνήθως σε διαδικασίες γρήγορης πρωτοτυποποίησης (rapid prototyping) και μικρής κλίμακας που προορίζονται για χαμηλές μηχανικές καταπονήσεις και καθημερινές DIY εφαρμογές. Ειδικά προγράμματα που υποστηρίζουν τους εκτυπωτές, αποτελούν οι slicers. Είναι υπεύθυνοι για τη χαρτογράφηση και την ανάλυση του τρισδιάστατου αντικειμένου μέσα στα πλαίσια του χώρου εκτύπωσης, δημιουργώντας το μονοπάτι που θα ακολουθήσει η μύτη εξαγωγής κατά τη διαδικασία εκτύπωσης. Πριν την έναρξη της εκτύπωσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να ρυθμίσει παραμέτρους σχετικά με

τη ταχύτητα, το πάχος των στρώσεων, τον προσανατολισμό του προς εκτύπωση αντικειμένου στο χώρο και την ποσότητα υλικού εντός των εσωτερικών τοιχωμάτων του [9].

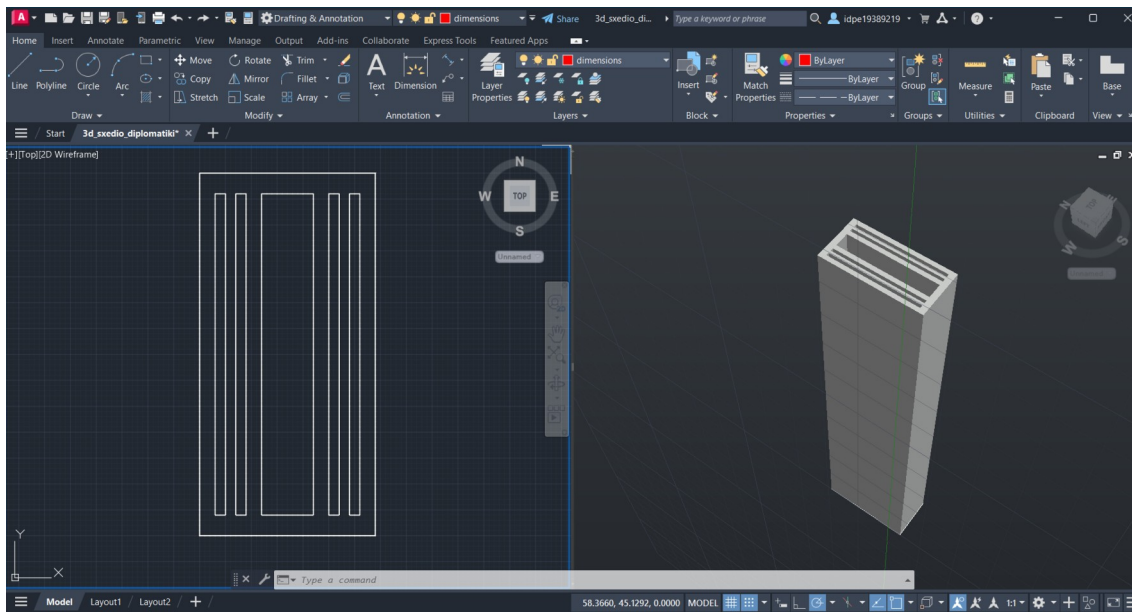
2.2 Προδιαγραφές και χαρακτηριστικά μονωτικού θαλάμου

Ο θάλαμος που θα χρησιμοποιηθεί στην πειραματική εφαρμογή, θα πρέπει να πληροί κάποιες προδιαγραφές με σκοπό την ομαλή και επιτυχημένη ολοκλήρωσή της. Χρειάζεται να εξεταστούν όλα εκείνα τα κριτήρια που τη θέτουν σε κίνδυνο αποτυχίας και κατόπιν να επιλεγούν τα κατάλληλα υλικά, μέθοδος και χαρακτηριστικά του θαλάμου. Η σχεδίαση ενός θαλάμου ξεκινά προσδιορίζοντας την κλίμακα του έργου που θα αναλαμβάνει. Στην περίπτωση μας, εντάσσεται σε μικρής κλίμακας έργο, καθώς διεξάγουμε πείραμα και μετρήσεις δοκιμαστικά σε εργαστήριο. Το σχήμα του θαλάμου θα καθοριστεί από τη λειτουργικότητα του εξοπλισμού, των ηλεκτροδίων και του ρευστού που θα εισέλθει σε εκείνον. Η δημιουργία κυλινδρικού θαλάμου απορρίφθηκε, λαμβάνοντας υπόψιν την πιθανή δημιουργία ηλεκτρικού τόξου στις άκρες των οπλισμών, κατά την παραγωγή ηλεκτρικών παλμών υψηλής τάσης σε αυτούς. Επίσης, εργονομικά θα υπάρχει καλύτερη και ευκολότερη “συρταρωτή” τοποθέτηση των φύλλων χαλκού στις εσοχές του θαλάμου δίχως την ανάγκη για κύρτωση και επεξεργασία τους. Η τελική επιλογή είναι να δημιουργηθεί ένας θάλαμος ακμών σε σχήμα ορθογώνιου παραλληλεπίπεδου και διαστάσεις που να είναι συγκρίσιμες και ανάλογες του ηλεκτρολογικού και ηλεκτρονικού υλικού που έχουμε στη διάθεσή μας καθώς και τον όγκο του ρευστού εντός των τοιχωμάτων. Συνολικά, η κατασκευή οριοθετείται στα 150 χιλιοστά κατά ύψος (outer height), 25 χιλιοστά κατά πλάτος (outer width) και 54 χιλιοστά κατά μήκος (outer length) σύμφωνα με τα εργαστηριακά κριτήρια. Το σύνολο των διαστάσεων της κατασκευής θα παρατεθεί στο επόμενο υποκεφάλαιο κατά το σχεδιασμό του θαλάμου σε CAD πρόγραμμα. Για πειραματισμό με υγρά ρευστά πέρα των αερίων και τη συγκράτησή τους εντός των τοιχωμάτων, προτάθηκε και υλοποιήθηκε η κατασκευή καπακιού για την αεροστεγή κάλυψη του κάτω μέρους του θαλάμου. Ακόμη, για την καλύτερη ορατότητα και την επιπρόσθετη δυνατότητα οπτικών συμπερασμάτων επιλέχθηκε διαφανές νήμα PLA. Με τον τρόπο αυτό θα είναι δυνατή η παρατήρηση κάποιας χημικής διεργασίας, όπως για παράδειγμα η δημιουργία θολερών επιφανειών αλλά και η ευκολότερη τοποθέτηση των ηλεκτροδίων στις εγχοπές. Το PLA αποτελεί ένα από τα δημοφιλέστερα θερμοπλαστικά πολυμερή με δομική μονάδα το πολυγαλακτικό οξύ, για απλές κατασκευές, καθώς είναι βιοδιασπώμενο και φιλικό προς το περιβάλλον, οικονομικό αλλά και εύκολο ως προς τη διαδικασία εκτύπωσης καθώς

δουλεύεται από ανοιχτούς εκτυπωτές χωρίς μεγάλη επέμβαση από το χειριστή στις λειτουργικές παραμέτρους της διαδικασίας. Τέλος, ο θάλαμος δεν προορίζεται για μηχανική καταπόνηση και έκθεση σε καιρικές συνθήκες οπότε δεν τίθεται περιορισμός ως προς την αντοχή του υλικού. Όσον αφορά την εργονομία της κατασκευής, προστέθηκαν ακόμη δύο ζεύγη εσοχών πάνω και κάτω της κατασκευής, ώστε να δημιουργηθούν ευπρόσιτα άκρα στα ηλεκτρόδια για τη σύνδεσή τους με ακροδέκτες.

2.3 Σχεδιασμός θαλάμου

Μεταβαίνοντας στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας, σκοπός μας είναι η αξιοποίηση σχεδιαστικών προγραμμάτων για το σχεδιασμό ψηφιακών πρωτοτύπων και έπειτα την αποστολή τους σε αρχείο συμβατό ως προς τον 3D εκτυπωτή. Τηρώντας όλες τις αναφερθείσες προδιαγραφές μοιράστηκε η δημιουργία του ψηφιακού σχεδίου σε δύο CAD προγράμματα. Το πρώτο είναι το Autocad της Autodesk, το οποίο αποτελεί ένα από τα καλύτερα και πληρέστερα προγράμματα σχεδίασης με συνδρομητική λειτουργία και το δεύτερο είναι το FreeCad όπου παρέχεται δωρεάν και με ελαφρώς ασθενέστερα λειτουργικά χαρακτηριστικά. Στην πρώτη περίπτωση δημιουργήθηκαν τα γεωμετρικά στοιχεία της κατασκευής στις 2 διαστάσεις και έπειτα υπέστησαν αναγωγή στις 3 διαστάσεις δίνοντας όγκο με την εντολή press-pull της κορδέλας ribbon στη γραμμή εργασιών. Έτσι δημιουργήθηκε ένας ενιαίος στερεός θάλαμος ο οποίος αντανakλά τα χαρακτηριστικά των 2 διαστάσεων σε κάθε όψη. Οι διαστάσεις σε αυτή την περίπτωση είναι προκαθορισμένες κατά τον σχεδιασμό και το αντικείμενο δεν απαρτίζεται από μεμονωμένες πλευρές και δομικά στοιχεία.



Εικόνα 13: Στιγμιότυπο ψηφιακού σχεδίου του θαλάμου στο AutoCad

Αντίθετα με τη μονολιθική προσέγγιση σχεδίασης του θαλάμου στο AutoCad, η φιλοσοφία της παραμετρικής μοντελοποίησης επικράτησε στο FreeCad, όπου και αποτέλεσε το πρόγραμμα τελικής μορφοποίησης για προώθηση του πρωτότυπου στον slicer του εκτυπωτή. Ο θάλαμος αυτή τη φορά σχεδιάστηκε εξ' ολοκλήρου στις 3 διαστάσεις, ορίζοντας για κάθε επιφάνεια έναν τίτλο που της αντιστοιχεί και θέτοντας παραμέτρους σε εκείνες, όπως είναι οι διαστάσεις. Συνεπώς, το αρχείο γίνεται πιο ευέλικτο και φιλικό σε αλλαγές, καθώς ο σχεδιαστής μπορεί με μεγάλη ευκολία να παραμετροποιήσει τις διαστάσεις συγκεκριμένων μερών ή και ολόκληρου του σχεδίου. Τα στοιχεία που απαρτίζουν το αντικείμενο όπως εκείνα προβάλλονται ανά τις επιφάνειές του είναι τα εξής:

- Chamber Width: Είναι το καθαρό πλάτος του εσωτερικού τμήματος του θαλάμου από όπου περνάει μέσα το αέριο.
- Chamber Height: Είναι το ύψος του θαλάμου, άρα και όλης της κατασκευής.
- Chamber Length: Είναι το καθαρό μήκος του θαλάμου, πάλι το εσωτερικό κομμάτι (τρύπα). Προβάλλεται στην κάτοψη και την άνοψη του αντικειμένου.
- Plate Thickness: Είναι το πάχος της κάθε πλάκας, δηλαδή το πάχος της τρύπας που θα διαμορφωθεί ώστε να τοποθετηθεί μέσα η κάθε πλάκα πυκνωτή.
- Plate Isolation: Είναι το πάχος του μονωτικού υλικού μεταξύ των δύο πλακών.
- Electrode Pocket: Στο οριζόντιο, πλέον, επίπεδο δημιουργείται μια εσοχή όπου εκεί κάνει γωνία το ηλεκτρόδιο για να δημιουργήσει πατούρα ώστε να συνδεθεί με τον ακροδέκτη του κυκλώματος. Αυτό δηλώνει πόσο μεγάλη είναι αυτή η εσοχή, η οποία

έχει να κάνει με το πάχος της κάθε πλάκας. Εκεί υπολογίζουμε και το κουρμπάρισμα που κάνει το υλικό της πλάκας στο δίπλωμά της.

- Chamber Isolation Thickness: Είναι το πάχος του υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ του μήκους του θαλάμου και της πρώτης πλάκας πυκνωτή και από τις δύο μεριές.
- Chamber Case Thickness: Είναι το πάχος του υλικού στο εξωτερικό τμήμα της κατασκευής.

Επιπρόσθετα χαρακτηριστικά που εξήχθησαν από τις παραμέτρους των παραπάνω διαστάσεων και υπολογίστηκαν συμπληρωματικά από το πρόγραμμα είναι οι εξής:

