



ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

«Σύστημα παρακολούθησης και έγκαιρης ενημέρωσης
αερίων για οικιακό περιβάλλον»

Της φοιτήτριας
Βορραδάκη-Βεργουλίδου Αθανασία
Αρ. Μητρώου: 517170

Επιβλέπων
Χατζόπουλος Αργύριος
Αναπ. Καθηγητής

Ιανουάριος 2026

Τίτλος Δ.Ε. Σύστημα παρακολούθησης και έγκαιρης ενημέρωσης για οικιακό περιβάλλον

Κωδικός Δ.Ε. 25301

Όνοματεπώνυμο φοιτήτριας: Βορραδάκη-Βργουλίδου Αθανασία

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Χατζόπουλος Αργύριος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. 26/09/2025

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 28/01/2025

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

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

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

«Για την οικογένεια μου»

Πρόλογος

Η επιλογή του συγκεκριμένου θέματος πτυχιακής εργασίας προέκυψε από το ενδιαφέρον μου για τις εφαρμογές μικροελεγκτών σε προβλήματα καθημερινότητας. Η ασφάλεια σε οικιακούς χώρους αποτελεί ένα ιδιαίτερα σημαντικό ζήτημα , ειδικά σε περιπτώσεις διαρροής αερίων και παρουσίας μονοξειδίου του άνθρακα. Έτσι, η έγκαιρη ανίχνευση αυτών στοχεύει στην προστασία της ανθρώπινης ζωής.

Μέσα από την εκπόνηση της παρούσας εργασίας μπόρεσα να εμβαθύνω στην λειτουργία αισθητήρων αερίων ,στο πως αυτά συνδέονται με τον μικροελεγκτή ESP32 αλλά και στον σχεδιασμό ενός ολοκληρωμένου συστήματος παρακολούθησης και ειδοποίησης.

Τέλος, η υλοποίηση αυτή συνέβαλε στην κατανόηση της συνεργασίας υλικών εξαρτημάτων και λογισμικού σε πραγματικές εφαρμογές, αποτελώντας χρήσιμη εμπειρία για μελλοντική ενασχόληση με τον τομέα αυτοματισμών και έξυπνων συστημάτων.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αφορά τη μελέτη, τον σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος ανίχνευσης επικίνδυνων αερίων για το οικιακό περιβάλλον, με τη χρήση του μικροελεγκτή ESP32 και αισθητήρων της σειράς MQ. Το σύστημα αυτό στοχεύει στην έγκαιρη ανίχνευση καπνού, υγραερίου, φυσικού αερίου και μονοξειδίου του άνθρακα αλλά και στην άμεση ειδοποίηση του χρήστη σε περίπτωση επικίνδυνων συνθηκών.

Πιο συγκεκριμένα, το σύστημα βασίζεται στην συλλογή αναλογικών μετρήσεων από τους αισθητήρες MQ-2, MQ-5 και MQ-9. Οι μετρήσεις αυτές επεξεργάζονται από τον μικροελεγκτή και συγκρίνονται με τα όρια ασφαλείας που έχουν προκαθοριστεί. Ακόμα, χρησιμοποιείται ο αισθητήρας BME280, για την μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης, με σκοπό να παρουσιάζονται και οι περιβαλλοντικές συνθήκες που επηρεάζουν την λειτουργία των αισθητήρων αερίων. Οι πληροφορίες αυτές προβάλλονται σε οθόνη OLED, ενώ σε περίπτωση υπέρβασης των ορίων ενεργοποιείται ηχητικός συναγερμός buzzer που ειδοποιεί τον χρήστη.

Το λογισμικό που εγκαταστάθηκε στον μικροελεγκτή, αναπτύχθηκε στο περιβάλλον Arduino IDE και περιλαμβάνει την αρχικοποίηση, την προθέρμανση αισθητήρων, τη μέτρηση και ενεργοποίηση μηχανισμού ειδοποίησης.

Τέλος, τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το σύστημα ανιχνεύει αξιόπιστα την συγκέντρωση επικίνδυνων αερίων και παρέχει έγκαιρη ειδοποίηση στον χρήστη. Η λύση αυτή χαρακτηρίζεται από χαμηλό κόστος, απλότητα υλοποίησης αλλά και δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης, γεγονός που την καθιστά κατάλληλη για εφαρμογές οικιακής ασφαλείας.

«Home Gas Monitoring and Early Warning System»

«Vorradaki Athanasia»

Abstract

This project presents the design and implementation of a home gas detection system using an ESP32 microcontroller and MQ-series sensors. The system is designed to detect smoke, LPG, natural gas and carbon monoxide, and to alert the user when dangerous conditions are detected.

The system uses analog data from the MQ-2, MQ-5 and MQ-9 sensors. The microcontroller processes these values and compares them with safety limits. A BME280 sensor is also used to measure temperature, humidity and air pressure, in order to show environmental conditions that may affect the gas sensors. All information is shown on an OLED display, and when the limits are exceeded, a buzzer sounds to warn the user.

The software was developed using Arduino IDE and includes sensor setup, warm-up, data measurement and alarm activation.

The results show that the system can reliably detect dangerous gas levels and warn the user in time. It is a low-cost and simple solution that can be expanded in the future, making it suitable for home safety applications.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που είναι πάντα δίπλα μου και με στηρίζουν κάθε στιγμή.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	iv
Περίληψη.....	v
Abstract	vi
Ευχαριστίες	vii
Περιεχόμενα	viii
Κατάλογος Σχημάτων	x
Κατάλογος Πινάκων.....	xi
Συνομογραφίες.....	xii
Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή.....	1
1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας.....	1
1.2 Η σημασία της ανίχνευσης αερίων στο οικιακό περιβάλλον	1
1.3 Εφαρμογές συστημάτων ανίχνευσης αερίων	1
Κεφάλαιο 2ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο – Αισθητήρες Αερίων.....	3
2.1 Εισαγωγή.....	3
2.2 Αρχές λειτουργίας αισθητήρων αερίων.....	3
2.3 Κατηγορίες αισθητήρων αερίων	4
2.4 Βασικά χαρακτηριστικά και παράμετροι απόδοσης αισθητήρων	5
2.5 Παρουσίαση αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στον σύστημα	5
2.6 Επίλογος	8
Κεφάλαιο 3ο: Μικροελεγκτής ESP32.....	9
3.1 Εισαγωγή.....	9
3.2 Γενική περιγραφή και αρχιτεκτονική ESP32	9
3.3 Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες	10
3.4 Επιλογή πλακέτας ESP32 DevKit V1	11
3.5 Σύγκριση ESP32 με Arduino Uno.....	12
3.6 Δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και ESP-NOW	13
3.7 Επίλογος.....	14
Κεφάλαιο 4ο: Υλοποίηση συστήματος	16
4.1 Εισαγωγή.....	16
4.2 Υλικά και εξαρτήματα του συστήματος.....	16
4.3 Διάγραμμα Μπλοκ και γενική συνδεσμολογία	17
4.4 Τροφοδοσία και αρχιτεκτονική του κυκλώματος.....	19

4.5 Συνδεσμολογία αισθητήρων αερίων με τον ESP32	20
4.6 Διασύνδεση I2C- Αισθητήρας BME280 και οθόνη OLED	22
4.7 Μονάδα ειδοποίησης ρελέ και buzzer	23
4.8 Όρια ανίχνευσης και συμπεριφορά αισθητήρων	24
4.9 Μεταφορά κυκλώματος σε διάτρητη πλακέτα και τοποθέτηση σε κουτί κατασκευής	26
4.10 Επίλογος	29
Κεφάλαιο 5ο : Λογική Λειτουργίας Συστήματος.....	30
5.1 Περιγραφή λειτουργίας λογισμικού	30
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης	32
6.1 Συμπεράσματα.....	32
6.2 Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντικές επεκτάσεις	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	33
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	35

Κατάλογος Σχημάτων

Εικόνα 2.1 Εσωτερική δομή και ακροδέκτες με τεχνολογία MOS	3
Εικόνα 2.2 Κύκλωμα σύνδεσης Τεχνολογίας MOS.....	3
Εικόνα 2.3 Αισθητήρας MQ-2	6
Εικόνα 2.4 Αισθητήρας MQ-5	6
Εικόνα 2.5 Αισθητήρας MQ-9	7
Εικόνα 2.6 Αισθητήρας περιβάλλοντος BME-280	7
Εικόνα 3.1 ESP32DevKit V1	10
Εικόνα 3.2 Pinout ESP32 DevKit V1.....	12
Εικόνα 3.3 Arduino Uno vs ESP32.....	13
Εικόνα 3.4 ESP-NOW.....	14
Εικόνα 4.1 Διάγραμμα block του συστήματος ανίχνευσης αερίων.....	18
Εικόνα 4.2 Σχέδιο γενικής συνδεσμολογίας του κυκλώματος	19
Εικόνα 4.3 Έναρξη συστήματος και προθέρμανση αισθητήρων	26
Εικόνα 4.4 Ένδειξη αισθητήρων σε καθαρό αέρα	27
Εικόνα 4.5 Ένδειξη αισθητήρων μετά από ανίχνευση αερίου	28
Εικόνα 4.6 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίων σε breadboard.....	28
Εικόνα 4.7 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίου σε διάτρητη πλακέτα	29
Εικόνα 4.8 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίων σε λειτουργία.....	30
Εικόνα 4.9 Τοποθέτηση κυκλώματος σε κουτί κατασκευής.....	31
Εικόνα 5.1 Περιβάλλον Arduino IDE	33

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 4.1 Υλικά και εξαρτήματα κατασκευής	17
---	----

Συντομογραφίες

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

Κεφάλαιο 1ο: Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και σκοπός της εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία έχει ως αντικείμενο τη μελέτη, σχεδίαση και υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης και έγκαιρης ενημέρωσης αερίων για οικιακό περιβάλλον με τη χρήση του μικροελεγκτή ESP32. Το σύστημα αυτό στοχεύει στην ανίχνευση επικίνδυνων ή ανεπιθύμητων αερίων, όπως καπνός, υγραέριο, μονοξείδιο του άνθρακα και φυσικό αέριο, και στην άμεση ειδοποίηση του χρήστη μέσω οπτικών και ακουστικών σημάτων.

Για την επίτευξη του στόχου ,χρησιμοποιούνται τέσσερις βασικοί αισθητήρες : οι MQ-2 , MQ-5 , MQ-9 και BME-280 ,οι οποίοι συνδέονται με τον μικροελεγκτή ESP32. Η λειτουργία του συστήματος βασίζεται στην καταγραφή των μετρήσεων των αισθητήρων και στην σύγκριση τους με προκαθορισμένα όρια ασφαλείας.

Σε περίπτωση υπέρβασης αυτών των ορίων, ενεργοποιείται ένα buzzer μέσω ενός τετραπλού ρελέ , προειδοποιώντας άμεσα τον χρήστη για την ύπαρξη πιθανής διαρροής ή επικίνδυνης συγκέντρωσης αερίου.

Ο βασικός σκοπός της εργασίας είναι να παρουσιάσει ένα απλό, οικονομικό και αξιόπιστο σύστημα, το οποίο μπορεί να συμβάλει στην πρόληψη ατυχημάτων και να αυξήσει το επίπεδο ασφάλειας σε οικιακούς χώρους.

Παράλληλα, η εργασία αποσκοπεί στο να δείξει πως ο συνδυασμός αισθητήρων χαμηλού κόστους με έναν σύγχρονο μικροελεγκτή μπορεί να οδηγήσει σε πρακτικές και λειτουργικές λύσεις για την καθημερινή ζωή.

1.2 Η σημασία της ανίχνευσης αερίων στο οικιακό περιβάλλον

Η ανίχνευση αερίων σε κατοικίες και κλειστούς χώρους αποτελεί ζήτημα ασφάλειας και πρόληψης.

Η ύπαρξη καπνού, μονοξειδίου του άνθρακα ή διαρροών υγραερίου μπορεί να προκαλέσει σοβαρούς κινδύνους για την ανθρώπινη υγεία και περιουσία. Σε πολλές περιπτώσεις τα αέρια αυτά είναι άοσμα και αόρατα, γεγονός που καθιστά τον έγκαιρο εντοπισμό τους απαραίτητο.

Τα τελευταία χρόνια, η ανάπτυξη των αισθητήρων αερίων και των έξυπνων μικροελεγκτών έχει κάνει εφικτή τη δημιουργία αυτόνομων συστημάτων ανίχνευσης, τα οποία μπορούν να ενημερώνουν τον χρήστη αμέσως μόλις εντοπιστεί επικίνδυνη συγκέντρωση αερίου.

Έτσι, η τεχνολογία συμβάλει καθοριστικά στη βελτίωση ποιότητας ζωής και στην ενίσχυση της ασφάλειας του οικιακού περιβάλλοντος.

Η ανάγκη για τέτοια συστήματα είναι ακόμα πιο έντονη σε παλαιότερα κτίρια ή κατοικίες όπου δεν υπάρχουν εγκατεστημένοι ανιχνευτές αερίων. Ένα σύστημα όπως αυτό που αναπτύσσεται στην παρούσα εργασία μπορεί να αποτελέσει προσιτή λύση, κατάλληλη για εύκολη εγκατάσταση σε κάθε σπίτι.

1.3 Εφαρμογές συστημάτων ανίχνευσης αερίων

Τα συστήματα ανίχνευσης αερίων εφαρμόζονται τόσο σε οικιακά όσο και σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, έχοντας ως κύριο στόχο την πρόληψη ατυχημάτων και την προστασία ανθρώπινης ζωής.[23]

Κεφάλαιο 1

Σε οικιακό επίπεδο, οι ανίχνευτές αερίων χρησιμοποιούνται κυρίως για την ανίχνευση διαρροών υγραερίου ή φυσικού αερίου αλλά και για την ανίχνευση μονοξειδίου του άνθρακα, το οποίο είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο αέριο λόγω του ότι είναι άχρωμο και άοσμο. Σε τέτοιες περιπτώσεις η έγκυρη προειδοποίηση μπορεί να προλάβει σοβαρά ατυχήματα , όπως εκρήξεις, πυρκαγιές ή ακόμα και δηλητηριάσεις.

Σε επαγγελματικούς χώρους, όπως είναι οι χώροι παραγωγής ή οι αποθήκες καυσίμων, τα συστήματα ανίχνευσης αερίων χρησιμοποιούνται για την συνεχή παρακολούθηση της ατμόσφαιρας με σκοπό την αποτροπή επικίνδυνων καταστάσεων που σχετίζονται με εύφλεκτα και τοξικά αέρια. Σε αυτούς τους χώρους , τα συστήματα συνδυάζονται με μηχανισμούς εξαερισμού ή ενεργοποίησης συναγερμών.

Ακόμα, τα συστήματα ανίχνευσης αερίων αξιοποιούνται και σε εφαρμογές έξυπνων κτηρίων όπου συμβάλλουν στην αυτόματη διαχείριση κινδύνων και την αποστολή ειδοποιήσεων στους χρήστες. Λόγω της εξέλιξης των μικροελεγκτών και των ασύρματων τεχνολογιών μπορούν να δημιουργηθούν οικονομικά και αποδοτικά συστήματα ανίχνευσης , τα οποία μπορούν να εγκατασταθούν σε διαφορετικά περιβάλλοντα.

Κεφάλαιο 2^ο: Θεωρητικό Υπόβαθρο – Αισθητήρες Αερίων

2.1 Εισαγωγή

Η παρακολούθηση αερίων αποτελεί βασικό στοιχείο για την ασφάλεια τόσο σε κατοικίες όσο και σε επαγγελματικούς χώρους. Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει ακόμη πιο σημαντική, καθώς διάφορα επικίνδυνα αέρια όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, το υγραέριο ή ο καπνός μπορούν να δημιουργήσουν σοβαρούς κινδύνους για την υγεία των ανθρώπων αλλά και για την προστασία του χώρου[15],[16],[17].

