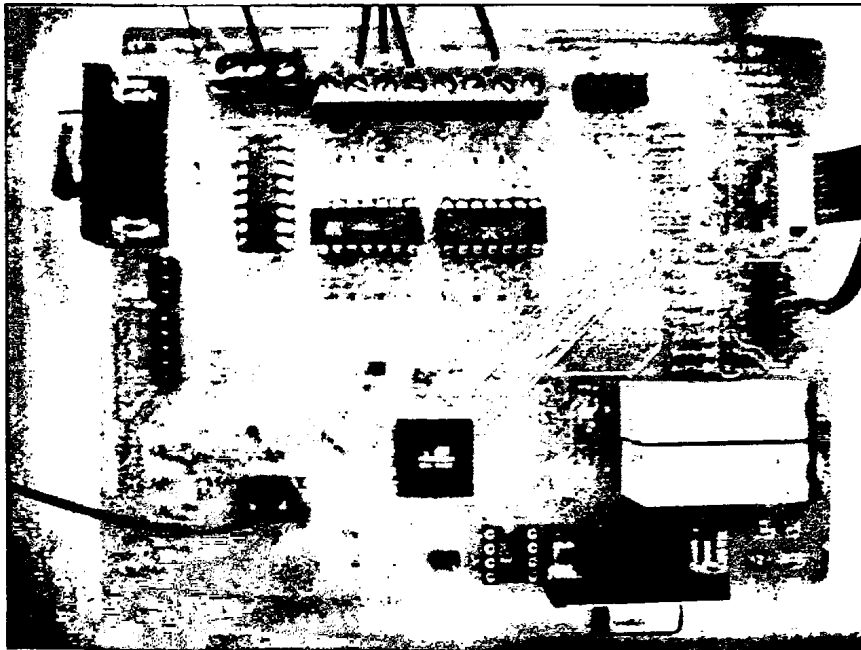


# Ανάπτυξη διεπαφών αισθητήρων – μικροελεγκτή γι ασύρματο σύστημα μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Λούκας Νικήτας  
Τεχνολόγος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός



Επίβλεψη: Αναπληρωτής Καθηγητής Ν. Μάνθος  
Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ  
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ

ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

Ιωάννινα, Ιούλιος 2009



ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ



026000321431



ΕΠΙΛΟΓΗ

*Σε όσους με στήριξαν*



## Περίληψη

Στην παρούσα Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία παρουσιάζεται η ανάπτυξη διεπαφών αισθητήρων - μικροελεγκτή για ασύρματο σύστημα μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Το σύστημα διαβάζει και μεταδίδει ασύρματα πληροφορίες σχετικές με την ποιότητα του νερού στον ποταμό Άραχθο στην γέφυρα της Πλάκας. Συγκεκριμένα παρουσιάζεται η ανάπτυξη διεπαφών 4-20mA με έναν μικροελεγκτή ATmega128. Σε αυτές τις διεπαφές διασυνδέονται οι αισθητήρες, με τους οποίους μετρούνται πέντε φυσικές παράμετροι της ποιότητας του νερού: θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, περιεκτικότητα οξυγόνου και ικανότητα του νερού να οξειδώνει. Το σύστημα διαβάζει το σήμα εξόδου των αισθητήρων, το ψηφιοποιεί και το αποστέλλει σε διακομιστή διαδικτύου. Η ηλεκτρονική πλακέτα της εφαρμογής περιλαμβάνει εκτός του μικροελεγκτή ATmega128 και των διεπαφών 4-20mA (8), διεπαφές RS232 (1), RS485 (1), I<sup>2</sup>C(TWI) (127), SPI (5) ISP (1), JTAG(1). Το σύστημα περιλαμβάνει επίσης ένα μηχανολογικό τμήμα αποτελούμενο από δοχείο δειγματοληψίας, μία αντλία, μία ηλεκτροβαλβίδα, δύο πλωτήρες κένωσης-πλήρωσης του δοχείου δειγματοληψίας και έναν ηλεκτρολογικό αυτοματισμό για την διαδικασία δειγματοληψίας – μέτρησης ποιότητας του νερού. Το σύστημα εγκαταστάθηκε στο κτήριο του παλαιού τελωνείου στην Πλάκα, ελέγχθηκε, βαθμονομήθηκε και λειτουργεί σε τακτά χρονικά διαστήματα παρέχοντας τις παραμέτρους ποιότητας του νερού του Αράχθου.



## Abstract

In the present thesis the development of sensor interfaces - microcontroller for wireless transmission of digital information. The system reads and wirelessly transmits information concerning the quality of water of the Arachthos River in the bridge of Plaka. In particular the development of a 4-20mA interface with a microcontroller ATmega128 is demonstrated. The interface interconnect sensors, which measure five physical parameters of water quality: temperature, pH, conductivity, dissolved oxygen and the the Oxidation Redaction Potential. The system reads the output of the sensors, digitizes and sends to an embedded web server. The electronic system in addition to the 4-20mA (8) interfaces, includes RS232 (1), RS485 (1), I2C (TWI) (127), SPI (5) ISP (1), JTAG (1) interfaces. The full system includes also a mechanical part consisting of a sampling container, a pump, a solenoid valves, two level sensors for the sampling container and an electrical automation for the sampling – measuring process. The system has been installed in the old customs building of Plaka, tested, calibrated and is in operation providing the water quality parameters of Arachthos every six hours.



## Πρόλογος

Από την βιομηχανική επανάσταση στις αρχές του εικοστού αιώνα και ύστερα, λόγω της απαιτούμενης κατανάλωσης ισχύος και τις μη χρησιμοποίησης ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, ο πλανήτης μας οδηγήθηκε στην ολοένα και μεγαλύτερη επιβάρυνση του περιβάλλοντος. Σε αυτό συντέλεσαν αδιαμφισβήτητα οι πολιτικές εκείνες που είχαν και έχουν ως στόχο το πρόσκαιρο κέρδος και όχι τον άνθρωπο και τις επόμενες γενιές του. Οι πολιτικές αυτές που βάζουν μπροστά την ιδιωτική πρωτοβουλία αφήνοντας την να εκμεταλλεύεται τα πάντα (σχέσεις εργασίας, περιβάλλον πολιτισμός) κάνοντας την φράση <<ελεύθερη αγορά σημαίνει ασύδοτη αγορά>> αληθή.

Τις τελευταίες δεκαετίες όμως οι πολίτες μέσω κινημάτων που αναπτύσσονται βάζουν έντονα περιβαλλοντολογικά ζητήματα, αιχμές των οποίων είναι η ανακύκλωση, "το πράσινο" στις πόλεις, τους ΧΥΤΥ, ανάπτυξη ανανεώσιμων μορφών ενέργειας, έλεγχο της ρύπανσης του αέρα στις πόλεις, και των υδάτων.

Στα πλαίσια μας πολύ μικρής, αλλά συνειδητής συμβολής μας στον αγώνα ενάντια στην ανεξέλεγκτη ρύπανση που συντελείται και στη δικιά μας περιοχή, μια ομάδα μεταπτυχιακών φοιτητών που απαρτίζεται αλφαβητικά από τους Νικήτα Λούκα, Θανάση Παρλάντζα και Θοδωρή Πέτρογλου, υπό την παρότρυνση και καθοδήγηση του Αναπληρωτή Καθηγητή του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων Νίκου Μάνθου, αποφάσισε να αναπτύξει και να εγκαταστήσει ένα αυτόματο σύστημα τηλεμετρίας για τον έλεγχο φυσικών παραμέτρων ποιότητας νερού στον ποταμό Άραχθο, στην τοποθεσία "Γεφύρι της Πλάκας".

Συγκεκριμένα η ανάπτυξη του συστήματος χωρίστηκε σε τρία επί μέρους τμήματα. Εκ των οποίων το κάθε ένα απ' αυτά εντάχθηκε ως ένα αυτοτελές θέμα Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας των τριών προαναφερθέντων μεταπτυχιακών φοιτητών του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στις Σύγχρονες Ηλεκτρονικές Τεχνολογίες του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων [http://www.physics.uoi.gr/gr/pg\\_program3.html](http://www.physics.uoi.gr/gr/pg_program3.html).



## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω όσους βοήθησαν για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας τόσο στο σχεδιασμό και την υλοποίηση όσο και για το ενδιαφέρον τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής της.

Ειδικότερα:

Τον επιβλέποντα καθηγητή και μέλος της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:  
Αναπληρωτή Καθηγητή Ν. Μάνθο, μέλος του Εργαστηρίου Φυσικής Υψηλών Ενεργειών.

Τα μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής:

Τον Αναπληρωτή Καθηγητή Ι. Ευαγγέλου μέλος του Εργαστηρίου Φυσικής Υψηλών Ενεργειών και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Κ. Ιωαννίδη μέλος του Εργαστηρίου Πυρηνικής φυσικής.

Τους Μεταπτυχιακούς φοιτητές και συνεργάτες:

Θ. Παρλάντζα και Θ. Πέτρογλου.

Τον Ειδικό Τεχνικό Εργαστηριακού Προσωπικού:

Ε. Μπλέτσα.



## Πίνακας Περιεχομένων

1.Εισαγωγή	9
1.1 – Συστήματα συλλογής δεδομένων	9
1.2 – Αισθητήρες Δεδομένων	10
1.3 – Μικροελεγκτές – Μικροεπεξεργαστές FPGAs	14
1.3.1 – Μικροελεγκτές	16
1.3.2 –FPGAs	18
1.4 – Σύστημα ασύρματης μετάδοσης	20
1.5 – Ασύρματο σύστημα μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο	22
1.6 – Οργάνωση της εργασίας	24
2.Σύστημα ανάγνωσης αισθητήρων μέτρησης ποιότητας νερού	25
2.1 – Αισθητήρες	25
2.1.1 – Αισθητήρας θερμοκρασίας WQ101	26
2.1.2 – Αισθητήρας pH WQ201	27
2.1.3 – Αισθητήρας αγωγιμότητας WQ301	29
2.1.4 – Αισθητήρας περιεκτικότητας οξυγόνου του νερού WQ401	30
2.1.5 – Αισθητήρας ORP/Redox (ικανότητα οξείδωσης του νερού)WQ600	31
2.1.6 – Ομαδοποιημένες Τεχνικές πληροφορίες αισθητήρων	33
2.2 – Ο μικροελεγκτής AVR ATmega128	34
2.2.1 –Χαρακτηριστικά	35
2.2.2 – Γενική περιγραφή	36
2.2.3 – Γενική περιγραφή αρχιτεκτονικής	37
2.2.4 – Δομή της μονάδας επεξεργασίας του AVR	38
2.2.4.1 – Αριθμητική Λογική Μονάδα (ALU)	38
2.2.4.2 – Οι καταχωρητές γενικής χρήσης του AVR	39
2.2.4.3 – Οι δείκτης στοίβας του AVR	39
2.2.4.4 – Χρόνοι εκτέλεσης εντολών	40
2.2.5 – Μνήμες του AVR	40
2.2.5.1 – Η μνήμη προγράμματος FLASH	41
2.2.5.2 – Η στατική μνήμη δεδομένων SRAM	41
2.2.5.3 – Η μνήμη EEPROM	43
2.2.6 – Διακοπές (interrupts) του AVR – Reset	43
2.2.7 – Παράλληλες θύρες εισόδου / εξόδου του AVR	45
2.2.8 – Timers του AVR	46
2.2.9 – Περιφερειακά	47
2.3 – Πρωτόκολλα επικοινωνίας του συστήματος ανάγνωσης	49
2.3.1 – SPI	49
2.3.2 – Σειριακή θύρα - USART	51
2.3.3 – TWI	52
2.3.4 – Διεπαφές προγραμματισμού (Programming Interfaces)	52
3. Υλοποίηση του συστήματος	54
3.1 – Η συνδεσμολογία των πλακετών	54





3.1.1 – Ο σχεδιασμός του συστήματος DATA LOGGER	54
3.1.1.1 – Η συνδεσμολογία του ATmega128	55
3.1.2 – Ο σχεδιασμός των διεπαφών του συστήματος	58
3.1.2.1 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής RS232	59
3.1.2.2 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής RS485	60
3.1.2.3 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής I <sup>2</sup> C	61
3.1.2.4 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής SPI	62
3.1.2.5 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής 4-20mA	63
3.1.2.6 – Προγραμματισμός του μικροελεγκτή	65
3.1.3 – Ο σχεδιασμός του τροφοδοτικού του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων	66
3.2 – Ηλεκτρικοί αυτοματισμοί του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων	68
3.3 – Μηχανολογικό μέρος του συστήματος δειγματοληψίας	70
3.4 – PCBs	71
3.4.1 – Πλακέτα συστήματος ανάγνωσης πληροφορίας έκδοση 1.0	71
3.4.2 – Πλακέτα συστήματος ανάγνωσης πληροφορίας έκδοση 2.3	73
3.4.3 – Υλοποίηση του τροφοδοτικού	76
3.5 – Λογισμικό	76
3.5.1 – Διάγραμμα ροής του προγράμματος του συστήματος	77
3.5.2 – Λογισμικό προγραμματισμού και προγραμματιστές	80
4. Αποτίμηση και συμπεράσματα του συστήματος	81
4.1 – Βαθμονόμηση αισθητήρων	81
4.1.1 Έλεγχος της βαθμονόμησης του αισθητήρα θερμοκρασίας WQ101	81
4.1.2 Εξαγωγή της τιμής της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου	83
4.1.3 Μετρήσεις	83
5. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα και επεκτάσεις	86
Βιβλιογραφία	90
Παράρτημα Α	92
A.1 – Κυρίως Πρόγραμμα	92
A.2 – Διεπαφές εκτός εφαρμογής του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων	95
A.2.1 – Οδηγός SPI	96
A.2.2 – Οδηγός USART	97
A.2.3 – Οδηγός TWI	99
Παράρτημα Β	101
B.1 – Το επίπεδο της πλακέτας με τα ηλεκτρονικά στοιχεία	101
B.2 – Ηλεκτρονικά στοιχεία της πλακέτας	102
Παράρτημα Γ	105
Γ – Απλά βήματα προγραμματισμού του συστήματος	105



# Κεφάλαιο 1

## 1.Εισαγωγή

### 1.1 – Συστήματα συλλογής δεδομένων

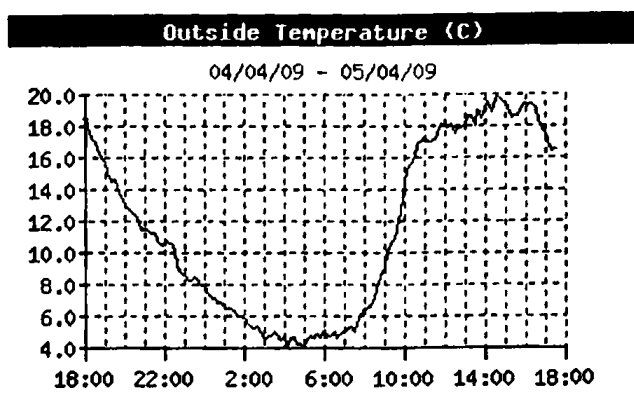
Με τα συστήματα συλλογής δεδομένων επιτυγχάνουμε την καταγραφή επεξεργασία και παρουσίαση σημάτων με τη χρήση ηλεκτρονικών υπολογιστικών συστημάτων. Το σύστημα συλλογής – επεξεργασίας πληροφορίας (Data Acquisition System, DAQ ή DAS) είναι σύστημα απόκτησης δεδομένων συγκεκριμένου ρυθμού δειγματοληψίας (sampling) από σήματα εισόδου, τα οποία επεξεργάζεται και αποδίδει στη συνέχεια σε μια επόμενη βαθμίδα. Η βαθμίδα αυτή ελέγχει το σύστημα και συνήθως είναι ένας υπολογιστής. Τα σήματα στην είσοδο συνήθως προέρχονται από αισθητήρες και αντιστοιχούν σε φυσικές παραμέτρους. Στη συνέχεια το σύστημα τα επεξεργάζεται με σκοπό την ανάκτηση φυσικής πληροφορίας [1,2]. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα DAQ, είτε είναι εμπορικό (LabVIEW, MATLAB, Vxworks κλπ) είτε αναπτύσσεται με γλώσσες προγραμματισμού υψηλού ή χαμηλού επιπέδου, είτε με συνδυασμό τους.

Παραδείγματα φυσικών παραμέτρων είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, το pH ενός υγρού κλπ. Ο αισθητήρας ή μετατροπέας είναι υπεύθυνος για τη μετατροπή της μετρούμενης παραμέτρου σε ηλεκτρικό σήμα το οποίο έχει μία συγκεκριμένη μορφή όπως, τάση, ρεύμα, αντίσταση, αλλαγή της πυκνότητας κλπ. Η τιμή του σήματος αυτού μετράται εύκολα με τη χρήση ηλεκτρονικών διατάξεων. Υπάρχουν διαφορετικοί εξειδικευμένοι αισθητήρες για κάθε εφαρμογή, όπως για τη μέτρηση της θερμοκρασίας, της κίνησης, της πίεσης, τη ροή υγρού, κ.α.

Τα σήματα DAQ περιέχουν κατάλληλο υλικό (hardware) το οποίο χρησιμοποιεί διάφορες τεχνικές μορφοποίησης των σημάτων εισόδου (την έξοδο των αισθητήρων) με σκοπό την κατάλληλη επεξεργασία τους. Εάν πρόκειται για αναλογικές πληροφορίες ψηφιοποιούνται με χρήση αναλογικών σε ψηφιακούς μετατροπείς (ADCs) και στη συνέχεια επεξεργάζονται περαιτέρω. Η επεξεργασία αυτή μπορεί να περιέχει την σύγκριση των μετρούμενων τιμών μεταξύ τους ή και με προηγούμενες τιμές, την βαθμονόμησή τους, ακόμα και την απόρριψη μερικών από αυτές. Το hardware του DAQ συνήθως παίζει τον ρόλο της διεπαφής (interface) μεταξύ των αισθητήρων και ενός υπολογιστή. Το hardware αυτό μπορεί να επικοινωνεί με τον υπολογιστή είτε κάποια θήρα του υπολογιστή όπως parallel, serial, USB, κ.α., είτε μπορεί να είναι ενσωματωμένο σε κάρτα που τοποθετείται πάνω στη μητρική κάρτα του υπολογιστή όπως PCI, ISA, PCI-E κ.α.

Τέλος στο σύστημα DAQ περιέχεται το λογισμικό του υπολογιστικού συστήματος το οποίο συλλέγει και αποθηκεύει τα δεδομένα τα οποία παρουσιάζει στο χρήστη. Το αποτέλεσμα μπορεί να είναι μία γραφική παράσταση όπως για παράδειγμα αυτή της θερμοκρασίας σε σχέση με το χρόνο για ένα εικοσιτετράωρο, που παρουσιάζεται στην εικόνα 1.1.





Εικόνα 1.1: Θερμοκρασία περιβάλλοντος σε συνάρτηση με την ώρα της ημέρας

Ένα παράδειγμα συστήματος DAQ είναι ο καταγραφέας δεδομένων, ο οποίος συνήθως είναι φορητός (τροφοδοτείται με μπαταρίες) διαθέτει μικρή οθόνη και έχει θήρα επικοινωνίας για υπολογιστή.

## 1.2 – Αισθητήρες Δεδομένων

Ο αισθητήρας είναι μια συσκευή που μετατρέπει μια φυσική ποσότητα σε ένα μετρούμενο σήμα το οποίο μπορεί να διαβαστεί από έναν παρατηρητή ή ένα όργανο μέτρησης. Για παράδειγμα, ένα θερμόμετρο υδραργύρου μετατρέπει τη θερμοκρασία σε μεταβολή του όγκου του υγρού υδράργυρου το οποίο μπορεί να διαβαστεί σε βαθμονομημένο γυάλινο σωλήνα. Η θερμοκρασία σε ένα θερμοστοιχείο μεταβάλλει την τάση εξόδου του και μπορεί έτσι να διαβαστεί από ένα βολτόμετρο.

Υπάρχουν πολλοί τύποι αισθητήρων. Χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση ή και την ανίχνευση σε μια τεράστια ποικιλία από μετρούμενες φυσικές παραμέτρους όπως: η θερμοκρασία, η πίεση, η υγρασία, η ταχύτητα, η κίνηση, η απόσταση, το φως και άλλες. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες για κάθε τύπο και κάθε μία από αυτές χρησιμοποιεί διαφορετική αρχή λειτουργίας.