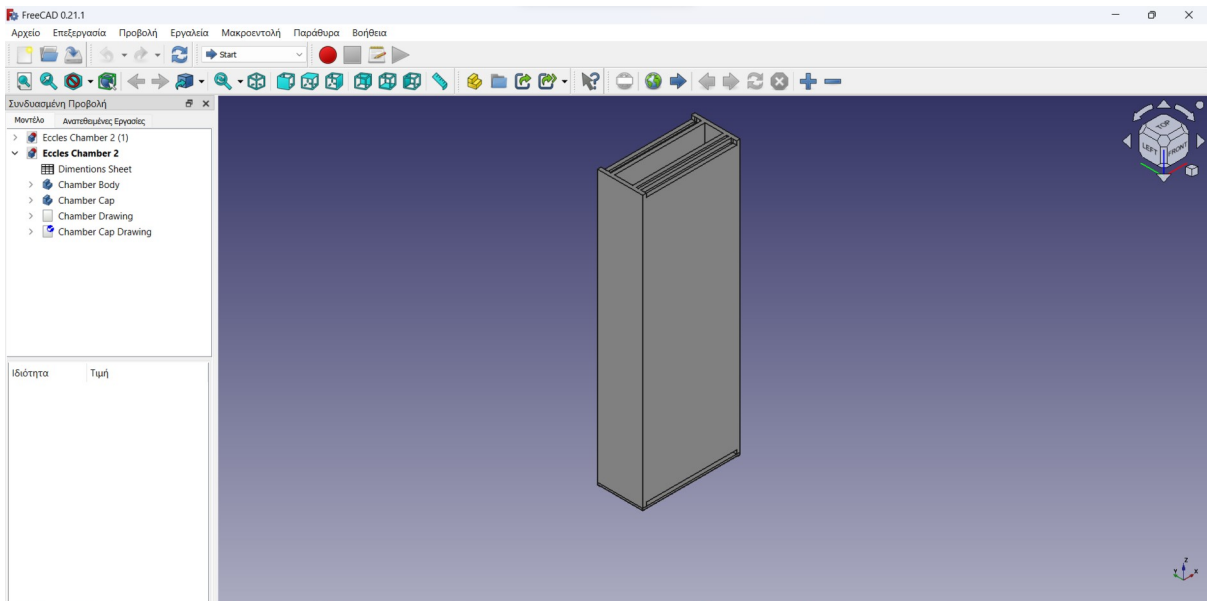
- Positive electrode Insertion: Εξάγεται από την πρόσθεση του Plate thickness με το Chamber case thickness.
- Negative electrode Insertion: Εξάγεται από την πρόσθεση του Plate thickness με το Chamber case thickness.
- Outer Width: Είναι το μέγιστο εξωτερικό μήκος της κατασκευής.
- Outer height: Είναι το μέγιστο εξωτερικό ύψος της κατασκευής το οποίο και συμπίπτει με το Chamber height.
- Outer length: Είναι το μέγιστο εξωτερικό πλάτος της κατασκευής.
- Inner Cap gap: Είναι το εσωτερικό κενό που εμφανίζεται κατά μήκος και κατά πλάτος του καπακιού που εφαρμόζεται στο πάνω ή στο κάτω άκρο της κατασκευής.
- Inner Cap length: Υπολογίζεται ως το Chamber length μειωμένο κατά το διπλάσιο του Inner Cap gap.
- Inner Cap width: Υπολογίζεται ως το Chamber width μειωμένο κατά το διπλάσιο του Inner Cap gap.
- Inner Cap height: Χωρίζεται σε Inner Cap height 1, όπου είναι το ύψος του καπακιού από τη βάση μέχρι και το πρώτο O-Ring, Inner Cap height 2, όπου είναι η συνέχεια του ύψους από το προηγούμενο O-Ring ως το επόμενο και τέλος σε Inner Cap height 3 όπου είναι το ύψος από το δεύτερο O-Ring ως το πέρας του καπακιού.
- O-Ring height: Είναι το ύψος του κενού που δημιουργεί η συγκεκριμένη ιδιομορφία για λόγους σωστής και αεροστεγούς κάλυψης.
- O-Ring gap: Είναι το βάθος του κενού που δημιουργεί η συγκεκριμένη ιδιομορφία για λόγους σωστής και αεροστεγούς κάλυψης.
- Cap Base height: Είναι το ύψος της βάσης του καπακιού που προεξέχει και εφαρμόζει στο περίβλημα της υπόλοιπης κατασκευής.

Παρατίθεται και το dimensions sheet (Πίνακας 1) όπου αναγράφονται όλες οι τιμές των διαστάσεων του αντικειμένου στο FreeCad:

	A	B	C
1	Chamber Width	10,00 mm	
2	Chamber Height	150,00 mm	
3	Chamber Length	50,00 mm	
4	Plate Thickness	1,00 mm	
5	Plate Isolation	1,50 mm	
6	Electrode Pocket	2,00 mm	
7	Positive Electrode Insertion	5,50 mm	Calculated
8	Negative Electrode Insertion	3,00 mm	Calculated
9	Chamber Isolation Thickness	2,00 mm	
10	Chamber Case Thickness	2,00 mm	
11	Outer Width	25,00 mm	Calculated
12	Outer Height	150,00 mm	Calculated
13	Outer Length	54,00 mm	Calculated
14	Inner Cap Gap (per side)	0,40 mm	
15	Inner Cap Length	49,20 mm	Calculated
16	Inner Cap Width	9,20 mm	Calculated
17	Inner Cap Height 1	4,00 mm	
18	Inner Cap Height 2	2,00 mm	
19	Inner Cap Height 3	2,00 mm	
20	O-Ring Height	0,70 mm	
21	O-Ring Gap	0,40 mm	
22	Cap Base Height	2,00 mm	

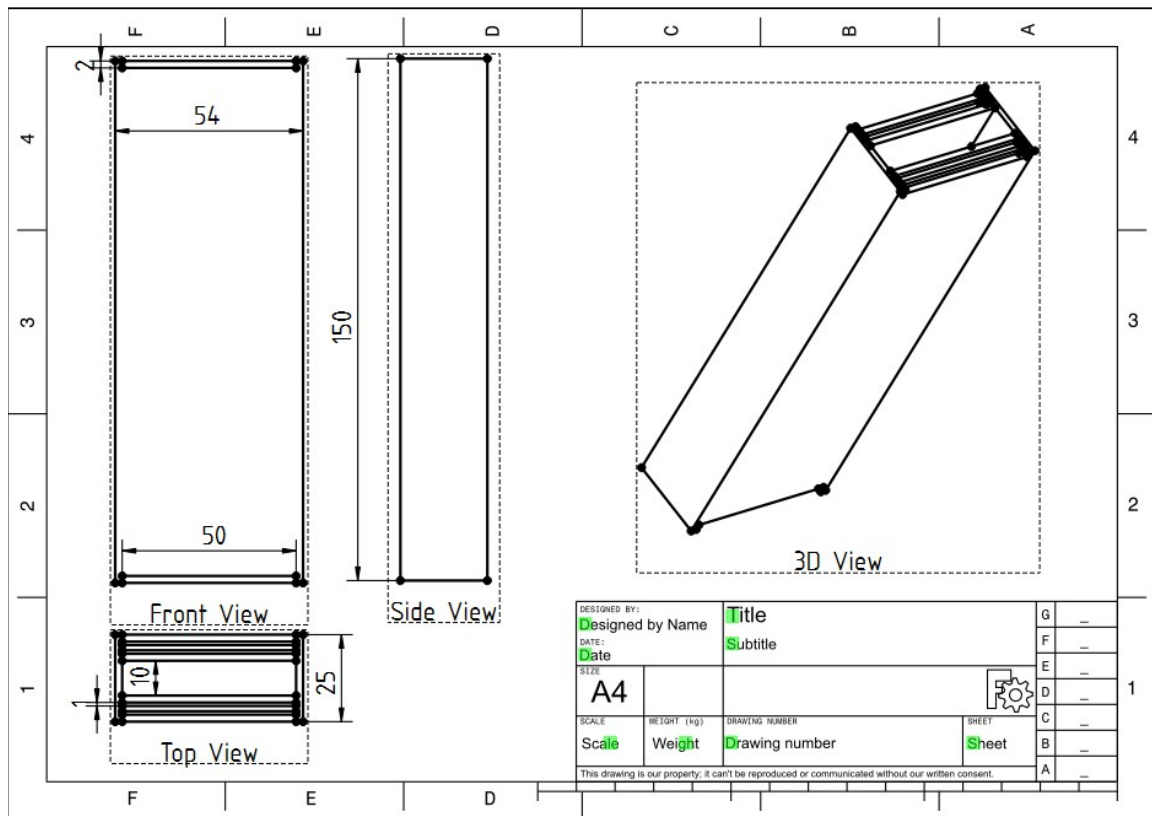
Πίνακας 1: Φύλλο διαστάσεων του θαλάμου στο FreeCAD

Ακολουθεί το 3D view του τελικού σχεδίου στο FreeCad:

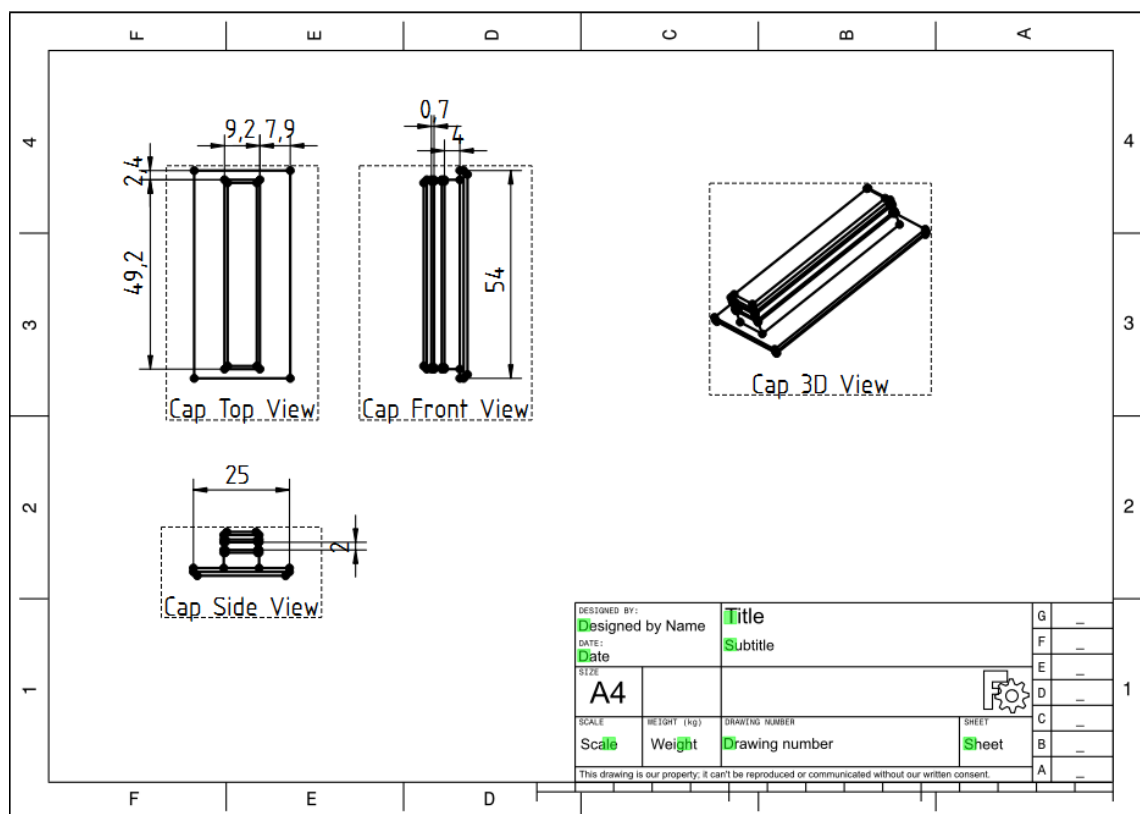


Εικόνα 14: Στιγμιότυπο ψηφιακού σχεδίου στο FreeCAD

Ακολουθούν τα μηχανολογικά σχέδια του θαλάμου και του καπακιού κατά άνοψη, πλάγια όψη, πρόοψη και αξονομετρικό:



Εικόνα 15: Ψηφιακό μηχανολογικό σχέδιο του θαλάμου



Εικόνα 16: Ψηφιακό μηχανολογικό σχέδιο του καπακιού

2.4 Εκτύπωση θαλάμου

Κατόπιν του τελειοποιημένου ηλεκτρονικού σχεδίου, ακολουθεί η τελική του επεξεργασία ώστε να ορισθούν οι απαραίτητες παράμετροι για την επιτυχημένη του εκτύπωση. Μια τρισδιάστατη εκτύπωση απαιτεί συγκεκριμένες προδιαγραφές, οι οποίες είτε ορίζονται αυτόματα είτε καθορίζονται από την κρίση του χρήστη. Αρχικά, το αρχείο CAD υπόκειται σε εξαγωγή αρχείου stl, δηλαδή ένα αρχείο στερεολιθογραφίας που περιγράφει την κλειστή εξωτερική επιφάνεια του αντικειμένου και ορίζει τη ροή των στρώσεων και τη διαδικασία της εκτύπωσης. Εν συνεχεία, ακολουθούν δύο βασικές ρυθμίσεις από το χρήστη. Η πρώτη ρύθμιση αφορά την επεξεργασία του ψηφιακού σχεδίου στον slicer του εκτυπωτή. Εκεί ρυθμίζεται το μέγεθος, η κλίμακα, ο προσανατολισμός, η θέση και γενικά παράγοντες που αφορούν το προς εκτύπωση αντικείμενο. Η δεύτερη ρύθμιση αφορά πιο τεχνικά χαρακτηριστικά και παραμέτρους που αφορούν τον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Ρυθμίζοντας παραμέτρους όπως είναι η ταχύτητα εκτύπωσης, το πάχος στρώσης, η θερμοκρασία της μύτης του εκτυπωτή (extrusion nozzle temperature), η θερμοκρασία της πλατφόρμας εκτύπωσης (print bed temperature) και διάφοροι ακόμα παράγοντες που εξαρτώνται από το υλικό εκτύπωσης μπορούμε να πετύχουμε άψογα αποτελέσματα στο παραγόμενο

αντικείμενο. Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιήθηκε διάφανο PLA σε όλο το εύρος της κατασκευής και συνολικά τελέστηκαν 5 προσπάθειες εκ των οποίων οι 3 ήταν αποτυχημένες και οι 2 ήταν επιτυχημένες. Μερικοί λόγοι για τους οποίους οι αρχικές προσπάθειες απέτυχαν είναι οι εξής:

- Θερμική παραμόρφωση στη βάση του τεμαχίου (thermal wrapping) που οδηγούσε σε αποκόλληση των γωνιών από το print bed.
- Μικρή επιφάνεια στη γεωμετρία του τεμαχίου που καθιστούσε δύσκολη τη συγκράτηση του στο print bed.
- Η σχετικά υψηλή ταχύτητα του extrusion nozzle μαζί με τη θερμική παραμόρφωση (thermal wrapping) που προαναφέρθηκε οδηγούσε στη σύγκρουσή του με το τεμάχιο λόγω της διαφοράς του εκτιμώμενου ύψους από την παραμόρφωση.
- Παράγοντες που οφείλονται σε γενικότερες ηλεκτρομηχανικές παραμέτρους στη ρύθμιση του εκτυπωτή όπως λανθασμένο calibration profile, κατάσταση εκτυπωτή, ρυθμίσεις software και ελέγχου stepper motors.