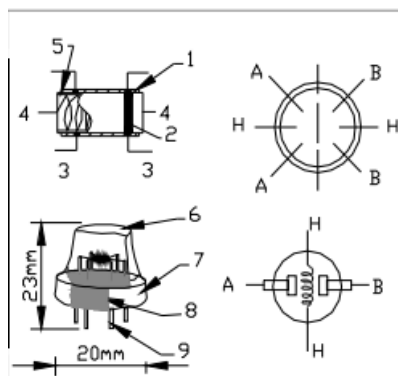
Για τον λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί αισθητήρες που μπορούν να παρακολουθούν συνεχώς την ποιότητα του αέρα. Η τεχνολογική εξέλιξη έχει οδηγήσει στη δημιουργία οικονομικών και αρκετά ακριβών αισθητήρων, οι οποίοι μπορούν να συνεργαστούν εύκολα με μικροελεγκτές όπως ο ESP32[5],[22]. Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται το θεωρητικό πλαίσιο που αφορά τους αισθητήρες αερίων, τον τρόπο λειτουργίας τους, τις βασικές κατηγορίες τους και τα κυριότερα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την απόδοσή τους.

2.2 Αρχές λειτουργίας αισθητήρων αερίων

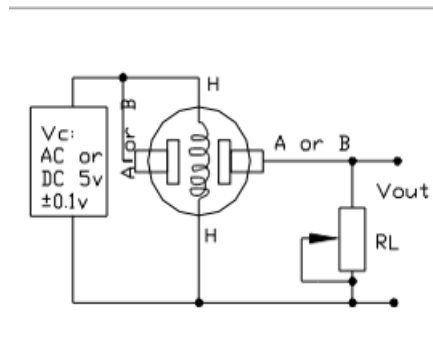
Οι αισθητήρες αερίων έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μπορούν να παρακολουθούν την παρουσία και τη συγκέντρωση συγκεκριμένων αερίων στο περιβάλλον. Η βασική τους λειτουργία στηρίζεται σε αλλαγές που εμφανίζονται στις φυσικές αλλά και στις χημικές ιδιότητες των υλικών από τα οποία αποτελούνται, όταν αυτά έρθουν σε επαφή με μόρια αερίων[1], [2],[3],[15].

Στις περισσότερες οικονομικές και διαδεδομένες στη χρήση εφαρμογές συναντάμε τους ημιαγωγικούς αισθητήρες (Metal Oxide Semiconductor – MOS). Η ανίχνευσή τους βασίζεται στο γεγονός ότι η ηλεκτρική αντίσταση του υλικού αλλάζει όταν στην επιφάνειά του προσκολλώνται συγκεκριμένα αέρια. Ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του κασσίτερου (SnO_2), το οποίο λειτουργεί ως ευαίσθητο υλικό, αντιδρά με τα μόρια των αερίων και οδηγεί σε αλλαγή της αγωγιμότητας. Η μεταβολή αυτή εξαρτάται τόσο από το είδος του αερίου όσο και από τη συγκέντρωσή του[1],[2],[3].

Η λειτουργία των MOS αισθητήρων επηρεάζεται από το πόσο αέρια απορροφώνται στην επιφάνεια του υλικού. Η απορρόφηση αυτή αλλάζει την πυκνότητα φορτίου που έχουν οι φορείς και κατά συνέπεια την ηλεκτρική τους συμπεριφορά. Έτσι, επιτυγχάνεται ο εντοπισμός της συγκέντρωσης του αερίου. Για να αποδώσουν σωστά, απαιτούν συχνά μια σύντομη περίοδο προθέρμανσης, ώστε να φτάσουν στη θερμοκρασία στην οποία λειτουργεί καλύτερα το υλικό ανίχνευσης[1],[3],[16].



Εικόνα 2.1 Εσωτερική δομή και ακροδέκτες αισθητήρων με τεχνολογία MOS



Εικόνα 2.2 Κύκλωμα σύνδεσης τεχνολογίας MOS

Κάποιες ακόμα τεχνολογίες αισθητήρων αερίων που υπάρχουν πέρα από την τεχνολογία MOS είναι οι παρακάτω:

- Ηλεκτροχημικοί αισθητήρες : Λειτουργούν μέσω χημικών αντιδράσεων μεταξύ του αερίου και ενός ηλεκτρολύτη, παρέχοντας ηλεκτρικό σήμα. Χαρακτηρίζονται από υψηλή ακρίβεια, αλλά είναι και πιο ακριβοί και απαιτούν περιοδική βαθμονόμηση .
- NDIR (Non – Dispersive Infrared) αισθητήρες: Χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αερίων όπως CO₂ . Η μέτρησή γίνεται μέσω της απορρόφησης υπέρυθρης ακτινοβολίας.
- Οπτικοί αισθητήρες: Σε αυτούς, μεταβάλλεται η ένταση του φωτός που διέρχεται ή αντανακλάται από το αέριο, και χρησιμοποιούνται συχνά σε ανιχνευτές καπνού .

Η τεχνολογία MOS, λόγω του χαμηλού κόστους, της ευκολίας χρήσης και της συνδεσιμότητας με μικροελεγκτές, αποτελεί την πιο πρακτική επιλογή για εφαρμογές όπως η παρούσα.

2.3 Κατηγορίες αισθητήρων αερίων

Η ταξινόμηση των αισθητήρων αερίων μπορεί να γίνει με βάση δύο βασικά κριτήρια:

- Το πρώτο κριτήριο, είναι το είδος του αερίου που ανιχνεύουν. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες διαφέρουν ανάλογα με την εφαρμογή τους. Για παράδειγμα οι αισθητήρες MQ-2 και MQ-135, μπορούν να εντοπίσουν καπνό και σωματίδια καύσης, ενώ οι MQ-7 και MQ-9 έχουν κύριο σκοπό την ανίχνευση μονοξειδίου του άνθρακα. Επιπλέον, υπάρχουν αισθητήρες που εντοπίζουν φυσικό αέριο, όπως ο MQ-5, αλλά και το υγραέριο (LPG), προπάνιο και μεθάνιο [1], [2], [3].
- Η δεύτερη κατηγορία αφορά την τεχνολογία λειτουργίας τους. Σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν συστήματα και εφαρμογές χαμηλού κόστους εφαρμόζεται κυρίως η ημιαγωγική τεχνολογία (MOS). Ενώ σε περιπτώσεις όπου απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια (επαγγελματικές λύσεις), οι ηλεκτροχημικοί αισθητήρες είναι η βέλτιστη επιλογή. Ακόμα αέρια όπως το CO₂ εντοπίζονται συχνά με υπέρυθρους αισθητήρες τύπου NDIR, ενώ για την ανίχνευση καπνού χρησιμοποιούνται επίσης οπτικοί αισθητήρες, οι οποίοι βασίζονται στη διάχυση ή απορρόφηση φωτός .

Η επιλογή του κατάλληλου αισθητήρα εξαρτάται τελικά από μια σειρά παραγόντων, όπως η ευαισθησία στις συγκεντρώσεις του αερίου, το κόστος απόκτησης, η κατανάλωση ενέργειας και η συμβατότητα με το σύστημα ή τον μικροελεγκτή που χρησιμοποιείται στην εκάστοτε εφαρμογή .

2.4 Βασικά χαρακτηριστικά και παράμετροι απόδοσης αισθητήρων

Η αξιοπιστία και λειτουργικότητα ενός αισθητήρα αερίων, καθορίζεται μέσα από ένα σύνολο παραμέτρων. Μια από αυτές είναι η **ευαισθησία** του, δηλαδή η ικανότητα ανίχνευσης ακόμα και πολύ μικρών ποσοτήτων αερίων. Όσο πιο ευαίσθητος είναι ο αισθητήρας, τόσο πιο γρήγορα και αποτελεσματικά μπορεί να αντιδρά σε πιθανούς κινδύνους [1], [2].

Ισοδύναμης σημασίας είναι και το **εύρος μέτρησης**, το οποίο αφορά την περιοχή επιπέδων που μπορεί να ανιχνεύσει με ακρίβεια εκφρασμένο σε ppm (parts per million). Μια ακόμα σημαντική παράμετρος είναι ο **χρόνος απόκρισης**, όταν κρίνεται αναγκαία η ανταπόκριση χωρίς καθυστέρηση. Πιο συγκεκριμένα είναι ο χρόνος αντίδρασης του αισθητήρα σε περιπτώσεις που παρουσιαστεί απότομη αύξηση της ποσότητας ενός αερίου. Αντίστοιχη παράμετρος είναι και ο **χρόνος αποκατάστασης**, που δείχνει την ταχύτητα με την οποία επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση ο αισθητήρας μετά την απομάκρυνση του αερίου [1], [3].

Μια ακόμα ιδιότητα που παίζει σημαντικό ρόλο στην αξιολόγηση είναι η **ακρίβεια** των μετρήσεων. Στις περιπτώσεις όπου οι ενδείξεις του αισθητήρα τείνουν να φθάνουν όσο το δυνατόν πιο κοντά στην πραγματική συγκέντρωση αερίου, ο αισθητήρας χαρακτηρίζεται ως αξιόπιστος. Ακόμα εξωτερικοί παράγοντες, όπως είναι η **θερμοκρασία** αλλά και η **υγρασία**, μπορούν να παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του αισθητήρα. Αυτό συμβαίνει διότι κάποιοι αισθητήρες παρουσιάζουν καλύτερα και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα σε συγκεκριμένες περιβαλλοντικές συνθήκες [4].

Τέλος, μια ακόμα παράμετρος είναι και η **κατανάλωση ισχύος** σε εφαρμογές όπου η συσκευή λειτουργεί με μπαταρία ή η ενέργεια που είναι διαθέσιμη για χρήση είναι λίγη. Έτσι, φορητές εφαρμογές που χρειάζονται υψηλό ρεύμα για τη λειτουργία τους δυσκολεύονται να υποστηρίξουν αισθητήρες με μεγάλη κατανάλωση ενέργειας.

Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν παραπάνω είναι σημαντικό να κατανοηθούν, ώστε ένα σύστημα όταν σχεδιαστεί να είναι λειτουργικό και αξιόπιστο, καθώς και να γίνεται η σωστή επιλογή και χρήση των αισθητήρων.

2.5 Παρουσίαση αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν στον σύστημα

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας επιλέχθηκαν τέσσερις αισθητήρες, ώστε να καλυφθεί ένα μεγάλο μέρος αναγκών που αφορούν την παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Η επιλογή τους έγινε με βάση την ακρίβεια που προσφέρουν, τη συμβατότητά τους με τον μικροελεγκτή ESP32 και το χαμηλό κόστος προμήθειας, προϋποθέσεις που θεωρούνται ιδιαίτερα σημαντικές για την ανάπτυξη ενός λειτουργικού αλλά παράλληλα οικονομικού συστήματος [1], [2], [3].

Ο MQ-2 αποτελεί έναν από τους πιο γνωστούς αισθητήρες για την ανίχνευση καπνού και εύφλεκτων αερίων όπως το υγραέριο, το προπάνιο και το μεθάνιο. Διαθέτει γρήγορη απόκριση και υψηλή ικανότητα ανίχνευσης, στοιχεία που τον καθιστούν κατάλληλο για έγκαιρη προειδοποίηση σε περίπτωση πυρκαγιάς ή διαρροής αερίου. Για τον λόγο αυτό συναντάται συχνά σε απλούς ανιχνευτές καπνού ή σε συστήματα ασφαλείας οικιακών χώρων [1].



Εικόνα 2.3 Αισθητήρας MQ-2

Ο αισθητήρας MQ-5 επικεντρώνεται στην ανίχνευση φυσικού αερίου και LPG. Λόγω της διαμορφωμένης ευαισθησίας του, τον συναντάμε κυρίως σε περιβάλλοντα όπου υπάρχουν συσκευές που λειτουργούν με καύσιμα αέρια, όπως κουζίνες ή χώροι αποθήκευσης φιαλών υγραερίου. Χρησιμοποιείται κυρίως με σκοπό τον άμεσο εντοπισμό πιθανής διαρροής συμβάλλοντας έτσι στην μείωση σοβαρών ατυχημάτων που μπορούν να προκληθούν[2].



Εικόνα 2.4 Αισθητήρας MQ-5

Ο MQ-9 στοχεύει στον εντοπισμό μονοξειδίου του άνθρακα ,μεθανίου , υγραερίου και άλλων καύσιμων αερίων. Λόγω του ότι το μονοξείδιο του άνθρακα αποτελεί ένα άχρωμο και άοσμο αέριο , η ύπαρξη του σε κλειστούς οικιακούς χώρους αυξάνει την επικινδυνότητά του , γεγονός που το καθιστά έναν από τους πιο επιβλαβείς ρύπους για την υγεία. Τέλος ο αισθητήρας αυτός χρησιμοποιείται συχνά σε χώρους όπου λειτουργούν συσκευές καύσης, όπως λέβητες, τζάκια ή θερμάστρες, καθώς μπορεί να δώσει έγκαιρη ένδειξη συγκέντρωσης CO [3].



Εικόνα 2.5 Αισθητήρας MQ-9

Ο τελευταίος αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στο κύκλωμα είναι ο BME-280 η λειτουργία του οποίου είναι διαφορετική . Συγκεκριμένα συμβάλλει στην μέτρηση θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης , παράγοντες οι οποίοι μεταβάλλουν την λειτουργικότητα και την ανταπόκριση των αισθητήρων αερίων που προαναφέρθηκαν, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την χρήση του BME-280 στο σύστημα. Ακόμα αισθητήρες όπως ο BME-280, σε περιπτώσεις όπου αλλάζουν οι περιβαλλοντικές συνθήκες μεταβάλλουν την ηλεκτρική τους συμπεριφορά μέσω εσωτερικών στοιχείων παρέχοντας αξιόπιστες πληροφορίες προς τον μικροελεγκτή. Έτσι, εξασφαλίζεται η ακριβής αξιολόγηση των μετρήσεων καθώς η αξιοπιστία του συνολικού κυκλώματος[4], [18].



Εικόνα 2.6 Αισθητήρας περιβάλλοντος BME-280

Κάποια από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά του BME-280 είναι τα εξής [4], [18]:

- Υψηλή ακρίβεια στις μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και πίεσης
- Χαμηλή κατανάλωση ισχύος, κατάλληλη για συστήματα που λειτουργούν με συνεχείς μετρήσεις
- Υποστήριξη ψηφιακών πρωτοκόλλων επικοινωνίας (I²C και SPI), που διευκολύνουν την ενσωμάτωσή του σε μικροελεγκτές.
- Γρήγορος χρόνος απόκρισης στις μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών
- Μικρό φυσικό μέγεθος, ιδανικό για ενσωμάτωση σε μικρά συστήματα.

Η ενσωμάτωση του BME-280 στο κύκλωμα ανίχνευσης αερίων βελτιώνει σημαντικά την αξιοπιστία του κυκλώματος, καθώς οι περιβαλλοντικές συνθήκες επηρεάζουν την συμπεριφορά των αισθητήρων MOS της σειράς MQ. Η συνδυαστική χρήση τους ,αποσκοπεί στην εξάλειψη πολλαπλών κινδύνων που είναι πιθανόν να εμφανιστούν σε έναν οικιακό χώρο. Με αυτόν τον τρόπο , επιτυγχάνεται ο έγκαιρος εντοπισμός διαρροής καύσιμων αερίων καθώς και αλλαγών στο περιβάλλον που μπορεί να καθιστούν επικίνδυνες , συμβάλλοντας στην διασφάλιση της ασφάλειας των χρηστών.