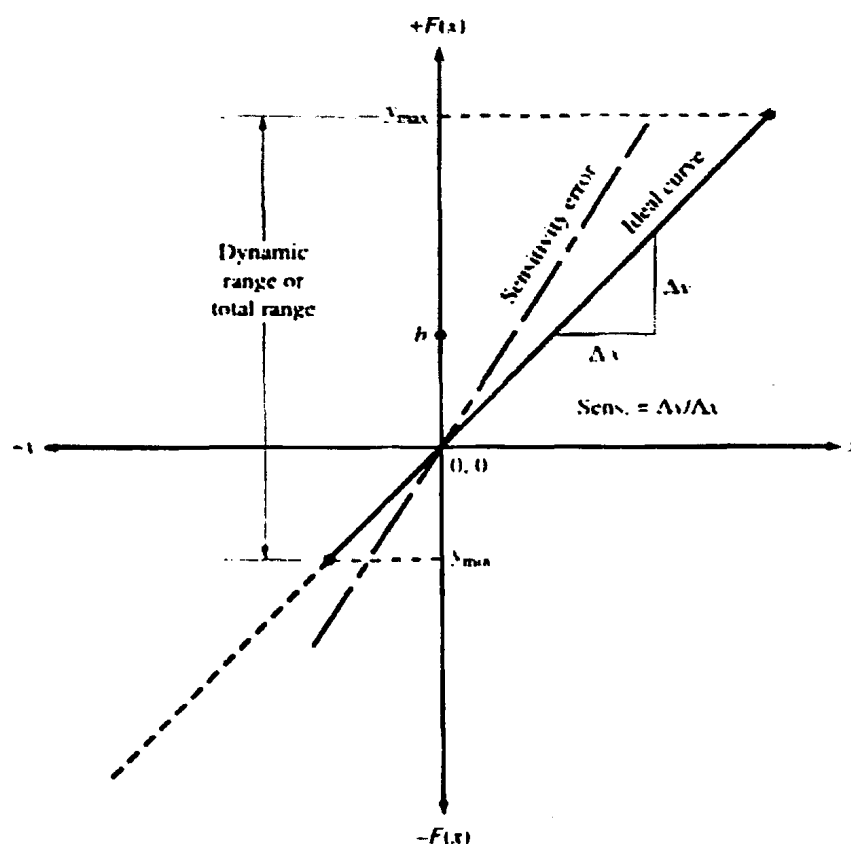
Οι αισθητήρες κατατάσσονται γενικά στις εξής κατηγορίες [3]:

- A. **Ηχητικοί**, όπως τα μικρόφωνα.
- B. **Κίνησης**, όπως τα radar, τα επιταχυνσιόμετρα, το στροφόμετρο.
- C. **Χημικοί**, όπως οι αισθητήρες pH, οξυγόνου, συλλογής ιόντων.
- D. **Ηλεκτρικοί – ηλεκτρονικοί – μαγνητικοί**, εφαρμογές υπάρχουν τους ανιχνευτές μετάλλων, στα αμπερόμετρα, στα βολτόμετρα.
- E. **Περιβαλλοντολογικοί**, όπως αισθητήρες βροχής, σειсмоγράφοι, περιεκτικότητας σωματιδίων του αέρα, αγωγιμότητας νερού κλπ.
- F. **Ροής**, όπως ροής αέρα ή υγρού.
- G. **Ιονίζουσας ακτινοβολίας**, ανιχνευτές αερίου, υγροί σπινθηριστές, Geiger-Müller, λωρίδων πυριτίου.
- H. **Οπτικοί**, όπως οι φωτοδιόδοι, τα φωτοτρανσίστορ.

- I. Πίεσης, πιεζοηλεκτρικοί.
- J. Θερμικοί, τα θερμόμετρα, τα θερμίστορ.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των αισθητήρων είναι τα ακόλουθα [4]:

- Η **ευαισθησία**, (*sensitivity*) που εκφράζει την ελάχιστη μεταβολή ενός μετρούμενου μεγέθους η οποία μπορεί να ανιχνευθεί και να παραχθεί έτσι ένα σήμα εξόδου διαφορετικό από αυτό που υπήρχε πριν τη μεταβολή του μετρούμενου μεγέθους. Η ιδανική ευαισθησία ενός αισθητήρα ορίζεται ως η κλίση της ευθείας εξόδου του χωρίς σφάλματα ( $\Delta y/\Delta x$  εικόνα 1.2). Το Σφάλμα της ευαισθησίας (εμφανίζεται ως διακεκομμένη ευθεία στην εικόνα 1.2) είναι η απόκλιση από την κλίση της ιδανικής ευαισθησίας.



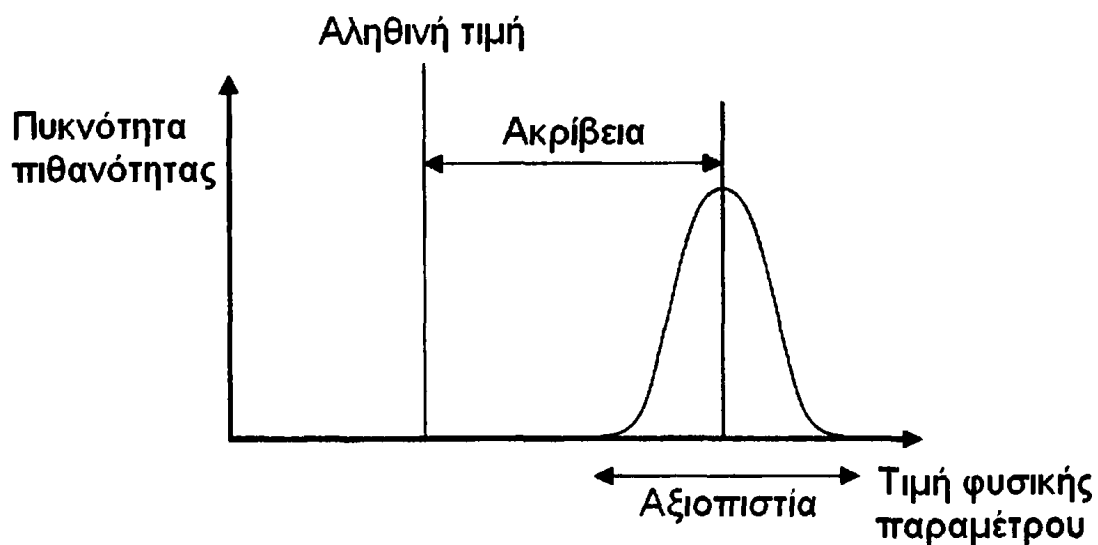
Εικόνα 1.2: Χαρακτηριστική ευθεία ευαισθησίας αισθητήρα

- Η **ενεργή περιοχή** (*Dynamic range*) καθορίζεται από τα όρια των τιμών του μετρούμενου μεγέθους που μπορούν να ανιχνευθούν, δηλαδή το σύνολο των τιμών από τη χαμηλότερη  $Y_{min}$  έως την υψηλότερη  $Y_{max}$ .  $R_{dyn} = |Y_{max}| - |Y_{min}|$  (εικόνα 1.2). Παραδείγματος χάριν σε ένα θερμοστοιχείο που χρησιμοποιείται στον θάλαμο ενός ψυγείου, η ενεργή περιοχή του θα πρέπει να κυμαίνεται από τους μηδέν μέχρι τους είκοσι βαθμούς Κελσίου  $R_{dyn} = |Y_{max}| - |Y_{min}| \rightarrow R_{dyn} = |20| - |0| \rightarrow R_{dyn} = 20^{\circ}C$ .

- Η **ακρίβεια (accuracy)**  $|\bar{X} - X_0|$  μιας σειράς μετρήσεων (οπού  $X$  η μέση τιμή) καθορίζει το μέτρο του πόσο κοντά στην αληθινή τιμή  $X_0$  βρίσκονται οι μετρούμενες τιμές  $X_1 X_2 \dots X_n$ .

- Η **αξιοπιστία (precision)** μιας σειράς μετρήσεων καθορίζει το μέτρο της επανάληπτικότητας των μετρήσεων, με άλλα λόγια είναι το μέτρο του πόσο κοντά στη μέση τιμή  $\bar{X}$  βρίσκονται οι επί μέρους μετρήσεις. Σε μια ιδανική περίπτωση και για το ίδιο ερέθισμα στην είσοδο του αισθητήρα, μετρείται πάντα η ίδια τιμή. Δυστυχώς οι αισθητήρες στην πραγματικότητα παράγουν μια σειρά από διαφορετικές μετρήσιμες τιμές σε σχέση με την πραγματική.

Η ακρίβεια είναι στενά συνδεδεμένη με την αξιοπιστία. Οι έννοιες αυτές χαρακτηρίζουν επίσης και την ικανότητα αναπαραγωγής και επαναληψιμότητας μιας μέτρησης ενός αισθητήρα. Στη παρακάτω εικόνα 1.3 παρουσιάζεται η συσχέτιση μεταξύ της ακρίβειας (accuracy) και της αξιοπιστίας (precision).



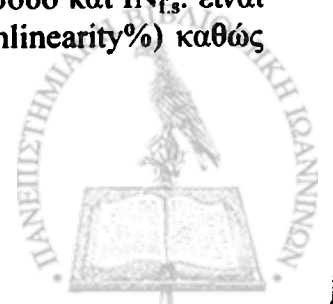
Εικόνα 1.3: ACCURACY vs PRECISION

- Η **Μετάθεση (Offset)** ενός αισθητήρα χαρακτηρίζει τη διαφορά μεταξύ της τιμής της εξόδου και της αναμενόμενης τιμής εξόδου σε ένα σύνολο συνθηκών.

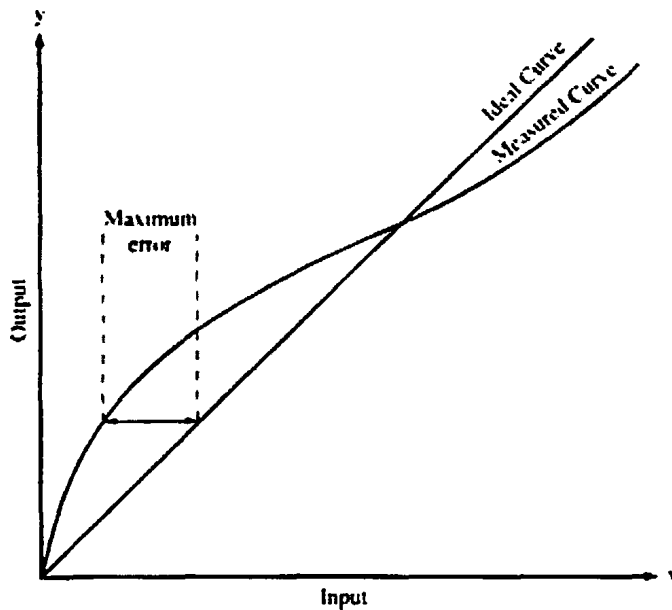
- Η **Γραμμικότητα (linearity)** ενός αισθητήρα χαρακτηρίζεται από το βαθμό στον οποίο η καμπύλη των παραγόμενων μετρούμενων τιμών ενός αισθητήρα αποκλίνει σε συνάρτηση με τις τιμές της χαρακτηριστικής ευθείας ενός γραμμικού αισθητήρα (εικόνα 1.8). Η γραμμικότητα εκφράζεται ως το ποσοστό της μη γραμμικότητας:

$$\text{Nonlinearity}(\%) = \frac{Din_{(\max)}}{IN_{fs}} \cdot 100$$

Όπου:  $Din_{(\max)}$  είναι η μέγιστη απόκλιση του σήματος στην είσοδο και  $IN_{fs}$  είναι το μέγιστο σήμα στην είσοδο. Το μέτρο της μη γραμμικότητας (Nonlinearity%) καθώς



και της μετάθεσης χρησιμοποιούνται συχνά σε αισθητήρες που μετράνε περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως θερμοκρασία, ηχητικό επίπεδο θορύβου, υγρασία κ.α.



Εικόνα 1.4 : Γραμμικότητα

- Ο λόγος **σήμα προς θόρυβο** (συντομογραφία SNR ή S/N) είναι μέγεθος που χρησιμοποιείται για την έκφραση της καθαρότητας του σήματος από τον θόρυβο.

- **Χρόνος απόκρισης (Response time)** ονομάζεται ο χρόνος που χρειάζεται ένας αισθητήρας να ανανεώσει τις τιμές που παράγει. Οι αισθητήρες δεν αλλάζουν τις εξόδους τους αμέσως όταν αλλάζει η είσοδος, αλλά απαιτείται ένας χρόνος προσαρμογής στις καινούριες συνθήκες εισόδου.

- Το **είδος του σήματος εξόδου** ενός αισθητήρα είναι γενικά ηλεκτρικό και έτσι διευκολύνεται η επεξεργασία της πληροφορίας που μεταφέρει. Σπάνια συναντάται σήμα εξόδου που να μην περιέχει μία εύκολα αξιοποιήσιμη φυσική παράμετρο όπως, τάση, ρεύμα κλπ.

Τα ηλεκτρικά σήματα διακρίνονται:

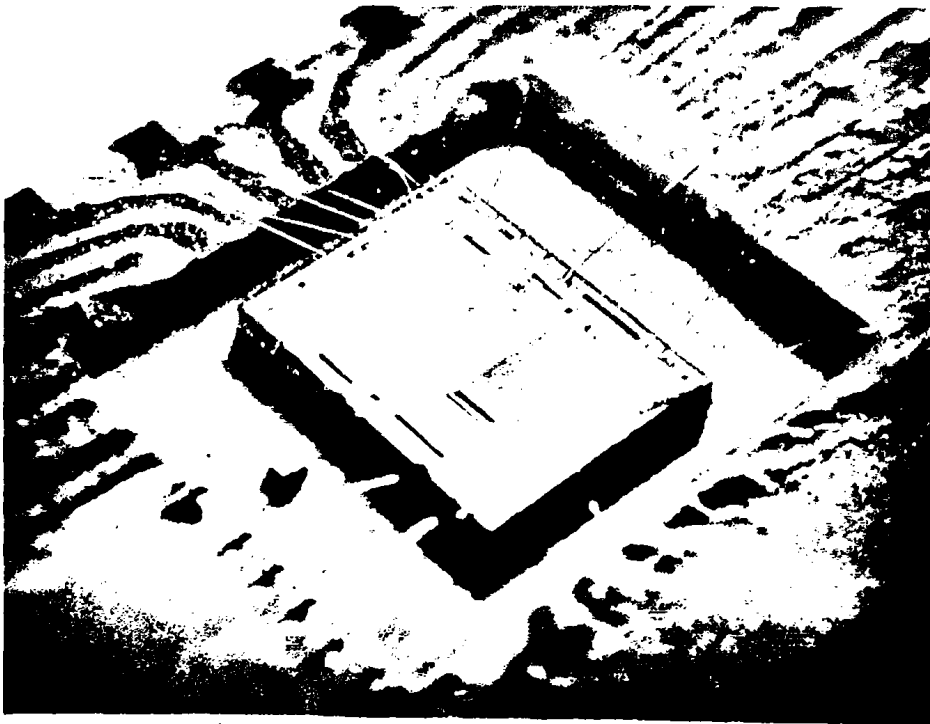
- Στα **αναλογικά** τα οποία παίρνουν συνεχείς τιμές και σε κάθε τιμή τους αντιστοιχεί μία πληροφορία.
- Τα **ψηφιακά** τα οποία παίρνουν διακριτές τιμές.

### 1.3 – Μικροελεγκτές – Μικροεπεξεργαστές- FPGAs

Στην σύγχρονη εποχή τα μικροϋπολογιστικά κυκλώματα έχουν εισχωρήσει παντού στην ζωή του ανθρώπου. Κινητά τηλέφωνα, υπολογιστές, αυτοματισμοί σε αυτοκίνητα, είναι μόνο ένα πολύ μικρό δείγμα μιας πληθώρας εφαρμογών. Η ανάγκη για την χρησιμοποίηση μικροϋπολογιστικών συστημάτων, οδήγησε στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ήδη από την δεκαετία του εξήντα. Η τεχνολογία αυτή έδωσε τη δυνατότητα να μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, πολύπλοκα κυκλώματα (από τον πρώτο μικροεπεξεργαστή, που είχε 2 χιλιάδες τρανζίστορες, έχουμε φτάσει πλέον σε επεξεργαστές με πάνω από 7 εκατομμύρια τρανζίστορες).

Αποτέλεσμα είναι η ενσωμάτωση σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα (embedded system) όλης της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας, η οποία προγραμματίζεται για να περιέχει βασικές λειτουργίες ενός ψηφιακού υπολογιστή. Το κύκλωμα αυτό ονομάστηκε μικροεπεξεργαστής. Η μνήμη του βρίσκεται σε ολοκληρωμένα κυκλώματα περιορισμένων αποθηκευτικών δυνατοτήτων, τα οποία είτε το συνοδεύουν, είτε είναι ενσωματωμένα στο ολοκληρωμένο κύκλωμα. Ο μικροεπεξεργαστής υποστηρίζεται και από μια πλειάδα ολοκληρωμένων κυκλωμάτων για να διασυνδέεται κατάλληλα και με τον εξωτερικό κόσμο και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που επιτελούν τις λειτουργίες χρονισμού και προώθησης δεδομένων στον τελικό τους προορισμό.

Στην εικόνα 1.5 μπορούμε να παρατηρήσουμε το ολοκληρωμένο κύκλωμα (integrated circuit) ενός μικροελεγκτή, αυτό της Intel τον 8742, με ενσωματωμένες (on the chip) τις RAM, EPROM και I/O ports.

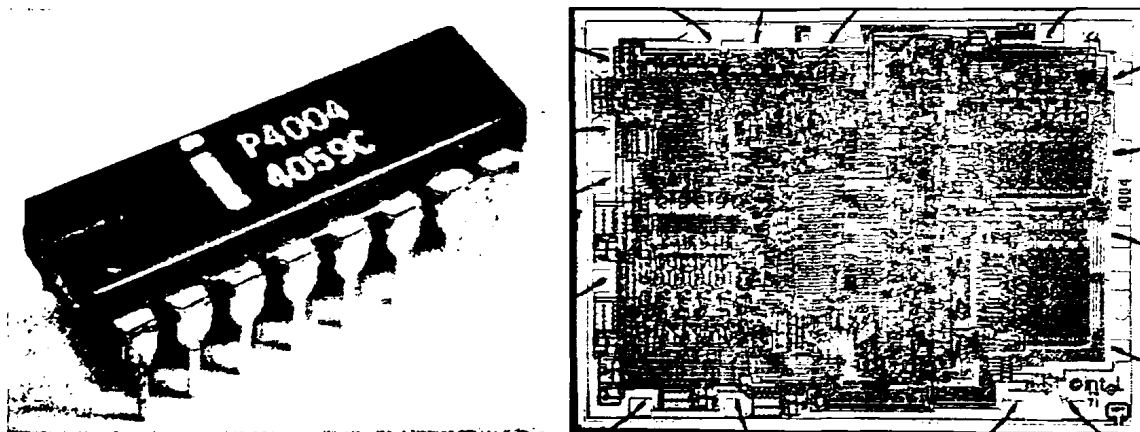


Εικόνα 1.5: Ολοκληρωμένο κύκλωμα Intel 8742



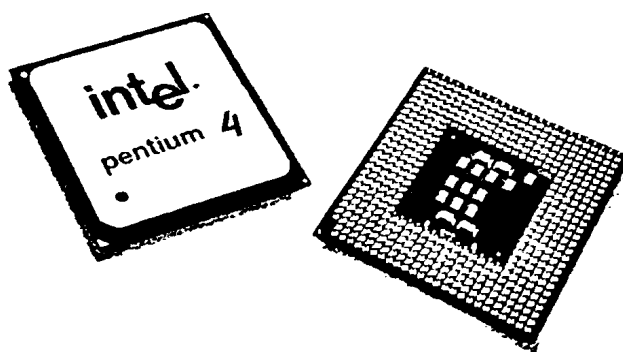
Τα πρώτα συστήματα μικροελεγκτών δεν περιείχαν στο ίδιο περίβλημα (package) τον μικροεπεξεργαστή και τα περιφερικά του, τα βασικότερα εκ των οποίων είναι οι μνήμες RAM και ROM και το interface των εισόδων / εξόδων, I/O.

Ο πρώτος single chip μικροεπεξεργαστής ήταν ο 4 bit της Intel, ο 4004 (εικόνα 1.6) κυκλοφόρησε το 1971. Είχε δίαυλο δεδομένων πλάτους 4 bit, κατασκευάστηκε με 2.300 τρανζίστορες και είχε συχνότητα λειτουργίας 108 kHz. Μέσα στην επόμενη χρονιά εμφανίζεται ο διάδοχος του 8008, και τα επόμενα χρόνια ακολούθησαν επεξεργαστές πιο πολύπλοκοι και με εκτεταμένες δυνατότητες. Αυτοί όπως προαναφέρθηκε απαιτούσαν εξωτερικό ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip) με το οποίο να συνεργάζονται για την εφαρμογή ενός συστήματος, αυξάνοντας έτσι το συνολικό κόστος του συστήματος, καθιστώντας τους οικονομικά ασύμφορους [5].



Εικόνα 1.6: Ο πρώτος μικροεπεξεργαστής 4004 της Intel

Προς το τέλος της δεκαετίας του '80, ο «πόλεμος των μικροεπεξεργαστών» άρχισε να εξαφανίζει μερικούς από τους μικροεπεξεργαστές που είχαν τεθεί σε κυκλοφορία με αποτέλεσμα την κυριαρχία της INTEL και των Pentium [6]. Ο πρώτος Intel Pentium, περιείχε 3.100.000 τρανζίστορες και η συχνότητα λειτουργίας του έφτασε στα 166 MHz. Το 2000 ανακοινώνεται ο Pentium 4 με 42.000.000 τρανζίστορες, εικόνα 1.7.