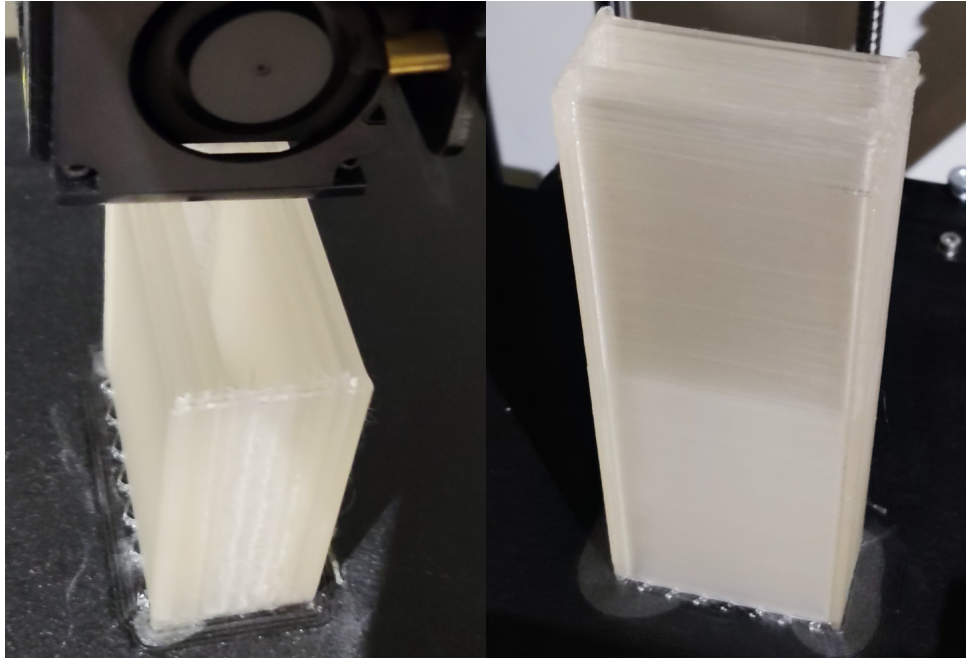
Αλλαγές στις ρυθμίσεις κατά το slicing, που οδήγησαν στις τελικές επιτυχημένες εκτυπώσεις είναι οι εξής:

- Αύξηση του brim από 5 σειρές σε 20.
- Ενεργοποίηση Z-Hop.
- Αύξηση θερμοκρασίας print bed από 50°C σε 60°C.
- Αλλαγή ταχύτητας extrusion nozzle από 80 mm/s σε 55 mm/s.

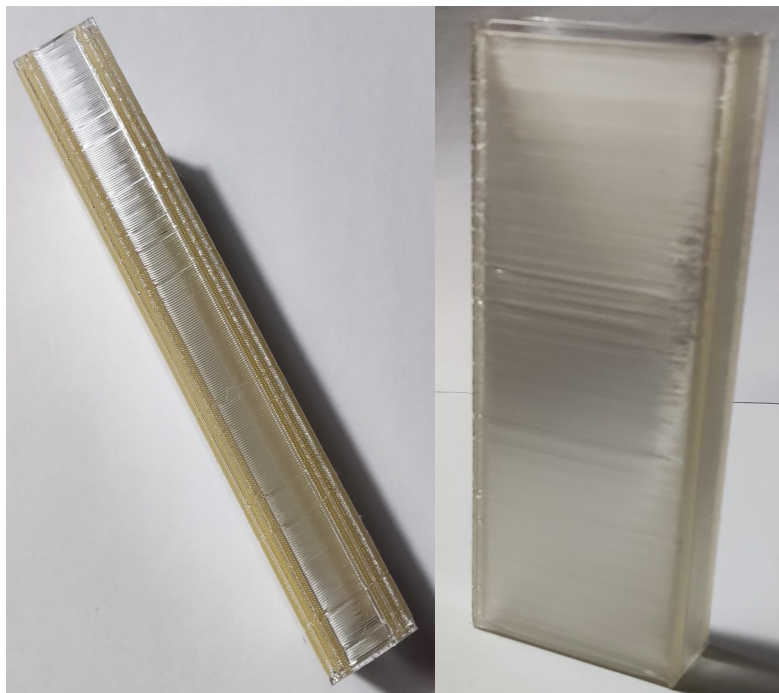
Για τα τεμάχια προς χρήση χρησιμοποιήθηκε το slicer software Cura 5.5.0 που ανταποκρίθηκε άψογα με τον 3D εκτυπωτή Creality Ender 5 Pro. Η θερμοκρασία της κεφαλής του εκτυπωτή ρυθμίστηκε στους 210°C σύμφωνα με την ενδεικνύμενη θερμοκρασία που προτείνεται από τον κατασκευαστή του transparent PLA, ενώ η θερμοκρασία του print bed ορίστηκε στους 60°C. Όσον αφορά τις παραμετροποιήσεις στις ταχύτητες, είχαμε infill speed στα 55 mm/s, wall speed στα 27.5 mm/s, support speed στα 27.5 mm/s, travel speed στα 150 mm/s, Brim speed στα 20 mm/s και initial layer speed στα 20 mm/s. Για την προσκόλληση της βάσης των τεμαχίων (Adhesion) ακολουθήθηκε η τεχνική brim, καθώς ορίστηκε η κατακόρυφη ως προς τη βάση φορά τους για την αποφυγή μεγάλου αριθμού από supports. Στα εξωτερικά τοιχώματα της κατασκευής (Walls) είχαμε 1-2 στρώσεις ανάλογα την πλευρά και το γέμισμα (Infill) ορίστηκε στο 20%. Η διάμετρος της μύτης του εκτυπωτή (Nozzle type) όπως και το πάχος των στρώσεων ήταν 0.8 mm ενώ το

καρούλι από PLA στην τυποποιημένη διάμετρο των 1.75 mm. Καθ' όλη τη διάρκεια της εκτύπωσης, χρησιμοποιήθηκε cooling fan στο 100%.

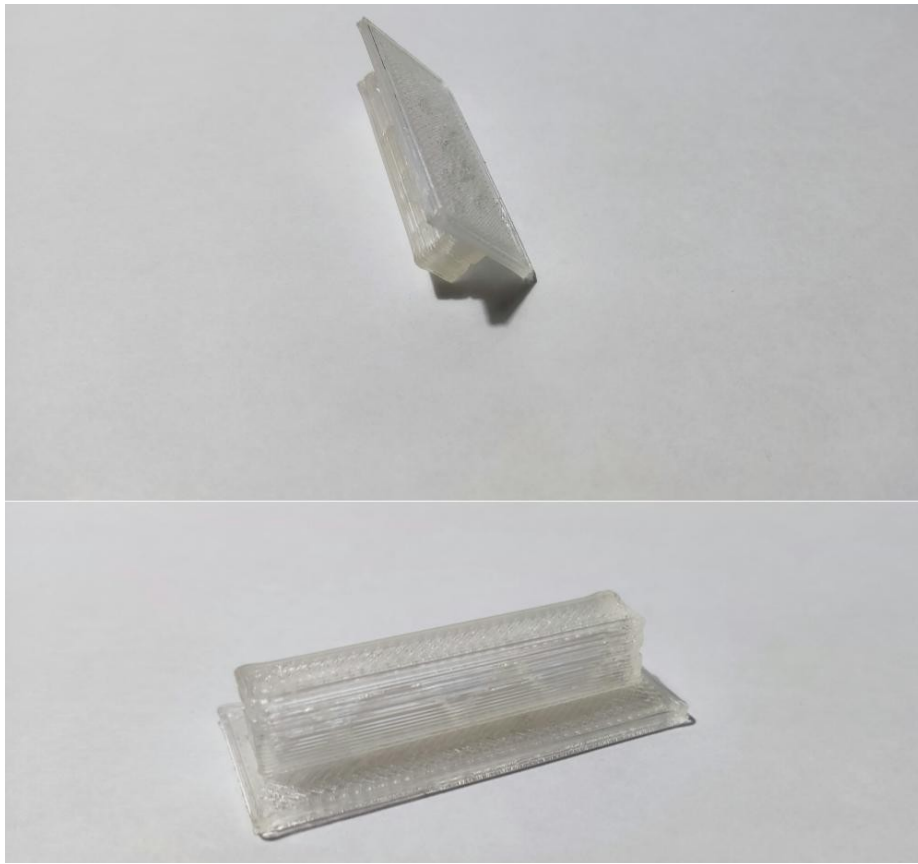
Ακολουθούν στιγμιότυπα κατά τη διαδικασία και τα αποτελέσματα της επιτυχημένης εκτύπωσης του θαλάμου:



Εικόνα 17: Θάλαμος κατά την εκτύπωση

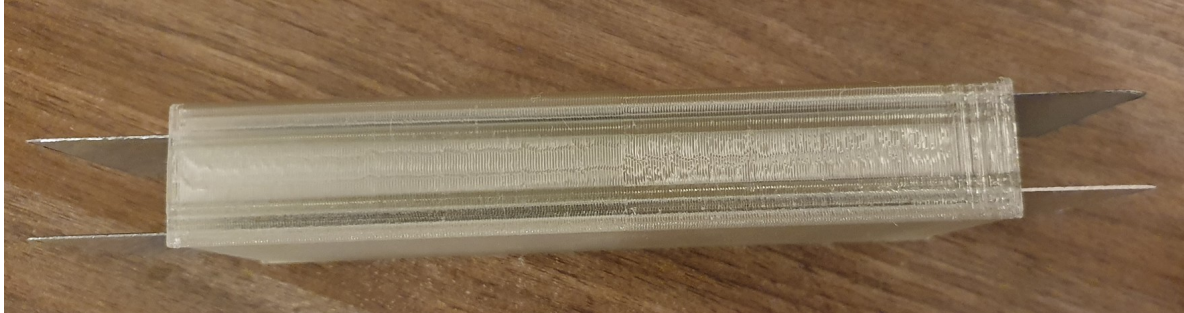


Εικόνα 18: Εκτυπωμένος θάλαμος



Εικόνα 19: Εκτυπωμένο καπάκι θαλάμου

Τέλος, για την ολοκλήρωση του θαλάμου, όσον αφορά την κατασκευαστική του πορεία, μένει το πέρασμα των ηλεκτροδίων στις πλαϊνές εσοχές του. Για τα ηλεκτρόδια, χρησιμοποιήθηκαν ατσάλινα φύλλα υψηλής αγωγιμότητας, ώστε να εξασφαλιστεί υψηλότερη αντοχή στην ισχυρή τάση. Η κοπή του πραγματοποιήθηκε σε μηχανικό φαλτσοκούτι με πριόνι για ακριβέστερες διαστάσεις. Η διαστασεολόγηση έγινε με βάση τις διαστάσεις της κατασκευής στο FreeCAD, εφόσον υπήρχε συνέπεια, σε ηλεκτρόδια 170 mm (height) * 50 mm (length) * 0.9 mm (width). Οι εσωτερικές γωνίες λυμαρίστηκαν για να πάρουν ένα σχήμα κυκλικό ώστε να αποφευχθούν φαινόμενα δημιουργίας τόξων υψηλής τάσης και τρίφτηκαν με γυαλόχαρτο όπου κρίθηκε απαραίτητο, για την ομαλή τους τοποθέτηση. Διατάχθηκαν εναλλάξ στις εσοχές, έχοντας το ένα ζεύγος προεξοχή από τη μια μεριά του θαλάμου, ενώ το άλλο προεξοχή από τη δεύτερη. Με αυτή τη διάταξη έχουμε μια πιο ξεκάθαρη κατανομή θετικών και αρνητικών παλμών με βάση του ακροδέκτες που θα συνδέσουμε στα ηλεκτρόδια. Ακολουθεί εικόνα για το θάλαμο, έτοιμο προς σύνδεση με το pulse generating circuit:



Εικόνα 20: Πλαϊνή όψη θαλάμου με ηλεκτρόδια



Εικόνα 21: Πρόσοψη θαλάμου με ηλεκτρόδια

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΑΞΗ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ ΠΑΛΜΙΚΗΣ ΔΙΕΓΕΡΣΗΣ

Για τη δημιουργία του κυκλώματος που θα ενσωματωθεί στο θάλαμο που κατασκευάστηκε, απαιτείται αρχικά η θεωρητική του μελέτη και έπειτα η μεθοδική του προσάρτηση από την πηγή τάσης μέχρι τα ηλεκτρόδια που θα φέρουν τους παλμούς στο εσωτερικό του θαλάμου. Για την επιτυχημένη απόπειρα του πειράματος, τα χαρακτηριστικά μεγέθη του ρεύματος, όπως η μορφή του, η τάση του, η ένταση και η συχνότητά του θα πρέπει να τροποποιηθούν κατάλληλα. Για το λόγο αυτό, έχει επιλεγεί συγκεκριμένη διάταξη των ηλεκτρονικών που χρησιμοποιήθηκαν, προκειμένου να έχουμε την επιθυμητή έξοδο σύμφωνα με τη θεωρία του C.Eccles. Πρόκειται να προβληθούν τα βασικά ηλεκτρονικά στοιχεία που θα κλείσουν το κύκλωμα παραγωγής παλμών και οι βασικές τους λειτουργίες. Θα παρουσιασθεί η θεωρητική αρχή λειτουργίας του κυκλώματος και η ψηφιακή του αναπαράσταση ενώ τέλος θα γίνει η απαραίτητη προετοιμασία ώστε να τεθεί σε λειτουργία και να καταγραφούν τα αποτελέσματα.

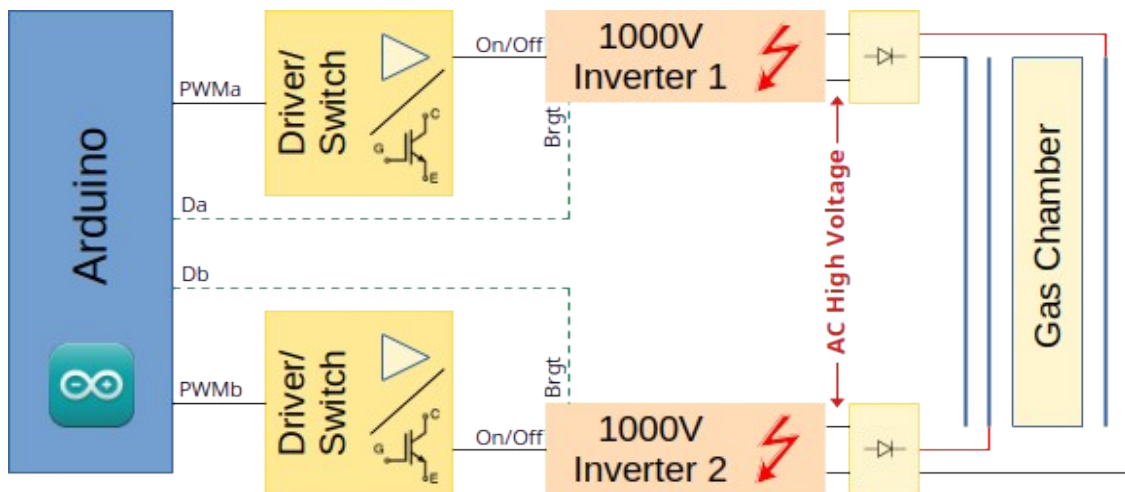
3.1 Θεωρητική αρχή λειτουργίας του κυκλώματος

Η σωστή παραμετροποίηση της τάσης και των φάσεων των παλμών που θα παραχθούν παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιτυχία της εφαρμογής. Η ανάπτυξη του κυκλώματος βασίστηκε στην αξιοποίηση απλών και προσιτών ηλεκτρονικών ισχύος σε συνδυασμό με πλακέτα Arduino. Η φιλοσοφία της κατασκευής ξεκινάει από τον μικροελεγκτή, ο οποίος θα προγραμματιστεί κατάλληλα και του οποίου οι ακροδέκτες εξόδου θα συνδεθούν με δύο σειρές από inverters, drivers/switches και διόδους, διαμορφώνοντας στην ουσία ένα εν μέρει ψηφιακό κύκλωμα παραγωγής παλμών.