2.6 Επίλογος

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναλύθηκε το θεωρητικό υπόβαθρο που είναι απαραίτητο για την ορθή ερμηνεία ενός συστήματος ανίχνευσης αερίων σε οικιακό χώρο. Παρουσιάστηκαν οι κατηγορίες των αισθητήρων ,ο σκοπός τους καθώς και παράγοντες που επηρεάζουν την αποδοτικότητα τους. Καθώς και οι αιτίες που οδήγησαν στην επιλογή τους.

Η θεωρητική αυτή γνώση αποτελεί τη βάση για τη συνέχεια της εργασίας. Στο επόμενο κεφάλαιο ακολουθεί η μελέτη του μικροελεγκτή ESP32, ο οποίος αποτελεί το κεντρικό στοιχείο επεξεργασίας του συστήματος και είναι υπεύθυνος για τη συλλογή και διαχείριση των δεδομένων από όλους τους αισθητήρες.

Κεφάλαιο 3^ο: Μικροελεγκτής ESP32

3.1 Εισαγωγή

Στο κύκλωμα εντοπισμού αερίων που υλοποιήθηκε στην εργασία αυτή βασικό ρόλο διαδραματίζει ο μικροελεγκτής ESP32 . Πιο συγκεκριμένα αποτελεί έναν δημοφιλή μικροελεγκτή , καθώς συνδυάζει ασύρματη επικοινωνία και υπολογιστικές δυνατότητες , γεγονός πολύ σημαντικό κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού και συστήματα που απαιτούν συνεχή παρακολούθηση δεδομένων [5], [22]. Ο ρόλος του esp32 είναι ιδιαίτερα σημαντικός διότι συλλέγει τις μετρήσεις από τους αισθητήρες, επεξεργάζεται τα δεδομένα και ενεργοποιεί μηχανισμούς ειδοποίησης όταν κρίνεται απαραίτητο.

Ακόμα ένας λόγος που επιλέχθηκε ο ESP32 για την παρούσα εργασία είναι ότι διαθέτει πολλαπλές αναλογικές και ψηφιακές εξόδους (GPIO) , υποστηρίζει σύγχρονα πρωτόκολλα επικοινωνίας και μπορεί να επεκταθεί με επιπλέον περιφερειακές συσκευές [8],[10],[11]. Επίσης διαθέτει ενσωματωμένο WI-FI και Bluetooth γεγονός που επιτρέπει την απομακρυσμένη παρακολούθηση ή ακόμα και σύνδεση εξ αποστάσεως με άλλες συσκευές [20],[21].

Στην συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα γίνει ανάλυση των βασικών χαρακτηριστικών του ESP32 και της εσωτερικής δομής του με στόχο την αντίληψη του τρόπου λειτουργίας του καθώς και της συνεισφοράς του στην ανάπτυξη του συστήματος μας.

Τέλος θα γίνει αναφορά και στα περιφερειακά εξαρτήματα που υποστήριξαν το κύκλωμα , όπως το LED , το Buzzer , ένα τετραπλό ρελέ και μία οθόνη OLED 0.96’’ καθώς και αυτά συμβάλλουν στην έγκυρη ειδοποίηση του χρήστη.

3.2 Γενική περιγραφή και αρχιτεκτονική ESP32

Ο μικροελεγκτής ESP32 αποτελεί μια σύγχρονη και διαδεδωμένη πλατφόρμα υλοποίησης, την οποία θα συναντήσουμε κυρίως σε εφαρμογές αυτοματισμού , συστήματα Internet of Things (IoT) και συστήματα που απαιτούν την σταθερή καταγραφή και διαχείριση δεδομένων [5], [22]. Η ικανότητα του να προσαρμόζεται μαζί με τις υπολογιστικές του δυνατότητες τον καθορίζουν κατάλληλο για εφαρμογές που περιλαμβάνουν αισθητήρες και δυνατότητες επικοινωνίας.

Στην παρούσα εργασία για το κύκλωμα που υλοποιήθηκε χρησιμοποιήθηκε η πλακέτα ESP32Devkit1 , η οποία αποτελεί μια από τις πιο διαδεδωμένες εκδόσεις του ESP32. Η συγκεκριμένη πλακέτα ενσωματώνει τον μικροελεγκτή ESP32 έτοιμο για υλοποίηση κυκλωμάτων, προσφέροντας εύκολη πρόσβαση σε όλες τις ακίδες εισόδου και εξόδου (GPIO) [6],[10]. Ακόμα ένας σημαντικός λόγος που συνέβαλλε στην επιλογή αυτής της πλακέτας είναι τόσο η απλότητα χρήσης της όσο και η πλήρη συμβατότητα της με το περιβάλλον ανάπτυξης Arduino IDE [13].

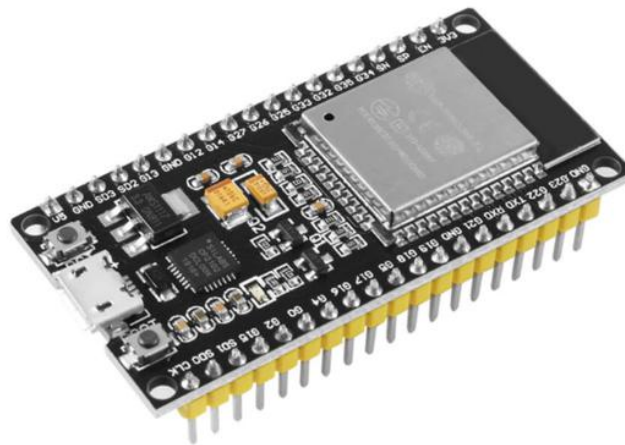
Το ESP32Devkit1 διαθέτει μεγάλο αριθμό ψηφιακών και αναλογικών ακίδων, γεγονός που μας επιτρέπει την σύνδεση πολλών αισθητήρων και περιφερειακών συσκευών ταυτόχρονα. Στο πλαίσιο του συστήματος ανίχνευσης αερίων, το πλεονέκτημα αυτό είναι σημαντικό , καθώς έγινε η ταυτόχρονη σύνδεση πολλαπλών αισθητήρων αερίων , του αισθητήρα BME280 ,μιας οθόνης oled ,καθώς και στοιχείων ειδοποίησης όπως το relay που συνδέεται με ένα buzzer [6] ,[9],[10],[11].

Ένα ακόμα βασικό χαρακτηριστικό του ESP32 είναι η ασύρματη επικοινωνία μέσω WI-FI και Bluetooth. Παρόλο που στην υλοποίηση του κυκλώματος μας η λειτουργία παραμένει τοπική, η ύπαρξη αυτής της δυνατότητας μας επιτρέπει την μελλοντική επέκταση του συστήματος, όπως την αποστολή ειδοποιήσεων ή την σύνδεση με άλλες συσκευές με το ESPnow[20],[21]. Ακόμα ο μικροελεγκτής αυτός διαθέτει διπύρνηνο επεξεργαστή καθιστώντας δυνατή την εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών χωρίς μεγάλη καθυστέρηση [].

Συμπερασματικά , η επιλογή του ESP32Devkit1 μας προσφέρει αξιοπιστία ,ευκολία στην υλοποίηση και δυνατότητα για μελλοντική επέκταση (ESPnow) , στοιχεία που είναι απαραίτητα για την ανάπτυξη ενός συστήματος ανίχνευσης αερίων σε οικιακό περιβάλλον.

3.3 Βασικά χαρακτηριστικά και δυνατότητες

Ο μικροελεγκτής ESP32 αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συνδυάζει υπολογιστικές δυνατότητες και χαρακτηριστικά επικοινωνίας. Η εσωτερική του δομή περιλαμβάνει πολλαπλά εσωτερικά τμήματα που συνεργάζονται με σκοπό την αξιόπιστη και αποδοτική λειτουργία [5] ,[8] .



Εικόνα 3.1 ESP32 DevKit V1

Βασικά υποσυστήματα του ESP32

- Διπύρνηνος επεξεργαστής Tensilica LX6:
Ο ESP32 διαθέτει δύο πυρήνες με 32-bit αρχιτεκτονική, επιτυγχάνοντας με αυτόν τον τρόπο την ταυτόχρονη εκτέλεση πολλαπλών διεργασιών, βελτιώνοντας έτσι την απόδοση και την απόκριση του συστήματος [5].
- Μνήμη RAM και Flash:
Ενσωματώνει αρκετή μνήμη RAM για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων και προγραμμάτων, καθώς και Flash μνήμη για την αποθήκευση του firmware και των εφαρμογών [5] ,[8].

- Αναλογικές-ψηφιακές μετατροπές (ADC):
Διαθέτει πολλαπλές αναλογικές εισόδους που επιτρέπουν την ακριβή μέτρηση αναλογικών σημάτων από αισθητήρες, απαραίτητη για την παρακολούθηση των μετρήσεων από τους αισθητήρες αερίων [9].
- Ψηφιακές είσοδοι-εξόδου (GPIO):
Παρέχει μεγάλο αριθμό προγραμματιζόμενων ακίδων εισόδου/ εξόδου, που χρησιμοποιούνται για την σύνδεση με περιφερειακές συσκευές όπως LED, buzzer και relay [10].
- Υποστήριξη πρωτοκόλλων επικοινωνίας:
Περιλαμβάνει υποστήριξη για SPI,I2C,UART,PWM και άλλα πρωτόκολλα, που επιτρέπουν τη διασύνδεση με αισθητήρες όπως ο BME280 και εξαρτήματα ελέγχου[11]..
- Ενσωματωμένες μονάδες WI-FI και Bluetooth:
Επιτρέπουν την ασύρματη επικοινωνία, η οποία μπορεί να αξιοποιηθεί για απομακρυσμένη παρακολούθηση ή ελέγχους, είτε σε τοπικό δίκτυο είτε σε ευρύτερο περιβάλλον [20].
- Ρολόι πραγματικού χρόνου (RTC):
Υποστηρίζει λειτουργίες χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας και προγραμματισμένες εργασίες, σημαντικό για εφαρμογές που απαιτούν ενεργειακή αποδοτικότητα [8].

Η συνδυαστική λειτουργία αυτών των υποσυστημάτων καθιστά τον ESP32 έναν ισχυρό και ευέλικτο μικροελεγκτή, ιδανικό για έργα που απαιτούν αξιόπιστη συλλογή δεδομένων και διαχείριση πολλαπλών συσκευών σε πραγματικό χρόνο.

3.4 Επιλογή πλακέτας ESP32 DevKit V1

Για την σχεδίαση και την κατασκευή του συστήματος ανίχνευσης αερίων επιλέχθηκε η πλακέτα ESP32 Devkit V1, η οποία έχει ως κύριο στοιχείο και βάση τον μικροελεγκτή ESP32. Η επιλογή του μικροελεγκτή αυτού έγινε ύστερα από αξιολόγηση λειτουργικών και πρακτικών κριτηρίων , τα οποία παίζουν σημαντικό ρόλο για τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου κυκλώματος [6],[5].

Ένας από τους πιο βασικούς λόγους που οδήγησε στην επιλογή του ESP32 Devkit V1, είναι η ευκολία χρήσης και ανάπτυξης . Πιο συγκεκριμένα η πλακέτα διαθέτει ενσωματωμένο κύκλωμα προγραμματισμού και τροφοδοσίας που υλοποιείται μέσα από μια θύρα USB, γεγονός που επιτρέπει την άμεση σύνδεση με έναν υπολογιστή . Έτσι, διευκολύνεται σε μεγάλο βαθμό η διαδικασία ανάπτυξης, ο έλεγχος του κώδικα και η αποσφαλμάτωση του συστήματος [6],[13].

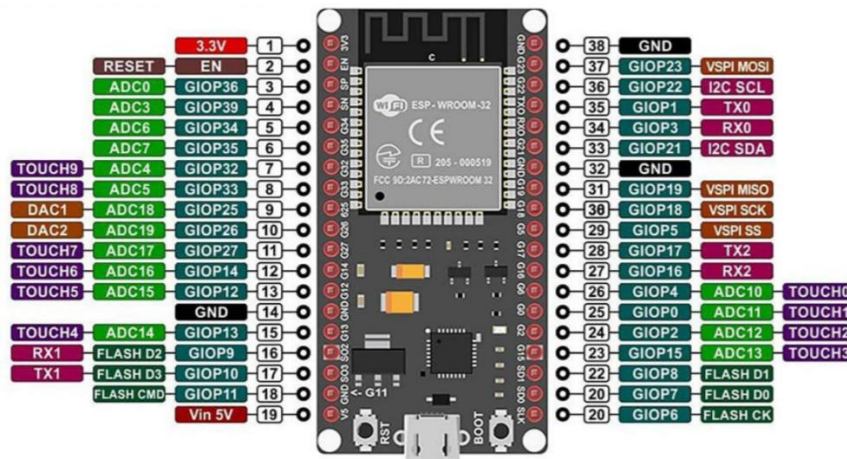
Επίσης, το ESP32 Devkit V1, επιτρέπει την σύνδεση πολλαπλών αισθητήρων και περιφερειακών συσκευών καθώς προσφέρει πλήρη πρόσβαση στα pins του μικροελεγκτή. Στο κύκλωμα που υλοποιήθηκε για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας, η ύπαρξη πολλών αναλογικών και ψηφιακών εισόδων /εξόδων ήταν απαραίτητη, καθώς χρησιμοποιήθηκαν περισσότεροι από έναν αισθητήρες αερίων αλλά και εξαρτήματα ειδοποίησης , όπως το relay , LED και buzzer [6], [10].

Ένα ακόμα σημαντικό πλεονέκτημα της πλακέτας αυτής είναι το γεγονός ότι είναι συμβατή με περιβάλλοντα ανάπτυξης όπως το Arduino IDE. Το γεγονός αυτό επιτρέπει την αξιοποίηση μεγάλης διαθέσιμης βιβλιογραφίας και βιβλιοθηκών για αισθητήρες. Έτσι μειώνεται και ο χρόνος ανάπτυξης καθώς και αυξάνεται η αξιοπιστία του τελικού κυκλώματος [13].

Ακόμα ένας παράγοντας που έπαιξε σημαντικό ρόλο στην επιλογή του ESP32 Devkit V1 , είναι ότι διαθέτει ενσωματωμένα Wi-Fi και Bluetooth , χαρακτηριστικά τα οποία παρόλο που δεν αξιοποιούνται

πλήρως στην παρούσα φάση του σχεδιασμού του συστήματος , παρέχουν σημαντικές δυνατότητες για μελλοντικές επεκτάσεις. Πιο συγκεκριμένα, η απομακρυσμένη ειδοποίηση ή η επικοινωνία μεταξύ πολλών συσκευών, μέσω της τεχνολογίας ESP-NOW είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα υλοποίησης αυτής της δυνατότητας [20],[21].

Συμπερασματικά , το ESP32Devkit V1 , για τους λόγους αυτούς καλύπτει πλήρως τις ανάγκες του συστήματος ανίχνευσης αερίων που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία καθώς εξασφαλίζει ευκολία στην χρήση αλλά και δυνατότητες μελλοντικής επέκτασης.