Εικόνα 1.7 : Ο Pentium 4

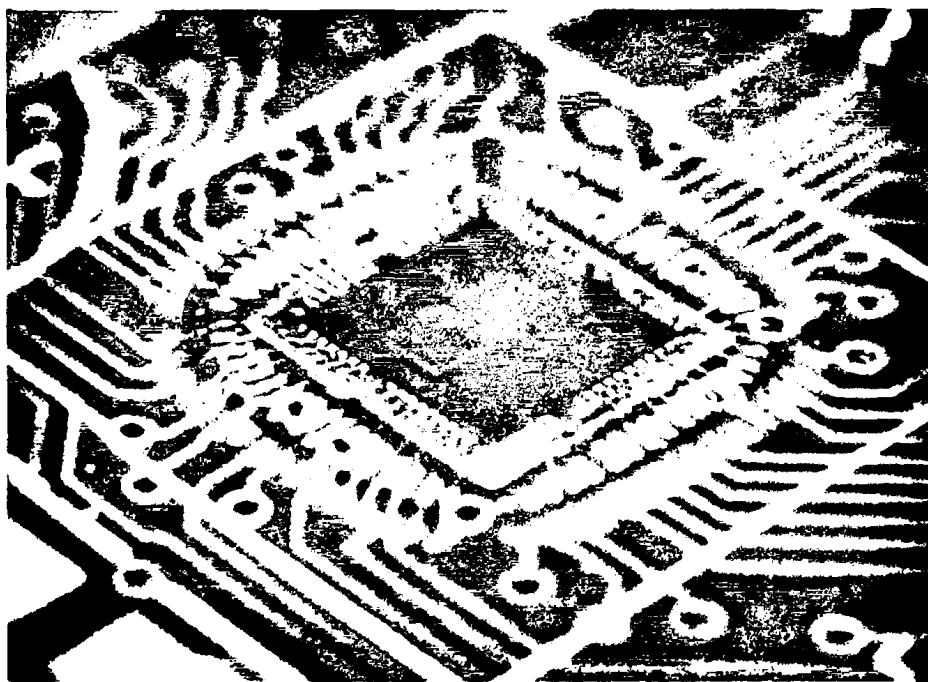


Το κόστος πλέον με το πέρασμα του χρόνου έχει μειωθεί δραματικά, με αποτέλεσμα σήμερα το chipset των μικροελεγκτών να είναι διαθέσιμο κάτω από 0,25\$ και οι 32 bit μικροελεγκτές να ξεκινούν από 5\$. Οι μικροελεγκτές είναι άμεσα διαθέσιμοι για ερευνητικούς εκπαιδευτικούς σκοπούς και για μια πληθώρα εφαρμογών στη σύγχρονη εποχή.

### 1.3.1 – Μικροελεγκτές

Ένας μικροελεγκτής είναι ένας υπολογιστής ενσωματωμένος σε ένα chip που προγραμματίζεται έτσι ώστε να ελέγχει συσκευές. Είναι ένας τύπος μικροεπεξεργαστή που είναι αυτόνομος και οικονομικός, σε αντίθεση με έναν γενικής χρήσης μικροεπεξεργαστή που χρησιμοποιείται στους υπολογιστές. Ένας χαρακτηριστικός μικροελεγκτής περιέχει όλη τη μνήμη και τις γραμμές I/O που απαιτούνται, ενώ ένας μικροεπεξεργαστής γενικού σκοπού απαιτεί πρόσθετα ολοκληρωμένα [7].

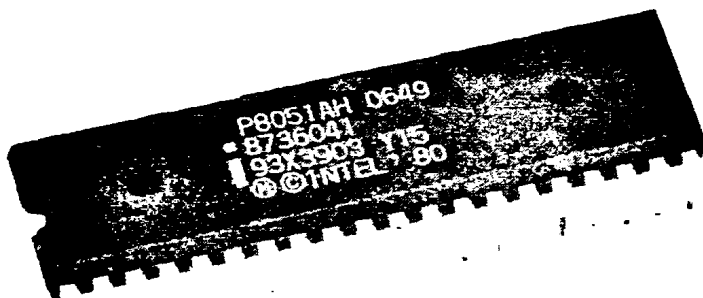
Οι μικροελεγκτές είναι κύριο συστατικό σε πολλά είδη ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Αποτελούν τη μεγάλη πλειοψηφία όλων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που πωλούνται. Χαρακτηριστικό είναι πως σε ένα τυπικό σπίτι στη χώρα μας είναι πιθανό να υπάρχουν μόνο ένας ή δύο γενικής χρήσης μικροεπεξεργαστές, εάν υπάρχουν υπολογιστές. Ταυτοχρόνως όμως μπορεί να υπάρχουν περίπου δέκα μικροελεγκτές. Αυτοί βρίσκονται σχεδόν σε κάθε τύπο ηλεκτρικής συσκευής, πλυντήρια ρούχων, φούρνους μικροκυμάτων, τηλέφωνα κ.λ.π.



Εικόνα 1.8: Σύστημα ενσωματωμένο σε ολοκληρωμένο κύκλωμα

Οι περισσότεροι μικροελεγκτές είναι σήμερα βασισμένοι στην αρχιτεκτονική Von Neumann, η οποία καθόρισε τα τέσσερα βασικά συστατικά που απαιτούνται για ένα

ενσωματωμένο σύστημα. Αυτά περιλαμβάνουν έναν πυρήνα (CPU), τη μνήμη για το πρόγραμμα (μνήμη EEPROM ή self-programming FLASH-memory), τη μνήμη για τις μεταβλητές (RAM), έναν ή περισσότερους timers (αυτόνομοι και watchdog), καθώς επίσης και θήρες I/O για επικοινωνία με τις εξωτερικές περιφερικές μονάδες. Όλα τα παραπάνω σε ένα ενιαίο ολοκληρωμένο κύκλωμα (embedded system). Ο μικροελεγκτής τοποθετείται σε συσκευές για έλεγχο, συνδέεται απ ευθείας στην τροφοδοσία και σε οποιοσδήποτε εισόδους/ εξόδους χρειάζεται. Ο 8051 της Intel παρουσιάζεται παρακάτω.



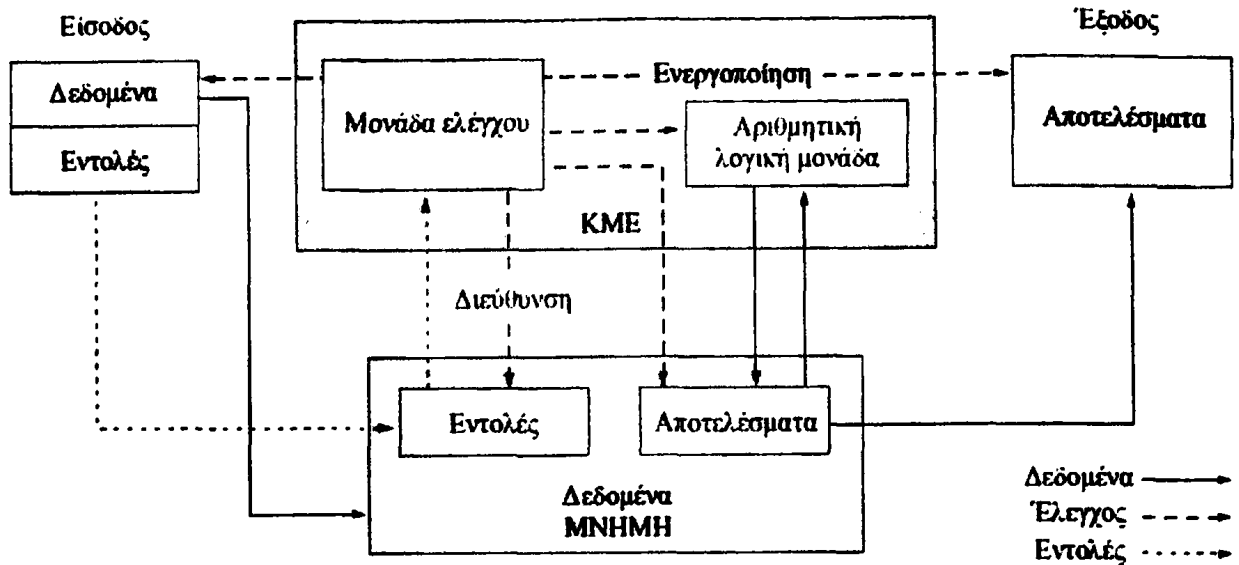
Εικόνα 1.9: Intel 8051

Οι μικροελεγκτές έχουν ποικίλες συσκευές εισόδου / εξόδου, όπως οι μετατροπείς αναλογικό σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter, ADC) χρονόμετρα (Timers), διεπαφές σειριακής επικοινωνίας (serial interface), UART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter), ειδικευμένα σειριακά interface επικοινωνιών, όπως το I<sup>2</sup>C, το SPI και το Controller Area Network (CAN). Μερικοί σύγχρονοι μικροελεγκτές περιλαμβάνουν μια ενσωματωμένη υψηλού επιπέδου γλώσσα προγραμματισμού όπως για παράδειγμα την Embedded C. Συγκεκριμένες αρχιτεκτονικές μικροελεγκτών είναι διαθέσιμες από πολλούς διαφορετικούς προμηθευτές.

Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) ή μικροεπεξεργαστής (microprocessor) ρυθμίζει όλες τις ενέργειες, που επιτελούνται στο υπολογιστικό σύστημα.

Ο μικροεπεξεργαστής μέσω του λογισμικού καθορίζει τη σειρά εκτέλεσης των εντολών. Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης των εντολών, συντονίζει τη μεταφορά των δεδομένων από τις εισόδους προς αυτόν και προς την κύρια μνήμη. Επεξεργάζεται τα δεδομένα σύμφωνα με το πρόγραμμα επεξεργασίας του υπολογιστικού συστήματος ώστε να ανταποκρίνονται στη ζητούμενη εφαρμογή. Επίσης κατευθύνει τη μεταφορά δεδομένων από τον ίδιο ή από την κύρια μνήμη προς τις εξόδους του.

Στο ακόλουθο σχηματικό διάγραμμα (εικόνα 1.10) παρουσιάζεται ο τρόπος λειτουργίας ενός υπολογιστικού συστήματος ή αλλιώς η αρχιτεκτονική του.



Εικόνα 1.10: Αρχιτεκτονική μικροεπεξεργαστή

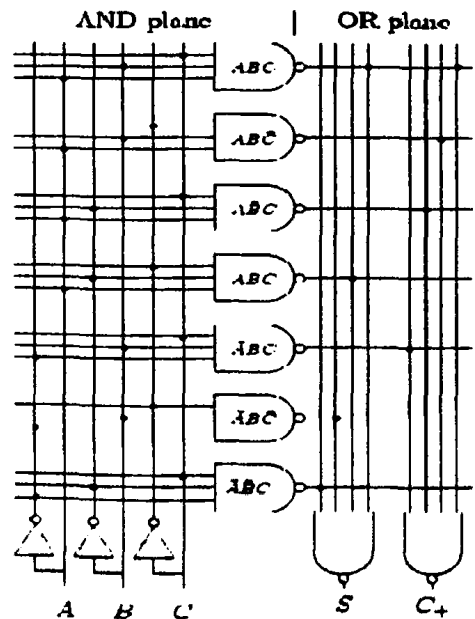
Οι μικροεπεξεργαστές αποτελούνται βασικά από τρία τμήματα, τα οποία συνεργάζονται αρμονικά μεταξύ τους [8]:

- Αριθμητική και λογική μονάδα (Arithmetic and Logic Unit, ALU)
- Μονάδα ελέγχου (Control Unit, CU)
- Καταχωρητές (Registers) οι οποίοι χρησιμεύουν για την προσωρινή αποθήκευση δεδομένων ή αποτελεσμάτων.

### 1.3.2 – FPGAs

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 70 όλα τα ψηφιακά κυκλώματα αποτελούνταν από συνδυασμό συγκεκριμένων ολοκληρωμένων εκ των οποίων το κάθε ένα πραγματοποιούσε μια συγκεκριμένη λογική πράξη (πχ το 7400 που έχει 4 πύλες NAND).

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της άσκοπης κατανάλωσης χώρου και ενέργειας στα ψηφιακά κυκλώματα, κατασκευάστηκαν νέες οικογένειες «προγραμματιζόμενων» ολοκληρωμένων (PLA, PAL και GAL). Τα ολοκληρωμένα αυτά αποτελούνται από προκαθορισμένα πλέγματα-επίπεδα (planes) από λογικές πύλες (AND, OR και άλλες), συγκεκριμένες εισόδους και εξόδους και ένα σύστημα που συνδυάζει τις διασυνδέσεις των πυλών για τη υλοποίηση συγκεκριμένων λογικών πράξεων.



Σχήμα 1.11 : Programmable Logic Array



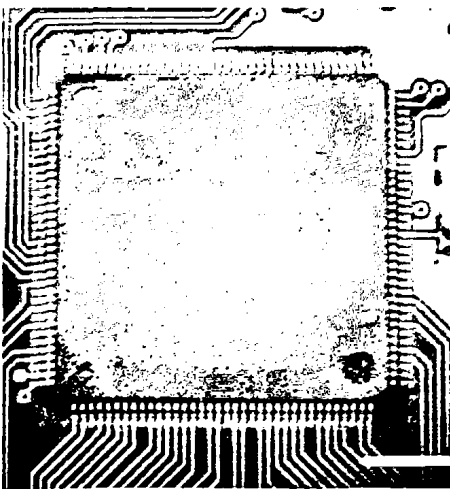
Αρχικά ο συνδυασμός των πυλών γινόταν (κατά μόνιμο τρόπο) με ένα σύστημα ηλεκτρικών ασφαλειών, ενώ στα πιο σύγχρονα συστήματα με άλλους τρόπους με σκοπό τη δυνατότητα επαναπρογραμματισμού του ηλεκτρικού κυκλώματος. Μια ενδεικτική διάταξη προγραμματιζόμενης λογική φαίνεται στο Σχήμα 1.11.

Τα συστήματα που αναφέρθηκαν παραπάνω, δεν χρησιμοποιούνται πλέον ευρέως και έχουν αντικατασταθεί από τις διατάξεις CPLD (Complex Programmable Logic Device) και FPGA (Field Programmable Logic Arrays). Αυτές δίνουν τη δυνατότητα του επαναπρογραμματισμού και του επανασχεδιασμού.

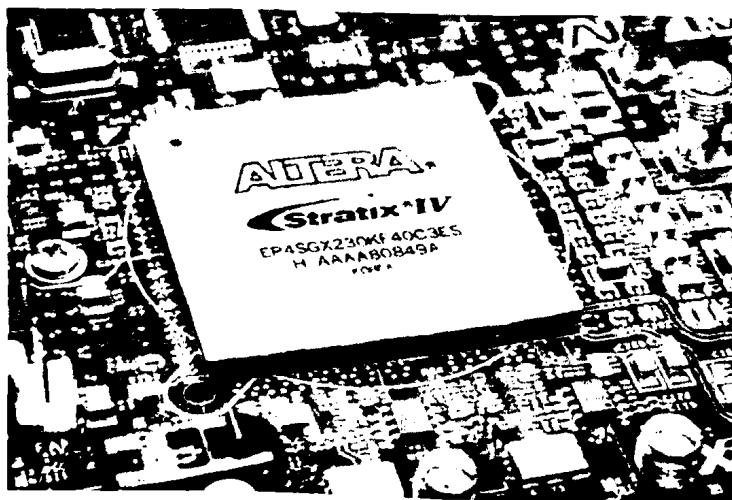
Η εταιρεία Xilinx το 1985 εισήγαγε μια εντελώς νέα ιδέα για τα τότε δεδομένα. Τα FPGAs Ένα Field-Programmable Gate Array (FPGA) είναι μια συσκευή που μπορεί να προγραμματιστεί – σχεδιαστεί από τον χρήστη όσες φορές θέλει αυτός. Τα FPGAs προγραμματίζονται χρησιμοποιώντας ένα λογικό διάγραμμα πυλών ή ένα πηγαίο κώδικα σε γλώσσα περιγραφής υλικού (HDL). Μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πολλές εφαρμογές όπως και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα ειδικευμένης χρήσης (Application-Specific Integrated Circuit, ASIC) αλλά η ικανότητα τους να επαναπρογραμματίζονται – σχεδιάζονται προσφέρει πλεονεκτήματα σε σχέση με τα ASICs. [9,10]

Τα FPGAs οργανώνονται σε "λογικές μπλοκ" (logic blocks), στη συνέχεια ακολουθεί η ιεράρχηση τους καθώς συνδέονται μεταξύ τους σαν να ήταν ξεχωριστά προγραμματιζόμενα στοιχεία πάνω σε μία διάτρητη πλακέτα (breadboard). Τα logic blocks μπορεί να προγραμματιστούν για να εκτελούν από περίπλοκες λειτουργίες, μέχρι απλές όπως λογικές πύλες AND, XOR κλπ. Στα περισσότερα FPGAs, λογικές μπλοκ περιλαμβάνουν στοιχεία, όπως απλά flip-flops μέχρι και πλήρη στοιχεία μνήμης.

Στις εικόνες 1.12 και 1.13 παρουσιάζονται τα FPGAs xilinx spartan και altera stratix τα οποία πρωτοεμφανίστηκαν το δεύτερο μισό της δεκαετίας που διανύουμε αντίστοιχα.



Εικόνα 1.12 : Το ολοκληρωμένο  
FPGA xilinx Spartan



Εικόνα 1.13 : Το ολοκληρωμένο FPGA  
Altera Stratix IV

Η VHDL που αναφέρθηκε ότι χρησιμοποιείται για τον σχεδιασμό των FPGAs και CPLDs, ανήκει στις γλώσσες περιγραφής Υλικού (Hardware Description Languages HDL), όπως και η Verilog. Η VHDL σχεδιάστηκε το 1987 από το Υπουργείο Άμυνας της Αμερικής με αρχικό σκοπό την περιγραφή της συμπεριφοράς συστημάτων ASIC (Application Specific Integrated Circuit), και αποτελεί πρότυπο της IEEE.

#### 1.4 – Συστήματα ασύρματης μετάδοσης - WiFi

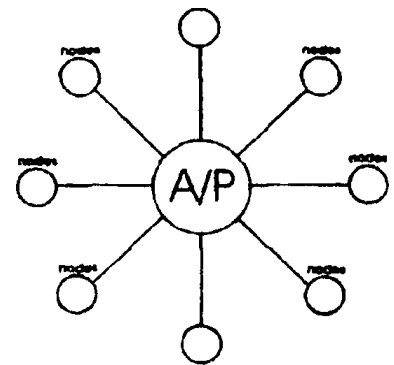
Η ευκολία και η ευελιξία που προσφέρει η χρήση ενός ασύρματου δικτύου σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη ανάγκη πρόσβασης μας στο διαδίκτυο, έχει οδηγήσει στην εξάπλωσή τους σε κτίρια γραφείων, δημόσιους χώρους, ξενοδοχεία, αεροδρόμια και σε σπίτια. Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) μπορούν να συνδέσουν στο Internet ένα εύρος συσκευών που μεγαλώνει συνεχώς και περιλαμβάνει φορητούς υπολογιστές, τηλεφωνικές συσκευές, ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και εκτυπωτές κ.α.



Σχήμα 1.14: Λογότυπο WiFi

Ένα από τα πιο δημοφιλή υψηλής συχνότητας ασύρματα τοπικά δίκτυα, είναι το Wireless Fidelity (Wi-Fi). Το είδος της δικτύωσης Wi-Fi βασίζεται στις προδιαγραφές του πρωτοκόλλου IEEE2 802.11, του πρώτου πρωτοτύπου που αναπτύχθηκε για ασύρματη δικτύωση.

Το Wi-Fi είναι ασύρματο δίκτυο τύπου αστέρα (Σχήμα 1.15), και αποτελείται από ένα κεντρικό κόμβο και πολλούς σταθμούς. Ο κεντρικός κόμβος ενός δικτύου Wi-Fi, καλείται Περιοχή Βασικών Υπηρεσιών, (Basic Service Area, BSA) Η BSA μπορεί να είναι ένα δωμάτιο ή και μία περιοχή με αρκετά τετραγωνικά χιλιόμετρα και αλληλοκαλυπτόμενα σημεία πρόσβασης. Ο κόμβος πρόσβασης είναι η συσκευή που λειτουργεί ως η βάση του δικτύου και είναι υπεύθυνη για την διευθυνσιοδότηση των συσκευών που είναι συνδεδεμένες σε αυτήν. Ακόμη είναι υπεύθυνη για την διασύνδεση του δικτύου με άλλα όμοια ή με ενσύρματα δίκτυα, όπως τοπικά ή το Διαδίκτυο.



Σχήμα 1.15: Δίκτυο Αστέρα

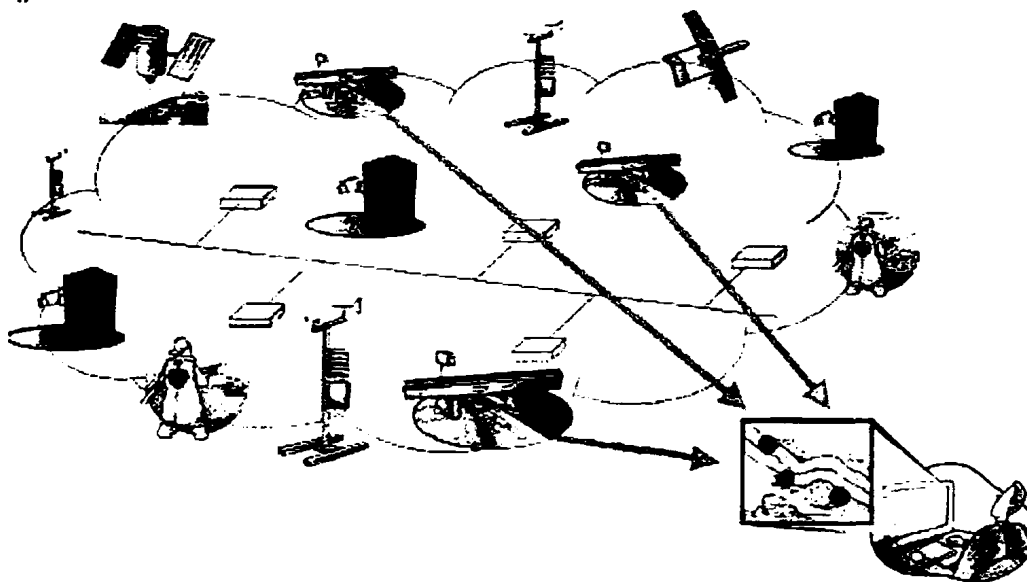
Ένα ασύρματο δίκτυο Wi-Fi περιέχει έναν ή περισσότερους κόμβους πρόσβασης, καθώς και έναν ή περισσότερους σταθμούς (clients). Ο κόμβος πρόσβασης είναι υπεύθυνος για την εκπομπή της ταυτότητας του δικτύου. Μια συσκευή που θα προσπαθήσει να συνδεθεί, θα προτιμήσει τη σύνδεση με τον κόμβο πρόσβασης του οποίου το σήμα είναι ισχυρότερο. Αυτή η επιλογή, δίνει άλλωστε στο χρήστη τη δυνατότητα φορητότητας μέσα στη BSA, αλλάζοντας κόμβους πρόσβασης ανάλογα με την ισχύ του σήματος. [11]

Τα κύρια χαρακτηριστικά του IEEE 802.11 φαίνονται στον πίνακα 1.1 [12].