Πιθανά Block Διαγράμματα Κατασκευής

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο block διαγράμματα του ηλεκτρονικού συστήματος της κατασκευής του θαλάμου υποβολής ρευστών σε παλμική διέγερση. Το καθένα από αυτά έχει τα δικά του χαρακτηριστικά.

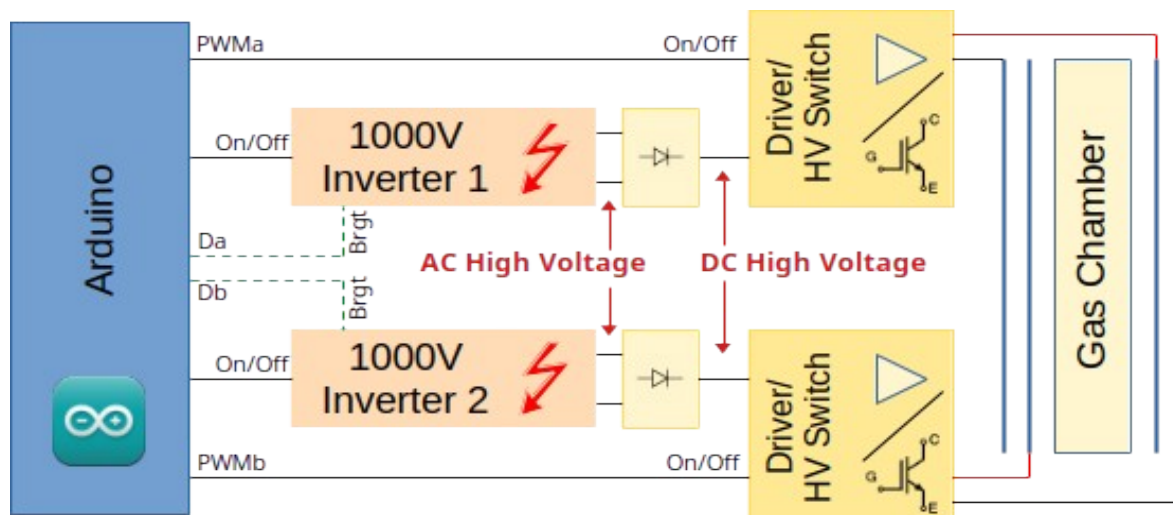
Το πρώτο διάγραμμα είναι το διάγραμμα παλμικής διέγερσης των inverters:



Σχήμα 1: Block διάγραμμα κυκλωματικής διάταξης

Στο κύκλωμα, τα δύο inverters ενεργοποιούνται κάθε φορά που χρειαζόμαστε παλμό υψηλής τάσης στις πλάκες δημιουργίας του ηλεκτρικού πεδίου που εφαρμόζεται μέσα στο θάλαμο διέγερσης των ρευστών. Το πρόγραμμα του υπολογιστή μιας πλακέτας, Arduino, δημιουργεί τους κατάλληλους παλμούς που ενεργοποιούν και απενεργοποιούν ξεχωριστά τα δύο inverters, ανάλογα με τη φορά του πεδίου που θέλουμε να δημιουργηθεί σε κάθε παλμό.

Το δεύτερο διάγραμμα είναι το διάγραμμα εφαρμογής διακοπτόμενης υψηλής τάσης:



Σχήμα 2: Block διάγραμμα εφαρμογής διακοπτόμενης υψηλής τάσης

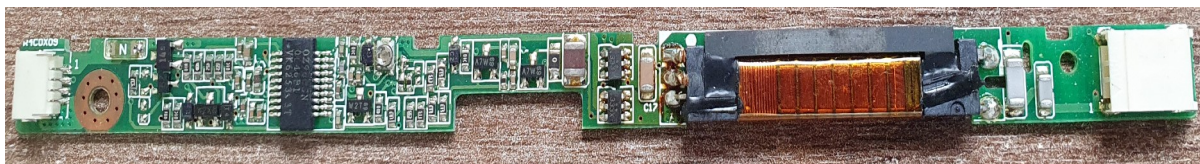
Σε αυτό, οι inverters παράγουν συνεχόμενη υψηλή τάση στην έξοδό τους. Η τάση αυτή εφαρμόζεται επάνω στις πλάκες διέγερσης, στο θάλαμο, παλμικά. Το ρυθμό των παλμών αλλά και τη φορά διέγερσης την αποφασίζει ο ηλεκτρονικός υπολογιστής μιας πλακέτας, Arduino.

3.2 Ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος

Inverter

Τα inverter που χρησιμοποιούμε έχουν ως σκοπό να παράγουν τάση 1000V από μια μικρή τροφοδοσία της τάξης των 24V. Κατάλληλα inverters για τη δουλειά αυτή είναι inverters που χρησιμοποιούνται στις οθόνες TFT που έχουν CCFL λάμπες για τη δημιουργία του backlight της οθόνης. Λόγω του ότι είναι πλέον δυσέρετα στην αγορά, καταφέραμε και βρήκαμε δύο με λίγο διαφορετικά χαρακτηριστικά:

- **DAC-08N012:**

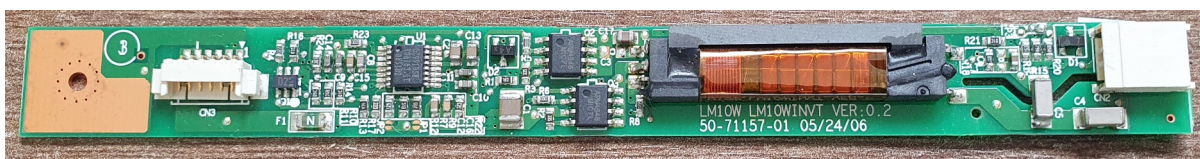


Εικόνα 22: Inverter DAC-08N012

Το inverter φαίνεται στην [Εικόνα 22](#). Ο κονέκτορας εισόδου έχει τέσσερις ακροδέκτες:

1. Vcc (24V)
2. Brightness (Voltage output control, max 3.3V)
3. On/Off Control (0V: Off, 3.3V: On)
4. GND

- **PA354-G72-0.2D:**



Εικόνα 23: Inverter PA354-G72-0.2D

Το inverter φαίνεται στην [Εικόνα 23](#). Ο κονέκτορας εισόδου έχει έξι ακροδέκτες:

1. GND
2. GND
3. On/Off Control (0V: Off, 3V: On)
4. Brightness (Voltage output control, 0.5 ... 2V)
5. Vcc (24V)

6. Vcc (24V)

Τα δύο inverters παράγουν τάση 1000V στην έξοδό τους η οποία είναι εναλλασσόμενη.

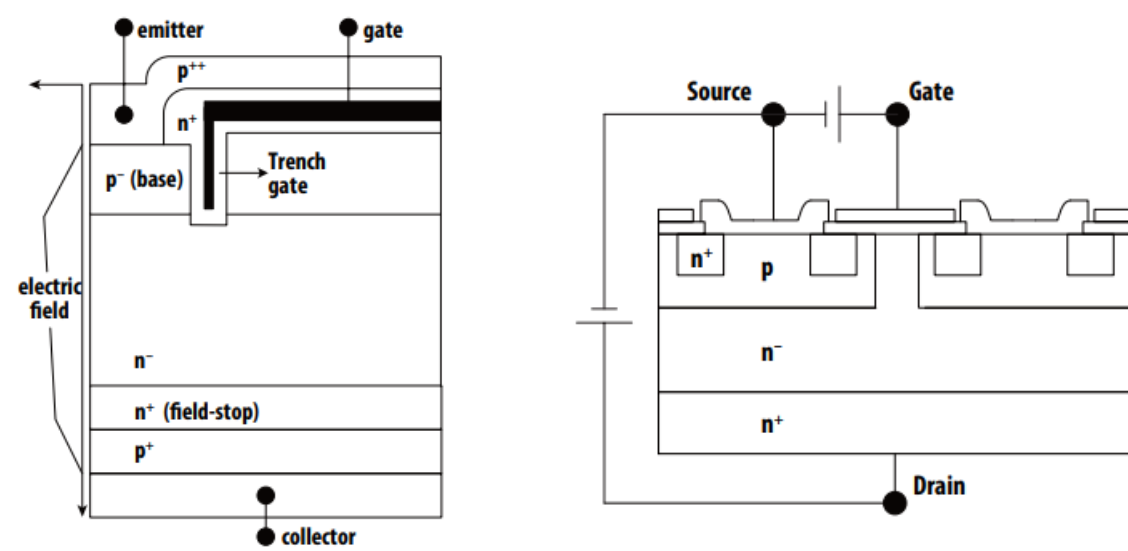
Rectifiers

Στις πλάκες του θαλάμου υποβολής των ρευστών σε παλμική διέγερση θα πρέπει να εφαρμοστεί συνεχής τάση, έτσι ώστε η πολικότητες των δύο inverters να είναι αντίθετες. Αυτό σημαίνει πως η εναλλασσόμενη τάση που παράγεται θα πρέπει να μετατραπεί σε συνεχή. Τη δουλειά αυτή την κάνουν οι δίοδοι υψηλής τάσης που φαίνονται στα block διαγράμματα των σχημάτων 1 και 2. Στο δεύτερο από τα δύο σχήματα υπάρχει και φιλτράρισμα ώστε να παραμείνει η συνεχής τάση εξόδου σταθερή ανεξάρτητα από το αν εφαρμόζεται εκείνη τη στιγμή παλμός ή όχι.

Switches

Στα δύο block διαγράμματα που βρίσκονται στα σχήματα 1 και 2 υπάρχουν δύο δομικά στοιχεία που ονομάζονται Driver/Switch. Αυτά περιέχουν από ένα ηλεκτρονικό διακόπτη, βασισμένο σε MOSFET ή IGBT. Ο λόγος ύπαρξής τους είναι πως, στο διάγραμμα του σχήματος 1, επειδή το Arduino δίνει παλμούς πλάτους 5V, θα πρέπει αυτοί να προσαρμοστούν στα λογικά επίπεδα που δέχονται οι δύο inverters. Θα μπορούσε να γίνει η προσαρμογή, ίσως με διαιρέτες τάσης, αλλά σε αυτή την περίπτωση οι χρόνοι ανόδου και καθόδου των παλμών που θα εφαρμοζόντουσαν στα inverter δε θα είχαν καλά χαρακτηριστικά. Με τη χρήση MOSFET ή IGBT οι χρόνοι αυτοί βελτιώνονται δραστικά γιατί τους εφαρμόζει το ενεργό ηλεκτρονικό στοιχείο. Στο διάγραμμα του σχήματος 2 τα inverters παράγουν μόνιμα την υψηλή τάση. Για να μπορέσουν να δημιουργηθούν οι παλμοί που θα εφαρμοστούν στις πλάκες του θαλάμου, θα πρέπει να μορφοποιηθούν από το σύστημα διακοπών με MOSFET ή IGBT. Αυτοί οι διακόπτες έχουν τα χαρακτηριστικά να διαχειριστούν τάσεις τόσο υψηλές όσο αυτές που παράγονται από τα inverters, δηλαδή τάσεις της τάξης των 1000V. Για να λειτουργήσει ένα MOSFET ή ένα IGBT, χρειάζεται την εφαρμογή παλμού τάσης στο τερματικό της πύλης (gate), η οποία στην πρώτη περίπτωση απολήγει στους ακροδέκτες πηγής (source) και εκροής (drain) και αντίστοιχα στη δεύτερη περίπτωση στους ακροδέκτες εκπομπού (emitter) και συλλέκτη (collector). Η αγωγιμότητα τους πυροδοτείται εφόσον ο ακροδέκτης της πύλης γίνει θετικός σε σχέση με την πηγή / εκπομπό του. Η συμπεριφορά τέτοιων συσκευών ισχύος επηρεάζεται από τις μη γραμμικές χωρητικότητες μεταξύ των τριών τερματικών, δηλαδή gate-to-source (C_{gs}), gate-to-drain (C_{gd}) και drain-to-source (C_{ds}), οι οποίες και αποτελούν συνάρτηση με την τάση πόλωσης. Η φόρτιση του πυκνωτή-τερματικού της πύλης ενεργοποιεί τον διακόπτη ισχύος και επιτρέπει

τη ροή ρεύματος μεταξύ των τερματικών drain-source, ενώ η εκφόρτιση του τον απενεργοποιεί. Η τάση της πύλης δεν αυξάνεται μέχρι να κορεστεί η χωρητικότητα της τάσης εισόδου που προδιαγράφει, ενώ για να τεθεί ο διακόπτης σε λειτουργία θα πρέπει αυτή η τάση εισόδου να φτάσει ένα ορισμένο κατώτατο όριο τάσης (V_{th}). Το V_{th} μιας συσκευής ισχύος, στην ουσία, είναι η ελάχιστη τάση πόλωσης του τερματικού της πύλης, που είναι απαραίτητη για τη δημιουργία ενός αγώγιμου μονοπατιού μεταξύ των περιοχών source-drain. Στην περίπτωση χρήσης IGBTs για switches, θα πρέπει να εφαρμοστεί τάση αρκετά μεγαλύτερη από το V_{th} μεταξύ του gate και του emitter. Παρ' όλα αυτά, εμφανίζεται μια διαφοροποίηση ως προς την απόδοση των δύο αυτών ηλεκτρονικών διακοπών. Τα IGBTs παρουσιάζουν πλεονεκτήματα, όπως πολύ χαμηλές πτώσεις τάσεις σε on-state κατάσταση καθώς και εύκολο χειρισμό (driving). Δεν χρειάζονται μεγάλες τιμές τάσεων σε σχέση με τα υπόλοιπα switches. Είναι ιδανικά για εφαρμογές υψηλών τάσεων μέχρι περίπου 1200V και χαμηλής συχνότητας (switching frequency) περίπου έως 20 kHz. Ανταποκρίνονται καλύτερα σε κυκλώματα υψηλής τάσης αλλά χαμηλής έντασης ρεύματος λόγω της δομής τους. Τέλος, έχουν χαμηλή αντίσταση εισόδου (input impedance), χαρακτηριστικό που βελτιώνει τους χρόνους απόκρισης. Τα MOSFETs απ' την άλλη, στέκονται πιο αντάξια σε εφαρμογές υψηλών ρευμάτων και χαμηλών τάσεων. Λειτουργούν καλύτερα σε υψηλές συχνότητες έως 100 kHz και καλύπτουν απαιτήσεις μεγάλης ισχύος [14], [15].