Εικόνα 3.2 Pinout ESP32 DevKit V1

3.5 Σύγκριση ESP32 με Arduino Uno

Στην παρούσα υποενοότητα πραγματοποιείται συγκριτική ανάλυση μεταξύ του μικροελεγκτή ESP32 και του Arduino Uno, ο οποίος αποτελεί μια από τις πιο γνωστές πλατφόρμες μικροελεγκτών σε εκπαιδευτικά και ερασιτεχνικά συστήματα. Ο βασικότερος λόγος για τον οποίο πραγματοποιείται αυτή η σύγκριση είναι διότι ο Arduino Uno αποτελεί σημείο σύγκρισης για την αξιολόγηση εναλλακτικών λύσεων σε συστήματα αισθητήρων και σε εφαρμογές αυτοματισμού [5], [22].

Αρχικά, συγκρίνοντας την υπολογιστική ισχύ , το ESP32 υπερτερεί σημαντικά σε σχέση με το Arduino Uno. Το Arduino Uno διαθέτει τον μικροελεγκτή ATmega328P, ο οποίος λειτουργεί σε συχνότητα 16 MHz και διαθέτει περιορισμένη μνήμη RAM και Flash. Αντίθετα, το ESP32 διαθέτει διπύρνηνο επεξεργαστή με συχνότητα έως 240 MHz και σημαντικά μεγαλύτερη μνήμη, γεγονός που επιτρέπει την ταυτόχρονη εκτέλεση λειτουργιών και την διαχείριση δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες [5], [8].

Επίσης, συνεχίζοντας με τις δυνατότητες εισόδων και εξόδων , και οι δύο πλατφόρμες έχουν ψηφιακές και αναλογικές θύρες, Παρόλα αυτά, το ESP32 διαθέτει περισσότερα GPIO pins και υποστηρίζει λειτουργίες όπως PWM υψηλής ανάλυσης και πολλά κανάλια αναλογικής μετατροπής. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ιδιαίτερα σημαντικό και βοηθητικό στην κατασκευή συστημάτων όπως αυτό της παρούσας εργασίας , όπου απαιτείται η σύνδεση πολλών αισθητήρων και περιφερειακών συσκευών ταυτόχρονα [9],[10].

Ακόμα ένα από τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα του ESP32 σε σχέση με το Arduino Uno είναι η ενσωματωμένη ασύρματη επικοινωνία. Το Arduino Uno δεν διαθέτει ενσωματωμένη υποστήριξη για Wi-Fi και Bluetooth και απαιτεί την προσθήκη εξωτερικών modules, γεγονός που το καθιστά

πολύπλοκο και αυξάνει το κόστος και την κατανάλωση ενέργειας του συστήματος. Σε αντίθεση το ESP32 διαθέτει ενσωματωμένο Wi-Fi και Bluetooth στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα παρέχοντας έτσι δυνατότητες απομακρυσμένης επικοινωνίας και μελλοντικής επέκτασης χωρίς την χρήση εξωτερικών modules [20],[22].

Όσον αφορά την κατανάλωση ενέργειας, το Arduino Uno εμφανίζει σταθερή συμπεριφορά, όμως το ESP32 προσφέρει λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας, όπως οι λειτουργίες sleep και deep sleep. Αυτό το χαρακτηριστικό το καθιστά καταλληλότερο για εφαρμογές που απαιτούν μακροχρόνια λειτουργία [8].

Τέλος, και το ESP32 αλλά και το Arduino Uno υποστηρίζονται από το Arduino IDE, γεγονός που μας επιτρέπει εύκολα τη μετάβαση από το Arduino Uno στο ESP32. Παρόλα αυτά, το ESP32 έχει πολλούς χρήστες και νέες βιβλιοθήκες ,προσφέροντας βοήθεια και πληροφορίες με αποτέλεσμα να έχει επιπλέον πλεονέκτημα σε επίπεδο υποστήριξης και τεκμηρίωσης [13] .



Εικόνα 3.3 Arduino Uno VS Esp32

3.6 Δυνατότητες ασύρματης επικοινωνίας και ESP-NOW

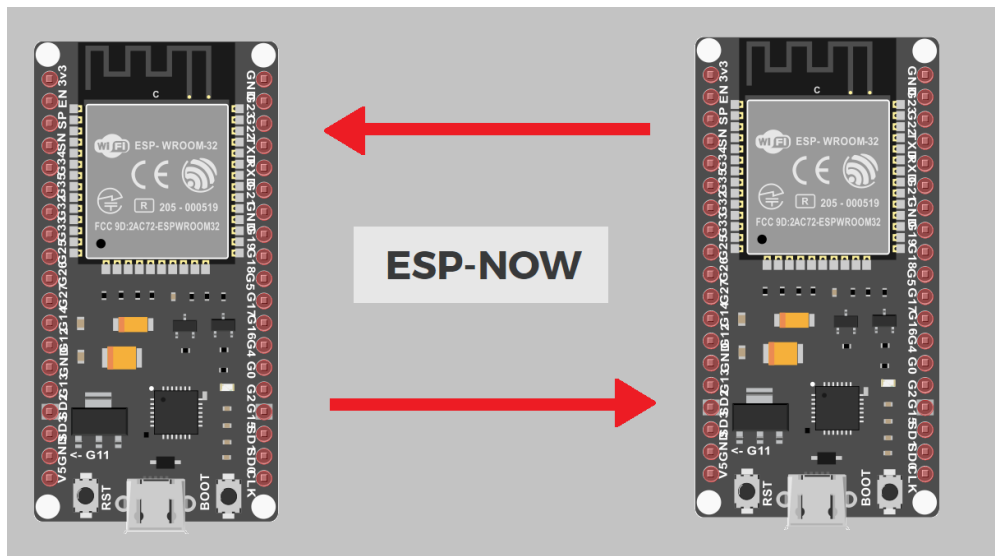
Η τεχνολογία ESP-NOW αποτελεί ένα πρωτόκολλο ασύρματης επικοινωνίας που αναπτύχθηκε από την Espressif και υποστηρίζεται από τους μικροελεγκτές της οικογένειας ESP, όπως το ESP32[21]. Πιο συγκεκριμένα είναι μια μορφή επικοινωνίας, η οποία δίνει την δυνατότητα οι συσκευές να μπορούν να ανταλλάσσουν δεδομένα μεταξύ τους ,χωρίς να είναι αναγκαία η σύνδεση σε ασύρματο δίκτυο (Wi-Fi router) ή η χρήση διαδικτυακών υπηρεσιών.

Ο βασικός τρόπος με τον οποίο λειτουργεί το ESP-NOW βασίζεται στην απευθείας επικοινωνία μεταξύ δύο ή περισσότερων συσκευών ESP, μέσω πακέτων δεδομένων μικρού μεγέθους. Το γεγονός ότι η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται με χαμηλή καθυστέρηση και πολύ λίγη κατανάλωση ενέργειας κάνει το ESP-NOW κατάλληλο για εφαρμογές που απαιτούν γρήγορη και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων τοπικά [21].

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας , η τεχνολογία ESP-NOW δεν ενσωματώθηκε στην υλοποίηση του συστήματος, καθώς ο βασικός στόχος ήταν η ανάπτυξη ενός αυτόνομου συστήματος ανίχνευσης αερίων και ειδοποίησης σε οικιακό περιβάλλον. Ωστόσο, η ύπαρξη ενσωματωμένης υποστήριξης ESP-NOW στον ESP32 εξασφαλίζει σημαντικές δυνατότητες για μελλοντική επέκταση του συστήματος.

Αναλυτικότερα, θα μπορούσε να υπάρξει ένα δεύτερο ESP32 το οποίο θα λειτουργούσε ως μονάδα ειδοποίησης, όπου θα λαμβάνει δεδομένα ή σήματα συναγερμού από το κύριο σύστημα ανίχνευσης αερίων. Έτσι, θα μπορούσε να επεκταθεί η εμβέλεια του συστήματος ή η αποστολή ειδοποιήσεων σε διαφορετικό χώρο οικιακού περιβάλλοντος, χωρίς την ύπαρξη συστήματος δικτύου [21].

Συμπερασματικά, το ESP-NOW είναι μια αποτελεσματική τεχνολογία επικοινωνίας, η οποία συμβάλλει σημαντικά στην εξέλιξη και αναβάθμιση του συστήματος. Η αναφορά του στο παρόν κεφάλαιο αποσκοπεί στην παρουσίαση προοπτικών μελλοντικής ανάπτυξης, χωρίς να επηρεάζει την λειτουργικότητα του βασικού συστήματος που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία.



Εικόνα 3.4 ESP-NOW

3.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε ο μικροελεγκτής ESP32, ο οποίος αποτελεί τον βασικό πυρήνα λειτουργίας του συστήματος ανίχνευσης αερίων που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Αρχικά, αναφέρθηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά και οι δυνατότητες του ESP32, με στόχο την κατανόηση του ρόλου του στην συλλογή και επεξεργασία δεδομένων από τους αισθητήρες.

Στην συνέχεια, αναλύθηκαν τα κύρια τεχνικά χαρακτηριστικά του μικροελεγκτή και οι λόγοι για τους οποίους επιλέχθηκε η πλακέτα ESP32 Devkit V1, με βάση παράγοντες όπως η ευκολία χρήσης αλλά και η ευκολία στην συνδεσμολογία καθώς και η υποστήριξη από το περιβάλλον ανάπτυξης και το χαμηλό κόστος. Ακόμα, πραγματοποιήθηκε συγκριτική ανάλυση μεταξύ του ESP32 και του Arduino Uno, μέσα από την οποία παρουσιάστηκαν τα πλεονεκτήματα του ESP32 σε επίπεδο υπολογιστικής ισχύος, ασύρματης επικοινωνίας και δυνατοτήτων επέκτασης.

Τέλος, έγινε αναφορά στην τεχνολογία ESP-NOW ως μια ενδεχόμενη μελλοντική επέκταση του συστήματος, παρουσιάζοντας τις βασικές αρχές λειτουργίας της και τα πλεονεκτήματα που μπορεί να προσφέρει σε εφαρμογές ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ συσκευών ESP32.

Επομένως, μέσα από το συγκεκριμένο κεφάλαιο παρέχεται το απαραίτητο θεωρητικό υπόβαθρο που κρίνεται απαραίτητο για το επόμενο κεφάλαιο, στο οποίο παρουσιάζεται η σχεδίαση και η υλοποίηση

του συστήματος ανίχνευσης αερίων , καθώς και η συνδεσμολογία των επιμέρους εξαρτημάτων που το αποτελούν.

Κεφάλαιο 4ο: Υλοποίηση συστήματος

4.1 Εισαγωγή

Το σύστημα που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία αποσκοπεί στην συνεχή παρακολούθηση της παρουσίας επικίνδυνων αερίων σε οικιακό περιβάλλον αλλά και την άμεση ειδοποίηση του χρήστη σε περίπτωση ανίχνευσης επικίνδυνων συνθηκών. Η κατασκευή του συστήματος βασίζεται σε έναν συνδυασμό αισθητήρων αερίων, περιβαλλοντικών αισθητήρων και μιας κεντρικής μονάδας ελέγχου, η οποία στοχεύει τη συλλογή και επεξεργασία των μετρήσεων.

Κεντρικό ρόλο στο σύστημα έχει ο μικροελεγκτής ESP32 DevKit V1, ο οποίος αποτελεί κύρια μονάδα ελέγχου και επεξεργασίας. Πιο συγκεκριμένα, ο μικροελεγκτής λαμβάνει αναλογικά σήματα από τους αισθητήρες αερίων, καθώς και δεδομένα περιβαλλοντικών συνθηκών και με βάση τα δεδομένα αυτά, το σύστημα μπορεί να ενεργοποιήσει μηχανισμούς ειδοποίησης προσφέροντας έγκαιρη προειδοποίηση στον χρήστη[5],[6],[9].

Το σύστημα αποτελείται από επιμέρους υποσυστήματα, τα οποία συνεργάζονται για την ολοκληρωμένη και σωστή λειτουργία του. Αρχικά, το υποσύστημα αισθητήρων περιλαμβάνει αισθητήρες ανίχνευσης εύφλεκτων και επικίνδυνων αερίων, καθώς και έναν αισθητήρα περιβαλλοντικών παραμέτρων, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες απαραίτητες για την έγκυρη αξιολόγηση της ποιότητας του αέρα. Επίσης, η χρήση της οθόνης OLED επιτρέπει την άμεση απεικόνιση βασικών μετρήσεων και καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος.[14]

Στην συνέχεια μέσα από το κύκλωμα που υλοποιήθηκε πραγματοποιείται η ειδοποίηση του χρήστη σε περίπτωση ανίχνευσης επικίνδυνων αερίων. Αυτό συμβαίνει με την χρήση μιας μονάδας εξόδου η οποία αποτελείται από ένα ρελέ και ένα buzzer. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η ενεργοποίηση εξωτερικών συσκευών ή ακόμα και η παραγωγή ηχητικών σημάτων συναγερμού, ενισχύοντας την ασφάλεια του οικιακού περιβάλλοντος[7],[10].

Συνολικά το κύκλωμα αυτό έχει σχεδιαστεί με κριτήριο την απλότητα, την αξιοπιστία αλλά και την δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης. Η χρήση του ESP32 προσφέρει την δυνατότητα ενσωμάτωσης σημαντικών λειτουργιών, όπως η ασύρματη επικοινωνία ή η απομακρυσμένη παρακολούθηση, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες αλλαγές στην βασική δομή του κυκλώματος[20],[21],[22].

Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του συστήματος, καθώς και το διάγραμμα block και η γενική συνδεσμολογία του κυκλώματος. Επίσης η σύνδεση των αισθητήρων με τον μικροελεγκτή, η χρήση των διαιρετών τάσης για την προστασία των αναλογικών εισόδων αλλά και για την μείωση της τάσης που βγάζουν, και η λειτουργία μηχανισμών ειδοποίησης. Τέλος γίνεται και η αναφορά για την τοποθέτηση του συστήματος σε μεταλλικό κουτί.

4.2 Υλικά και εξαρτήματα του συστήματος

Σε αυτήν την υποενότητα παρουσιάζονται τα υλικά και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση του συστήματος ανίχνευσης αερίων. Το συνολικό κόστος της κατασκευής του συστήματος ανέρχεται περίπου στα 95,78 €, γεγονός που δείχνει ότι πρόκειται για μια οικονομική λύση για οικιακή χρήση. Το μεγαλύτερο ποσοστό κόστους αφορά το μεταλλικό κουτί εγκατάστασης, το οποίο επιλέχθηκε για λόγους προστασίας και ασφάλειας. Το κόστος των υπόλοιπων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων είναι χαμηλό, με αποτέλεσμα το σύστημα να είναι κατάλληλο για πρακτικές εφαρμογές.