Πίνακας 1.1: Κύρια χαρακτηριστικά του WiFi

Συχνότητα λειτουργίας (Operation frequency):	2.4 GHz
Ταχύτητα δεδομένων (Data rate):	11 Mb/s έως 54Mb/s
Μέγιστη απόσταση (Distance):	100 m
Τύπος δικτύου (Networking):	Point to multipoint
Κατανάλωση (Power consumption):	high

Στην εικόνα 1.16 φαίνεται παραστατικά ένα ασύρματο δίκτυο για έλεγχο αισθητήρων.



Σχήμα 1.16: Δίκτυο αισθητήρων

Στη κατασκευή του ασύρματου συστήματος μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας της παρούσας Μεταπτυχιακής Διπλωματικής Εργασίας χρησιμοποιήθηκε ασύρματο δίκτυο στα 2,4GHz (Wi-Fi) για την αναμετάδοση πληροφοριών. Παρουσιάζεται στην παράγραφο που ακολουθεί.

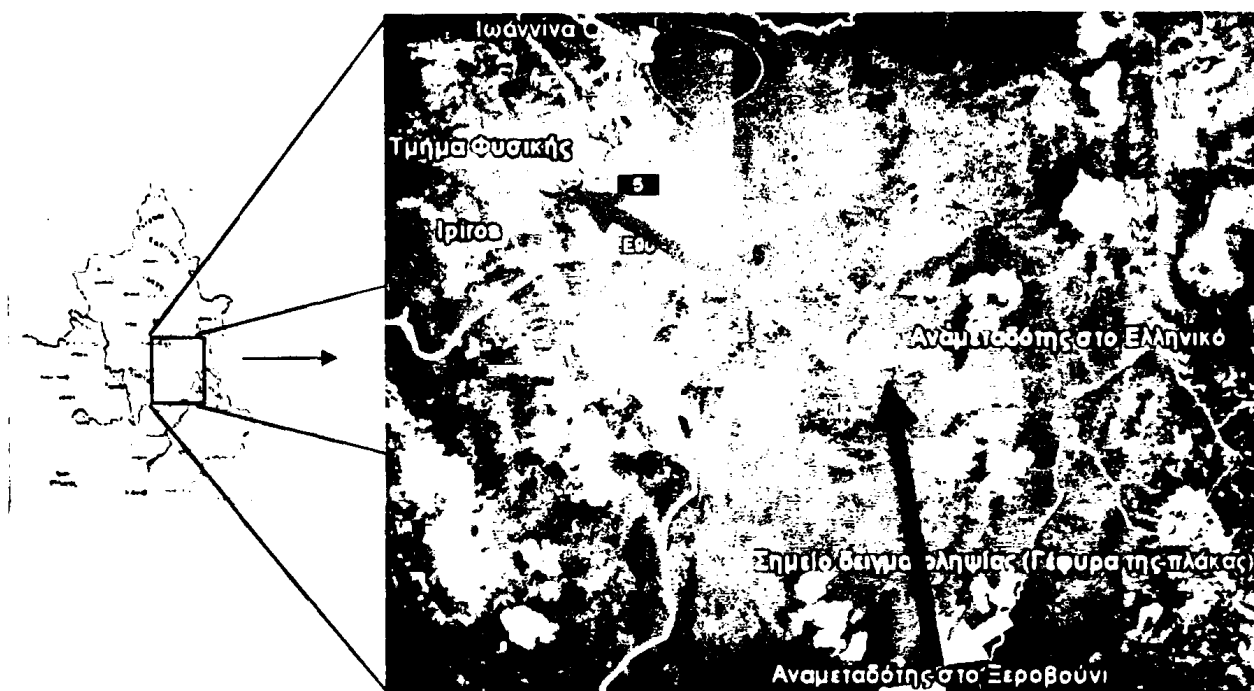
## 1.5 – Ασύρματο σύστημα μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο

Η κατασκευή του αναγνώστη δεδομένων που σχεδιάστηκε για την παρούσα μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία σκοπό είχε την ενσωμάτωση του σε ασύρματο σύστημα μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Για την επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ του

συστήματος ανάγνωσης των δεδομένων και του διαδικτύου, χρησιμοποιήθηκαν δύο αναμεταδότες καλύπτοντας την συνολική απόσταση των 28,6Km.

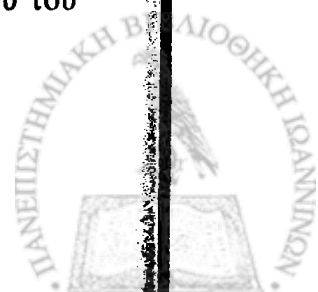
Στην επόμενη εικόνα 1.17, παρουσιάζονται τα σημεία στα οποία λαμβάνονται οι μετρήσεις και αναμεταδίδονται καθώς και η απόσταση μεταξύ των σταθμών αυτών η οποία παρουσιάζεται με ευθείες χρωματιστές γραμμές των 12Km, 11.5Km και 13.9Km (Γέφυρα της Πλάκας→ Ξηροβούνι→ Ελληνικό→ Τμήμα Φυσικής, αντίστοιχα).

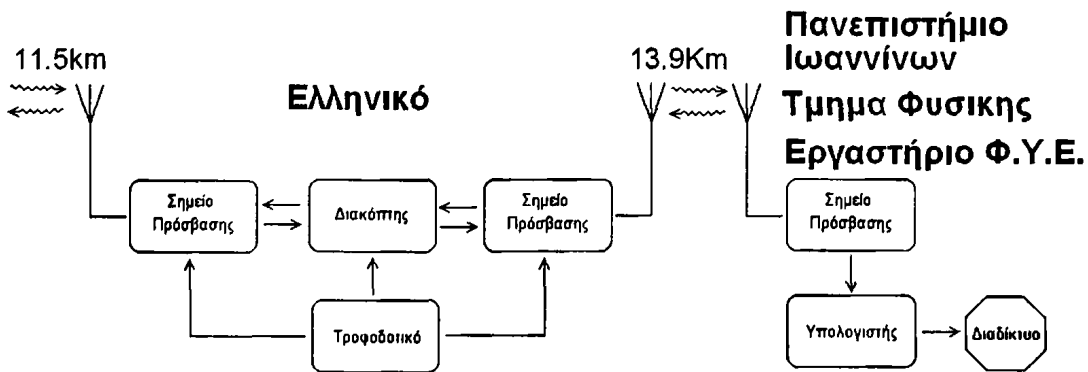
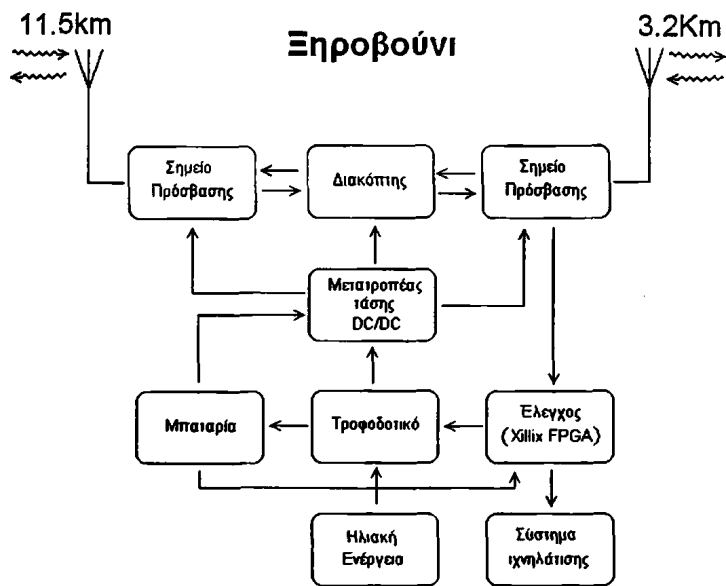
Το σημείο λήψης των μετρήσεων βρίσκεται στο ποταμό Άραχθο στην τοποθεσία γέφυρα της Πλάκας και το σημείο συλλογής των δεδομένων βρίσκεται στο τμήμα Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων. Στα δύο αυτά σημεία για το δίκτυο τοποθετήθηκαν ένα Access point και μία κετευθυντική κεραία. Οι αναμεταδότες βρίσκονται στις τοποθεσίες Ξηροβούνι και Ελληνικό. Ο κάθε αναμεταδότης από τους δύο που τοποθετήθηκαν αποτελούνταν από δύο κατευθυντικές κεραίες, δύο σταθμούς πρόσβασης (WiFi - access points) και ένα μεταγωγέα (switch).



**Εικόνα 1.17 :** Τοπολογία του συστήματος λήψης και μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο (Γέφυρα της Πλάκας→ Ξηροβούνι→ Ανανεωδότης στο Ελληνικό→ Τμήμα Φυσικής)

Το ασύρματο σύστημα μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο απαρτίζεται από τρία επί μέρους υποσυστήματα. Πρώτον τον αναγνώστη δεδομένων, δεύτερον την ασύρματο δίκτυο μετάδοσης δεδομένων με τροφοδοσία των αναμεταδοτών από τον ήλιο και τρίτον τον διακοσμητή διαδικτύου και τον έλεγχο του ολόκληρου του συστήματος. Στην εικόνα 1.18, δίνεται γενικό διάγραμμα του συστήματος.





**Εικόνα 1.18 :** Το ασύρματο σύστημα μετάδοσης φυσικών πληροφοριών στο διαδίκτυο



## 1.6 – Οργάνωση της εργασίας

Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται το σύστημα ανάγνωσης των αισθητήρων μέτρησης της ποιότητας του νερού του Αράχθου στην Γέφυρα της Πλάκας. Συγκεκριμένα το πρώτο υποκεφάλαιο αφιερώνεται στην αναλυτική περιγραφή των αισθητήρων που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση των παραμέτρων ποιότητας του νερού. Περιγράφονται και σχολιάζονται τεχνικά χαρακτηριστικά τους. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο παρουσιάζεται αναλυτικά ο μικροελεγκτή της εταιρίας ATMEL, ο AVR Atmega128, αρχιτεκτονικής RISC με χαρακτηριστικά του. Περιγράφεται η δομή της μονάδας επεξεργασίας και οι μνήμες του. Τέλος παρουσιάζονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας του συστήματος ανάγνωσης.

Το τρίτο κεφάλαιο αναφέρεται στην υλοποίηση του συστήματος η οποία πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών του Τμήματος Φυσικής. Στην πρώτη υποενότητα αναλύονται: Ο σχεδιασμός του συστήματος συλλογής δεδομένων η συνδεσμολογία του Atmega128 και τα περιφερειακά του. Στην δεύτερη υποενότητα αναφέρεται το σύστημα δειγματοληψίας δίνοντας τα μηχανικά τμήματα της κατασκευής. Στην τρίτη υποενότητα αναφέρονται οι ηλεκτρολογικοί αυτοματισμοί που αναπτύχθηκαν. Στην τέταρτη υποενότητα παρουσιάζονται το σχηματικό διάγραμμα και ο σχεδιασμός της πλακέτας τόσο του συστήματος συλλογής δεδομένων όσο και του τροφοδοτικού του. Στην Πέμπτη υποενότητα δίνεται το διάγραμμα ροής του λογισμικού και οι προγραμματιστές που χρησιμοποιήθηκαν.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται η βαθμονόμησή του συστήματος συλλογής δεδομένων και μετρήσεις που πάρθηκαν από αυτό. Εδώ έγινε χρήση του λογισμικού Excel.

Στο πέμπτο κεφάλαιο ακολουθεί η αποτίμηση του συστήματος. Το σύστημα αξιολογείται, παρουσιάζονται τα συμπεράσματα και σχολιάζονται τυχόν επεκτάσεις που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν μελλοντικά.

Τέλος στα παραρτήματα δίνονται ο κώδικας του προγράμματος και κώδικας για έλεγχο διεπαφών του ATmega128 που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην εφαρμογή αυτή, το σχέδιο της πλακέτας και τη διαδικασία αναπρογραμματισμού του συστήματος μέσω του λογισμικού της εταιρίας ATMEL.



## Κεφάλαιο 2

### 2. Σύστημα ανάγνωσης αισθητήρων - μέτρησης ποιότητας νερού

#### 2.1 – Αισθητήρες

Το σύστημα συλλογής δεδομένων, που παρουσιάζεται σε αυτή τη διπλωματική εργασία, χρησιμοποιεί πέντε αισθητήρες για την καταγραφή πληροφορίας της ρύπανσης του ποταμού που αναφέρθηκε στην εισαγωγή. Για τον καθορισμό μεγεθών και δυναμικών περιοχών των αισθητήρων υπήρξε συνεργασία με εργαστήριο του Τμήματος Χημείας του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων.

Τελικά επιλέχθηκαν πέντε αισθητήρες της εταιρίας Global Water, οι οποίοι παρουσιάζονται στα παρακάτω υποκεφάλαια και είναι οι εξής [13]:

↓ Temperature Sensor	WQ101
↓ pH Sensor	WQ201
↓ Conductivity Sensor	WQ301
↓ Dissolved Oxygen Sensor	WQ401
↓ ORP/Redox	WQ600

Οι αισθητήρες τοποθετήθηκαν σε ένα ανοξείδωτο δοχείο το οποίο γεμίζει με το προς μέτρηση νερό από μία αντλία ισχύος 1Hp. Πριν τη λήψη νέων μετρήσεων το δοχείο αδειάζει με τη χρήση ηλεκτροβαλβίδας. Ο αντίστοιχος αυτοματισμός παρουσιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3.3.

Οι αισθητήρες ποιότητας νερού (Water Quality) είναι πλήρως στεγανοί και συνοδεύονται από αδιάβροχα καλώδια. Απαγορεύεται η τοποθέτηση των αισθητήρων σε εφαρμογές που περιέχουν διαλύτες. Με τον καιρό, οι διαλύτες μπορούν να αλλοιώσουν το καλώδιο και το ίδιο το στοιχείο του αισθητήρα. Η εγκατάσταση των αισθητήρων θα πρέπει να γίνεται έτσι ώστε να είναι εύκολη η πρόσβαση σε αυτούς για λόγους βαθμονόμησης. Ίσως χρειαστεί να αντικατασταθούν με νέους στο μέλλον. Οι αισθητήρες δεν λειτουργούν σωστά εάν είναι λασπωμένοι ή καλυμμένοι με σκουπίδια. Οι pH, Dissolved Oxygen, και ORP/ Redox αισθητήρες αχρηστεύονται αν παραμείνουν έξω από το νερό για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

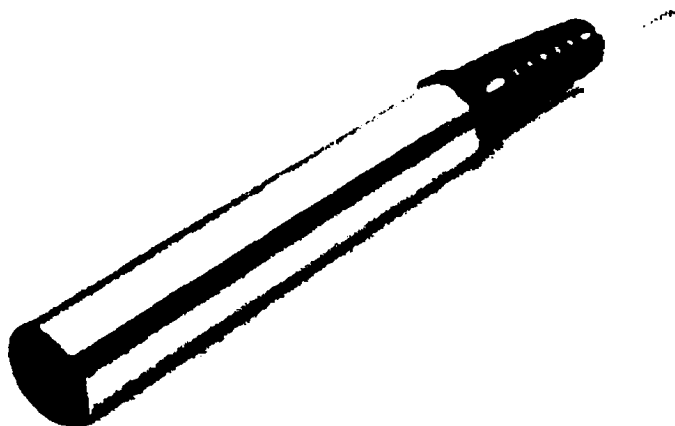
Όλοι οι αισθητήρες ποιότητας των υδάτων που χρησιμοποιήθηκαν παράγουν ένα αναλογικό σήμα εξόδου από 4 έως 20 mA. Το 4-20 mA, αποτελεί βιομηχανικό πρότυπο για τον έλεγχο διαφόρων μονάδων παρακολούθησης. Τα περισσότερα PLCs (Programmable Logic Controllers), RTUs (Remote Telemetry Units), καθώς και τα φορητά συστήματα ανάγνωσης δεδομένων συνήθως έχουν εισόδους 4-20 mA. Αν το σύστημα συλλογής δεδομένων DAQ δέχεται μόνο σήματα υπό τη μορφή τάσης, η έξοδος του αισθητήρα θα πρέπει να μετατραπεί σε ένα σήμα τάσης.

Οι αισθητήρες μπορούν είτε να τίθενται σε λειτουργία περιοδικά είτε να βρίσκονται σε μόνιμη λειτουργία. Αν τίθενται σε λειτουργία περιοδικά θα πρέπει το σύστημα να καθυστερήσει ένα χρονικό διάστημα (warm up time) το οποίο χρειάζονται οι αισθητήρες για να πάρουν σωστές μετρήσεις (updatting). Οι αισθητήρες μπορούν να λειτουργούν συνεχώς για εφαρμογές πραγματικού χρόνου (Real Time sampling).

Οι αισθητήρες μπορούν να βυθιστούν στο σημείο ελέγχου κρεμασμένοι από τα καλώδια τους. Συνιστάται για την προστασία τους να προστατεύονται από τα χτυπήματα.

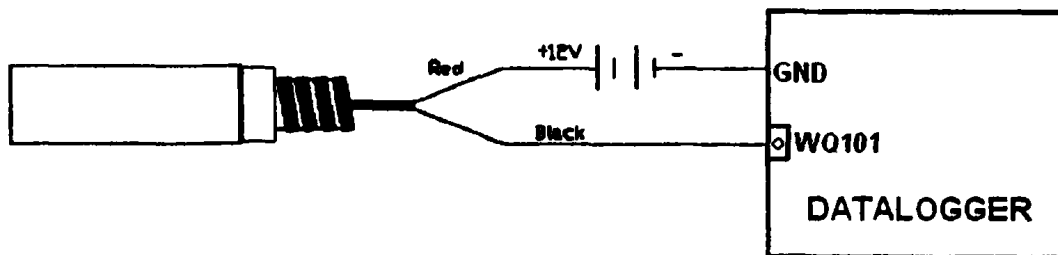
### 2.1.1 – Αισθητήρας θερμοκρασίας WQ101

Ο αισθητήρας WQ101 (εικόνα 2.1) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και οι προδιαγραφές του παρουσιάζονται στο πίνακα 3.1.



Εικόνα 2.1: WQ101

Ο WQ101 είναι αισθητήρας δύο καλωδίων (κόκκινο, μαύρο). Το κόκκινο συνδέεται στην τροφοδοσία και συγκεκριμένα σε αυτή των 12V του τροφοδοτικού που αναπτύχθηκε και παρουσιάζεται στην παράγραφο 3.1.3. Το μαύρο συνδέεται στην αντίστοιχη είσοδο της πλακέτας των διεπαφών αισθητήρα – μικροελεγκτή. Αξίζει να τονιστεί ότι οι συνδέσεις των καλωδίων γίνονται με το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας. Η διασύνδεση φέρεται σχηματικά στην εικόνα 2.2.



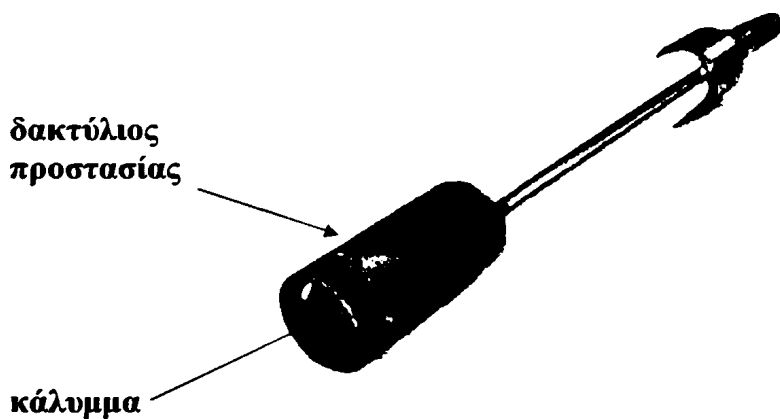
Εικόνα 2.2: Διάγραμμα σύνδεσης του WQ101

**Πίνακας 2.1 : Προδιαγραφές του αισθητήρα WQ101**

▶ Σήμα εξόδου (output):	4 – 20 mA
▶ Εύρος (range):	-50°C έως +50°C
▶ Βαθμονόμηση (calibration):	στα -50°C = 4.02mA και στα +50°C = 19.044mA
▶ Ακρίβεια (accuracy):	±0.1°C
▶ Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση (maximum pressure):	40PSI
▶ Τάση λειτουργίας (operating voltage):	10Vdc έως 36Vdc
▶ Ονομαστικό ρεύμα (Current Draw):	4mA έως 20mA
▶ Χρόνος απόκρισης (warm up time):	5 sec
▶ Θερμοκρασία λειτουργίας (operating temperature):	-50°C έως +100°C
▶ Μέγεθος αισθητήρα (size of probe):	διάμετρος 19mm μήκος 115mm
▶ Βάρος (weight):	0.228kg
▶ Μήκος καλωδίου (cable):	7.5m
▶ Κωδικός προϊόντος (Serial number):	91716

### 2.1.2 – Αισθητήρας pH WQ201

Ο αισθητήρας WQ201 (εικόνα 2.3) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του pH και οι προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα 3.2.