Σχήμα 3: Διάγραμμα κυκλώματος IGBT και MOSFET

Drivers

Τα MOSFET και τα IGBT παρουσιάζουν κάποια χαρακτηριστικά που τα κάνουν, σε κάποιες περιπτώσεις, δύσκολα στο χειρισμό τους. Σε αυτές τις περιπτώσεις οδηγούνται από ειδικά κυκλώματα που ονομάζονται “οδηγοί” (drivers) και σκοπό έχουν να εφαρμόσουν τις σωστές τάσεις επάνω στις πύλες των εν λόγω εξαρτημάτων με τέτοιο τρόπο που αυτά να έχουν μια όσο το δυνατόν πιο άμεση απόκριση [21]. Στην ουσία, η φόρτιση στην πύλη προς πυροδότηση των διακοπών παρουσιάζει χρονική διαφορά με τη συχνότητα που παράγει μια έξοδος PWM ενός μικροελεγκτή, στην περίπτωσή μας το Arduino. Ταυτόχρονα, αποτελεί και έναν ενισχυτή ισχύος που δέχεται μια χαμηλή τάση ως είσοδο από ένα IC ελεγκτή και παράγει την κατάλληλη τάση μεγέθους και συχνότητας για μια συσκευή ισχύος, όπως στην περίπτωσή μας τα Inverter στο πρώτο κύκλωμα [27]. Ακολουθεί ένα γενικευμένο διάγραμμα για την επίδειξη της λειτουργίας και θέσης των drivers στην εφαρμογή μας:



Σχήμα 4: Διάταξη κυκλώματος με Gate driver [27]

Arduino Nano

Το Arduino Nano είναι μια ανοιχτού κώδικα πλακέτα ανάπτυξης (development board) που χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάπτυξη μικρής κλίμακας και ισχύος αυτοματισμών. Είναι εξαιρετικά δημοφιλές στην κοινότητα των ερασιτεχνών, μαθητών και επαγγελματιών προγραμματιστών λόγω της ευκολίας χρήσης και της ευελιξίας του. Αποτελεί μια πιο συμπακνωμένη μορφή του Arduino Uno, όπου και βασίζεται στον ίδιο μικροελεγκτή AVR ATmega328P. Διαθέτει συνολικά 30 ψηφιακούς και αναλογικούς ακροδέκτες που επιτρέπουν στους χρήστες να συνδέουν αισθητήρες, κινητήρες, ενσωματωμένα συστήματα ελέγχου και άλλες συσκευές. Οι βασικές λειτουργίες του Arduino Nano, περιλαμβάνουν τη δυνατότητα προγραμματισμού μέσω του περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino IDE, το οποίο χρησιμοποιεί τη γλώσσα προγραμματισμού C/C++. Επίσης, διαθέτει USB σύνδεση για τη μεταφορά του προγράμματος στο μικροελεγκτή, τροφοδοσία μέσω USB ή εξωτερικού τροφοδοτικού, και διάφορους ακροδέκτες εισόδου/εξόδου για τη σύνδεση με άλλες συσκευές. Το συγκεκριμένο μοντέλο διατίθεται με συχνότητα ρολογιού στα 8 ή 16 MHz. Ακολουθεί μια σύντομη επισκόπηση των κύριων ακροδεκτών σε ένα Arduino Nano [23]:

1. Ψηφιακοί Ακροδέκτες D0-D13:

- Οι D0 έως D13 είναι ψηφιακοί ακροδέκτες εισόδου/εξόδου, όπου το D δηλώνει τον τύπο του σήματος που υποστηρίζει, δηλαδή το ψηφιακό.
- Μπορούν να ρυθμιστούν ως είσοδος ή έξοδος.
- Χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση ψηφιακών αισθητήρων, LEDs και άλλων ψηφιακών στοιχείων.
- Κάποιοι από τους ακροδέκτες μπορούν να παράγουν σήματα PWM με τη βοήθεια ενσωματωμένων συστημάτων timers που διαθέτει ο μικροελεγκτής (περιγράφεται παρακάτω).

2. Αναλογικοί Ακροδέκτες (A0-A7):

- Οι A0 έως A7 λειτουργούν ως αναλογικοί ακροδέκτες εισόδου που μπορούν να μετρήσουν αναλογικές τιμές τάσης.
- Χρησιμοποιούνται συχνά για τη σύνδεση αισθητήρων που παρέχουν αναλογικές εξόδους, όπως ποτενσιόμετρα ή αισθητήρες φωτός.
- Οι ακροδέκτες A0 έως A5 μπορούν να ρυθμιστούν και ως ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι αν το επιθυμεί ο προγραμματιστής.

3. Ακροδέκτες Τροφοδοσίας:

- Vin (Τάση Εισόδου): Αυτός ο ακροδέκτης χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης στο πλαίσιο όταν χρησιμοποιείται εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.
- 5V: Παρέχει μια σταθεροποιημένη έξοδο 5V, συνήθως χρησιμοποιούμενη για την τροφοδοσία αισθητήρων ή άλλων εξωτερικών συσκευών.
- 3.3V: Παρέχει μια σταθεροποιημένη έξοδο 3.3V.
- GND (Γείωση): Ακροδέκτες γείωσης για την ολοκλήρωση κυκλωμάτων και την παροχή αναφοράς τάσης.

4. Ακροδέκτης Επαναφοράς (RESET):

- Χρησιμοποιείται για την επαναφορά του μικροελεγκτή.

5. Ακροδέκτες TX/RX:

- TX (Μετάδοση): Διευκολύνει τη μετάδοση σειριακών δεδομένων από το Arduino προς άλλες συσκευές.
- RX (Λήψη): Λαμβάνει σειριακά δεδομένα από άλλες συσκευές.

6. Ακροδέκτες PWM (Διαμόρφωση Πλάτους Παλμού):

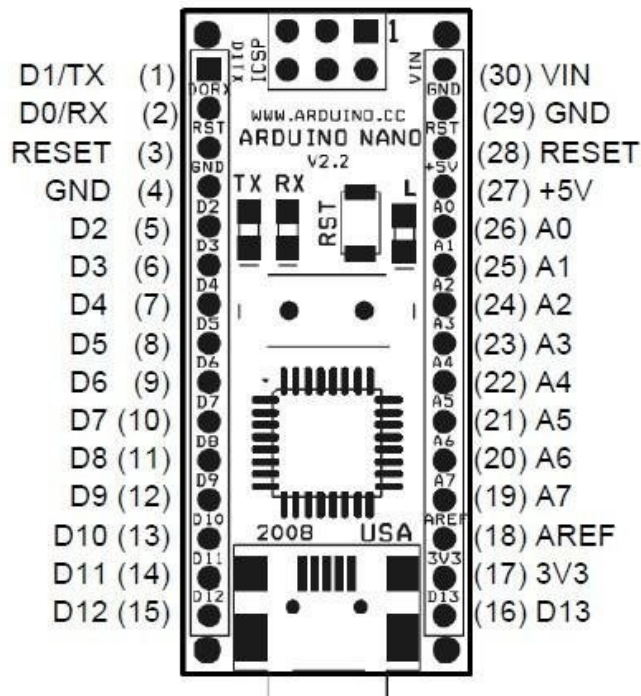
- Οι ακροδέκτες D3, D5, D6, D9, D10 και D11 υποστηρίζουν έξοδο PWM.
- Η διαμόρφωση πλάτους παλμού χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο της φωτεινότητας των LEDs ή της ταχύτητας των κινητήρων. Η συγκεκριμένη λειτουργία των pins του Arduino θα εξυπηρετήσει και την εφαρμογή μας.

7. Ακροδέκτης AREF :

- Ο AREF μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εξωτερική αναφορά τάσης κατά τη χρήση της λειτουργίας analogRead().

8. Ακροδέκτες Κρυσταλλικού ρολογιού:

- Συνδέονται σε εξωτερικό κρυσταλλικό timer για την ακριβή χρονομέτρηση και ρύθμιση του μικροελεγκτή.



Εικόνα 24: Αρχιτεκτονική Arduino Nano [17]

3.3 Προγραμματισμός μικροελεγκτή για παλμική διέγερση

Ο προγραμματισμός του arduino αποτελεί ένα από τα βασικότερα κομμάτια της εργασίας, καθώς με βάση ένα αποτελεσματικό και συντακτικά ολοκληρωμένο κώδικα, θα έχουμε και την επιτυχημένη αντιστροφή του ηλεκτρικού πεδίου σε σαφώς ορισμένα διαστήματα μεταξύ των δύο πυκνωτών που επιδιώκουμε. Κατ' επέκταση αυτό ορίζει την επιτυχία της κατασκευής. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή βασίστηκε στη χρονικά ελεγχόμενη εναλλαγή 2 εξόδων PWM του arduino, οι οποίες καταλήγουν στα 2 inverters των σχημάτων

1 και 2 ώστε να εφαρμόσουν την κατάλληλη υψηλή τάση επάνω στα ηλεκτρόδια που στεγάζονται στα τοιχώματα του θαλάμου. Για τη δημιουργία του κώδικα, αξιοποιήθηκε το αλγοριθμικό μοτίβο ring-pong (ring-pong scheme), το οποίο εξασφαλίζει ότι οι δύο έξοδοι PWM (OC1A και OC1B) εναλλάσσονται και υπάρχει το καθορισμένο dead time μεταξύ τους, όπως απαιτείται για την εφαρμογή του κώδικα. Σαφώς, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη οι προδιαγραφές του timer που θα χρησιμοποιηθεί, όπου στην περίπτωση μας είναι 16 bit. Η συχνότητα του ρολογιού του είναι 8 MHz και με περίοδο ρολογιού 1/8 MHz, δηλαδή 0,000000125 s. Η συχνότητα στην οποία στοχεύουμε είναι τα 20 kHz με το minimum dead time στα 0,000002 s. Για τον 16-bit timer το μέγιστο counter value είναι $2^{16} - 1 = 65535$. Η τιμή prescale καθορίζει τη συχνότητα και το βήμα του ρολογιού. Στην ουσία, διαιρεί τη συχνότητα ρολογιού (Clock frequency) του μικροελεγκτή, για να δημιουργήσει το ρολόι του timer. Ο γενικός τύπος για τη συχνότητα του timer με μια τιμή prescale όπως 1, 8, 64, 256, 1024 είναι:

$$\mathbf{Timer_Frequency} = \frac{\mathbf{Microntroller_Clock_Frequency}}{\mathbf{Prescale_value} \cdot (\mathbf{Maximum_Timer_Count} + 1)}$$

Όσον αφορά το dead time, αυτό υπολογίζεται από τον εξής τύπο:

$$\mathbf{Dead_Time} = (\mathbf{Prescale_value} \cdot \mathbf{Maximum_Timer_Count}) - 1$$

Το dead time αντιπροσωπεύει εκείνο το πολύ μικρό διάστημα αδράνειας μεταξύ του OC1A και OC1B, κατά το οποίο δεν έχουμε ακμή θετική ή αρνητική μεταξύ των παλμών και όπως γίνεται αντιληπτό είναι και εκείνο παράγωγο των χαρακτηριστικών που θα ορίσουμε στο timer.

Για τον υπολογισμό των min time και max time χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τύποι:

$$\mathbf{Min}(time) = \mathbf{Dead_Time} \cdot T_{clk}(time)$$

$$\mathbf{Max}(time) = \mathbf{Dead_Time} \cdot T_{clk}(time) + (\mathbf{Prescale_Value} - 1) \cdot T_{clk}(time) \cdot (\mathbf{Maximum_Timer_Count})$$

Για τον υπολογισμό των min frequency και max frequency χρησιμοποιήθηκαν οι εξής τύποι:

$$\mathbf{Min}(Hz) = \frac{1}{\mathbf{Max}(time)}$$

$$\mathbf{Max}(Hz) = \frac{1}{\mathbf{Min}(time)}$$

Όλοι οι υπολογισμοί, πραγματοποιήθηκαν σε υπολογιστικό φύλλο excel, που απεικονίζεται στον Πίνακα 2. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία του κώδικα και τη δοκιμή τιμών όσον αφορά τις χρονικές εξόδους και αποκρίσεις.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Arduino 16-bit Timer Limits								
2									
3	Clock Frequency:		8.000.000	Target Frequency:		20000			
4	Clock Period:		0.000000125	Minimum dead time:		0.000002			
5				Maximum Counter Value:		65534			
6									
7	Prescale	Tclk (time)	Tclk (Hz)	Dead Time (Clock ticks)	Min (time)	Max (time)	Min (Hz)	Max (Hz)	Test Count (Clock ticks)
8	1024	0,000128	7812,5	1	0,000128	8,388352	0,119212927641	7812,5	0,390625
9	256	0,000032	31250	1	0,000032	2,097088	0,476851710562	31250	1,5625
10	64	0,000008	125000	1	0,000008	0,524272	1,90740684225	125000	6,25
11	8	0,000001	1000000	2	0,000002	0,065534	15,259254738	500000	50
12	1	0,000000125	8000000	16	0,000002	0,00819175	122,074037904	500000	400

Πίνακας 2: Υπολογιστικό φύλλο για τις χρονικές μεταβλητές του κώδικα στο LibreOffice Calc