Πίνακας 4.1 Υλικά και εξαρτήματα κατασκευής

A/A	Εξάρτημα	Ποσότητα	Κόστος
1	ESP32DevKit V1	1	9,90 €
2	MQ-2 Waveshare	1	6,90 €
3	MQ-5 Waveshare	1	6,00 €
4	MQ-9 Waveshare	1	2,48 €
5	Waveshare BME280	1	18,90 €
6	OLED 0,96" 128x64	1	6,80 €
7	Relay 4 Channel	1	5,90 €
8	Buzzer	1	0,40 €
9	Τροφοδοτικό 5V-5A	1	9,90 €
10	Αντιστάσεις 10k	3	0,20 €
11	Αντιστάσεις 20k	3	0,20 €
12	Διάτρητη πλακέτα	1	2,00 €
13	Καλώδιο 1mm2	1	1,20 €
14	Κουτί	1	20 €
Σύνολο			90,78 €

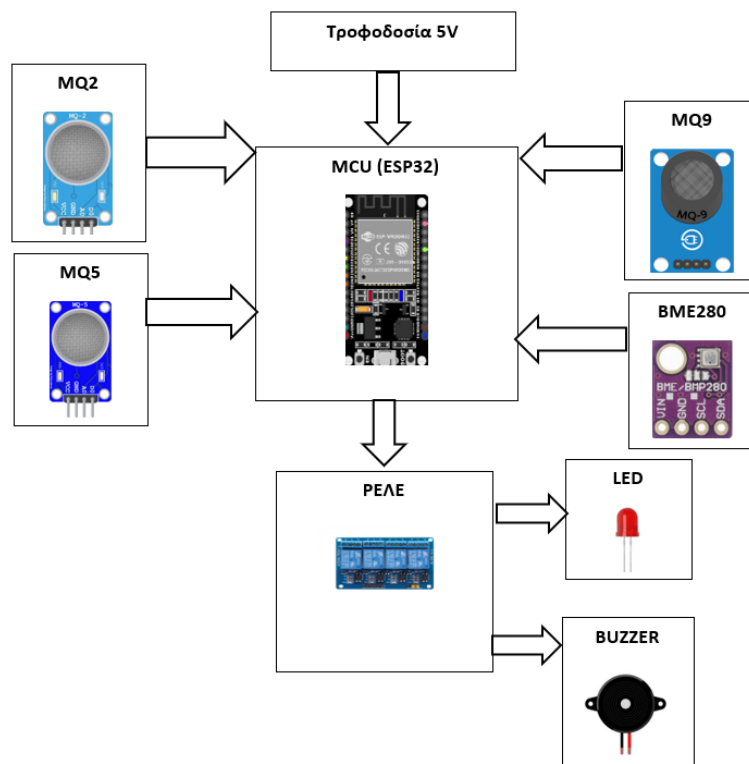
4.3 Διάγραμμα Μπλοκ και γενική συνδεσμολογία

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζεται η συνολική δομή του συστήματος ανίχνευσης αερίων μέσα από ένα διάγραμμα block, καθώς και η βασική συνδεσμολογία που υλοποιήθηκε μεταξύ των επιμέρους εξαρτημάτων και του μικροελεγκτή ESP32. Τα διαγράμματα αυτά αποσκοπούν στην απεικόνιση της μεταφοράς των δεδομένων και της μεταξύ τους επικοινωνίας, πριν την ανάλυση των συνδέσεων.

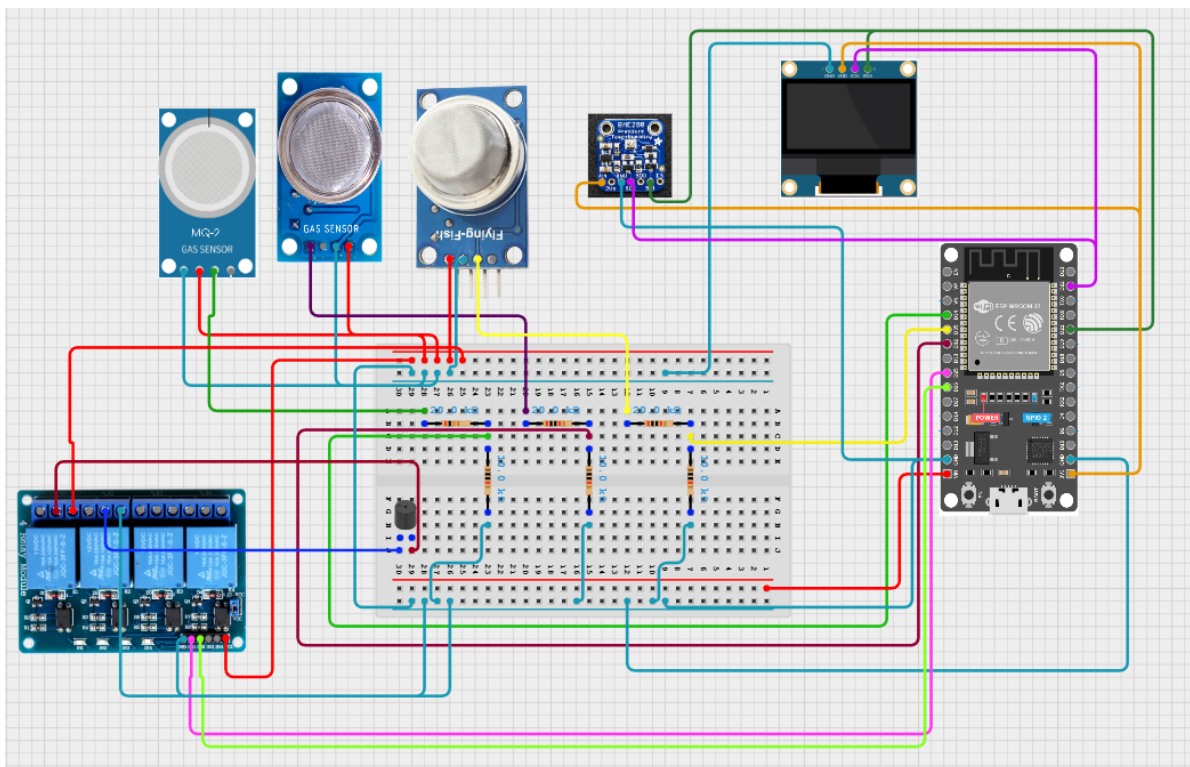
Στο διάγραμμα block απεικονίζονται τα βασικά υποσυστήματα του κυκλώματος. Πιο συγκεκριμένα, οι αισθητήρες αερίων, ο αισθητήρας περιβαλλοντικών παραμέτρων, ο μικροελεγκτής ESP32 και η μονάδα ειδοποίησης που αποτελείται από το ρελέ και το buzzer. Οι αισθητήρες συλλέγουν δεδομένα

από το περιβάλλον και τα στέλνουν στον μικροελεγκτή, ο οποίος επεξεργάζεται τις μετρήσεις και ενεργοποιεί την έξοδο ειδοποίησης όταν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Παράλληλα, οι μετρήσεις αυτές προβάλλονται στην οθόνη OLED για άμεση ενημέρωση του χρήστη.

Στην συνέχεια δημιουργήθηκε και αναλυτικό σχέδιο στο οποίο παρουσιάζεται η συνδεσμολογία του κυκλώματος. Στο σχέδιο αυτό απεικονίζονται οι φυσικές συνδέσεις μεταξύ των εξαρτημάτων, τα σημεία τροφοδοσίας αλλά και οι ακίδες εισόδου/εξόδου του ESP32 που χρησιμοποιούνται. Η απεικόνιση αυτή βοηθάει σημαντικά τόσο στην υλοποίηση όσο και στην καλύτερη κατανόηση του κυκλώματος.



Εικόνα 4.1 Διάγραμμα block του συστήματος ανίχνευσης αερίων



Εικόνα 4.2 Σχέδιο γενικής συνδεσμολογίας του κυκλώματος

4.4 Τροφοδοσία και αρχιτεκτονική του κυκλώματος

Ένα σημαντικό στοιχείο που συμβάλλει στην αξιόπιστη λειτουργία του κυκλώματος είναι η τροφοδοσία και η σωστή διαχείριση της. Στην υλοποίηση του συγκεκριμένου κυκλώματος χρησιμοποιούνται δύο ξεχωριστές γραμμές τροφοδοσίας, οι οποίες όμως λειτουργούν στην ίδια τάση των 5V. Αυτός ο διαχωρισμός αποσκοπεί στην καλύτερη κατανομή των φορτίων και τη σταθερότερη λειτουργία του κυκλώματος[12].

Η πρώτη γραμμή τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για την παροχή τάσης στο μικροελεγκτή ESP32 DevKit V1 μέσω του pin των 5V της πλακέτας. Ο ESP32 μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε μέσω της θύρας USB που διαθέτει είτε μέσω ξεχωριστής παροχής 5V στο αντίστοιχο pin. Το γεγονός αυτό προσφέρει προσαρμοστικότητα στον τρόπο με τον οποίο θα γίνει η εγκατάσταση του συστήματος αλλά και ευκολία στη χρήση. Έτσι, το σύστημα μπορεί να λειτουργεί ανεξάρτητα χωρίς να πρέπει να είναι μόνιμα συνδεδεμένο με τον υπολογιστή[6],[12].

Η δεύτερη γραμμή τροφοδοσίας χρησιμοποιείται για παροχή τάσης στα περιφερειακά εξαρτήματα του συστήματος, όπως οι αισθητήρες αερίων της σειράς MQ και τα module του ρελέ. Τα εξαρτήματα αυτά, παρουσιάζουν αυξημένες απαιτήσεις σε ρεύμα, διότι οι αισθητήρες έχουν στάδιο προθέρμανσης και τα ρελέ φάση ενεργοποίησης. Για τον λόγο αυτόν κρίθηκε απαραίτητο να τροφοδοτούνται ξεχωριστά από το ESP32, ώστε να προστατευτεί ο μικροελεγκτής αλλά και για να αποφεύγονται ή πτώσεις τάσης ή η επανεκκίνηση του μικροελεγκτή[1],[2],[3],[12].

Παρά τον διαχωρισμό των γραμμών τροφοδοσίας, όλες οι γειώσεις του συστήματος είναι κοινές. Με αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται ένα κοινό σημείο αναφοράς για τις αναλογικές μετρήσεις. Η κοινή γείωση είναι βασική προϋπόθεση για να λειτουργήσουν σωστά οι αναλογικές είσοδοι του ESP32 και για να υπάρχει αξιόπιστη επικοινωνία με τα περιφερειακά εξαρτήματα.

Με αυτήν την αρχιτεκτονική τροφοδοσίας το σύστημα είναι σταθερό και αξιόπιστο, ενώ παράλληλα διευκολύνει μελλοντικές επεκτάσεις με πρόσθετα εξαρτήματα, χωρίς να απαιτείται επανασχεδίαση. Ακόμα, μειώνεται ο κίνδυνος παρεμβολών που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τις μετρήσεις των αισθητήρων αλλά και τη λειτουργία του μικροελεγκτή[12].

4.5 Συνδεσμολογία αισθητήρων αερίων με τον ESP32

Σύνδεση αισθητήρα MQ-2

Ο αισθητήρας MQ-2 χρησιμοποιείται για την ανίχνευση καπνού και εύφλεκτων αερίων και τροφοδοτείται με τάση 5V από τη γραμμή τροφοδοσίας των περιφερειακών εξαρτημάτων [1],[15]. Ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στην κοινή γείωση του κυκλώματος.

Η αναλογική έξοδος του αισθητήρα θεωρητικά μπορεί να φτάσει μέχρι και την τάση τροφοδοσίας 5V, ενώ οι αναλογικές εισόδους του ESP32 δέχονται μέγιστη τάση 3,3V [5],[8],[9]. Για τον λόγο αυτό, το σήμα δεν οδηγείται απευθείας στο ESP32, αλλά περνά πρώτα από διαιρέτη τάσης που αποτελείται από δυο αντιστάσεις τιμών 20kΩ και 10kΩ.

Ο λόγος διαίρεσης του κυκλώματος είναι :

$$V_{out} = V_{in} \times \frac{10k\Omega}{20k\Omega + 10k\Omega} = \frac{1}{3} \cdot V_{in} \quad (4.1)$$

Με τον τρόπο αυτόν, ακόμη και αν η έξοδος του αισθητήρα φτάσει στα 5V, η τάση που οδηγείται στην είσοδο του ESP32 είναι :

$$V_{out} = 5V \times \frac{1}{3} \approx 1.67V \quad (4.2)$$

Η τιμή αυτή είναι ασφαλής για τις αναλογικές εισόδους του μικροελεγκτή [8],[9].

Επίσης το ρεύμα που διαρρέει τον διαιρέτη τάσης υπολογίζεται ως:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{5V}{30k\Omega} \approx 0.17mA \quad (4.3)$$

Γεγονός που σημαίνει πολύ μικρή κατανάλωση και αμελητέα επιβάρυνση του αισθητήρα.

Έτσι, το μειωμένο σήμα οδηγείται στο pin G34 του ESP32 Devkit V1, το οποίο χρησιμοποιείται αποκλειστικά ως αναλογική είσοδος και είναι κατάλληλο για την λήψη μετρήσεων από τον αισθητήρα [6],[9],[10].

Στην πράξη παρατηρήθηκε ότι η έξοδος του αισθητήρα MQ-2 χωρίς τον διαιρέτη τάσης είναι στα 0.7V. Στην πορεία με την χρήση του διαιρέτη τάσης δεν παραμένει σταθερή στα 0.7V όταν συνδεθεί στο κύκλωμα μέτρησης, αλλά μειώνεται περίπου στα 0.5V λόγω φόρτισης που προκαλεί ο διαιρέτης τάσης στο κύκλωμα εξόδου του αισθητήρα.

Η μεταβολή αυτή αντιστοιχεί σε:

$$\frac{0.5}{0.7} \approx 0.71 = 71\% \quad (4.4)$$

Δηλαδή παραμένει περίπου το 71% της αρχικής τάσης ενώ η απώλεια είναι :

$$\frac{0.7-0.5}{0.7} = \frac{0.2}{0.7} \approx 0.29 = 29\% \quad (4.5)$$

Στο σημείο που συνδέονται οι αντιστάσεις του διαιρέτη τάσης με το καλώδιο που οδηγείται στην αναλογική είσοδο του ESP32 η τάση μειώνεται σύμφωνα με τον λόγο διαίρεσης

$$V_{esp32} = V_{Aout} \times \frac{R2}{R1+R2} \quad (4.6)$$

Με $R1=20k\Omega$ και $R2=10K\omega$ προκύπτει :

$$\frac{R2}{R1+R2} = 0.33 \quad (4.7)$$

Άρα η τάση που φτάνει στην αναλογική έξοδο του ESP32 είναι :

$$V_{ESP32} = 0.5V \times 0.33 = 0.165V \quad (4.8)$$

Σε σχέση με την αρχική έξοδο του αισθητήρα (0.7V), η τελική τάση στην είσοδο του ESP32 αντιστοιχεί σε :

$$\frac{0.165V}{0.7V} = 0.236 = 23.6\% \quad (4.9)$$

Επομένως, στην είσοδο του μικροελεγκτή εμφανίζεται περίπου το 24% της αρχικής τάσης εξόδου του αισθητήρα, γεγονός που εξηγεί γιατί σε καθαρό αέρα οι αναλογικές μετρήσεις εμφανίζονται ιδιαίτερα χαμηλές ή ακόμα και μηδενικές.

Για την εκτίμηση της πραγματικής τάσης εξόδου του αισθητήρα από την τάση στην είσοδο του ESP32, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η αντίστροφη σχέση :

$$V_{AOUT} = \frac{V_{esp32}}{0.236} \quad (4.10)$$

Για παράδειγμα αν μετρηθεί στην αναλογική είσοδο του ESP32 τάση 150mV:

$$V_{AOUT} = \frac{0.15}{0.236} \approx 0.635V \quad (4.11)$$

Τιμή που βρίσκεται πολύ κοντά στην τάση λειτουργίας του αισθητήρα

Σύνδεση αισθητήρα MQ-5

Ο αισθητήρας MQ-5 χρησιμοποιείται για την ανίχνευση φυσικού αερίου και υγραερίου και η συνδεσμολογία που εφαρμόστηκε είναι η ίδια που εφαρμόστηκε και στον MQ-2 [2],[16]. Η τροφοδοσία του αισθητήρα συνδέεται στη γραμμή τροφοδοσίας των περιφερειακών εξαρτημάτων, ενώ ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στη γείωση του κυκλώματος.