**Εικόνα 2.3: WQ201**

Το μέγεθος του pH έχει άμεση σχέση με την αναλογία των συγκεντρώσεων ιόντων υδρογόνου (H<sup>+</sup>) και των συγκεντρώσεων ιόντων υδροξυλίου (OH<sup>-</sup>). Εάν η H<sup>+</sup> είναι μεγαλύτερη από την OH<sup>-</sup>, το διάλυμα είναι όξινο, η δε τιμή pH κυμαίνεται στην κλίμακα 0 έως 7. Εάν η συγκέντρωση OH<sup>-</sup> είναι μεγαλύτερο από την συγκέντρωση H<sup>+</sup>, το διάλυμα είναι βασικό, με τιμές pH από 7 έως 14. Αν η H<sup>+</sup> και η OH<sup>-</sup> είναι ίσες, το διάλυμα είναι ουδέτερο με τιμή pH = 7.

Το ηλεκτρόδιο του αισθητήρα μπορεί να θεωρηθεί ως μια μπαταρία της οποίας η τάση αλλάζει σε σχέση με το pH του διαλύματος που προστίθεται.

Ο αισθητήρας pH αποτελείται από δύο βασικά μέρη:

1) Τον αισθητήρα, μέσα σε ειδικό βολβώδες γυαλί, ο οποίος είναι ευαίσθητος στα ιόντα υδρογόνου και

2) Το ηλεκτρόδιο αναφοράς το οποίο έχει μια σταθερή τιμή που λειτουργεί ως αναφορά σε σχέση με τις τιμές του αισθητήρα στην κλίμακα.

Το ειδικό βολβώδες γυαλί του αισθητήρα έχει τη δυνατότητα να αφήνει να περνάνε μόνο τα H<sup>+</sup>.

Η τάση που παράγεται από ολόκληρο τον καθετήρα (probe) εκφράζεται από μια γραμμική συνάρτηση σε σχέση με το pH, περίπου 60 mV ανά μονάδα pH. Για παράδειγμα, όταν pH = 7.00 ο καθετήρας παράγει μηδέν Volt, ενώ όταν pH = 6.00 παράγονται 60 mV.

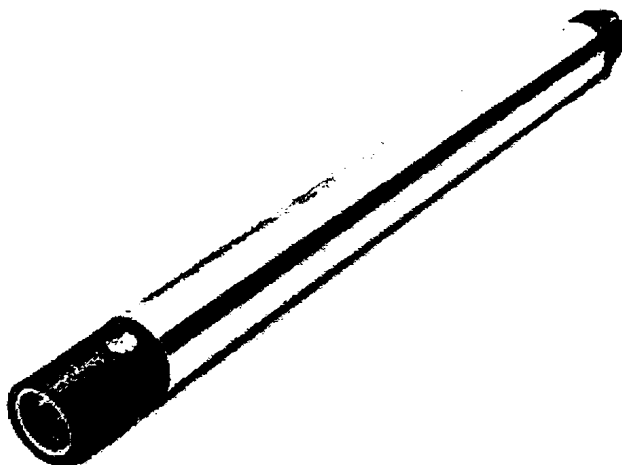
Πίνακας 2.2 : Προδιαγραφές του αισθητήρα WQ201

▶ Σήμα εξόδου (output):	4 – 20 mA
▶ Εύρος (range):	0pH έως 14pH
▶ Βαθμονόμηση (calibration):	στα 0pH = 4.033mA και στα 14pH = 19.176mA
▶ Ακρίβεια (accuracy):	2% της κλίμακας
▶ Μέγιστη επιτρεπόμενη πίεση (maximum pressure):	100PSI
▶ Τάση λειτουργίας (operating voltage):	10Vdc έως 36Vdc
▶ Ονομαστικό ρεύμα (Current Draw):	((4 έως 20) +16.6)mA
▶ Χρόνος απόκρισης (warm up time):	3sec
▶ Θερμοκρασία λειτουργίας (operating temperature):	-5°C έως +55°C
▶ Μέγεθος αισθητήρα (size of probe):	διάμετρος 32mm μήκος 254mm
▶ Βάρος (weight):	0.454kg
▶ Μήκος καλωδίου (cable):	7.5m
▶ Κωδικός προϊόντος (Serial number):	91693

### 2.1.3 – Αισθητήρας αγωγιμότητας WQ301

Ο αισθητήρας WQ301 (εικόνα 2.4) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της αγωγιμότητας του διαλύματος και οι προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον πίνακα 3.3.

Ο αισθητήρας αγωγιμότητας έχει δύο ηλεκτρόδια από ανοξείδωτο χάλυβα. Το εξωτερικό ηλεκτρόδιο είναι ένα δαχτυλίδι και το εσωτερικό ηλεκτρόδιο είναι ένα μία ακίδα. Το ρεύμα που διέρχεται από το υγρό διάλυμα για διαφορά δυναμικού μεταξύ των ηλεκτροδίων 12Vdc.



Εικόνα 2.4: WQ301

Πίνακας 2.3 : Προδιαγραφές του αισθητήρα WQ301

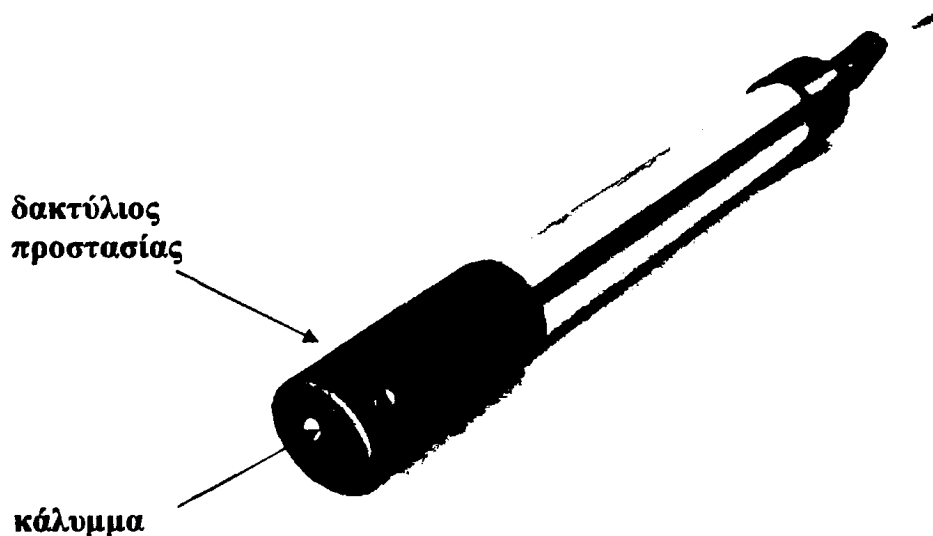
▶ Σήμα εξόδου (output):	4 – 20 mA
▶ Εύρος (range):	0μS έως 10000μS
▶ Βαθμονόμηση (calibration):	στα 0μS = 4.004mA και 10000μS = 19.32mA
▶ Ακρίβεια (accuracy):	1% της κλίμακας
▶ Τύπος ηλεκτροδίου:	Ανοξείδωτο ασάλι
▶ Τάση λειτουργίας (operating voltage):	11.4Vdc έως 12.6Vdc
▶ Ονομαστικό ρεύμα (Current Draw):	((4 έως 20) +6.5)mA
▶ Χρόνος απόκρισης (warm up time):	3 sec
▶ Θερμοκρασία λειτουργίας (operating temperature):	-40°C έως +55°C
▶ Μέγεθος αισθητήρα (size of probe):	διάμετρος 25mm μήκος 305mm
▶ Βάρος (weight):	0.454kg
▶ Μήκος καλωδίου (cable):	7.5m
▶ Κωδικός προϊόντος (Serial number):	91694

Οι αλλαγές της θερμοκρασίας επηρεάζουν την αγωγιμότητα, αλλά το γεγονός αυτό αντισταθμίζεται αυτόματα με τη χρήση ενός εσωτερικού θερμίστορ (thermister). Ως εκ τούτου, ο αισθητήρας θα δώσει την ίδια τιμή είτε στους 15°C είτε στους 25°C.

Κατά τη χρήση του WQ301 σε υγρά διαφορετικών θερμοκρασιών, θα πρέπει να αφήνεται χρόνος στον αισθητήρα, τουλάχιστον 20 λεπτών (warm up time) μεταξύ των μετρήσεων.

#### 2.1.4 – Αισθητήρας περιεκτικότητας οξυγόνου WQ401

Ο αισθητήρας WQ401 (εικόνα 2.5) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της περιεκτικότητας του οξυγόνου ενός διαλύματος και οι προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον πίνακα 3.4.



Εικόνα 2.5: WQ401

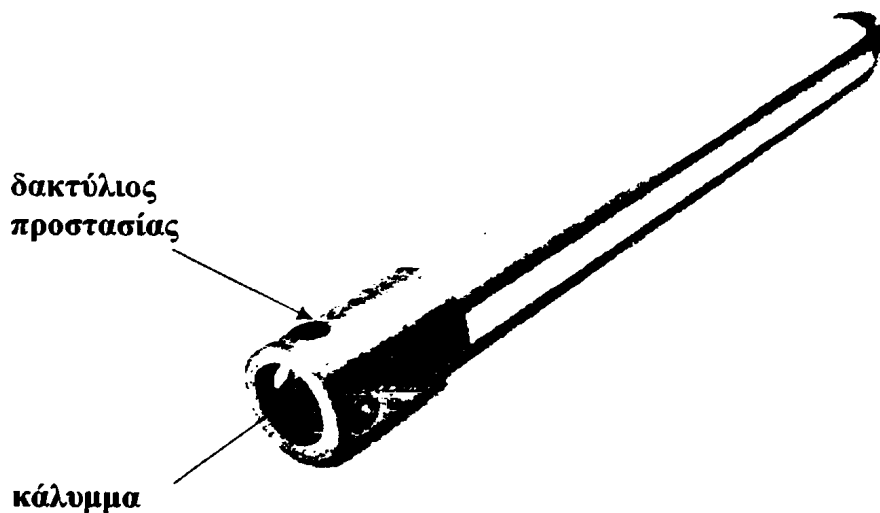
Το διαλυμένο οξυγόνο (Dissolved Oxygen, DO) αναφέρεται στον όγκο που καταλαμβάνει το οξυγόνο στο νερό. Η ποσότητα του οξυγόνου που μπορεί να περιέχεται στο νερό εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την αλατότητα, και τη πίεση του νερού. Η διαλυτότητα αερίου (του οξυγόνου στην περίπτωση μας) αυξάνεται με μείωση της θερμοκρασίας (πιο κρύο νερό σημαίνει περισσότερο οξυγόνο). Επίσης η διαλυτότητα αερίου αυξάνει με τη μείωση της αλατότητας (το γλυκό νερό περιέχει περισσότερο οξυγόνο από ότι αλατόνερο). Τέλος, η διαλυτότητα του αερίου μειώνεται καθώς μειώνεται η πίεση. Έτσι, η ποσότητα του οξυγόνου που απορροφάται στο νερό μειώνεται καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, λόγω της μείωσης της σχετικής πίεσης.

Πίνακας 2.4 : Προδιαγραφές του αισθητήρα WQ401

▶ Σήμα εξόδου (output):	4 – 20 mA
▶ Εύρος (range):	(0% έως 100%) Διαλυμένο οξυγόνο
▶ Βαθμονόμηση (calibration):	Στα 0% = 4.00mA και Στα 100% = 19.247mA
▶ Ακρίβεια (accuracy):	0.5% της κλίμακας
▶ Σφάλμα μέτρησης:	2% της κλίμακας
▶ Τάση λειτουργίας (operating voltage):	10Vdc έως 36Vdc
▶ Ονομαστικό ρεύμα (Current Draw):	((4 έως 20) +11.8)mA
▶ Χρόνος απόκρισης (warm up time):	10sec
▶ Θερμοκρασία λειτουργίας (operating temperature):	-40°C έως +55°C
▶ Μέγεθος αισθητήρα (size of probe):	διάμετρος 32mm μήκος 279mm
▶ Βάρος (weight):	0.454kg
▶ Μήκος καλωδίου (cable):	7.5m
▶ Κωδικός προϊόντος (Serial number):	91692

### 2.1.5 – Αισθητήρας ικανότητας της οξειδοαναγωγής WQ600

Ο αισθητήρας αυτός (εικόνα 2.6) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της ικανότητας του υγρού στο να παράγει οξείδωση ή αναγωγή (Oxydation Reduction Potential /Redox Sensor, ORP/Redox Sensor). Οι προδιαγραφές του παρουσιάζονται στον πίνακα 3.5.



Εικόνα 2.6: WQ600



Εκφράζει το μέτρο της δυνατότητας οξείδωσης που προκαλεί το νερό. Χρησιμοποιείται επίσης ως ένας εναλλακτικός τρόπος για τη μέτρηση της συγκέντρωσης του χλωρίου, δεδομένου ότι νερό με υψηλή περιεκτικότητα σε χλώριο (ισχυρό οξειδωτικό) έχει υψηλό ORP. Η ORP/ Redox μετράται ως η πτώση τάσης ανάμεσα σε ένα σύρμα πλατίνας και ένα ηλεκτρόδιο αναφοράς. Όσο η πτώση τάσης αυξάνεται, το ORP αυξάνει. Στη συνέχεια ο αισθητήρας ενισχύει αυτή την τάση και τη μετατρέπει σε σήμα εξόδου ρεύματος στο πρότυπο 4-20 mA.

**Πίνακας 2.5 : Προδιαγραφές του αισθητήρα WQ600**

▶ Σήμα εξόδου (output):	4 – 20 mA
▶ Εύρος (range):	-500mV έως 500mV Διαλυμένο οξυγόνο
▶ Βαθμονόμηση (calibration):	Στα -500mV = 3.991mA και στα 500mV = 19.005mA
▶ Ακρίβεια (accuracy):	2% της κλίμακας
▶ Τάση λειτουργίας (operating voltage):	10Vdc έως 36Vdc
▶ Ονομαστικό ρεύμα (Current Draw):	((4 έως 20) +13.5)mA
▶ Χρόνος απόκρισης (warm up time):	3sec
▶ Θερμοκρασία λειτουργίας (operating temperature):	0°C έως +55°C
▶ Μέγεθος αισθητήρα (size of probe):	διάμετρος 25mm μήκος 267mm
▶ Βάρος (weight):	0.454kg
▶ Μήκος καλωδίου (cable):	7.5m
▶ Κωδικός προϊόντος (Serial number):	91717

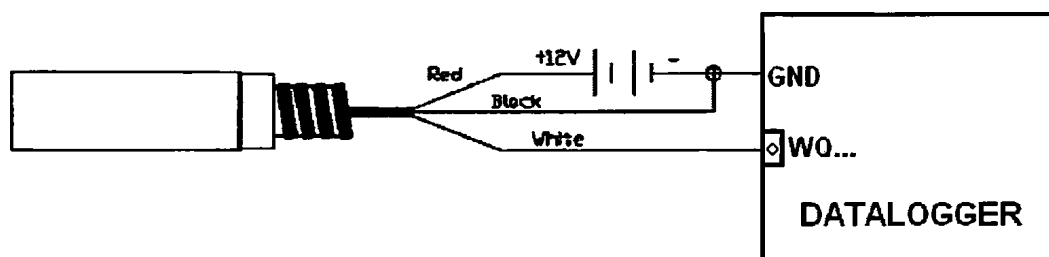
### 2.1.6 – Τεχνικές πληροφορίες αισθητήρων

Οι WQ201, WQ301, WQ401 και WQ600 είναι αισθητήρες τριών καλωδίων (κόκκινο, άσπρο, μαύρο). Το κόκκινο καλώδιο συνδέεται στην τροφοδοσία των 12V. Το άσπρο συνδέεται στην αντίστοιχη είσοδο (κλέμες WQ201, WQ301, WQ401, WQ600,) της πλακέτας. Το μαύρο συνδέεται στη γείωση. **Πάντα συνδέουμε τα καλώδια με το τροφοδοτικό εκτός λειτουργίας.** Η σύνδεση παρουσιάζεται στην εικόνα 2.7.

Οι αισθητήρες WQ201, WQ401 και WQ600 καλύπτονται με ένα δακτύλιο προστασίας, για την αποφυγή τυχόν καταστροφής του. Στο εσωτερικό του υπάρχει και ένα κάλυμμα (εικόνες 2.3, 2.5, 2.6). Κατά την εγκατάσταση αφαιρείται το κάλυμμα και



επανατοποθετείται μόνο ο εξωτερικός δακτύλιος προστασίας. Το κάλυμμα που περιέχει υλικό (σφουγγάρι) που κατακρατά νερό αποθηκεύεται για μελλοντική χρήση.

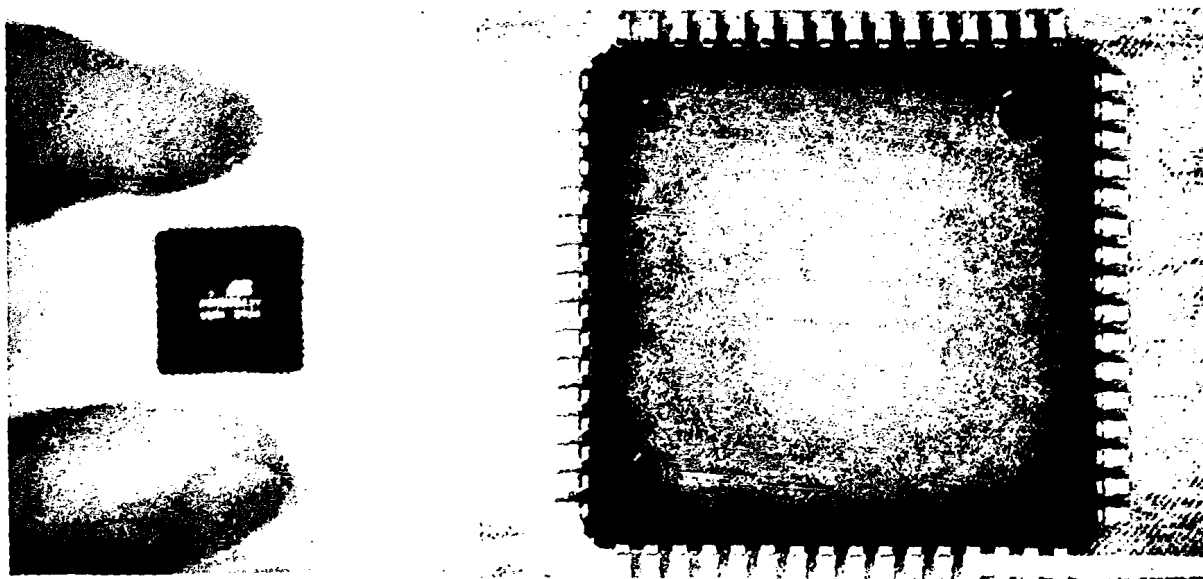


Εικόνα 2.7: Διάγραμμα σύνδεσης των WQ201, WQ301, WQ401, WQ600

Οι αισθητήρας αυτοί πρέπει να αποθηκεύεται σε μέρος όπου θα παραμένει υγρό διαφορετικά θα καταστραφούν. Αποθηκεύονται είτε σε δοχείο με καθαρό νερό είτε μέσα στο προστατευτικό τους κάλυμμα του τοποθετείται ένα βρεγμένο σφουγγάρι.

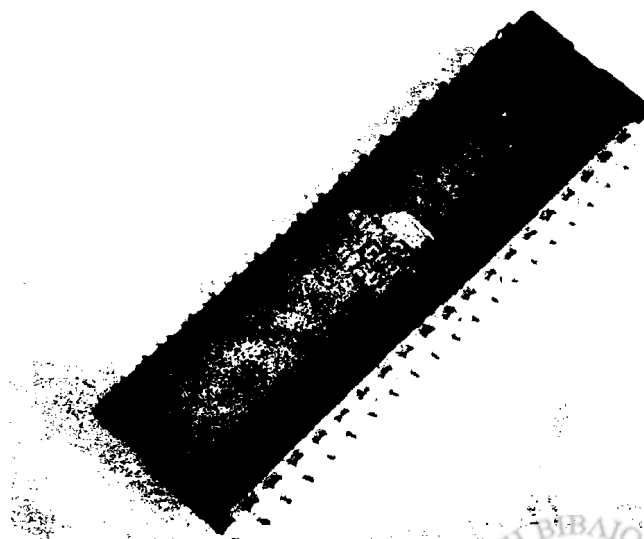
## 2.2 – Ο μικροελεγκτής AVR ATmega128

Στην κατασκευή του αναγνώστη δεδομένων χρησιμοποιήθηκε ο μικροελεγκτής AVR της ATMEL, και ειδικότερα ο ATmega128, λόγω των πολλών δυνατοτήτων του αλλά και της σχετικά χαμηλής τιμής του.