Ο κώδικας, υλοποιήθηκε στο Visual Studio Code σε γλώσσα C για arduino και ακολουθεί τη φιλοσοφία παραγωγής PWM παλμών με βάση το Timer1. Κάθε εντολή συνοδεύεται και από σχόλιο στα αγγλικά, αλλά θα γίνει περαιτέρω επεξήγηση για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής. Ακολουθεί στιγμιότυπο του κώδικα:

```

G+ HVPulses.ino 9+ X
C: > Users > marios > AppData > Local > Temp > AweZip > Temp2 > AweZip1 > HVPulses > G+ HVPulses.ino > ...
1  /*****
2  Some necessary definitions to make the core more flexible and self documented.
3  */
4  /*Uncomment the following macro in order to receive debug messages through serial port in
5  115200 baud rate.*/
6  //#define DEBUG_SERIAL
7
8  #define positiveElectrodePin    9    // Pin for positive electrode PWM output
9  #define negativeElectrodePin    10   // Pin for negative electrode PWM output
10
11 //Necessary Variables
12 float freq = 20000;                //The needed PWM frequency output in Hz
13 int deadTime = 32;                //Dead time between OC1A and OC1B pulses, in timer
14 // clock pulses (prescaler setting must be taken
15 // into account).
16 /*NOTE: Due to limitations on execution time of commands and ISR execution latency, the
17 minimum deadTime value is 32 pulses of 16MHz clock.*/
18
19 //Prescaler limits array to select the most appropriate prescaler setting
20 float PrescMaxF[] = {
21     123,                            //Minimum frequency for 1 prescaler setting (1)
22     16,                              //Maximum frequency for 256 prescaler setting (2)
23     2,                               //Maximum frequency for 64 prescaler setting (3)
24     0.5,                             //Maximum frequency for 8 prescaler setting (4)
25     0.2,                             //Maximum frequency for 1 prescaler setting (5)
26 };
27
28 int PrescSet[] = {
29     1,
30     8,
31     64,
32     256,
33     1024
34 };
35
36
37 /*****

```

```

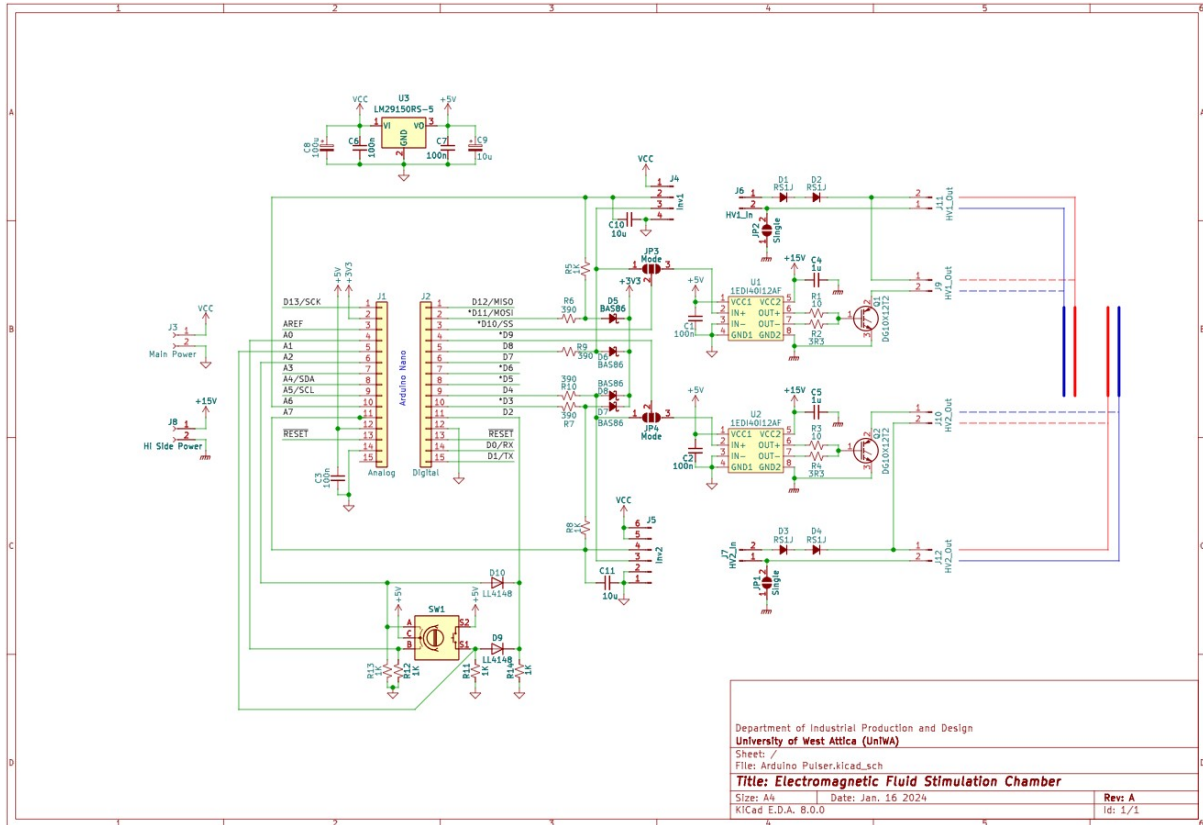
38 The setup() function is only run once, when the system powers up. It performs a basic initia-
39 lization of the I/O pins and other microcontroller's systems.
40 */
41 void setup() {
42     int presc = 0; //Going to hold the most appropriate prescaler
43                 // setting.
44     int topVal = 0; //Going to hold the frequency setting, taking into
45                 // account the prescaler.
46
47     pinMode(positiveElectrodePin, OUTPUT); //Pulse pin for the positive side inverter
48     pinMode(negativeElectrodePin, OUTPUT); //Pulse pin for the negative side inverter
49
50     //Configure Timer1 for Fast PWM mode
51     /*Output A is going to enable the first high voltage output, while outputB is going to
52     enable the second high voltage output. We are going to use a ping-pong scheme for the two
53     outputs, as th double buffering feature is not helpful on changing OCR1x values on the fly.
54     Also, ICR1 is going to set the frequency of the PWM output and since we use ping-pong
55     scheme, this frequency should be double the needed one.
56     The timer input clock that will be used is the system clock without prescaling in order to
57     achieve better frequency setting resolution and wider range.*/
58     TCCR1A = _BV(COM1A1) | _BV(COM1A0) | _BV(WGM11); //First output that will pulse is OC1A
59     TCCR1B = _BV(WGM13) | _BV(WGM12); //No _BV(CS10) at this time. Need to configure the
60                 // whole timer block in order to be ready to start
61                 // counting
62     TCNT1 = 0; //Initialize the timer counter.
63
64 #ifdef DEBUG_SERIAL
65     Serial.begin(115200);
66 #endif
67     /*Lets find the most appropriate prescaler setting and the value to be used at the TOP
68     register in order to achieve the correct frequency. Perhaps this should become a separate
69     function to be used in loop() whenever there is an alteration at frequency setting.
70     */
71     while(freq < PrescMaxF[presc]) {
72         presc++;
73     }
74
75     if(presc < 5) {
76         topVal = 8000000 / (PrescSet[presc] * freq);
77     }
78 #ifdef DEBUG_SERIAL
79     Serial.write("Frequency ICR1: ");
80     Serial.println(topVal);
81     Serial.write("Prescaler value: ");
82     Serial.println(presc +1);
83     Serial.write("Prescaler Setting: ");
84     Serial.println(PrescSet[presc]);
85     delay(5000); //Need some time to flush the serial buffer
86 #endif
87     presc++; //presc as table index is 0 to 4, but the
88             // prescaling value CS2:0 must be 1 to 5
89

```


έχουμε ένα αξιόπιστο και μεγαλύτερης ακρίβειας αποτέλεσμα κυματομορφών εξόδου, προς αποφυγήν τυχόν επιπλοκών, όπως ηλεκτρικών τόξων. Επίσης, το ICR1 πρόκειται να ορίσει τη συχνότητα της εξόδου PWM και δεδομένου ότι χρησιμοποιούμε το ring-rong scheme, αυτή η συχνότητα θα πρέπει να είναι διπλάσια από εκείνη που απαιτείται. Στον κύριο βρόγχο (void loop), υπολογίζεται η πιο κατάλληλη ρύθμιση του prescaler βάσει της ζητούμενης συχνότητας. Κατόπιν, μάς δίνεται η δυνατότητα επιλογής της ζητούμενης συχνότητας αλλάζοντας την τιμή του ICR1, αλλά και του duty cycle κάθε παλμοσειράς, επεμβαίνοντας στα OCR1A και OCR1B. Τέλος, εισάγεται η ISR (Interrupt Service Routine). Εκτελείται κάθε φορά που υπάρχει overflow του Timer1, διακόπτοντας εναλλάξ τους παλμούς των δύο εξόδων και αναστρέφοντας τον πίνακα αναφοράς (TCCR1A) για να προσαρμόσει το "ring-rong scheme". Αυτό επιτυγχάνεται αλλάζοντας την κατάσταση των bits COM1A1, COM1A0, COM1B1 και COM1B0 στον πίνακα αναφοράς (TCCR1A) μέσα στην Interrupt Service Routine (ISR). Όταν η ISR εκτελείται, αλλάζει την κατάσταση των παραπάνω bits, εναλλάσσοντας την έξοδο PWM από τον OC1A στον OC1B και αντίστροφα. Η λειτουργία αυτή είναι σημαντική για τη δημιουργία του dead time μεταξύ των δύο εξόδων PWM, εναλλάσσοντας την έξοδο OC1A και OC1B ανάμεσα σε κάθε PWM κύκλο.

3.4 Σχεδίαση και ολοκλήρωση PCB κυκλώματος

Έχοντας αναφέρει τα βασικά στοιχεία και τη φιλοσοφία του κυκλώματος παλμικής διέγερσης, καθώς και τον κώδικα που θα το εξυπηρετήσει, μένει η τυποποίησή του σε μια compact, ολοκληρωμένη μορφή. Για το λόγο αυτό, αξιοποιήθηκε το open-source λογισμικό KiCad EDA. Στην πλατφόρμα αυτή, παρέχονται τα απαραίτητα εργαλεία για την ανάπτυξη της πλακέτας που επιθυμούμε, όπως επίσης και η τελική της χειροπιαστή μορφή, σε ψηφιακό αρχείο. Το σχηματικό διάγραμμα που ακολουθεί, υποστηρίζει και τα δύο block διαγράμματα που προβλήθηκαν (Σχήμα 1 και Σχήμα 2) προσφέροντας ταυτόχρονα έτοιμο σχέδιο για την πρωτοτυποποίησή του σε πλακέτα τυπωμένου κυκλώματος από κατασκευαστή. Επιπλέον, με την ένταξη των ηλεκτροδίων (μπλε και κόκκινες γραμμές) στα δεξιά του σχεδίου, παρέχεται μια ολοκληρωμένη εικόνα για την κατανόηση του τρόπου σύνδεσης και δημιουργίας παλμών της κατασκευής.



Σχήμα 5: Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος παραγωγής παλμών

Στο παραπάνω κύκλωμα, διαφαίνεται η λειτουργία του συστήματός μας. Καθοριστικό ρόλο στην επίτευξη των 2 block διαγραμμάτων έχουν οι jumpers (JP1, JP2, JP3 και JP4). Εκείνοι έχουν τοποθετηθεί σε κόμβους του κυκλώματος, ώστε να μπορούν να οδηγήσουν ανάλογα την τάση, ορίζοντας τον τρόπο παραγωγής παλμών. Διακρίνονται 2 περιπτώσεις. Στην πρώτη περίπτωση, αφήνοντας ανοιχτά-ανενεργά τα JP1 και JP2, ενώ ταυτόχρονα βραχυκυκλώνοντας τα JP3 και JP4 στη θέση 1-2, όπως φαίνεται στο σχήμα, έχουμε εφαρμογή του πρώτου block διαγράμματος (Σχήμα 1). Οι παλμοί σε εύρος τάσης 0-5V αρχίζουν τη διαδρομή από τα ψηφιακά pins D9 και D10, για να καταλήξουν στα JP3 και JP4. Από εκεί, ακολουθούν το short path των jumper ώστε να μεταφερθούν απευθείας στα 2 Inverters, τα οποία ήδη τροφοδοτούνται με την κατάλληλη τάση εισόδου μέσω των διόδων D5, D6, D7 και D8 και παράγουν τα απαιτούμενα 1000V παλμικά, απευθείας μέσω του κώδικα PWM του arduino. Η μετατροπή της παραγόμενης εναλλασσόμενης τάσης σε συνεχή πραγματοποιείται από τα rectifiers D1, D2, D3 και D4 και σταθεροποιείται λόγω των χωρητικότητας που παρουσιάζουν οι πλάκες του θαλάμου. Συνεπώς, αναμένεται η έξοδος των παλμών να γίνεται από τα σημεία J11 και J12, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στη δεύτερη περίπτωση, έχουμε εφαρμογή του δεύτερου block διαγράμματος (Σχήμα 2). Τώρα, κλείνουμε τα JP1 και JP2, ενώ βραχυκυκλώνουμε τα JP3 και JP4 στη θέση 2-3. Με τον τρόπο αυτό, οι

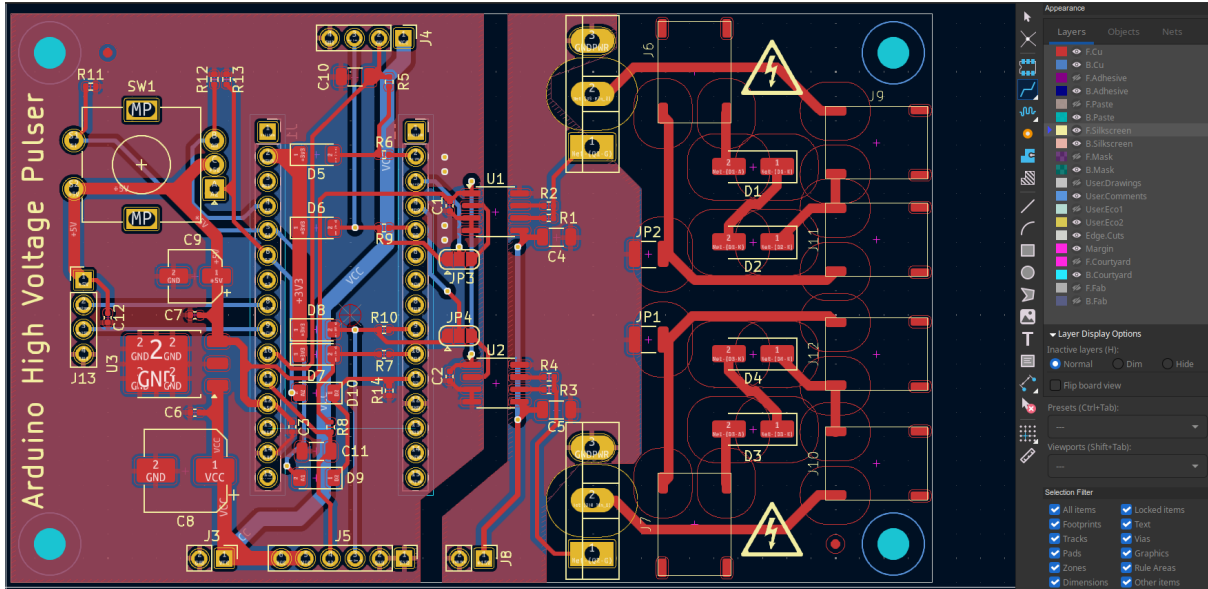
παλμοί οδηγούνται πρώτα στους drivers U1 και U2. Επιλέχθηκαν μονοκάναλοι drivers 1EDI40I12AF, με γαλβανική απομόνωση και ενσωματωμένα φίλτρα, για καλύτερα χαρακτηριστικά απόκρισης, αντοχής και επιδόσεων. Από τους drivers, η συνεχώς παραγόμενη τάση από τα inverters μετατρέπεται σε PWM κυματομορφή πάντα μέσω του κώδικα και οδηγείται στα IGBTs, τα οποία και είναι ικανά να διαχειριστούν τη μεγάλη αυτή τάση. Τα IGBTs επιτελούν πλήρως λειτουργικά το σκοπό τους, γειώνοντας την πλευρά της εξόδου σε κάθε θετικό παλμό. Ταυτόχρονα προσαρμόζουν τους χρόνους απόκρισης των παλμών και το μεταξύ τους dead time, ενισχύοντας τη λειτουργία των drivers.