Η αναλογική έξοδος του αισθητήρα περνά από διαιρέτη τάσης με τις ίδιες τιμές αντιστάσεων (20kΩ και 10 kΩ), ώστε να περιορίζεται η μέγιστη τάση εισόδου στο ESP32 σε περίπου 1.67V όταν η έξοδος του αισθητήρα βρίσκεται στα 5V. Έτσι, εξασφαλίζεται η προστασία του μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό του ESP32 αλλά και πραγματοποιείται επαρκής ανάλυση μέτρησης [8],[9].

Το σήμα μετά τον διαιρέτη τάσης οδηγείται στο pin G32 του ESP32, το οποίο χρησιμοποιείται ως αναλογική είσοδος για την λήψη των μετρήσεων του MQ-5 [6],[9],[10].

Όπως αναλύθηκε και στην περίπτωση του MQ-2, η χρήση του διαιρέτη τάσης οδηγεί σε σημαντική μείωση της τάσης που φτάνει στην αναλογική είσοδο του ESP32, γεγονός που εξηγεί τις χαμηλές τιμές μέτρησης σε συνθήκες καθαρού αέρα.

Σύνδεση αισθητήρα MQ-9

Ο αισθητήρας MQ-9, που στοχεύει στην ανίχνευση μονοξειδίου του άνθρακα και εύφλεκτων αερίων, ακολουθεί αντίστοιχη συνδεσμολογία με τους προηγούμενους αισθητήρες [3],[17]. Πιο συγκεκριμένα, τροφοδοτείται με 5V από τη γραμμή περιφερειακών και η γείωση του συνδέεται στην κοινή γείωση του κυκλώματος.

Η αναλογική έξοδος του αισθητήρα μειώνεται μέσω διαιρέτη τάσης με αντιστάσεις 20kΩ και 10kΩ, με σκοπό η τάση που φτάνει στον μικροελεγκτή να παραμένει εντός ασφαλών ορίων. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, το μέγιστο επίπεδο τάσης στην είσοδο του ESP32 περιορίζεται περίπου στα 1.67 V [8],[9].

Το μειωμένο σήμα οδηγείται στο pin G35 του ESP32, το οποίο λειτουργεί αποκλειστικά ως αναλογική είσοδος επιτρέποντας την αξιόπιστη καταγραφή των μετρήσεων του αισθητήρα [6],[9],[10].

Όπως αναλύθηκε και στον MQ-2, η επίδραση του διαιρέτη τάσης οδηγεί σε σημαντική μείωση της τάσης που τελικά μετράται από την είσοδο του ESP32.

4.6 Διασύνδεση I2C- Αισθητήρας BME280 και οθόνη OLED

Για την παρακολούθηση των περιβαλλοντικών συνθηκών και την απεικόνιση πληροφοριών στον χρήστη, στο σύστημα της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκαν ο αισθητήρας BME280 και μια οθόνη OLED 0,96 ιντσών. Και οι δύο συσκευές επικοινωνούν με τον μικροελεγκτή ESP32 μέσω του πρωτοκόλλου I2C (Inter-Integrated Circuit), το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση πολλαπλών συσκευών στον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας [11], [18], [14].

Πιο συγκεκριμένα το πρωτόκολλο I2C βασίζεται στη χρήση δύο γραμμών επικοινωνίας:

- Της γραμμής δεδομένων SDA (Serial Data), η οποία μεταφέρει τα δεδομένα μεταξύ του μικροελεγκτή και των συσκευών.
- Της γραμμής χρονισμού SCL (Serial Clock), η οποία παρέχει σήμα χρονισμού και συγχρονίζει τη μετάδοση των δεδομένων [11].

Ένα βασικό πλεονέκτημα του I2C είναι ότι επιτρέπει τη σύνδεση περισσότερων από μίας συσκευής με τον μικροελεγκτή χρησιμοποιώντας μόνο δύο γραμμές, γεγονός που απλοποιεί τη συνδεσμολογία του κυκλώματος [11].

Στην παρούσα υλοποίηση, τόσο ο αισθητήρας BME 280 όσο και η οθόνη OLED συνδέονται στο ίδιο I2C του ESP32. Πιο αναλυτικά, η γραμμή SDA και των δυο συσκευών συνδέεται στο pin G21 του ESP32, ενώ η γραμμή SCL συνδέεται στο pin G22. Τα συγκεκριμένα pins επιλέχθηκαν διότι αποτελούν τις προεπιλεγμένες I2C γραμμές στο ESP32 [6],[11].

Όσον αφορά τη τροφοδοσία, ο BME280 και η οθόνη OLED τροφοδοτούνται με τάση 3,3V απευθείας από το ESP32, ενώ οι ακροδέκτες γείωσης συνδέονται στην κοινή γείωση του κυκλώματος. Η λειτουργία τους στα 3,3 V τα κάνει πλήρως συμβατά με τον μικροελεγκτή, χωρίς να απαιτούνται πρόσθετα κυκλώματα προσαρμογής τάσης [4],[14],[18].

Η ταυτόχρονη χρήση δύο συσκευών στο ίδιο I2C συμβαίνει διότι κάθε συσκευή διαθέτει διαφορετική διεύθυνση I2C. Έτσι, ο μικροελεγκτής μπορεί να επικοινωνεί ανεξάρτητα με τον αισθητήρα BME280 για τη λήψη δεδομένων θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης, καθώς και με την οθόνη OLED για την απεικόνιση πληροφοριών και καταστάσεων λειτουργίας του συστήματος [11],[18],[14].

Η επιλογή της επικοινωνίας I2C συμβάλλει στη διατήρηση μιας απλής συνδεσμολογίας, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης με τη προσθήκη επιπλέον I2C συσκευών, χωρίς αλλαγές στη δομή του κυκλώματος.

4.7 Μονάδα ειδοποίησης ρελέ και buzzer

Για την ειδοποίηση του χρήστη σε περίπτωση ανίχνευσης επικίνδυνων συγκεντρώσεων αερίων, στο σύστημα χρησιμοποιήθηκε μονάδα τετραπλού ρελέ (4-channel relay module) σε συνδυασμό με buzzer. Η οπτική ένδειξη της ενεργοποίησης παρέχεται από τα ενσωματωμένα LED του relay module, τα οποία ανάβουν όταν ενεργοποιείται το αντίστοιχο ρελέ, χωρίς να απαιτείται η χρήση ξεχωριστού LED στο κύκλωμα.

Παρόλο που το ρελέ που χρησιμοποιήθηκε είναι τετραπλό, για την υλοποίηση του κυκλώματος χρησιμοποιήθηκαν τα δύο ανεξάρτητα ρελέ. Η επιλογή του τετραπλού ρελέ έγινε με σκοπό τη δυνατότητα μελλοντικής επέκτασης του συστήματος, όπως η ενεργοποίηση σειρήνας, ή η χρήση μεγαλύτερων φορτίων, χωρίς να απαιτείται αντικατάσταση του υπάρχοντος εξοπλισμού.

Το relay τροφοδοτείται με 5V από τη γραμμή τροφοδοσίας των περιφερειακών εξαρτημάτων, ενώ ο ακροδέκτης γείωσης συνδέεται στη γείωση του κυκλώματος. Τα σήματα ελέγχου των δύο ρελέ συνδέονται στα pins G25 και G26 του ESP32 μέσω των εισόδων IN1 και IN2 αντίστοιχα [6],[10].

Το συγκεκριμένο relay λειτουργεί με ενεργοποίηση σε λογικό μηδέν (active LOW), δηλαδή το ρελέ ενεργοποιείται όταν η έξοδος του ESP32 βρίσκεται σε λογικό 0. Η επιλογή αυτή ενσωματώνεται στον προγραμματισμό του συστήματος, με σκοπό να λειτουργεί σωστά ο μηχανισμός ειδοποίησης.

Για τη σύνδεση του buzzer χρησιμοποιήθηκαν οι ακροδέκτες COM (Common) και NO (Normally Open) των δύο ρελέ. Στο πρώτο ρελέ, ο ακροδέκτης NO συνδέεται με την τάση τροφοδοσίας, ενώ ο COM συνδέεται στο θετικό ακροδέκτη του buzzer. Στο δεύτερο ρελέ, ο ακροδέκτης NO συνδέεται στην γείωση και ο COM στον αρνητικό ακροδέκτη του buzzer. Έτσι, το buzzer τροφοδοτείται μόνο όταν και τα δύο ρελέ ενεργοποιηθούν ταυτόχρονα, με σκοπό να παραμένει απενεργοποιημένο σε κανονική λειτουργία και ενεργοποιείται μόνο σε περίπτωση όπου οι συγκεντρώσεις αερίων στους αισθητήρες MQ είναι πάνω από τα ασφαλή όρια [7],[10].

4.8 Όρια ανίχνευσης και συμπεριφορά αισθητήρων

Οι αισθητήρες MQ δεν προσφέρουν μετρήσεις συγκέντρωσης αερίων σε μονάδες ppm, αλλά αναλογικές τιμές τάσης που μετατρέπονται από τον μετατροπέα ADC του ESP32 σε ψηφιακές τιμές [1], [2], [3],[9]. Για τον λόγο αυτό, η αξιολόγηση των μετρήσεων αερίων βασίζεται στη σύγκριση μετρήσεων με τιμές αναφοράς που αντιστοιχούν σε συνθήκες καθαρού αέρα.

Στην αρχική φάση λειτουργίας του συστήματος οι αισθητήρες θερμαίνονται με σκοπό να σταθεροποιηθούν, ώστε να επιτευχθεί η θερμοκρασία λειτουργίας τους [1], [2], [3]. Στη συνέχεια καταγράφονται οι τιμές που εμφανίζονται σε περιβάλλον χωρίς την παρουσία επικίνδυνων αερίων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ως βασικές τιμές για τον καθορισμό των ορίων συναγερμού.

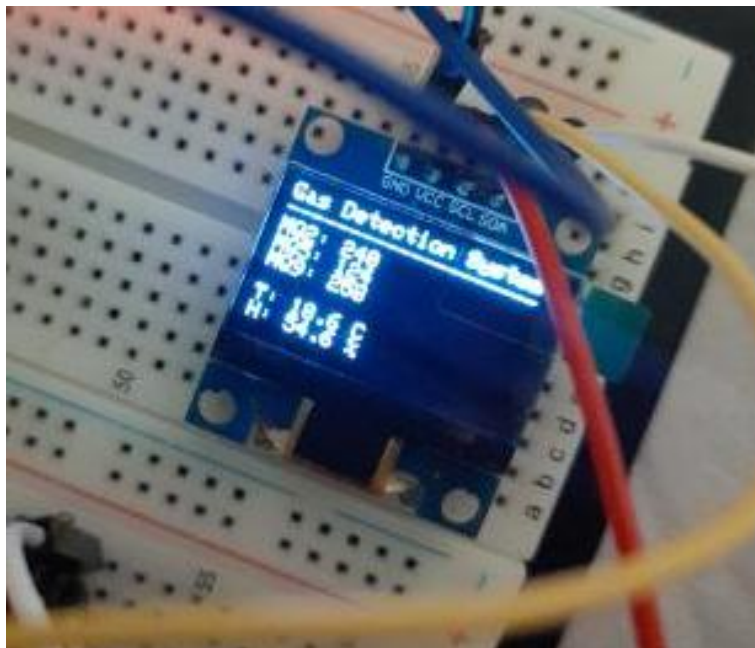
Στο σύστημα που υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, οι ενδεικτικές τιμές σε συνθήκες καθαρού αέρα παρατηρήθηκαν στα ακόλουθα εύρη:

- MQ-2: Σε καθαρό αέρα, οι τιμές ADC κυμαίνονται συνήθως σε χαμηλά επίπεδα, ενδεικτικά κάτω από 300 μονάδες. Σε παρουσία καπνού ή εύφλεκτων αερίων, οι τιμές αυξάνονται σημαντικά ξεπερνώντας πολλές φορές τις 2000-3000 μονάδες, ανάλογα με την ένταση του αερίου.
- MQ-5: Ο αισθητήρας παρουσιάζει παρόμοια συμπεριφορά με τιμές σε καθαρό αέρα συνήθως κάτω από 300 μονάδες. Όταν ανιχνευθεί φυσικό αέριο ή υγραέριο, παρατηρείται αύξηση των τιμών αυτών από 3000-5000 μονάδες.
- MQ-9: Σε κανονικές συνθήκες αέρα, οι τιμές ADC βρίσκονται συνήθως κάτω από 300 μονάδες. Σε παρουσία μονοξειδίου του άνθρακα, οι μετρήσεις αυξάνονται ξεπερνώντας τις 1000-1500 μονάδες, ακόμα και σε περιπτώσεις που το αέριο δεν είναι αντιληπτό στον άνθρωπο.

Οι τιμές που αναφέρθηκαν είναι ενδεικτικές και εξαρτώνται από παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η διάρκεια λειτουργίας του αισθητήρα και η τάση τροφοδοσίας [1], [2], [3],[4]. Για τον λόγο αυτό, τα όρια ενεργοποίησης συναγερμού καθορίστηκαν με βάση την σχετική αύξηση τιμών σε σχέση με τις αρχικές μετρήσεις. Όταν μια ή περισσότερες μετρήσεις υπερβούν τα προκαθορισμένα όρια, το σύστημα θεωρεί ότι υπάρχει επικίνδυνη κατάσταση και ενεργοποιεί το buzzer. Η συγκεκριμένη προσέγγιση αφορά οικιακό περιβάλλον όπου σημαντικό ρόλο έχει η έγκαιρη προειδοποίηση και όχι η ακριβής ποσοτική μέτρηση. Παρακάτω ακολουθούν δύο εικόνες που απεικονίζουν τα όρια ανίχνευσης αισθητήρων σε καθαρό αέρα και μετά από πειραματική ανίχνευση αερίου.



Εικόνα 4.3 Έναρξη συστήματος και προθέρμανση αισθητήρων



Εικόνα 4.4 Ένδειξη αισθητήρων σε καθαρό αέρα



Εικόνα 4.5 Ένδειξη μετά από ανίχνευση αερίου

4.9 Μεταφορά κυκλώματος σε διάτρητη πλακέτα και τοποθέτηση σε κουτί κατασκευής

Αρχικά, το κύκλωμα του συστήματος υλοποιήθηκε σε breadboard για σκοπούς δοκιμών και επαλήθευσης της σωστής λειτουργίας των αισθητήρων, της επικοινωνίας που έχουν με τον ESP32 και την ενεργοποίηση του buzzer. Η χρήση του breadboard είναι ιδιαίτερα σημαντική για το αρχικό στάδιο υλοποίησης του συστήματος, ωστόσο δεν είναι εφικτό να γίνει μόνιμη εγκατάσταση διότι οι συνδέσεις δεν είναι σταθερές και υπάρχει κίνδυνος να προκύψουν αποσυνδέσεις ή ψευδείς μετρήσεις.