Εικόνα 2.9: ATmega128 της ATMEL σε περίβλημα SMD-64

Στην εικόνα 2.9 παρουσιάζεται ο μικροελεγκτής ATmega128 ο οποίος προσφέρεται σε μικρή διάσταση μόλις  $256 \text{ mm}^2$  γι' αυτό και το περίβλημα του (package) είναι τεχνολογίας surface-mount devices (SMD) και όχι dual in-line package (DIP). Το SMD αυτό πλεονεκτεί σε σχέση με το DIP διότι μικραίνει αισθητά τον χώρο που καταλαμβάνουν άλλοι μικρότερων δυνατοτήτων μικροελεγκτές, όπως ο Atmega16 (εικόνα 2.10) διάστασης  $832 \text{ mm}^2$ . Έτσι δίνεται η δυνατότητα να μειώνεται η διάσταση της πλακέτας που τοποθετείται ο ATmega128. Υπάρχει όμως και ένα μειονέκτημα. Οι DIP συσκευές αντικαθίστανται εύκολα διότι έχουν τη δυνατότητα να εφαρμόζονται πάνω σε μία σταθερή βάση, ενώ οι SMD θα πρέπει να αποκολλούνται από την πλακέτα, πράγμα το οποίο τη θέτει σε κίνδυνο καταστροφής και θέλει ιδιαίτερη προσοχή.



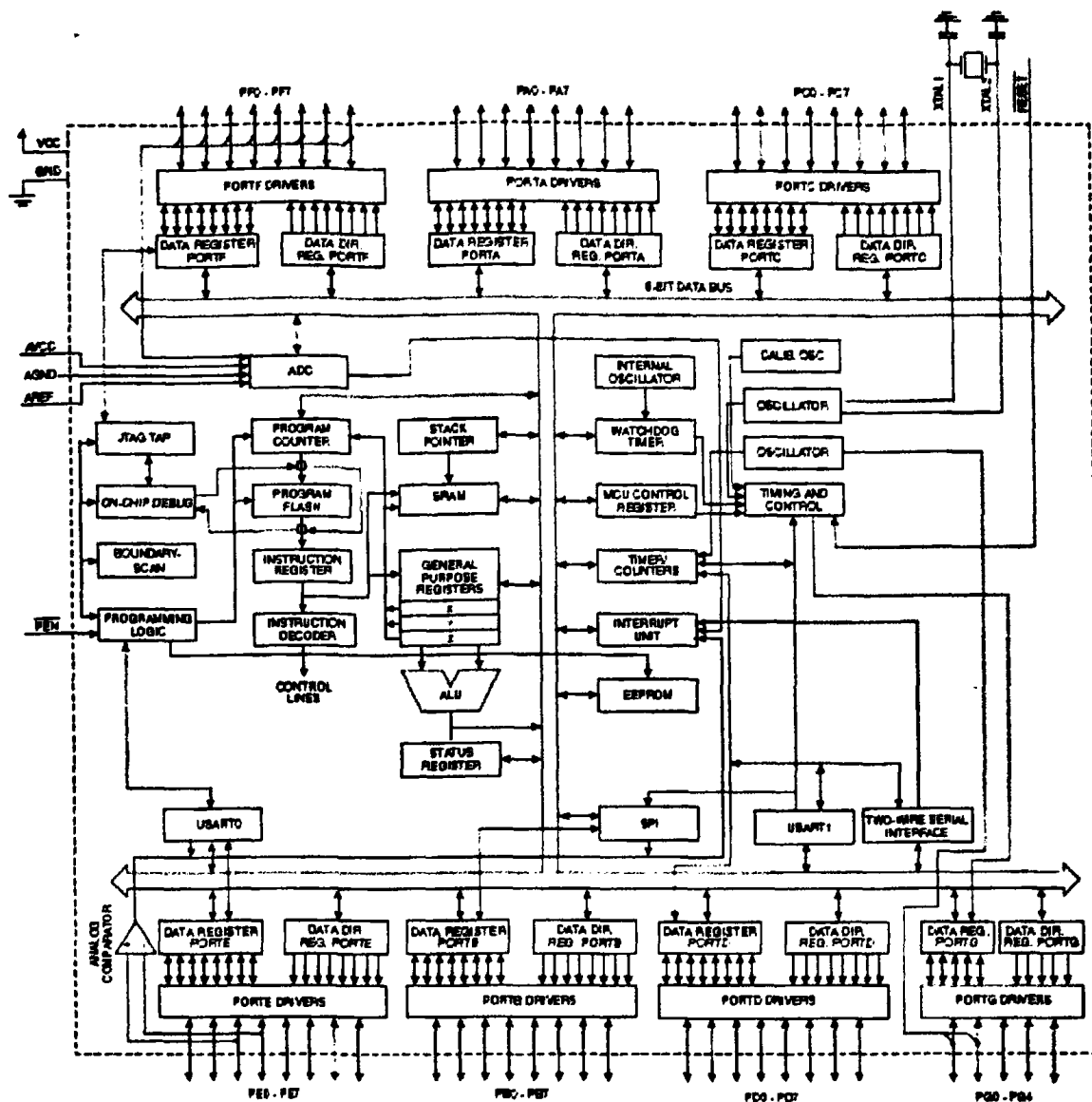
Εικόνα 2.10: ATmega16 σε DIP-40 περίβλημα

## 2.2.1 – Χαρακτηριστικά

Ειδικότερα τα χαρακτηριστικά που προσφέρει ο ATmega128 και τον κάνουν ιδιαίτερα ελκυστικό για τον σχεδιασμό ενός embedded συστήματος, σαν αυτό που κατασκευάστηκε, είναι τα παρακάτω [14]:

- ✓ Μεγάλη απόδοση, μικρή κατανάλωση
- ✓ Αναβαθμισμένη αρχιτεκτονική RISC
  - 133 ισχυρές εντολές – οι περισσότερες απαιτούν μόνο ένα κύκλο ρολογιού για την εκτέλεσή τους
  - 32 καταχωρητές των 8-bits γενικής χρήσης
  - Μέχρι 16 MIPS στα 16MHz
  - On chip πολλαπλασιαστής 2 κύκλων
- ✓ Σταθερή (non volatile) μνήμη προγράμματος και δεδομένων
  - 128 KB Αυτοπρογραμματιζόμενη μνήμη flash
  - 4 KB μνήμη EEPROM
  - 4 KB εσωτερική SRAM
- ✓ Διεπαφή JTAG για εύκολο προγραμματισμό και debugging
- ✓ Πλήθος περιφερειακών
  - 2 timers των 8-bits με ξεχωριστά ρολόγια
  - 2 timer των 16-bits με ξεχωριστό ρολόι
  - Μετρητής αληθινού χρόνου με εξωτερικό κρύσταλλο
  - 6 κανάλια PWM
  - 8 κανάλια ADC των 10-bit
  - TWI
  - Master/Slave λειτουργία SPI
  - Σειριακή θύρα με δυνατότητες σύγχρονης και ασύγχρονης λειτουργίας
  - Watchdog timer με ξεχωριστό κρύσταλλο
  - Αναλογικό συγκριτή on-chip
- ✓ Ειδικά χαρακτηριστικά
  - Reset αυτόματα με την τροφοδότηση
  - Εσωτερικό ρολόι
  - Εσωτερικές και εξωτερικές διακοπές (interrupts)
  - 6 sleep modes για εξοικονόμηση ενέργειας
- ✓ Ταχύτητα έως 16MHz
- ✓ Μικρή κατανάλωση

Στην εικόνα 2.11 παρουσιάζεται το γενικό διάγραμμα του μικροελεγκτή. Φαίνονται οι λειτουργικές βαθμίδες του, όπως η CPU με τους καταχωρητές γενικής χρήσης (general purpose registers), οι μνήμες του (Flash Memory, SRAM), οι πόρτες εισόδου / εξόδου (PORTs) και άλλα.



Εικόνα 2.11: Γενικό διάγραμμα του ATmega128 (RISC)

### 2.2.2 – Γενική περιγραφή

Ο ATmega128 είναι ένας χαμηλής κατανάλωσης επεξεργαστής CMOS των 8-bits βασισμένος στην ενισχυμένη αρχιτεκτονική RISC των επεξεργαστών AVR. Εκτελώντας τις δυναμικές του εντολές σε ένα κύκλο μηχανής επιτρέπει στον σχεδιαστή να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση σε σχέση με την επεξεργαστική ισχύ.

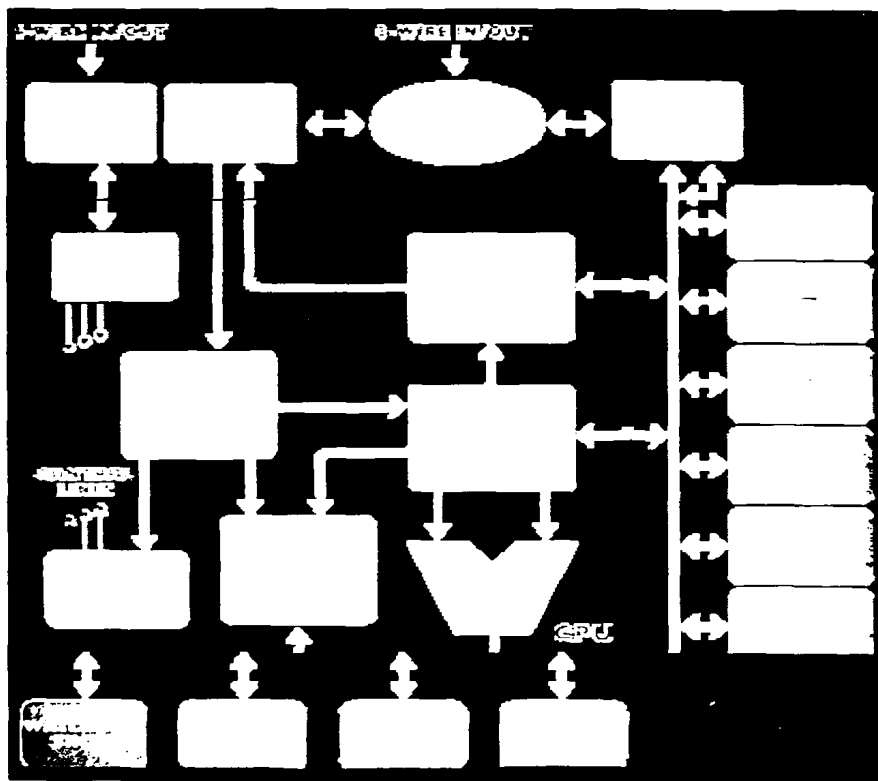
Ο σχεδιασμός του ATmega128 προβλέπει ένα πλούσιο σύνολο εντολών συνδεδεμένο με 32 καταχωρητές γενικής χρήσης. Όλοι οι καταχωρητές συνδέονται άμεσα με την αριθμητική λογική μονάδα (ALU) επιτρέποντας τις εντολές, μεταξύ των καταχωρητών, να εκτελεστούν σε ένα κύκλο μηχανής πετυχαίνοντας έτσι μέχρι και δέκα



φορές μεγαλύτερο διεκπεραιωτικότητα (throughput, bits per second) από τις αρχιτεκτονικές CISC. Επιπλέον ο ATmega128 έχει ένα πλήθος περιφερειακών έτσι ώστε να έχει την δυνατότητα να ελέγξει ένα ολόκληρο σύστημα με τα περιφερειακά του.

### 2.2.3 – Γενική περιγραφή αρχιτεκτονικής

Με σκοπό να μεγιστοποιήσει την απόδοση και τον παραλληλισμό στην εκτέλεση των εντολών ο AVR χρησιμοποιεί μία ειδικά σχεδιασμένη παραλλαγή της αρχιτεκτονικής Harvard – με ξεχωριστή μνήμη και buses για το πρόγραμμα και τα δεδομένα. Παρακάτω φαίνεται μια εικόνα της χρησιμοποιούμενης από τον αρχιτεκτονικής AVR.



Εικόνα 2.12: Αρχιτεκτονική του AVR

Ο AVR χρησιμοποιεί τεχνική διοχέτευσης (pipeline) μιας φάσης. Ενώ μία εντολή εκτελείται η επόμενη ανακαλείται από τη μνήμη του προγράμματος. Αυτό οδηγεί στην εκτέλεση των εντολών σε ένα κύκλο μηχανής (οι περισσότερες από αυτές). Η μνήμη του προγράμματος είναι εσωτερική επαναπρογραμματιζόμενη τύπου Flash (In-System Reprogrammable Flash).

Ο φάκελος των καταχωρητών περιέχει 32x8 bit καταχωρητές γενικής χρήσης με χρόνο πρόσβασης ένα κύκλο ρολογιού. Οι καταχωρητές είναι άμεσα συνδεδεμένοι με την αριθμητική λογική μονάδα επιτρέποντας την λειτουργία της ALU σε μία μονάδα χρόνου (ένα κύκλο ρολογιού).

Έξι από τους 32 καταχωρητές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν 3x16-bit έμμεσοι καταχωρητές - δείκτες της μνήμης δεδομένων, επιτρέποντας έτσι αποδοτική προσπέλαση διευθύνσεων μνήμης. Ένας από αυτούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν δείκτης σε πίνακες αναζήτησης (look-up tables) στη μνήμη του προγράμματος. Οι τρεις καταχωρητές των 16-bits σχηματίζονται ως X, Y και Z-register.

Η αριθμητική λογική μονάδα επιτρέπει αριθμητικές και λογικές πράξεις μεταξύ δύο καταχωρητών ή μεταξύ ενός καταχωρητή και μίας σταθεράς ή ενός καταχωρητή. Έπειτα από μία εκτέλεση λειτουργίας από την αριθμητική λογική μονάδα ο καταχωρητής κατάστασης (status register) ανανεώνεται για να απεικονίσει τα αποτελέσματα της λειτουργίας.

Η ροή του προγράμματος διευκολύνεται από εντολές άλματος (Jump) και κλήσης (Call) με ή χωρίς προϋποθέσεις, που μπορούν άμεσα να μεταφέρουν την εκτέλεση του προγράμματος σε οποιοδήποτε σημείο της μνήμης προγράμματος. Οι περισσότερες εντολές του AVR καταλαμβάνουν χώρο 16-bit. Υπάρχουν όμως μερικές που απαιτούν 32bit.

Η μνήμη προγράμματος είναι χωρισμένη σε δύο μέρη: τη μνήμη εκκίνησης και τη μνήμη για τις εφαρμογές. Όλες οι μνήμες στον AVR είναι γραμμικές.

Κατά την διάρκεια διακοπών και υποπρογραμμάτων η διεύθυνση επιστροφής αποθηκεύεται στην στοίβα (stack memory). Η στοίβα βρίσκεται στην SRAM και συνεπώς το μέγεθός της εξαρτάται μόνο από τη μνήμη SRAM που διαθέτει ο κάθε επεξεργαστής και την χρήση της. Ο δείκτης της στοίβας αρχικοποιείται με την έναρξη του προγράμματος. Ο δείκτης της στοίβας είναι γενικά προσβάσιμος στην περιοχή I/O του μικροελεγκτή. Η μνήμη SRAM είναι προσβάσιμη μέσω πέντε τρόπων διεθυνσιοδότησης.

Ακόμα αξιοσημείωτα στην αρχιτεκτονική του AVR είναι το ευέλικτο σύστημα για την διαχείριση των διακοπών και οι 64 διευθύνσεις για περιφερειακές συσκευές.

## **2.2.4 – Δομή της μονάδας επεξεργασίας του AVR**

Παρακάτω αναλύεται η κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) του μικροελεγκτή.

### **2.2.4.1 – Αριθμητική Λογική Μονάδα (ALU)**

Η υψηλής απόδοσης ALU λειτουργεί σε απευθείας σύνδεση με τους 32 γενικής χρήσης καταχωρητές. Μέσα σ' ένα κύκλο ρολογιού εκτελούνται οι αριθμητικές πράξεις μεταξύ δύο καταχωρητών ή μεταξύ ενός καταχωρητή και ενός ορίσματος από τη μνήμη. Οι λειτουργίες της ALU διακρίνονται σε αριθμητικές, λογικές και λειτουργίες σε επίπεδο bit. Ακόμα υποστηρίζεται δυναμική χρήση πολλαπλασιασμού τόσο σε αριθμούς χωρίς πρόσημο όσο και σε προσημασμένους αριθμούς.



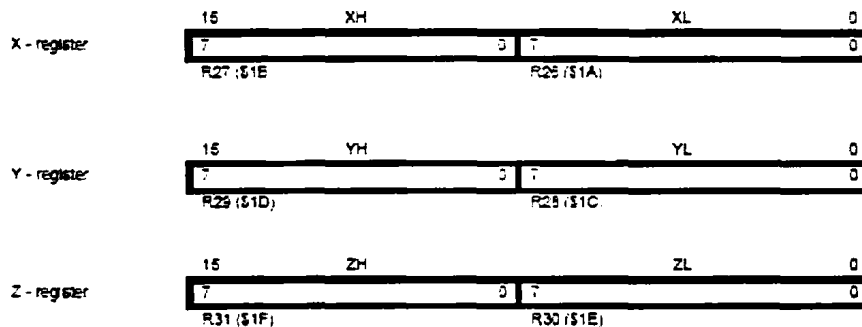
### 2.2.4.2 – Οι καταχωρητές γενικής χρήσης του AVR

Οι καταχωρητές του AVR (εικόνες 2.13 και 2.14) είναι κατασκευασμένοι έτσι ώστε να υποστηρίζουν το ρεπερτόριο των εντολών RISC. Έτσι υποστηρίζονται οι εξής λειτουργίες από τους καταχωρητές:

1. Μία έξοδο 8-bit και μία είσοδο 8-bit
2. Δύο έξοδοι 8-bit και δύο είσοδοι 8-bit
3. Δύο έξοδοι 8-bit και μία είσοδο 16-bit
4. Μία έξοδο 16-bit και μία είσοδο 16-bit

	7	0	Addr.	
General Purpose Working Registers	R0		\$00	
	R1		\$01	
	R2		\$02	
	...			
	R13		\$0D	
	R14		\$0E	
	R15		\$0F	
	R16		\$10	
	R17		\$11	
	...			
	R26		\$1A	X-register Low Byte
	R27		\$1B	X-register High Byte
	R28		\$1C	Y-register Low Byte
	R29		\$1D	Y-register High Byte
	R30		\$1E	Z-register Low Byte
	R31		\$1F	Z-register High Byte

Εικόνα 2.13: Καταχωρητές γενικής χρήσης του AVR



Εικόνα 2.14: Οι διπλοί καταχωρητές X, Y, Z του AVR

### 2.2.4.3 – Ο δείκτης στοίβας του AVR

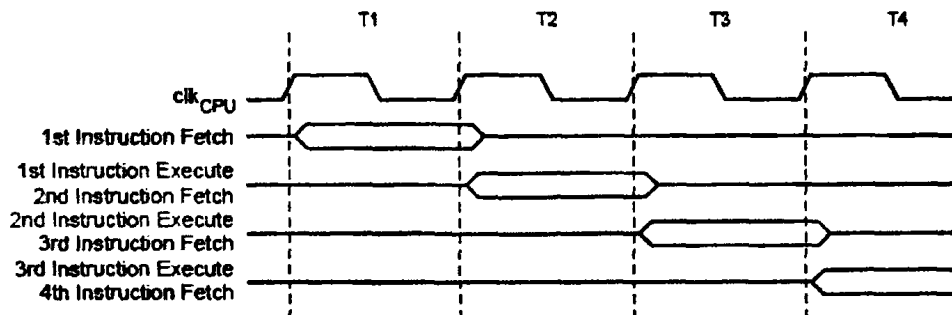
Η στοίβα χρησιμοποιείται κυρίως για την αποθήκευση των προσωρινών στοιχείων, για την αποθήκευση των τοπικών μεταβλητών και για την



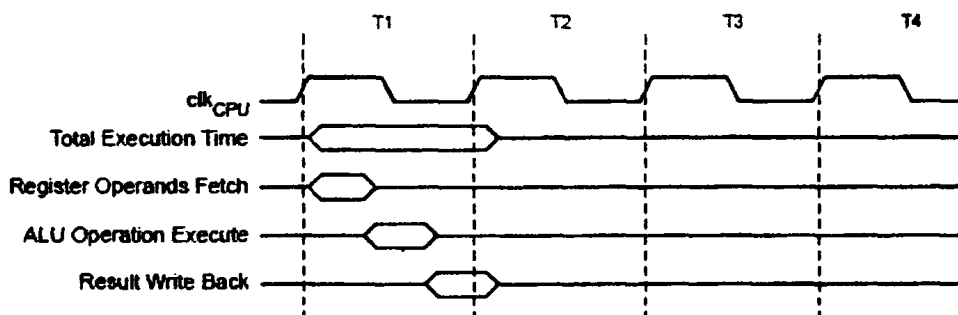
αποθήκευση των διευθύνσεων επιστροφής μετά από διακοπές και κλήσεις υπορουτινών. Ο καταχωρητής - δείκτης στοίβας (Stack Pointer, SP) δείχνει πάντα την κορυφή της στοίβας. Η στοίβα εφαρμόζεται αυξανόμενη από τις υψηλότερες θέσεις μνήμης στις χαμηλότερες. Δηλαδή, μια εντολή push μειώνει το δείκτη στοίβας.

#### 2.2.4.4 – Χρόνοι εκτέλεσης εντολών

Η αρχιτεκτονική Harvard που διαθέτει ο AVR οδηγεί σε ένα μεγάλο παραλληλισμό εκτέλεσης εντολών κάτι που τον κάνει να φθάνει σχεδόν σε απόδοση το 1 MIPS ανά MHz ρολογιού. Στα παρακάτω διαγράμματα 2.15, 2.16 φαίνεται η εκτέλεση συνεχόμενων εντολών από την ALU καθώς και τα στάδια εκτέλεσης μίας εντολής.