Για τον έλεγχο και την επικοινωνία κατά τη διάρκεια λειτουργίας της πλακέτας υπάρχουν 2 τρόποι. Ο πρώτος είναι μέσω παρατήρησης του serial monitor που παρέχεται μέσω του προγραμματιστικού περιβάλλοντος του arduino στον υπολογιστή μας (ή όποιο άλλο πρόγραμμα σειριακής επικοινωνίας είναι διαθέσιμο). Παρ' όλα αυτά, στην πλακέτα έγινε προσθήκη ενός rotary encoder με ενσωματωμένο διακόπτη [25]. Αυτή, είναι μια δεύτερη προσέγγιση, κατά την οποία ο χρήστης, μέσω της περιστροφής του μπορεί να ελέγξει χειροκίνητα τις παραμέτρους της εφαρμογής, όπως τη συχνότητα εξόδου και χρόνο dead time. Έχει τοποθετηθεί ως προαιρετικό στοιχείο και συνδέεται με μια πύλη OR (OR gate), που σχηματίζεται από τα εξαρτήματα D9, D10 και R14, στον ψηφιακό ακροδέκτη D2, ο οποίος λειτουργεί ως Interrupt Trigger, καλώντας την κατάλληλη ρουτίνα interrupt (ISR: Interrupt Service Routine). Απαιτείται η προσθήκη αντίστοιχου κώδικα για την ομαλή του λειτουργία.

Τέλος, όσον αφορά τις εξόδους των παλμών υψηλής τάσης προς τα ηλεκτρόδια, οι θετικοί παλμοί αναπαρίστανται με κόκκινο χρώμα ενώ η αρνητικοί με μπλε. Στη συνεχόμενη γραμμή που συνδέει τις εξόδους με τα ηλεκτρόδια, παρουσιάζεται η εφαρμογή της αρχιτεκτονικής του [Σχήματος 1](#), ενώ στη διακεκομμένη γραμμή η αρχιτεκτονική του [Σχήματος 2](#).

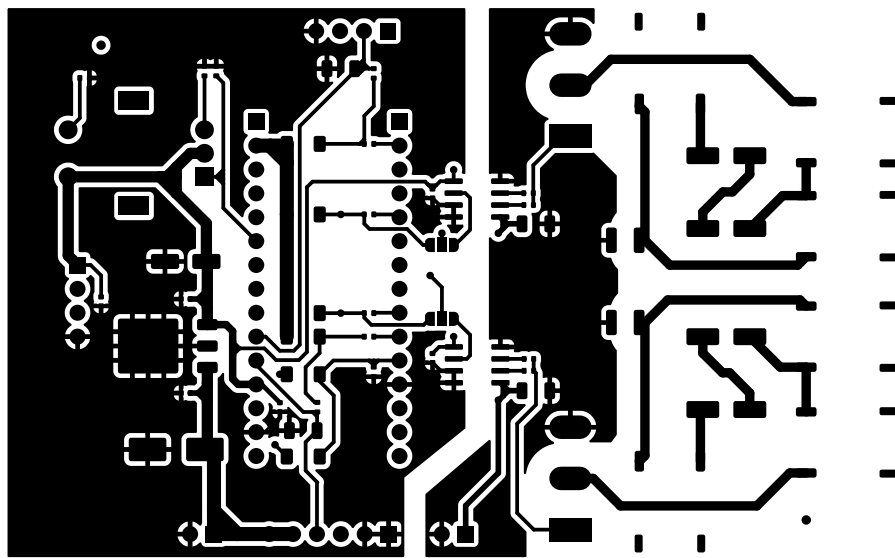
Έχοντας εμβαθύνει στη δομή και στον τρόπο λειτουργίας του κυκλώματος παλμικής διέγερσης, επιχειρήθηκε η τύπωσή του σε πλακέτα PCB [16], από γνωστό κατασκευαστή. Τα σχέδια για την κατασκευή παρουσιάζονται ακολούθως [26]:

Προετοιμασία πλακέτας όλων των layer στο KiCAD:



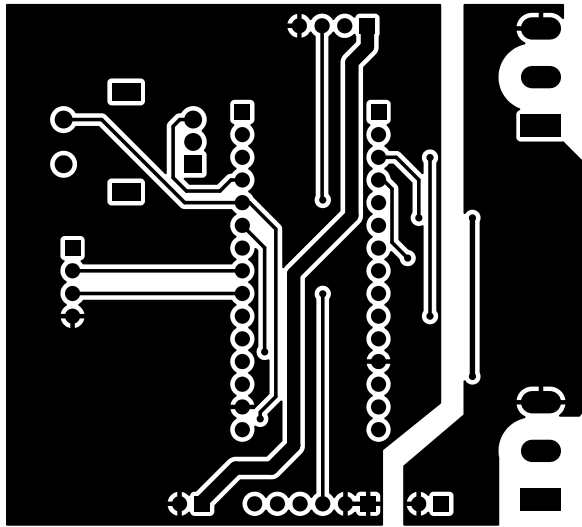
Εικόνα 26: Στιγμιότυπο σχεδίασης PCB

Άνω όψη πλακέτας (ημιπερατή):



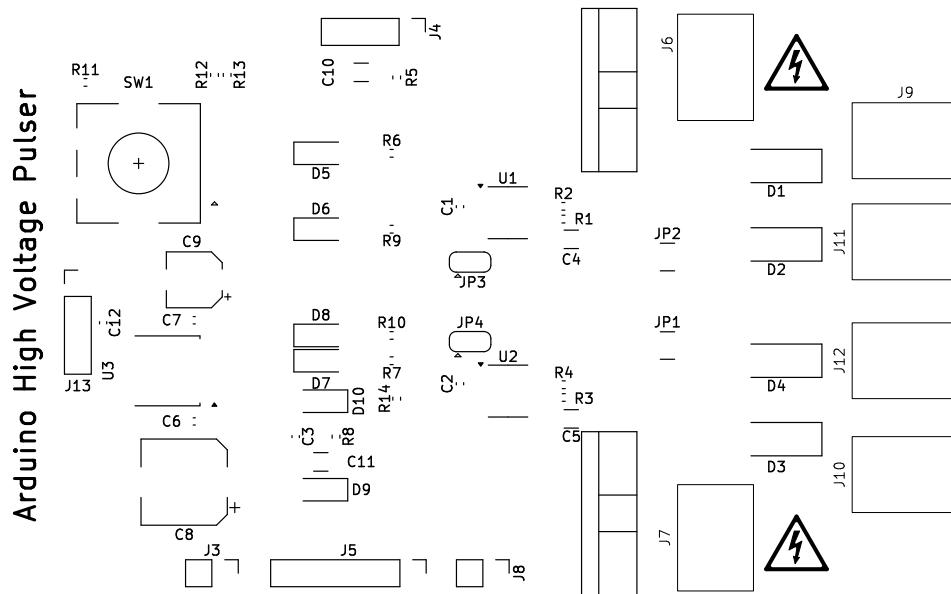
Εικόνα 27: PCB copper- Front side

Κάτω όψη πλακέτας (ημιπερατή):



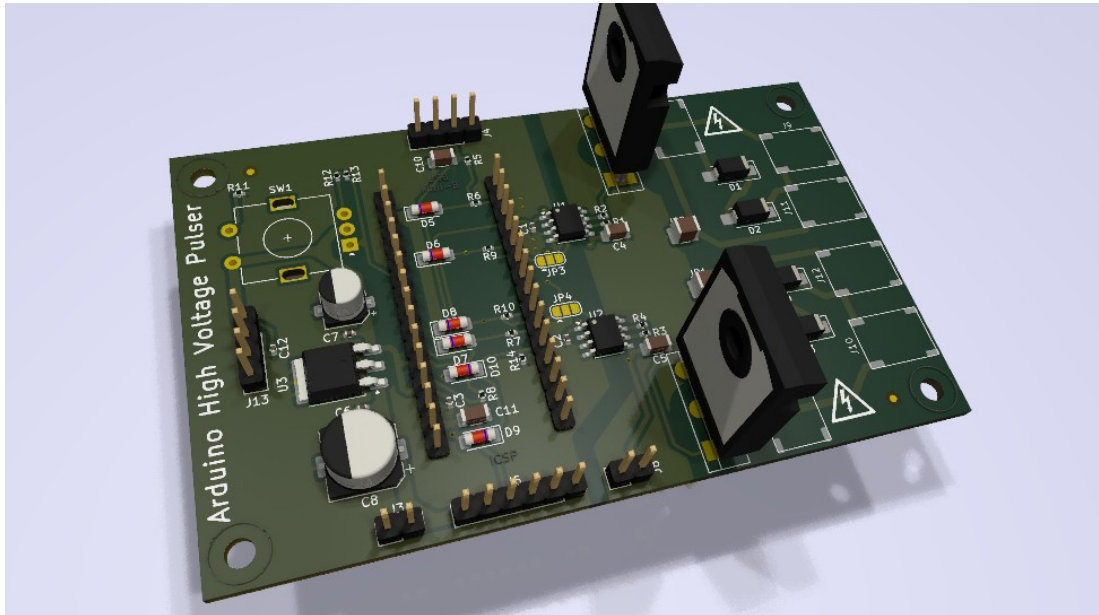
Εικόνα 28: PCB copper- Bottom side

Επίστρωση μαρκαρίσματος των ηλεκτρονικών στοιχείων (Silkscreen layer):



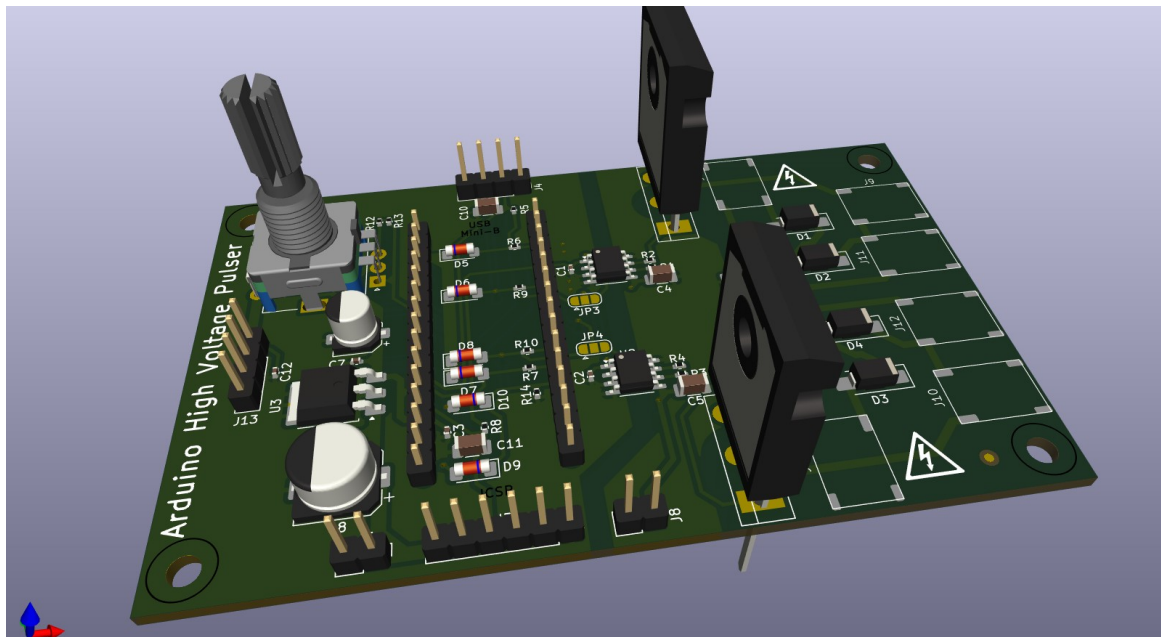
Εικόνα 29: PCB Silkscreen

Παρακάτω, παρουσιάζεται η πλακέτα σε τρισδιάστατη ρεαλιστική μορφή, όπως θα προκύψει αυτοτελώς από την κατασκευαστική βιομηχανία. Το αρχείο προέρχεται από το KiCad

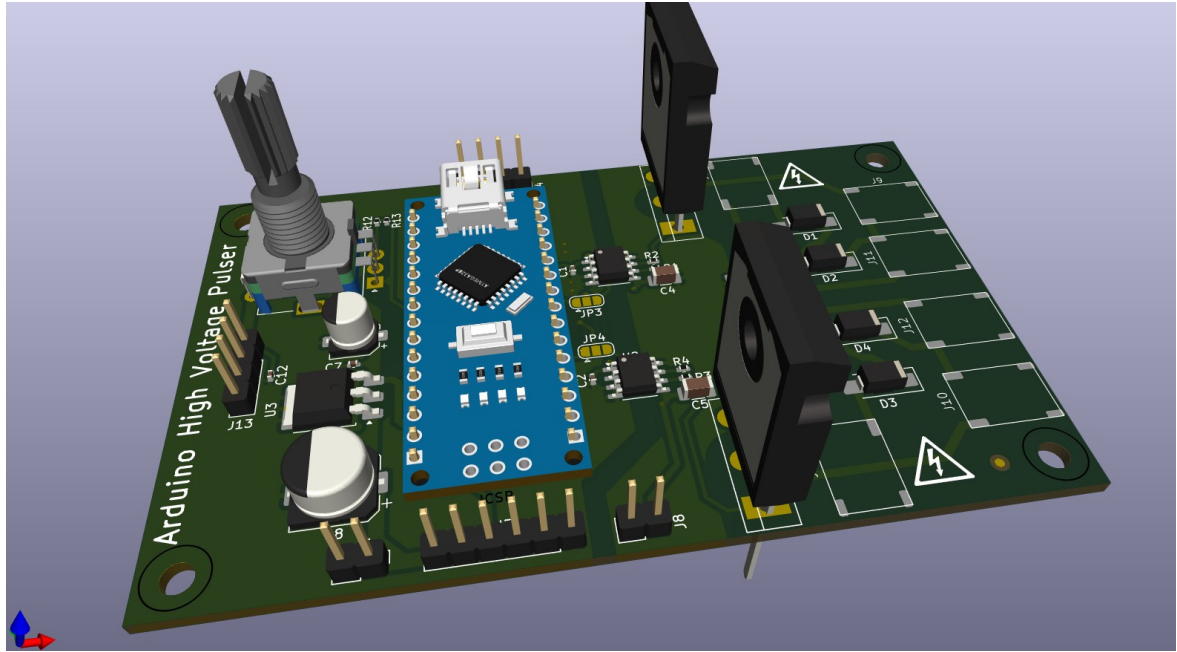


Εικόνα 30: PCB 3D realistic view

Τέλος, στις εικόνες 31 και 32 απεικονίζεται η πλακέτα PCB με την προσθήκη του rotary encoder και του arduino nano σε bare-metal σύνδεση επάνω στο silkscreen. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό με το οποίο ενισχύθηκε η κατασκευή είναι ένας κονέκτορας για σύνδεση μιας οθόνης τύπου OLED 128x32 με χρήση πρωτοκόλλου I2C/SPI [24]. Με αυτό τον τρόπο παρέχεται καλύτερη επικοινωνία και ανάγνωση εξόδων, παραμετροποιώντας τον κώδικα ανάλογα. Η συγκεκριμένη λειτουργία παραμένει προαιρετική.