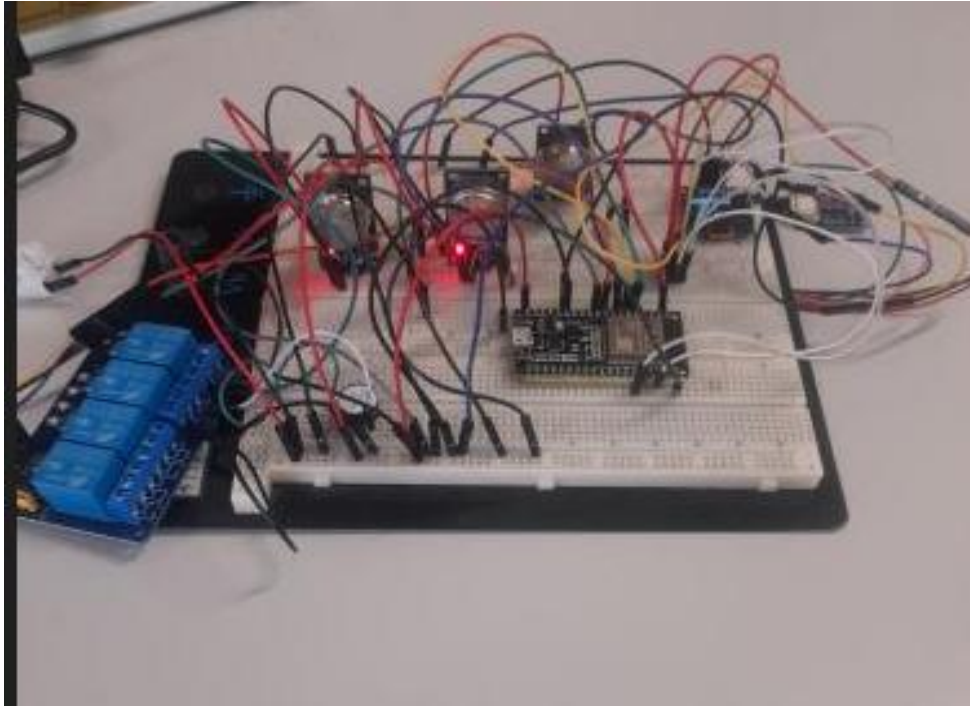
Έτσι, μετά την δοκιμή του συστήματος, το κύκλωμα μεταφέρθηκε σε διάτρητη πλακέτα όπου οι συνδέσεις πραγματοποιήθηκαν με κολλήσεις χρησιμοποιώντας κολλητήρι και καλάι. Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζονται μόνιμες και αξιόπιστες συνδέσεις, μειώνοντας σημαντικά την πιθανότητα αστοχίας στις μετρήσεις.

Κατά τη μεταφορά του κυκλώματος διατηρήθηκε η ίδια συνδεσμολογία με αυτή που είχε υλοποιηθεί στο breadboard. Ωστόσο, δόθηκε προσοχή στη σωστή δρομολόγηση των γραμμών τροφοδοσίας και γείωσης, ώστε να αποφεύγονται βραχυκυκλώματα.

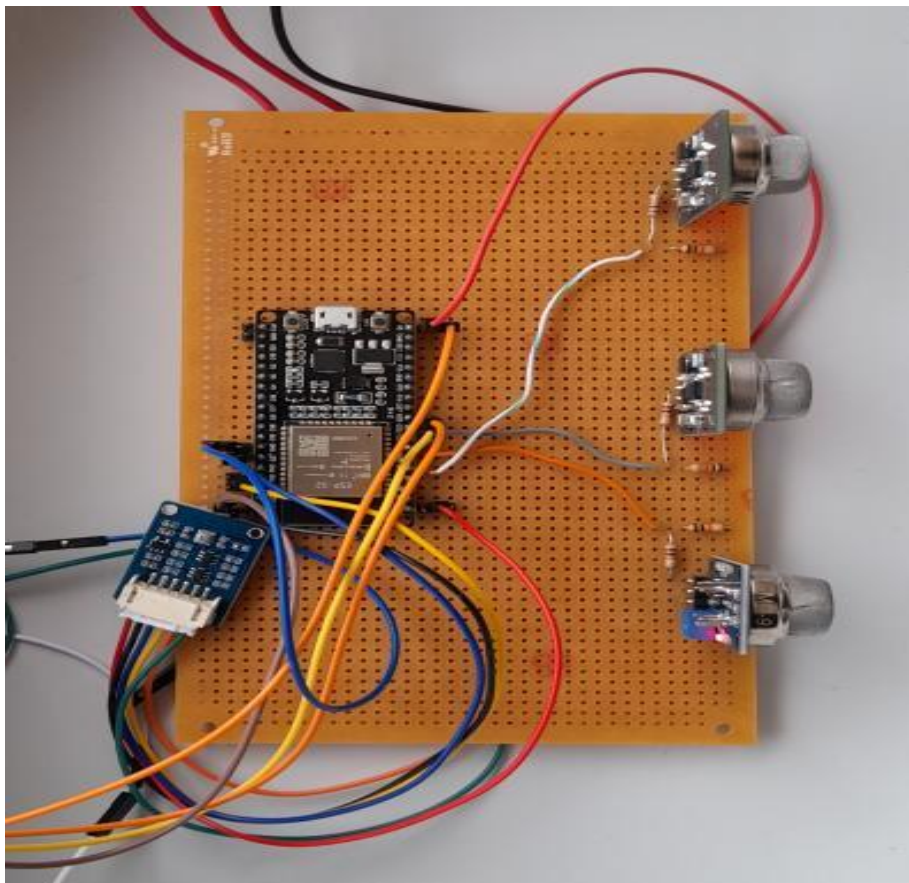
Μετά την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης στη διάτρητη πλακέτα, το σύστημα τοποθετήθηκε σε κουτί κατασκευών, το οποίο προσφέρει μηχανική προστασία των εξαρτημάτων και συμβάλλει στην ασφαλή λειτουργία του κυκλώματος σε πραγματικές συνθήκες. Το κουτί προστατεύει το κύκλωμα από σκόνη, υγρασία ενώ παράλληλα διευκολύνει τη στερέωση του συστήματος σε τοίχο ή άλλη επιφάνεια.

Η μετάβαση από breadboard σε μόνιμη πλακέτα και κουτί καθιστά το σύστημα κατάλληλο για πρακτική χρήση σε οικιακό περιβάλλον και προσεγγίζει τη μορφή ολοκληρωμένου λειτουργικού προϊόντος.

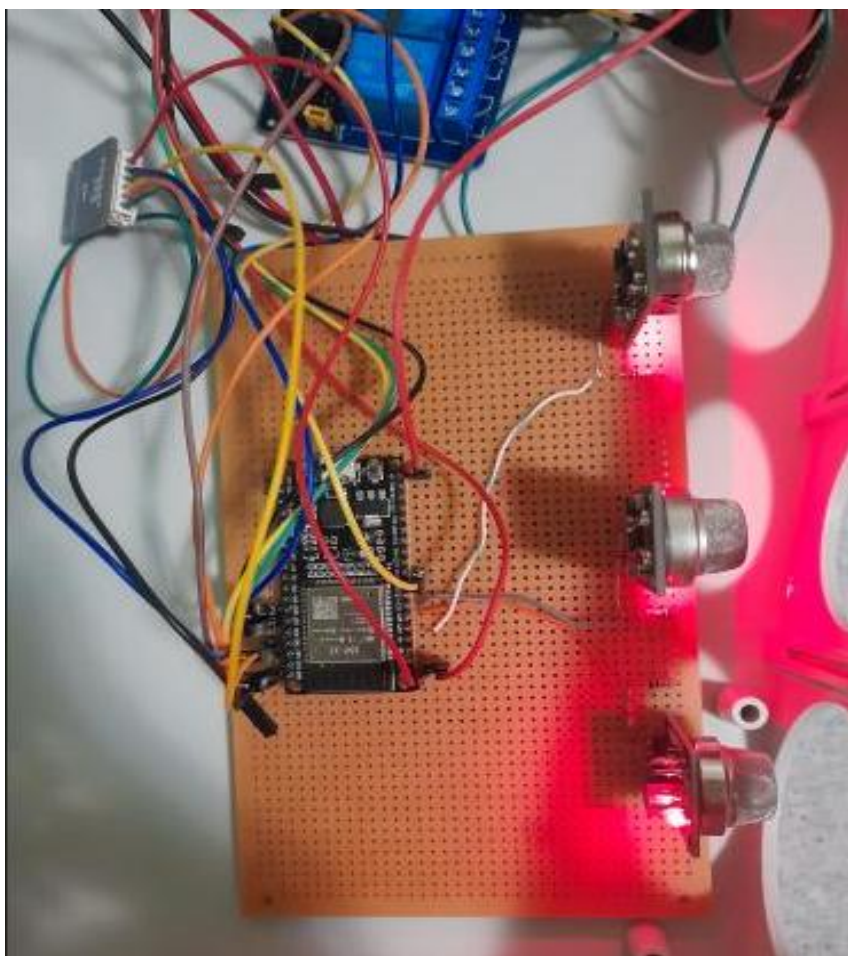
Στην συνέχεια ακολουθούν εικόνες που απεικονίζουν το κύκλωμα στο breadboard και έπειτα στην διάτρητη πλακέτα μετά την κόλληση αλλά και το κύκλωμα τοποθετημένο στο κουτί κατασκευής.



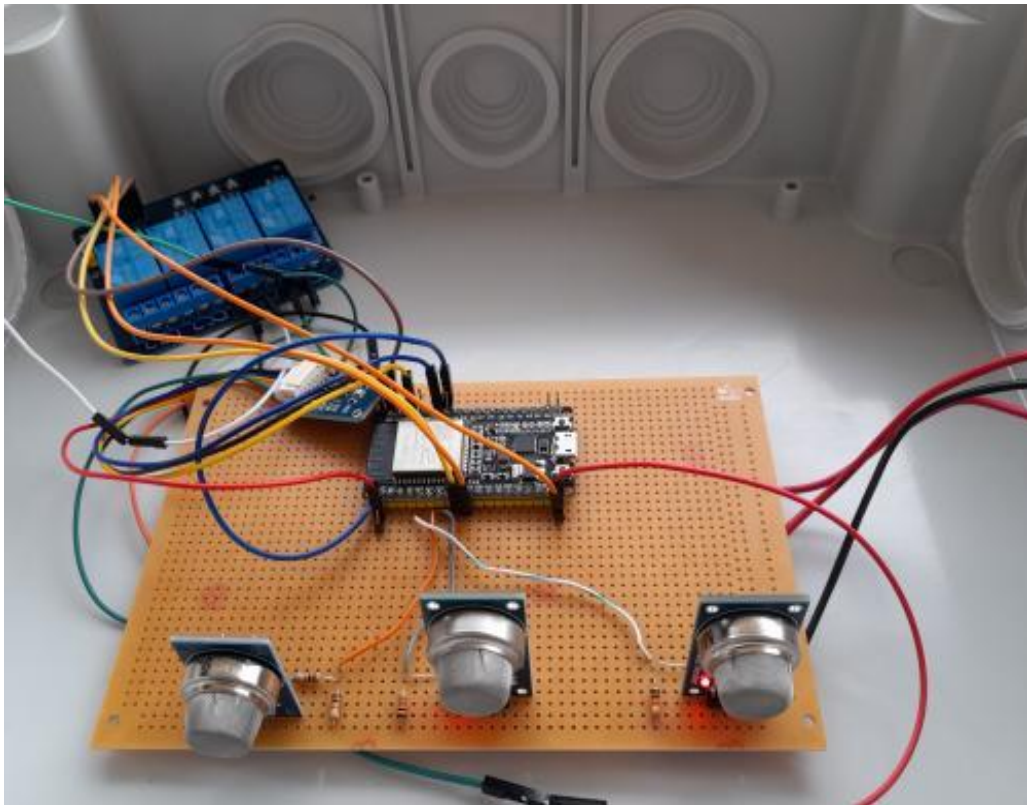
Εικόνα 4.6 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίων σε breadboard



Εικόνα 4.7 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίων σε διάτρητη πλακέτα



Εικόνα 4.8 Κύκλωμα ανίχνευσης αερίων σε λειτουργία



Εικόνα 4.9 Τοποθέτηση κυκλώματος σε κουτί κατασκευής

4.10 Επίλογος

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε αναλυτικά η υλοποίηση του συστήματος παρακολούθησης αερίων. Περιγράφηκε η αρχιτεκτονική τροφοδοσίας, η συνδεσμολογία των αισθητήρων αερίων με τον μικροελεγκτή ESP32, η χρήση διαιρετών τάσης για την ασφαλή προσαρμογή των αναλογικών σημάτων, καθώς και η διασύνδεση των συσκευών μέσω του πρωτοκόλλου I2C για τον αισθητήρα BME280 και την οθόνη OLED.

Επίσης, αναλύθηκε η λειτουργία της μονάδας ειδοποίησης με χρήση ρελέ και buzzer, καθώς και ο τρόπος καθορισμού των ορίων ανίχνευσης με βάση πειραματικές μετρήσεις των αισθητήρων. Τέλος, παρουσιάστηκε η μετάβαση από το breadboard σε μόνιμη κατασκευή μέσω διάτρησης πλακέτας και τοποθέτησης σε προστατευτικό κουτί, ολοκληρώνοντας την υλοποίηση του συστήματος σε πρακτικό επίπεδο.

Το επόμενο κεφάλαιο εστιάζει στο λογισμικό του συστήματος, παρουσιάζοντας τη δομή του προγράμματος, την λογική επεξεργασίας των μετρήσεων και τον τρόπο ενεργοποίησης των μηχανισμών ειδοποίησης.

Κεφάλαιο 5ο : Λογική Λειτουργίας Συστήματος

5.1 Περιγραφή λειτουργίας λογισμικού

Το λογισμικό που εκτελείται στον μικροελεγκτή ESP32 είναι υπεύθυνο για την συλλογή των μετρήσεων από τους αισθητήρες, την αξιολόγηση δεδομένων και την ενεργοποίηση των μηχανισμών ειδοποίησης.

Η ανάπτυξη και ο προγραμματισμός του συστήματος πραγματοποιήθηκαν μέσω του Arduino IDE, το οποίο αποτελεί ένα διαδομένο περιβάλλον ανάπτυξης λογισμικού για μικροελεγκτές [13]. Πιο συγκεκριμένα μέσα από το περιβάλλον αυτό γίνεται η συγγραφή, η μεταγλώττιση και η μεταφόρτωση του προγράμματος στον μικροελεγκτή με απλό τρόπο, ενώ παρέχει πλήθος βιβλιοθηκών για την διασύνδεση με αισθητήρες και περιφερειακές συσκευές.

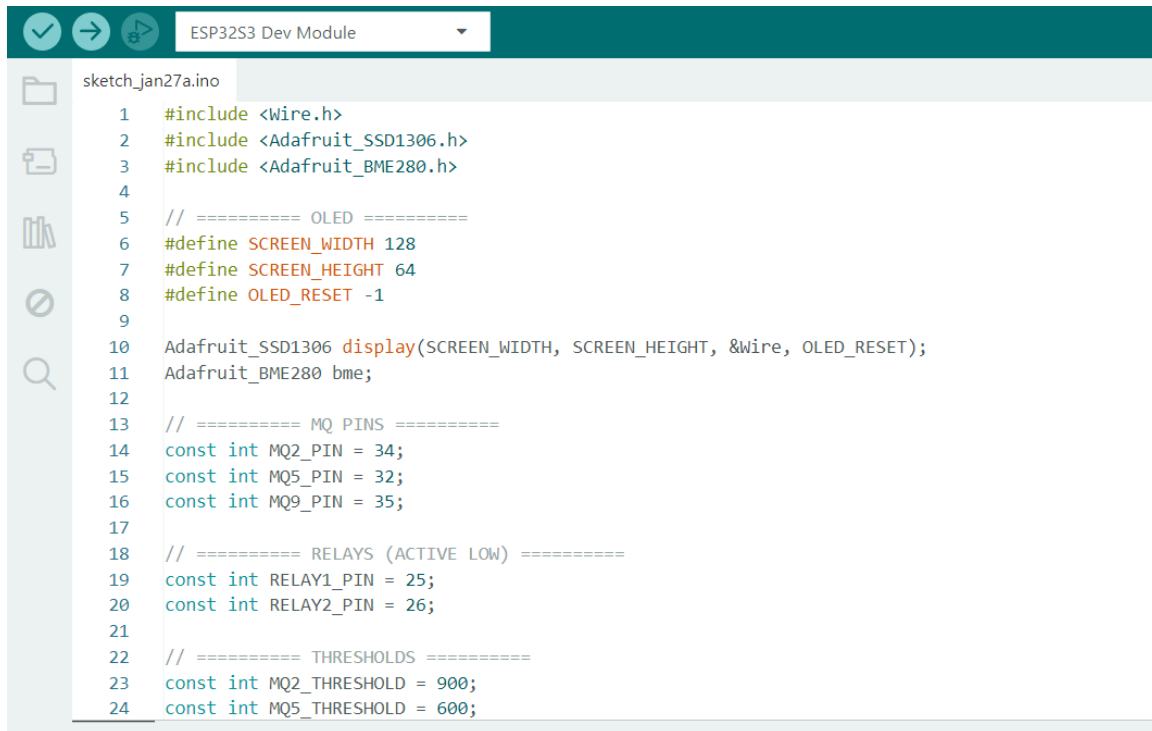
Κατά την έναρξη του συστήματος εκτελείται η αρχικοποίηση των περιφερειακών συσκευών, όπως της οθόνης OLED και του αισθητήρα BME280, καθώς και ρύθμιση των ακροδεκτών που ελέγχουν τα ρελέ ως έξοδοι. Ακόμα καταγράφεται ο χρόνος εκκίνησης, ώστε να ξεκινήσει η προθέρμανση των αισθητήρων της σειράς MQ, οι οποίοι χρειάζονται χρόνο για να σταθεροποιηθούν θερμικά και να παρέχουν αξιόπιστες μετρήσεις [1], [2], [3].