Διάγραμμα 2.15: Χρονική αλληλουχία εκτέλεσης εντολών από την ALU



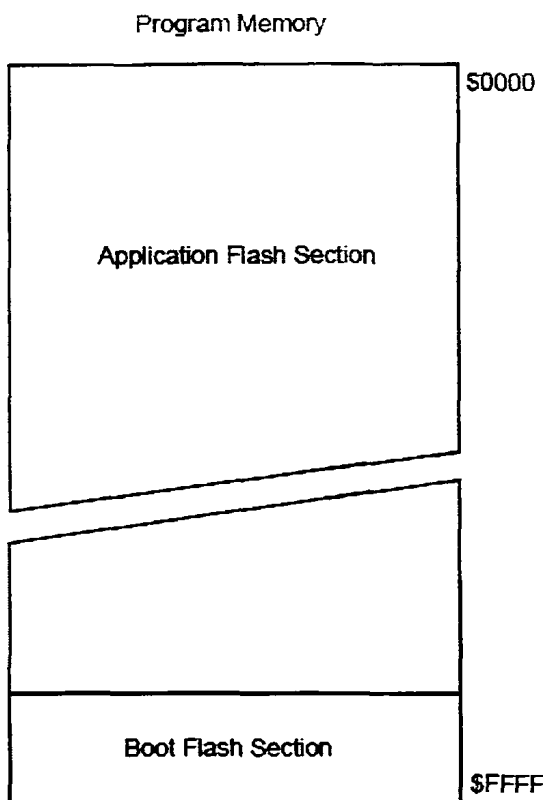
Διάγραμμα 2.16: Στάδια εκτέλεσης εντολής από την ALU

#### 2.2.5 – Μνήμες του AVR

Όπως αναφέρθηκε τα τμήματα μνήμης του AVR είναι βασισμένα στο μοντέλο αρχιτεκτονικής Harvard. Σε αυτό τα σημαντικά τμήματα της μνήμης είναι διαχωρισμένα για να επιτυγχάνεται ταχύτερη πρόσβαση και αυξημένη χωρητικότητα. Η CPU έχει ξεχωριστό interface πρόσβασης στην μνήμη προγράμματος FLASH, την μνήμη δεδομένων και στην EEPROM.

### 2.2.5.1 – Η μνήμη προγράμματος FLASH

Η μνήμη προγράμματος FLASH μπορεί να προγραμματιστεί εξωτερικά και είναι ένα τμήμα το οποίο αρχίζει από την διεύθυνση \$0000 και το μέγεθος του εξαρτάται από το μοντέλο του AVR. (Ειδικότερα το όνομα του AVR προδίδει το μέγεθος της μνήμης. Ο ATmega128, παραδείγματος χάριν, που χρησιμοποιήθηκε έχει μνήμη FLASH 128 KB και ο ATmega16 έχει 16 KB FLASH). Η μνήμη FLASH είναι σταθερή (non-volatile, δηλαδή διατηρεί τα δεδομένα της μετά την απομάκρυνση της τροφοδοσίας) και έχει διάρκεια ζωής 10.000 κύκλους εγγραφής - διαγραφής. Χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του κώδικα του προγράμματος και των σταθερών. Το κάθε κύτταρο της μνήμης είναι 18 bits. Στην εικόνα 2.17 Δίπλα φαίνεται η μνήμη FLASH.



εικόνα 2.17: Μνήμη FLASH

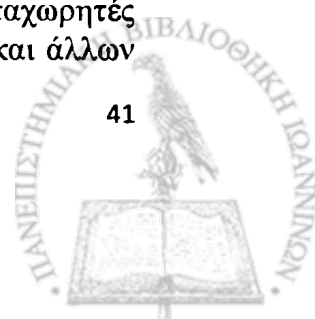
### 2.2.5.2 – Η στατική μνήμη δεδομένων SRAM

Ο ATmega128 υποστηρίζει δύο διαφορετικούς τρόπους διαμόρφωσης της μνήμης SRAM (Πίνακας 2.1).

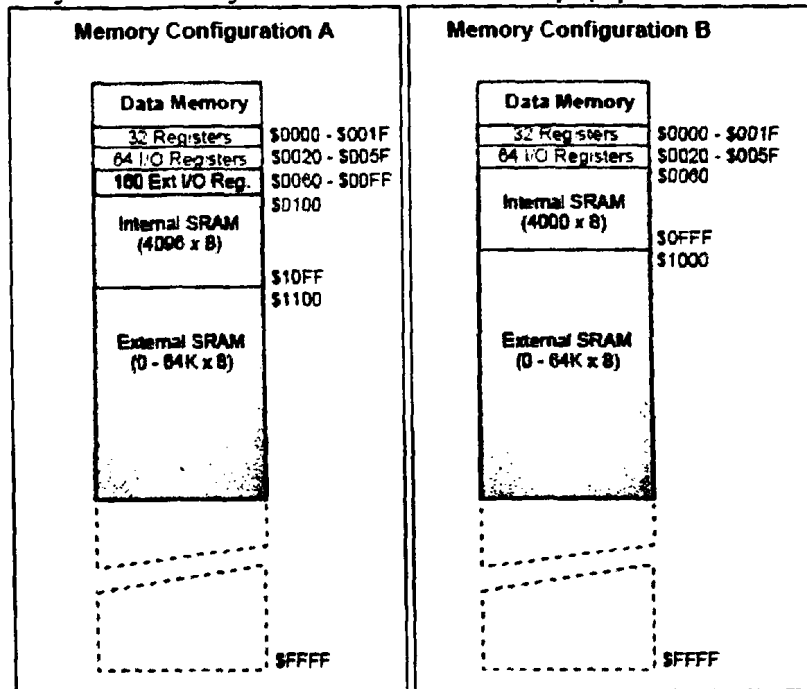
Πίνακας 2.1: Μνήμη SRAM

Configuration	Internal SRAM Data Memory	External SRAM Data Memory
Normal mode	4096	up to 64K
Atmega103 Compatibility mode	4000	up to 64K

Η μνήμη δεδομένων του AVR περιέχει τρεις περιοχές μνήμης ανάγνωσης - εγγραφής (εικόνα 2.18). Το χαμηλότερο σε διεύθυνση τμήμα της μνήμης περιέχει τους 32 γενικής χρήσης καταχωρητές ακολουθούμενο από τους 64 καταχωρητές εισόδου / εξόδου (ο αριθμός τους εξαρτάται από το μοντέλο του επεξεργαστή) και την εσωτερική SRAM. Οι γενικής χρήσης καταχωρητές χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση γενικών μεταβλητών καθώς και άλλων

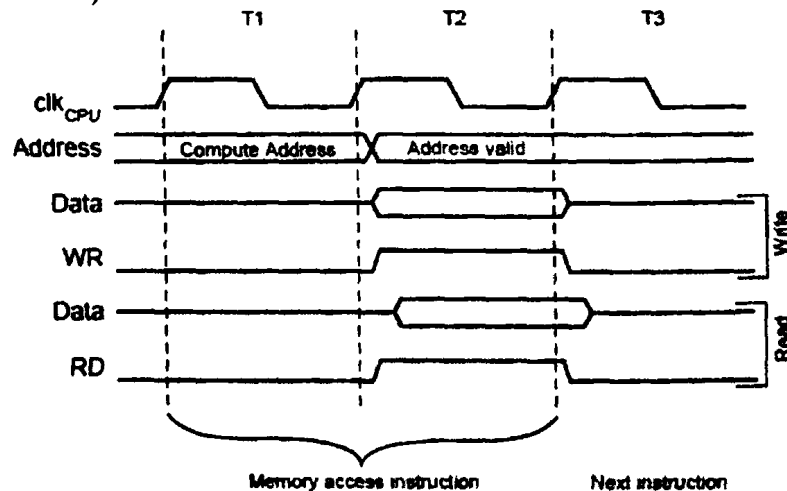


προσωρινών δεδομένων κατά την εκτέλεση του προγράμματος. Οι 64 καταχωρητές εισόδου / εξόδου χρησιμοποιούνται για την επικοινωνία με τις συσκευές εισόδου / εξόδου και των άλλων περιφερειακών.



Εικόνα 2.18: Μνήμη SRAM

Η μνήμη SRAM (το υπόλοιπο τμήμα) χρησιμοποιείται για την αποθήκευση μεταβλητών για τις οποίες δεν αρκούν καταχωρητές και για τη δημιουργία της στοίβας. Αυτό το τμήμα δεν έχει ειδικές διαιρέσεις. Τα δεδομένα συνήθως αποθηκεύονται αρχίζοντας από την πρώτη διεύθυνση της μνήμης ενώ η στοίβα αρχίζει στο υψηλότερο τμήμα της μνήμης. Ο ATmega128 έχει 4096 bytes SRAM. Παρακάτω φαίνεται ο χρονοσκόπος προσπέλασης της μνήμης SRAM (εικόνα 2.19).



Εικόνα 2.19: Χρονοσκόπος προσπέλασης της SRAM



### 2.2.5.3 - Η μνήμη EEPROM

Η μνήμη EEPROM χρησιμοποιείται για την εγγραφή - ανάγνωση δεδομένων τα οποία πρέπει να διατηρούνται έστω και εάν αποκόπτεται η τροφοδοσία. Συνήθως αρχίζει από την διεύθυνση 0x000 και φτάνει μέχρι τη μέγιστη διεύθυνση της μνήμης EEPROM του μικροελεγκτή (στην περίπτωση του ATmega128, 4096). Επειδή έχει αργό χρόνο προσπέλασης και περιορισμένο μέγιστο αριθμό κύκλων εγγραφής - ανάγνωσης χρησιμοποιείται κυρίως για αποθήκευση μεταβλητών των οποίων πρέπει να διατηρηθούν οι τιμές του σε μία διακοπή της τροφοδοσίας.

### 2.2.6 – Διακοπές (interrupts) του AVR – Reset

Οι διακοπές είναι ουσιαστικά άμεσες κλήσεις συναρτήσεων από το υλικό (Hardware). Όπως προδίδει και το όνομα τους οι διακοπές διακόπτουν την ροή του κυρίου προγράμματος και συνεχίζοντας την εκτέλεση του από την πρώτη εντολή του υποπρογράμματος εξυπηρέτησης της διακοπής. Οι διακοπές είναι χρήσιμες για αυτές τις περιπτώσεις που ο επεξεργαστής πρέπει να ανταποκριθεί αμέσως σε ένα γεγονός ή σε περιπτώσεις που απαιτείται να περιμένει ένα αργό γεγονός αφήνοντας την διακοπή να τον ειδοποιήσει.

Ο AVR παρέχει μια πληθώρα διακοπών (interrupts) που φαίνονται στον πίνακα 2.2. Μαζί με το ξεχωριστό διάνυσμα διακοπής Reset έχουν ένα ξεχωριστό διάνυσμα στην μνήμη προγράμματος. Όλες οι διακοπές έχουν ξεχωριστά bits ενεργοποίησης τα οποία για να ενεργοποιηθούν μία διακοπή πρέπει να γραφούν με λογικό «1» και ταυτόχρονα να είναι ενεργοποιημένες οι διακοπές στον καταχωρητή κατάστασης (Status).

Στο χαμηλότερο κομμάτι της μνήμης προγράμματος έχει από κατασκευής (by default) έχει ανατεθεί ο χώρος στον οποίο βρίσκονται τα διανύσματα των διακοπών. Η σειρά αυτή καθορίζει και την προτεραιότητα των διακοπών. Όσο πιο μικρή είναι η διεύθυνση της διακοπής τόσο πιο μεγάλη είναι η προτεραιότητά της. Την μεγαλύτερη προτεραιότητα έχει η διακοπή Reset και αμέσως επόμενη είναι η εξωτερική διακοπή Int0. Αυτό δεν σημαίνει ότι μία διακοπή μπορεί να σταματήσει το υποπρόγραμμα ρουτίνα εξυπηρέτησης μίας διακοπής με μικρότερη προτεραιότητα (καθώς όταν συμβαίνει μία διακοπή απενεργοποιούνται οι διακοπές) αλλά εάν ταυτόχρονα περιμένουν να γίνουν δύο διακοπές πρώτη θα εκτελεστεί η διακοπή με την μεγαλύτερη προτεραιότητα.

Υπάρχουν δύο είδη διακοπών:

- ο Το πρώτο είδος συμβαίνει από γεγονότα που θέτουν τη σημαία της διακοπής (interrupt flag). Τότε ο επεξεργαστής πηγαίνει στην διεύθυνση που δείχνει το διάνυσμα διακοπής για να εκτελέσει την ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής. Έπειτα επιστρέφει στην εκτέλεση του κυρίως προγράμματος και καθαρίζει τη σημαία της διακοπής.
- ο Το δεύτερο είδος προέρχεται από γεγονότα τα οποία προκαλούν διακοπές όσο είναι ενεργά και δεν έχουν απαραίτητα σημαίες διακοπής.

**Πίνακας 2.2: Διανύσματα διακοπών και Reset**

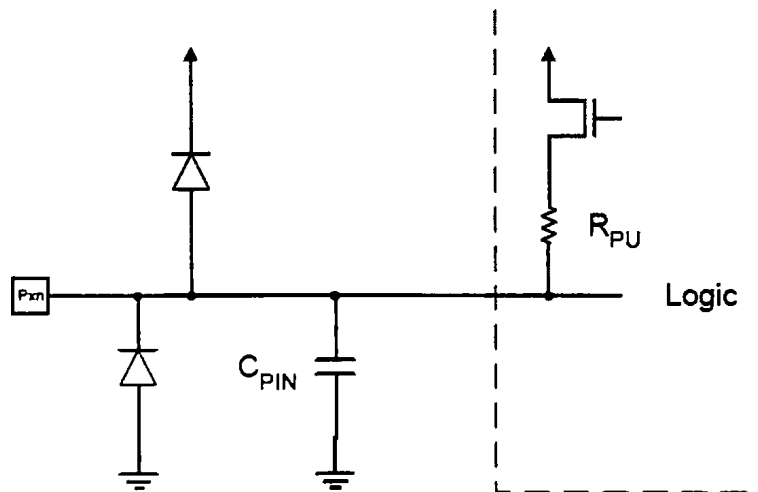
Vector No.	Program Address <sup>(2)</sup>	Source	Interrupt Definition
1	\$0000 <sup>(1)</sup>	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, Watchdog Reset, and JTAG AVR Reset
2	\$0002	INT0	External Interrupt Request 0
3	\$0004	INT1	External Interrupt Request 1
4	\$0006	INT2	External Interrupt Request 2
5	\$0008	INT3	External Interrupt Request 3
6	\$000A	INT4	External Interrupt Request 4
7	\$000C	INT5	External Interrupt Request 5
8	\$000E	INT6	External Interrupt Request 6
9	\$0010	INT7	External Interrupt Request 7
10	\$0012	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
11	\$0014	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
12	\$0016	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
13	\$0018	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
14	\$001A	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
15	\$001C	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
16	\$001E	TIMER0 COMP	Timer/Counter0 Compare Match
17	\$0020	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
18	\$0022	SPI, STC	SPI Serial Transfer Complete
19	\$0024	USART0, RX	USART0, Rx Complete
20	\$0026	USART0, UDRE	USART0 Data Register Empty
21	\$0028	USART0, TX	USART0, Tx Complete
22	\$002A	ADC	ADC Conversion Complete
23	\$002C	EE READY	EEPROM Ready
24	\$002E	ANALOG COMP	Analog Comparator
25	\$0030 <sup>(3)</sup>	TIMER1 COMPC	Timer/Counter1 Compare Match C
26	\$0032 <sup>(3)</sup>	TIMER3 CAPT	Timer/Counter3 Capture Event
27	\$0034 <sup>(3)</sup>	TIMER3 COMPA	Timer/Counter3 Compare Match A
28	\$0036 <sup>(3)</sup>	TIMER3 COMPB	Timer/Counter3 Compare Match B
29	\$0038 <sup>(3)</sup>	TIMER3 COMPC	Timer/Counter3 Compare Match C
30	\$003A <sup>(3)</sup>	TIMER3 OVF	Timer/Counter3 Overflow
31	\$003C <sup>(3)</sup>	USART1, RX	USART1, Rx Complete
32	\$003E <sup>(3)</sup>	USART1, UDRE	USART1 Data Register Empty
33	\$0040 <sup>(3)</sup>	USART1, TX	USART1, Tx Complete
34	\$0042 <sup>(3)</sup>	TWI	Two-wire Serial Interface
35	\$0044 <sup>(3)</sup>	SPM READY	Store Program Memory Ready



Ο χρόνος ανταπόκρισης σε μία διακοπή είναι τουλάχιστον τέσσερις κύκλοι ρολογιού. Μετά από τέσσερις κύκλους ρολογιού εκτελείται η ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής. Κατά την διάρκεια του τέταρτου κύκλου ο μετρητής προγράμματος (program counter, PC) αποθηκεύεται στην στοίβα Έπειτα εκτελείται ένα άλμα (Jump) για την ρουτίνα εξυπηρέτησης της διακοπής που παίρνει τρεις κύκλους. Όταν επιστρέφει το πρόγραμμα από μία κατάσταση υπορουτίνας (Interrupt State Routine, ISR) ο PC ανακτάται από την στοίβα, ο SP αυξάνεται κατά δύο και ενεργοποιούνται οι διακοπές στον καταχωρητή Status. Αυτό διαρκεί τέσσερις κύκλους ρολογιού.

### 2.2.7 – Παράλληλες θύρες εισόδου / εξόδου του AVR

Όλες οι παράλληλες θύρες εισόδου / εξόδου του AVR έχουν αυτονομία όταν χρησιμοποιούνται σαν γενικές θύρες εισόδου / εξόδου. Δηλαδή, μπορεί να αλλάξει η κατάσταση ενός μόνο bit στην πόρτα χωρίς να αλλάξουν τα άλλα. Το ίδιο συμβαίνει και με την κατεύθυνση της πόρτας η οποία μπορεί και αυτή να αλλάξει από «είσοδος» σε «έξοδο».



Εικόνα 2.20: Διάγραμμα πόρτας εισόδου / εξόδου του AVR

Κάθε πόρτα του AVR ελέγχεται από τρεις καταχωρητές, τους PORTx, PINx και DDRx. Ανάλογα με την τιμή του DDRx η πόρτα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος ή έξοδος. Ο PORTx χρησιμοποιείται για την θέση της τιμής της πόρτας και ο PINx για την ανάγνωση της τιμής της πόρτας (πίνακας 2.3).

Πίνακας 2.3: Καταχωρητές πόρτας εισόδου / εξόδου του AVR

DDxn	PORTxn	PUD (in SFIOR)	I/O	Pull-up	Comment
0	0	X	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
0	1	0	Input	Yes	Pxn will source current if ext. pulled low.
0	1	1	Input	No	Tri-state (Hi-Z)
1	0	X	Output	No	Output Low (Sink)
1	1	X	Output	No	Output High (Source)

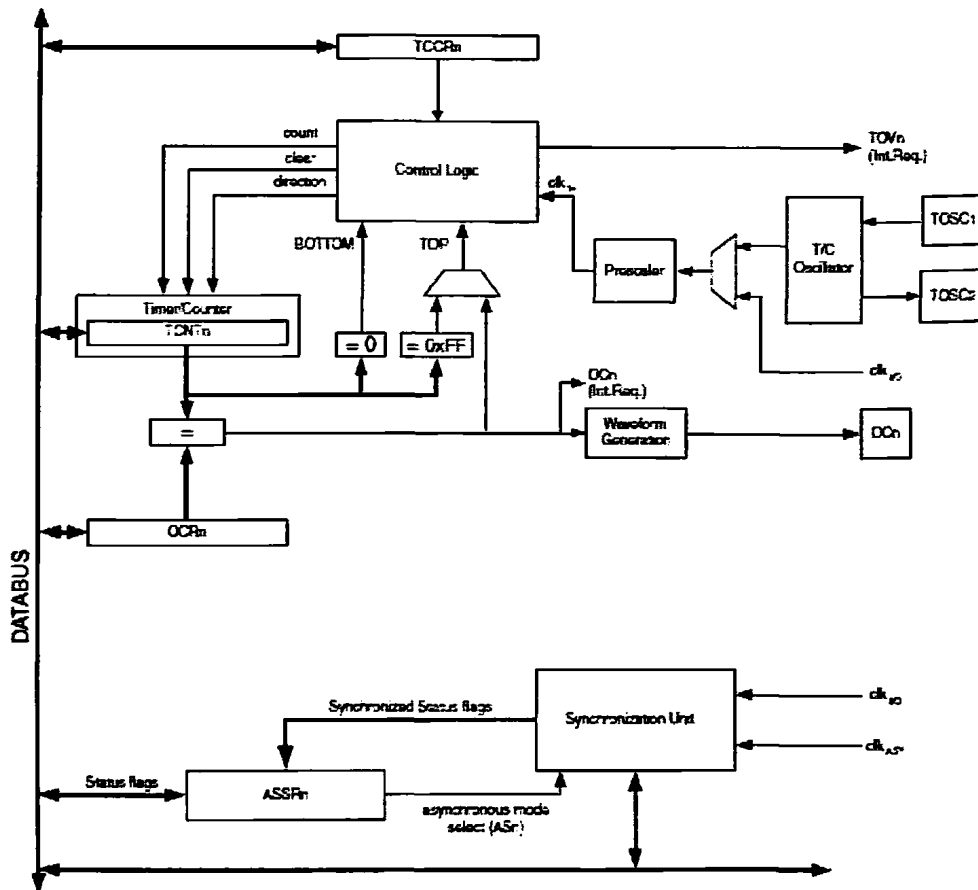
Εκτός από πόρτες γενικής χρήσης οι πόρτες του AVR μπορούν να ενεργοποιηθούν για να επιτελέσουν λειτουργίες εισόδου εξόδου άλλων περιφερειακών του μικροελεγκτή.