Εικόνα 31: PCB 3D realistic view with rotary encoder

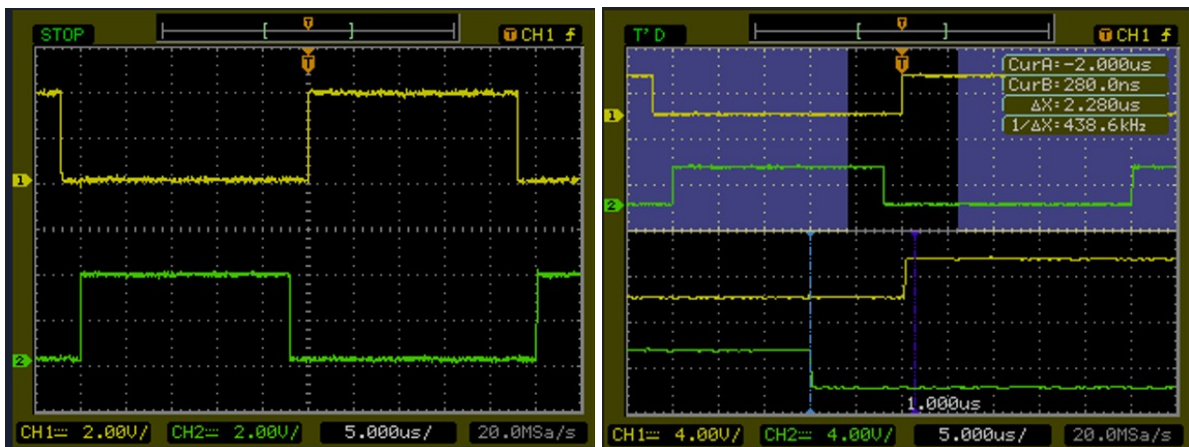


Eικόνα 32: PCB 3D realistic view with rotary encoder and arduino nano

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αξιολόγηση κατασκευής - σχεδίασης

Ως προς το σύνολό της η κατασκευή βρίσκεται μέσα στα πλαίσια των προσδοκιών μας. Αποτελεί μια εκσυγχρονισμένη εφαρμογή ακαδημαϊκού επιπέδου, βασισμένη στη φιλοσοφία παραγωγής παλμών του Christopher E. Eccles στο έργο [3]. Και αυτό, επειδή χρησιμοποιείται η τεχνολογία 3D printing και ο προγραμματισμός μικροελεγκτή. Με βάση τα αποτελέσματα που πήραμε από παλμογράφο για την απόκριση και τις παραγόμενες κυματομορφές, συμπεραίνεται πως η κατασκευή πληροί τα κριτήρια και τις προδιαγραφές ομαλής λειτουργίας. Ο κώδικας ελέγχθηκε για σφάλματα και αξιολογήθηκε μέσω του παλμογράφου, η πλακέτα μελετήθηκε και σχεδιάστηκε λαμβάνοντας υπόψιν όλα τα προαπαιτούμενα, όπως την αντοχή σε υψηλή τάση άνω των 1000 Volt, ανοχή σε σφάλματα σημάτων και εξάλειψη της καθυστέρησης. Επιπλέον, ο θάλαμος υποστηρίζει επαρκώς την υποβολή αερίων στο εσωτερικό του. Υποβλήθηκε σε έλεγχο για διαρροές και τοποθετήθηκαν τα ηλεκτρόδια στις εσοχές, μετρώντας τις αποστάσεις για επαλήθευση. Τα ηλεκτρόδια μορφοποιήθηκαν ελαφρώς ως προς της ακμές τους ώστε να αποφευχθεί, όσο γίνεται, η ανομοιόμορφη κατανομή υψηλού ηλεκτρικού φορτίου. Στην [Εικόνα 33](#) παρουσιάζονται οι κυματομορφές που προκαλεί ο βασικός μας κώδικας ως προς τη συχνότητα και το dead time. Αριστερά φαίνεται η συχνότητα μεταξύ θετικού και αρνητικού παλμού, ενώ δεξιά έχει γίνει zoom στο deadtime.



Εικόνα 33: Ενδείξεις παλμογράφου

Συμπεράσματα

Αρχικά, εύκολα γίνεται αντιληπτό μέσα από την κατασκευή αυτή, πως η τεχνολογία και η εξέλιξή της μέσω των θετικών επιστημών μαζί με την πρακτική εφαρμογή τους από τον

τομέα της μηχανικής, στηρίζουν τα θεμέλια ανάπτυξης και κοινωνικής προόδου. Μια ακόμη κατασκευή, μέσα σε πολλές ακόμη, η οποία μπορεί να υποστηρίξει και να συνεισφέρει σε λύσεις για το μεγάλο και επίκαιρο ζήτημα της περιβαλλοντικής ρύπανσης και βιωσιμότητας. Όλη η διαδικασία είχε σαφώς αρκετές λεπτομέρειες που έπρεπε να προσεχθούν και διαδικασίες που απαιτούσαν αρκετό χρόνο. Βασικά συμπεράσματα που πρέπει να αναφερθούν είναι τα εξής:

1. Η τεχνολογία 3D printing, αποτελεί σημαντική υποστήριξη σε θέμα χρόνου και λεπτομερειών των ζητούμενων αντικειμένων. Στην περίπτωσή μας, βοήθησε αρκετά στην τήρηση των λεπτομερειών του θαλάμου, καθώς απαιτούσε ακρίβεια στα κενά και τις αποστάσεις μεταξύ των τοιχωμάτων και τεχνικές δεξιότητες στην κατασκευή του. Αφήνοντας τον εκτυπωτή να δημιουργήσει στον ‘αυτόματο πιλότο’ το θάλαμο, είχαμε περισσότερο χρόνο να ασχοληθούμε με τη σχεδίαση του κυκλώματος . Επιπλέον μέσω του αρχείου CAD, όπου βρίσκεται η κατασκευή σε ψηφιακή μορφή, μάς δίνεται η δυνατότητα άμεσης και εύκολης τροποποίησης γεωμετρικών χαρακτηριστικών και παραμέτρων. Συνεπώς, επιτυγχάνεται ευκολότερη πρωτοτυποποίηση και μεγαλύτερη συνέπεια, τα οποία μας επιτρέπουν να διεξάγουμε περισσότερες και πιο πλήρεις δοκιμές ή εργαστηριακές προσεγγίσεις.
2. Η διαδικασία παραγωγής παλμών στο υψηλό εύρος που επιδιώκουμε απαιτεί μεγάλη προσοχή και προμελετημένη επιλογή ηλεκτρονικών στοιχείων και μέσων, τα οποία θα παράξουν, θα ελέγξουν και θα μεταφέρουν την τάση. Η διακοπτόμενη υψηλή τάση που παράγεται θα πρέπει να διαχειριστεί με την κατάλληλη δομή και αρχιτεκτονική του κυκλώματος επάνω στη PCB πλακέτα, ώστε να είναι απομονωμένη από τα τμήματα χαμηλών τάσεων και να μην τα κάνει.
3. Τα IGBT switches, εμφανίζουν καλύτερα χαρακτηριστικά, όπως απόκριση και διαχείριση υψηλών τάσεων, απ’ ότι τα MOSFET switches. Σε κάθε περίπτωση όμως, συνιστάται η χρήση drivers με συμβατά χαρακτηριστικά που να τα υποστηρίζουν, καθώς και φίλτρα εξομάλυνσης, ώστε να διατηρήσουμε και να ενισχύσουμε τη χρονική ακρίβεια των παλμών και κυρίως το dead-time accuracy. Το τελευταίο είναι αρκετά σημαντικό, καθώς θα αποτρέψει από την πιθανή δημιουργία ηλεκτρικών τόξων, σε μεταβατικές καταστάσεις από τη θετική στην αρνητική ημιπερίοδο των παλμών.
4. Το arduino αποτελεί έναν από τους πιο εύχρηστους, φθηνούς και φιλικούς προς το χρήστη μικροελεγκτές της αγοράς. Υποστήριξε αξιοπρεπώς το σκοπό της κατασκευής. Ωστόσο, τεχνολογίες όπως το cloud και το edge computing, θα

μπορούσαν με αλγόριθμους τεχνητής νοημοσύνης, να τρέξουν με αυτοματοποιημένο τρόπο στον επεξεργαστή ενός μικροϋπολογιστή (π.χ Raspberry Pi) και με αυτό τον τρόπο να ανέβουμε ένα επίπεδο αυτοματοποίησης στη διαδικασία παραγωγής παλμών. Επιπλέον, θα μπορούμε έτσι να διαχειριστούμε ένα μεγαλύτερο όγκο δεδομένων, καθώς και να τοποθετήσουμε αισθητήρες και ενεργοποιητές, δημιουργώντας μια πιο πολυχρηστική και modular ιδέα.

Βιβλιογραφία

1. Ozkan, G., Guldiken, B., Capanoglu, E. (2019). Effect of Novel Food Processing Technologies on Beverage Antioxidants. *Processing and Sustainability of Beverages*, p. 413-449.
2. Chrysocheris, I., Papakitsos, E., Piromalis, D., Laskaris, N. (2023). A Technology Review of Decarbonization: Efficient Techniques for Producing Hydrogen as Fuel. *Environ. Sci. Proc.*, 26(1), 59.
3. Eccles, C.R. (1998). Fracture Cell Apparatus. UK Patent App. 2,324,307. [Google Scholar]
4. Kasri, N. F., Piah M. A. M., Adzis Z. (2020). Compact High-Voltage Pulse Generator for Pulsed Electric Field Applications: Lab-Scale Development. *Journal of Electrical and Computer Engineering*.
5. Πυλαρινός, Δ. (2016). ΠΕΓΑ: Φωτοβολταϊκά Ενεργειακά Συστήματα. Εισαγωγή στα Ηλεκτρονικά Ισχύος.
6. Elgack, W., Mason, H.S.C., Fyc, A. (2007). Simulation and Experimental Validation of AC to AC Converter Waveform and Power Consumption using the Integral Cycle PWM Technique. [Research Gate].
7. Jones, M. (2012). *Power Supplies. Valve Amplifiers*, 4th Edition, Chapter 5, p. 333-434.
8. Kasri, N. F. & Piah M. A. M. (2018). Development of Compact Pulse Generator with Adjustable Pulse Width for Pulse Electric Field Treatment Technology. *International Journal of Power Electronics and Drive System*, Vol 9, p.889-896.
9. Shahrubudin N., Lee T.C., Ramlan R. (2019) An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, Vol. 35, p. 1286-1296.
10. Μπιλάλης, Ν., Μαραβέλακης, Ε. (2020). ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ CAD/CAM ΚΑΙ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ. ΚΡΙΤΙΚΗ, 3η έκδοση
11. Χαριτάντης, Γ. (2014). ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ. ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ
12. Χαριτάντης, Γ. (2013). ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ. ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ.
13. Κάντζος, Δ. & Καραϊσκος, Χ. (2015). ΣΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ. ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΕΚΔΟΤΙΚΗ.
14. Zehring R., Stuck A., Lang T. (1998). Material requirements for high voltage, high power IGBT devices. *Solid-State Electronics*, Vol. 42, Issue 12, p. 2139-2151.
15. Abbate C., Busatto G., Fratelli L., Iannuzzo F. (2006). The high frequency behaviour of high voltage and current IGBT modules. *Microelectronics Reliability*, Vol. 46, Issues 9–11, p. 1848-1853.

16. Zherlitsyn A., Alexeenko V.M., Kumpyak E.V., Kondratiev, S.(2022). Fragmentation of printed circuit boards by sub-microsecond and microsecond high-voltage pulses. Minerals Engineering, Vol. 176.
17. Deshmukh, A., Shinde, U.(2016). A low cost environment monitoring system using raspberry Pi and arduino with Zigbee. (ICICT).
18. <https://www.britannica.com/science/magnetic-resonance/Electron-spin-resonance>
Britanica- Magnetic Reasonance
19. <https://ecstudiosystems.com/discover/textbooks/basic-electronics/wave-shaping/integrators/>
20. <https://www.electricity-magnetism.org/ionic-polarisation/> Ionic polarization
21. <https://www.infineon.com/cms/en/product/power/gate-driver-ics/1edi40i12af/>
22. https://www.alldatasheet.com/view_datasheet.jsp?Searchword=BAS86
23. <https://search.arduino.cc/search?q=arduino%20nano&tab=reference>
24. <https://arduinogetstarted.com/tutorials/arduino-oled>
25. <https://howtomechatronics.com/tutorials/arduino/rotary-encoder-works-use-arduino/>
26. https://www.ti.com/lit/an/szza009/szza009.pdf?ts=1710153175302&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F PCB Design Guidelines For Reduced EMI
27. <https://talema.com/gate-driver-introduction/> Introduction to Gate Drivers for Power Electronics