Καθ' όλη την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας, το σύστημα διαβάζει σε τακτά χρονικά διαστήματα τις αναλογικές τιμές των αισθητήρων MQ-2, MQ-5, MQ-9 μέσω των εισόδων ADC του ESP32 [9], καθώς και τις μετρήσεις θερμοκρασίας, υγρασίας και ατμοσφαιρικής πίεσης από τον αισθητήρα BME-280 [4],[18]. Οι τιμές αυτές αποθηκεύονται σε μεταβλητές και χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του χώρου.

Μετά την φάση της προθέρμανσης, οι μετρήσεις των αισθητήρων αερίων συγκρίνονται με όρια που έχουν προκαθοριστεί. Αν οποιοσδήποτε από τους αισθητήρες ξεπεράσει το αντίστοιχο όριο, το σύστημα θεωρεί ότι υπάρχει συγκέντρωση ανεπιθύμητου αερίου και ενεργοποιεί τα ρελέ, τα οποία οδηγούν το buzzer. Η λογική αυτή βασίζεται σε συνθήκη << OR >>, ώστε και ακόμη ένας μόνο αισθητήρας να μπορεί να ενεργοποιήσει τον συναγερμό.

Επίσης, το σύστημα ενημερώνει τον χρήστη μέσω της οθόνης OLED. Κατά τη διάρκεια της προθέρμανσης εμφανίζεται σχετικό μήνυμα και ένδειξη του χρόνου που απομένει, ενώ στη συνέχεια προβάλλονται οι τρέχουσες τιμές των αισθητήρων και των περιβαλλοντικών παραμέτρων. Σε περίπτωση συναγερμού εμφανίζεται μήνυμα προειδοποίησης, ώστε ο χρήστης να αντιληφθεί άμεσα την επικίνδυνη κατάσταση.

Ο πλήρης κώδικας του συστήματος παρατίθεται στο Παράρτημα Α της εργασίας.



```
ESP32S3 Dev Module
sketch_jan27a.ino
1  #include <Wire.h>
2  #include <Adafruit_SSD1306.h>
3  #include <Adafruit_BME280.h>
4
5  // ===== OLED =====
6  #define SCREEN_WIDTH 128
7  #define SCREEN_HEIGHT 64
8  #define OLED_RESET -1
9
10 Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, OLED_RESET);
11 Adafruit_BME280 bme;
12
13 // ===== MQ PINS =====
14 const int MQ2_PIN = 34;
15 const int MQ5_PIN = 32;
16 const int MQ9_PIN = 35;
17
18 // ===== RELAYS (ACTIVE LOW) =====
19 const int RELAY1_PIN = 25;
20 const int RELAY2_PIN = 26;
21
22 // ===== THRESHOLDS =====
23 const int MQ2_THRESHOLD = 900;
24 const int MQ5_THRESHOLD = 600;
```

Εικόνα 5.1 Περιβάλλον Arduino IDE

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα και προτάσεις βελτίωσης

6.1 Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκε ένα ολοκληρωμένο σύστημα παρακολούθησης και έγκαιρης ειδοποίησης για την ανίχνευση επικίνδυνων αερίων σε οικιακό περιβάλλον, βασισμένο στον μικροελεγκτή ESP32 και σε αισθητήρες της σειράς MQ. Στόχος του συστήματος είναι η χαμηλή πολυπλοκότητα, το χαμηλό κόστος αλλά και η δυνατότητα εφαρμογής σε πραγματικές συνθήκες.

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης, πραγματοποιήθηκε η διασύνδεση πολλαπλών αισθητήρων αερίων καθώς και του αισθητήρα περιβάλλοντος BME-280 με τον μικροελεγκτή. Η χρήση της οθόνης OLED παρέχει άμεση ενημέρωση στον χρήστη για τις τρέχουσες συνθήκες, ενώ η μονάδα ρελέ και ο ηχητικός ειδοποιητής (buzzer) παρέχουν μηχανισμό ειδοποίησης και συναγερμού σε περίπτωση επικίνδυνων καταστάσεων.

Η μεταφορά του κυκλώματος σε διάτρητη πλακέτα και η τοποθέτηση του σε προστατευτικό κουτί έκαναν το σύστημα κατάλληλο για μόνιμη χρήση. Επίσης, η υλοποίηση του λογισμικού σε περιβάλλον Arduino IDE προσέφερε σταθερότητα αλλά και δυνατότητα εύκολων μελλοντικών τροποποιήσεων [13].

Συνολικά, το σύστημα ανταποκρίνεται με επιτυχία στον στόχο της έγκαιρης ανίχνευσης επικίνδυνων αερίων και μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη για πιο σύνθετες εφαρμογές έξυπνου σπιτιού αλλά και συστημάτων ασφάλειας.

6.2 Προτάσεις βελτίωσης και μελλοντικές επεκτάσεις

Παρότι όπως προαναφέρθηκε το σύστημα καλύπτει τον βασικό του στόχο, υπάρχουν δυνατότητες αναβάθμισης που θα μπορούσαν να ενισχύσουν την λειτουργικότητα και την ασφάλεια του. Ένα από τα βασικότερα σημεία που θα μπορούσαν μελλοντικά να βελτιωθούν είναι η προσθήκη ασύρματης επικοινωνίας μεταξύ συσκευών αξιοποιώντας τις δυνατότητες του ESP32 σε τεχνολογίες όπως το WI-FI ή το πρωτόκολλο ESP-NOW [20], [21]. Αναλυτικότερα, με την χρήση δεύτερου μικροελεγκτή, θα ήταν δυνατή η μετάδοση των μετρήσεων και καταστάσεων συναγερμού σε άλλο σημείο του σπιτιού ή σε κεντρικό σημείο παρακολούθησης. Ακόμα το ESP-NOW, συγκεκριμένα προσφέρει γρήγορα και αξιόπιστη επικοινωνία χωρίς να είναι απαραίτητη η σύνδεση σε δίκτυο Wi-Fi, γεγονός που το κάνει κατάλληλο για εφαρμογές άμεσης ειδοποίησης [21].

Μια ακόμα εξίσου σημαντική βελτίωση θα μπορούσε να είναι η δυνατότητα απομακρυσμένης ειδοποίησης του χρήστη, μέσω εφαρμογής σε κινητό τηλέφωνο ή μέσω διαδικτυακής πλατφόρμας. Στην περίπτωση αυτή, το σύστημα θα μπορούσε να ενημερώνει με ειδοποιήσεις τον χρήστη όταν ανιχνεύεται επικίνδυνη κατάσταση ακόμα και αν αυτός απουσιάζει από τον χώρο [22]. Έτσι, θα αυξανόταν σημαντικά το επίπεδο ασφάλειας, καθώς θα υπήρχε άμεση αντίδραση σε περίπτωση διαρροής αερίου ή παρουσίας μονοξειδίου του άνθρακα.

Οι παραπάνω βελτιώσεις θα μπορούσαν να μετατρέψουν το σύστημα από μια τοπική μονάδα ειδοποίησης σε μέρος ευρύτερου δικτύου παρακολούθησης, αναβαθμίζοντας τον ρόλο του σε συστήματα οικιακής ασφάλειας και εφαρμογές έξυπνου σπιτιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Haoyu Electronics, MQ-2 Gas Sensor Technical Data Sheet
<https://www.haoyuelectronics.com/Attachment/MQ-2/MQ-2.pdf>
- [2] MQ-5 Gas Sensor Data Sheet
<https://www.waveshare.com/mq-5-gas-sensor.htm>
- [3] MQ-9 Gas Sensor Datasheet
<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1221388/HANWEI/MQ-9.html>
- [4] BME280 Environmental Sensor Data Sheet
<https://datasheet4u.com/datasheets/Bosch/BME280/1096951>
- [5] ESP32 Series Datasheet – Espressif Systems
https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf
- [6] ESP32 DevKit V1 Documentation
<https://www.espboards.dev/esp32/esp32doit-devkit-v1/>
- [7] Active Buzzer 5V
https://static.rapidonline.com/pdf/35-0905_v1.pdf
- [8] ESP32 Technical Reference Manual
https://documentation.espressif.com/esp32_technical_reference_manual_en.pdf
- [9] ESP32 ADC Documentation
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/adc/index.html>
- [10] ESP32 GPIO Function Overview
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/gpio.html>
- [11] I2C Protocol on ESP32
<https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/peripherals/i2c.html>
- [12] ESP32 Power Supply Guidelines
<https://docs.espressif.com/projects/esp-hardware-design-guidelines/en/latest/esp32/esp-hardware-design-guidelines-en-master-esp32.pdf>
- [13] Arduino IDE Official Documentation
<https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics/>
- [14] OLED I2C Display 0,96’’ I2C 128x 64 – Τεχνικές προδιαγραφές και περιγραφή λειτουργικών στοιχείων
<https://grobotronics.com/oled-module-0.96-128x64-i2c-white.html>
- [15] Waveshare MQ-2 Sensor Modules Wiki

https://www.waveshare.com/wiki/MQ-2_Gas_Sensor

[16] Waveshare MQ-5 Sensor Wiki

https://www.waveshare.com/wiki/MQ-5_Gas_Sensor

[17] Waveshare MQ-9 Sensor

https://www.campuscomponent.com/products/mq9-sensor-se-1009-d/2208614000001864623?srsltid=AfmBOor5f_xdnL-BK61QSFpDXkHdg0wdHS0C-PR_OJaN2mS-PFiuS-0

[18] Waveshare BME280 Sensor Documentation

https://www.waveshare.com/wiki/BME280_Environmental_Sensor?srsltid=AfmBOor6wB54_HoIgHrUd_JA3EoDfaTcAAtoJVm2iSMXHhZdzCg2dq0F

[20] ESP32 Wi-Fi Features (Espressif)

https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_wifi.html

[21] ESP-NOW Protocol Documentation

https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/api-reference/network/esp_now.html

[22] ESP32 IoT & Communication Overview

<https://en.wikipedia.org/wiki/ESP32>

[23] Applications of gas sensors and gas detection technologies

https://www.researchgate.net/publication/389783350_Sensor_Technologies_for_Gas_Detection

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α : ΚΩΔΙΚΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_BME280.h>

/* ----- OLED ----- */
#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64
Adafruit_SSD1306 display(SCREEN_WIDTH, SCREEN_HEIGHT, &Wire, -1);

/* ----- BME280 ----- */
Adafruit_BME280 bme;

/* ----- MQ PINS ----- */
#define MQ2_PIN 34
#define MQ5_PIN 32
#define MQ9_PIN 35

/* ----- RELAYS (ACTIVE LOW) ----- */
#define RELAY1_PIN 25
#define RELAY2_PIN 26

/* ----- WARM-UP ----- */
#define WARMUP_TIME_SEC 600 // 10 λεπτά

/* ----- SCALE ----- */
#define MQ_SCALE 4.8

/* ----- THRESHOLDS (SCALED ADC) ----- */
#define MQ2_THRESHOLD 800
#define MQ5_THRESHOLD 700
#define MQ9_THRESHOLD 400

/* ----- FUNCTIONS ----- */
int readAverage(int pin);
void displayMessage(String msg);

/* ===== */
void setup() {
  Serial.begin(115200);

  Wire.begin(21, 22);

  // OLED
  if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {
    while (1);
  }

  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
```

```

// BME280
if (!bme.begin(0x77)) {
  displayMessage("BME ERROR");
  while (1);
}

// Relays
pinMode(RELAY1_PIN, OUTPUT);
pinMode(RELAY2_PIN, OUTPUT);
digitalWrite(RELAY1_PIN, HIGH); // OFF
digitalWrite(RELAY2_PIN, HIGH); // OFF

/* ----- WARM-UP ----- */
for (int t = WARMUP_TIME_SEC; t >= 0; t--) {

  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 0);
  display.println("Sensor Warm-up");
  display.println("Please wait...");
  display.println();
  display.print("Time left: ");
  display.print(t);
  display.println(" s");
  display.display();

  Serial.print("Warm-up: ");
  Serial.print(t);
  Serial.println(" sec left");

  delay(1000);
}

displayMessage("System Ready");
delay(2000);
}

/* ===== */
void loop() {

  int mq2_raw = readAverage(MQ2_PIN);
  int mq5_raw = readAverage(MQ5_PIN);
  int mq9_raw = readAverage(MQ9_PIN);

  int mq2 = mq2_raw * MQ_SCALE;
  int mq5 = mq5_raw * MQ_SCALE;
  int mq9 = mq9_raw * MQ_SCALE;

  float temp = bme.readTemperature();
  float hum = bme.readHumidity();

  bool alarm = false;

  if (mq2 > MQ2_THRESHOLD || mq5 > MQ5_THRESHOLD || mq9 > MQ9_THRESHOLD) {
    alarm = true;
  }
}

```

```

// Relay control (buzzer)
if (alarm) {
  digitalWrite(RELAY1_PIN, LOW);
  digitalWrite(RELAY2_PIN, LOW);
} else {
  digitalWrite(RELAY1_PIN, HIGH);
  digitalWrite(RELAY2_PIN, HIGH);
}

// OLED
display.clearDisplay();
display.setCursor(0, 0);

display.print("MQ2: "); display.println(mq2);
display.print("MQ5: "); display.println(mq5);
display.print("MQ9: "); display.println(mq9);

display.println("-----");

display.print("T: "); display.print(temp); display.println(" C");
display.print("H: "); display.print(hum); display.println(" %");

if (alarm) {
  display.setCursor(80, 0);
  display.println("ALARM");
}

display.display();

// Serial
Serial.print("MQ2: "); Serial.print(mq2);
Serial.print(" MQ5: "); Serial.print(mq5);
Serial.print(" MQ9: "); Serial.print(mq9);
Serial.print(" | T: "); Serial.print(temp);
Serial.print(" H: "); Serial.println(hum);

delay(1000);
}

// Μέσος όρος 5 μετρήσεων
int readAverage(int pin) {
  long sum = 0;
  for (int i = 0; i < 5; i++) {
    sum += analogRead(pin);
    delay(10);
  }
  return sum / 5;
}

/* ===== */
void displayMessage(String msg) {
  display.clearDisplay();
  display.setCursor(0, 25);

```

```
display.println(msg);  
display.display();  
}
```