## 2.2.8 – Timers του AVR

Ο Atmega128 έχει τρεις χρονιστές / μετρητές για διεργασίες χρονισμού. Οι Timers είναι πιθανότατα το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο περιφερειακό σε ένα μικροελεγκτή. Μέσω ενός Timer μπορούν να μετρηθούν περίοδοι χρόνου, να καθοριστεί το εύρος παλμών, να μετρηθεί η ταχύτητα και η συχνότητα ή να δημιουργηθούν σήματα διάφορων χαρακτηριστικών.

Παρόλο που υπάρχουν δύο διαχωρισμένες λειτουργίες, χρονομέτρηση και κατά μέτρηση ή απαρίθμηση, οι Timers είναι ουσιαστικά απλοί δυαδικοί μετρητές προς τα πάνω. Όταν χρησιμοποιούνται σε λειτουργία χρονομέτρησης (timing mode), οι δυαδικοί μετρητές μετρούν περιόδους ρολογιού που εφαρμόζονται στην είσοδό τους ενώ στην λειτουργία απαρίθμησης (counter mode) μετρούν αριθμό παλμών στην είσοδό τους. Οι Timers μπορούν να χρησιμοποιήσουν ως είσοδο είτε υποδιαιρέσεις του ρολογιού του μικροελεγκτή είτε εξωτερική πηγή ρολογιού. Ο ATmega128 έχει δύο Timers των 8-bit και δύο Timers των 16-bit. Στην εικόνα 2.21 φαίνεται το γενικό διάγραμμα του Timer / Counter 0.



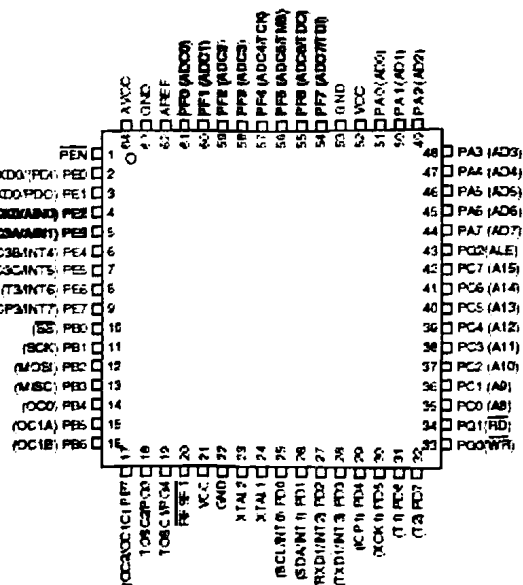


Εικόνα 2.21: Γενικό διάγραμμα του Timer / Counter 0

### 2.2.9 – Περιφερειακά

Ο ATmega128 υποστηρίζει έναν αναλογικό συγκριτή και αναλογικό σε ψηφιακό μετατροπέα. Στην εικόνα 2.22 φαίνονται οι ακροδέκτες τους.

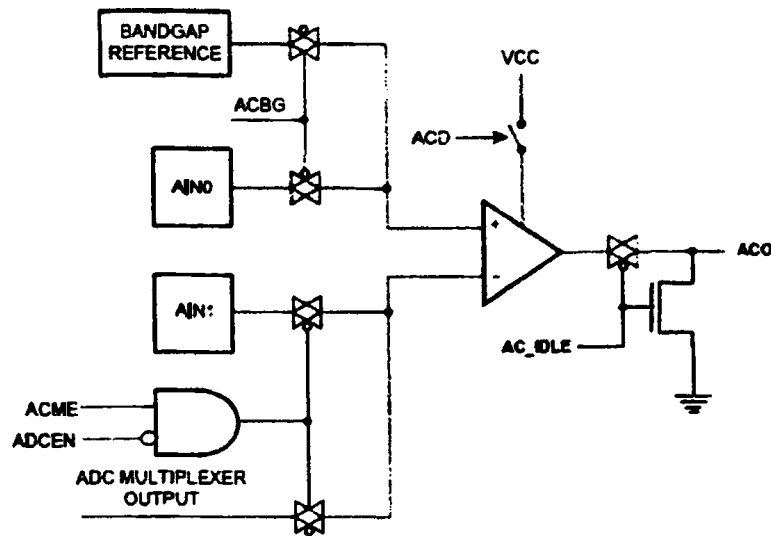
Ο αναλογικός συγκριτής συγκρίνει δύο αναλογικές εισόδους του μικροελεγκτή και θέτει σε λογικό 0 ή 1 στον καταχωρητή εξόδου του συγκριτή. Όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.24.



Εικόνα 2.22: ADC και AC PINS



Όταν η τάση στο pin AIN0, είναι υψηλότερη της τάσης από το pin AIN1 το πέμπτο ψηφίο ACO (Analog Comparator Output) του καταχωρητή ACSR (Analog Comparator Control and Status Register) ορίζεται ως 1. Αν συμβαίνει το αντίθετο το ψηφίο ACO τίθεται ως 0.



Εικόνα 2.23: Αναλογικός συγκριτής

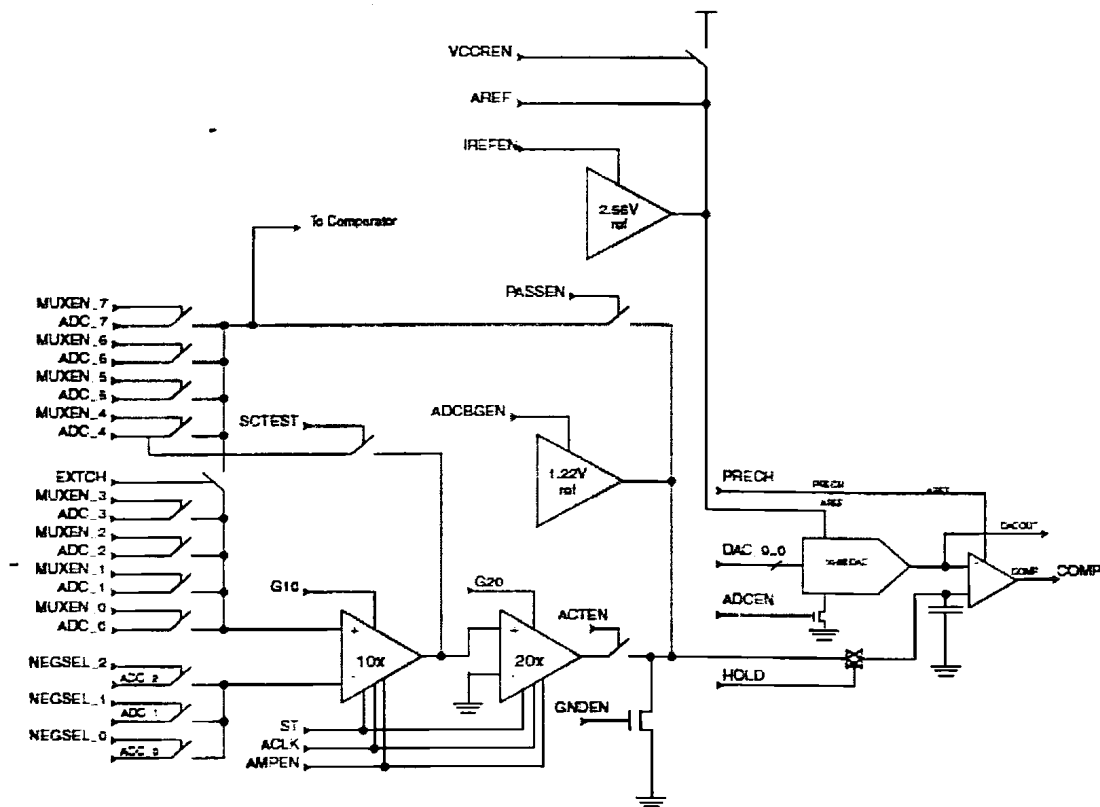
Όπως φαίνεται στην εικόνα 2.25 ο μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (analog to digital converter, ADC συνδέεται με έναν αναλογικό πολυπλέκτη 8-καναλιών. Οι τιμές της τάσης των αναλογικών εισόδων κυμαίνονται μεταξύ 0V και τάσης αναφοράς  $V_{AREF}$  (Voltage Reference). Η  $V_{AREF}$  δίνει τη δυνατότητα να ρυθμίζεται μεταξύ 1V έως την  $V_{CC}$ .

Η συσκευή υποστηρίζει επίσης 8 διαφορεικά σήματα εισόδου. Δύο από τις διαφορικές εισόδους (ADC1, ADC0 και ADC3, ADC2) είναι εξοπλισμένες με προγραμματισμένη ενίσχυση σε βήματα 0db (1x), 20db (10x), ή 46db (200x). Επτά διαφορεικά αναλογικά κανάλια εισόδου μοιράζονται ένα κοινό αρνητικό τερματικό (ADC1). Εάν χρησιμοποιείται κέρδος 1x ή 10x τότε η ανάλυση είναι οκτάμπιτη. Εάν χρησιμοποιείται το κέρδος 200x τότε η ανάλυση είναι επτάμπιτη. Οι επιλογή των παραπάνω λειτουργιών γίνεται με τη χρήση του καταχωρητή του πολυπλέκτη του ADC (ADC Multiplexer Selection Register-ADMUX) που φαίνεται στην εικόνα 2.24. Σε αυτόν με βάση τα τέσσερα λιγότερο σημαντικά ψηφία γίνεται ο έλεγχος του πολυπλέκτη.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	C	0	0	0	0	0	

Εικόνα 2.25: Αναλογικός σε ψηφιακό μετατροπέας





Εικόνα 2.25: Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

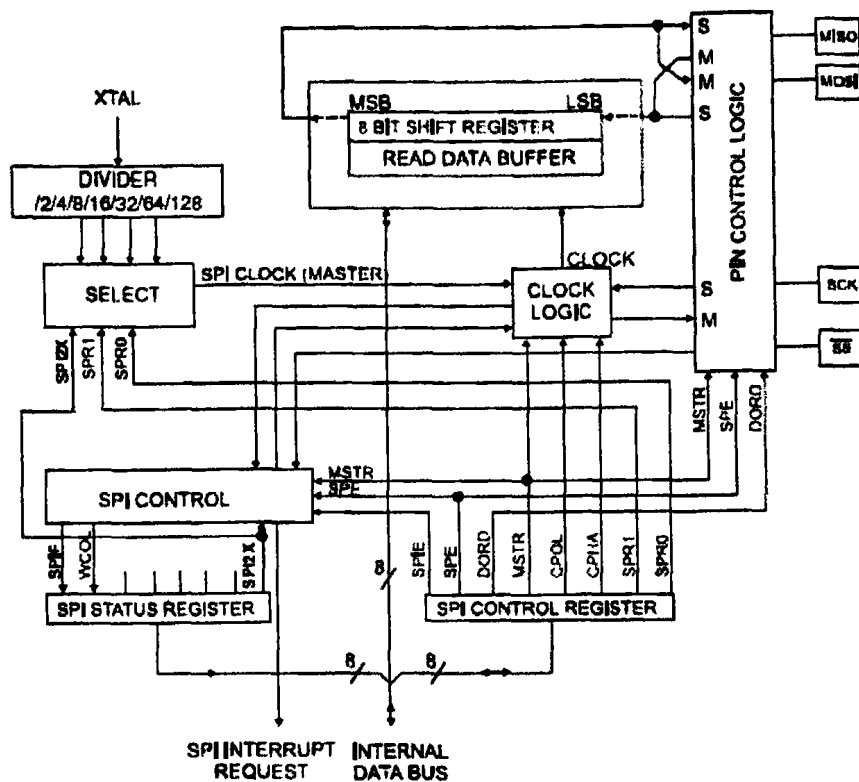
## 2.3 – Πρωτόκολλα επικοινωνίας του επεξεργαστή

Στην εφαρμογή του συστήματος καταγραφής που κατασκευάστηκε εγκαταστάθηκαν πέντε πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ μικροελεγκτή και εξωτερικών συσκευών (devices). Εγκαταστάθηκαν επίσης δύο πρωτόκολλα όσον αφορά τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

### 2.3.1 – SPI

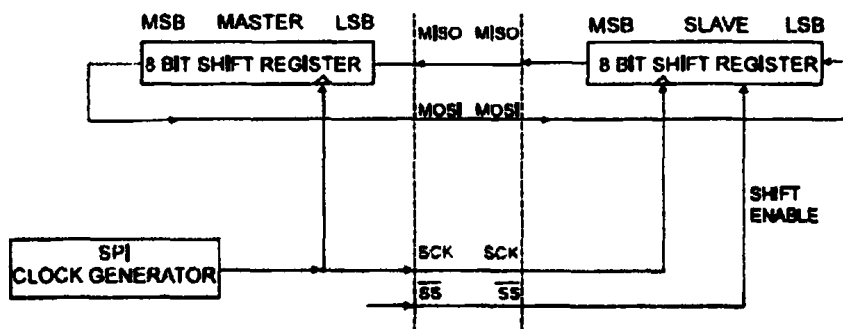
Το SPI είναι ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας διαθέσιμο στον AVR (εικόνα 2.26). Είναι σύγχρονη σειριακή επικοινωνία διαύλου, που σημαίνει ότι τόσο ο αποστολέας όσο και ο παραλήπτης πρέπει να χρησιμοποιούν το ίδιο ρολόι για να συγχρονίσουν την παραλαβή των bits. Το SPI αναπτύχθηκε για την γρήγορη και σχετικά πολύ υψηλής ταχύτητας επικοινωνία χρησιμοποιώντας το ελάχιστο των γραμμών.

Το σύστημα που υλοποιήθηκε για τη παρούσα διπλωματική εργασία, αν και στη συγκεκριμένη εφαρμογή δεν χρησιμοποιεί τη διεπαφή SPI, περιέχει την υλοποίηση του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου το οποίο παρουσιάζεται στο υποκεφάλαιο 3.1.2.4.



Εικόνα 2.26 : Γενικό διάγραμμα του SPI

Η επικοινωνία SPI χρησιμοποιεί ένα master και ένα slave κόμβο. Και οι δύο μεταδίδουν και λαμβάνουν δεδομένα ταυτόχρονα, αλλά ο κόμβος master είναι υπεύθυνος για την δημιουργία του ρολογιού που είναι απαραίτητο για την μεταφορά των δεδομένων. Έτσι ο master έχει τον έλεγχο της ταχύτητας επικοινωνίας. Στο παρακάτω διάγραμμα φαίνεται ο τρόπος επικοινωνίας δύο συσκευών μέσω του SPI. Ο master παρέχει το ρολόι και 8 bits δεδομένα τα οποία εξέρχονται ένα-ένα από τη έξοδο MOSI. Καθώς αυτά τα δεδομένα παραλαμβάνονται ένα προς ένα από τον slave, 8-bits στέλνονται ένα προς ένα από τον slave στον master στην γραμμή MISO (εικόνα 2.27).



Εικόνα 2.27: Επικοινωνία μέσω SPI



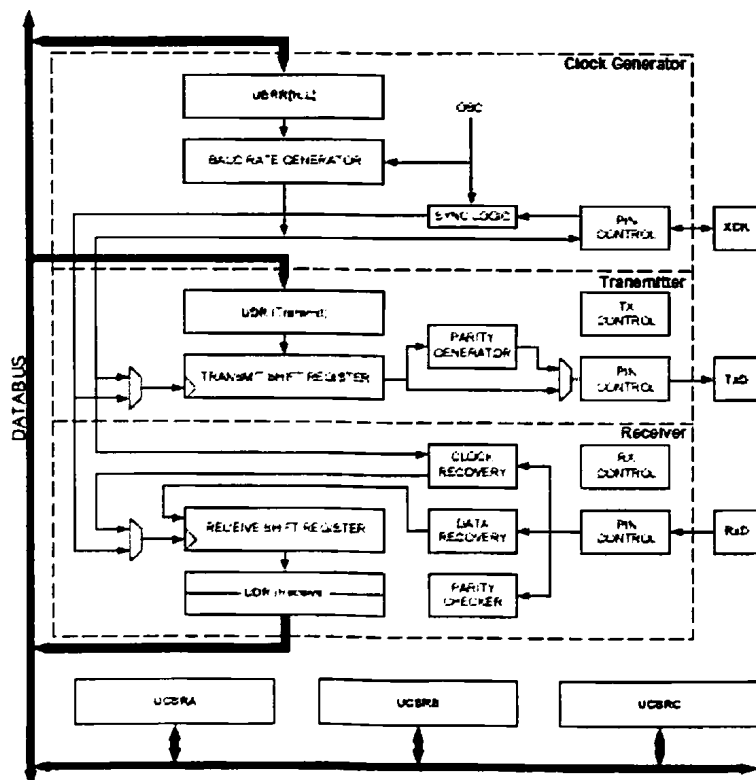
Πολλές συσκευές ταυτόχρονα μπορούν να συνδεθούν σε ένα δίαυλο SPI. Κάθε συσκευή slave απαιτεί ένα σήμα επιλογής το οποίο συνδέεται με τον μικροελεγκτή (ή κάποια άλλη συσκευή που είναι ο master στον δίαυλο) και γίνεται 0 όταν επιλέγεται η συσκευή.

### 2.3.2 – Σειριακή θύρα - USART

Η σειριακή επικοινωνία μέσω της USART (Universal Asynchronous Receiver / Transmitter) είναι ουσιαστικά η αποστολή δεδομένων μέσω δύο γραμμών, των RDX και TDX. Τα δυαδικά ψηφία των δεδομένων ξεχωρίζουν από τον χρόνο που μεσολαβεί μεταξύ τους δίνοντας την δυνατότητα στον παραλήπτη να καταλάβει την τιμή του κάθε δυαδικού ψηφίου.

Η USART ως ασύγχρονη επικοινωνία δεν χρειάζεται μία γραμμή ρολογιού για συγχρονισμό των bits. Η USART χρησιμοποιεί ένα start / stop bit για να ξεχωρίσει την αποστολή των δεδομένων (εικόνα 2.28).

Στην πλακέτα που κατασκευάστηκε για τη παρούσα διπλωματική εργασία δεν χρησιμοποιείται το interface USATR αλλά αναπτύχθηκε και περιέχεται η δυνατότητα του συγκεκριμένου πρωτοκόλλου (υποκεφάλαιο 3.1.2.1).



Εικόνα 2.28: Μπλοκ διάγραμμα της USART του ATmega128

Η επικοινωνία μέσω USART μένη ανενεργή στο λογικό 1 και πέφτει στο 0 για να σημειώσει την αρχή μίας νέας μεταφοράς (start bit). Ακολουθεί ένα πακέτο δεδομένων με μέγεθος από 5 έως 9 bits και έπειτα το τέλος (stop bit). Η πτώση της γραμμής από «1» σε «0» ενεργοποιεί την μέτρηση χρόνου στον δέκτη ο οποίος δειγματοληπτεί την είσοδο του στο μέσο του ρολογιού για μέγιστη ακρίβεια. Η USART έχει την δυνατότητα μεταφοράς δεδομένων σε διάφορα (bitrate) με μέγιστο για τον ATmega128 τα 115200 bps.

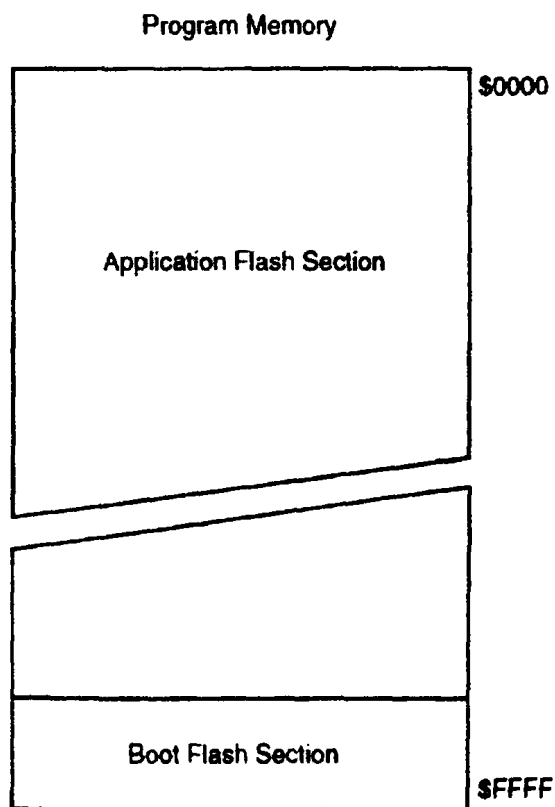
### 2.3.3 – TWI

Ο ATmega128 υποστηρίζει ακόμα ένα interface σειριακής επικοινωνίας, το TWI (Two Wire Interface) το οποίο είναι πανομοιότυπο με το I<sup>2</sup>C αλλά λόγοι copyright απέτρεψαν στην χρησιμοποίηση του ονόματος αυτού. Το TWI είναι ιδανικό για την επικοινωνία του επεξεργαστή με συσκευές μέχρι 127 I<sup>2</sup>C πάνω στον ίδιο δίαυλο, με χρήση μόνο δύο γραμμών και απαίτηση μόνο δύο εξωτερικών αντιστάσεων (pull-up resistors). Λόγω της εκτενούς αναφοράς στο πανομοιότυπο I<sup>2</sup>C σε μετέπειτα κεφάλαιο (υποκεφάλαιο 3.1.2.3) θα παραλείψουμε εδώ την περαιτέρω αναφορά.

### 2.3.4 – Διεπαφές προγραμματισμού (Programming Interfaces)

Ο μικροελεγκτής που εξετάζουμε περιέχει δύο σειριακούς τρόπους προγραμματισμού τους ISP και JTAG.

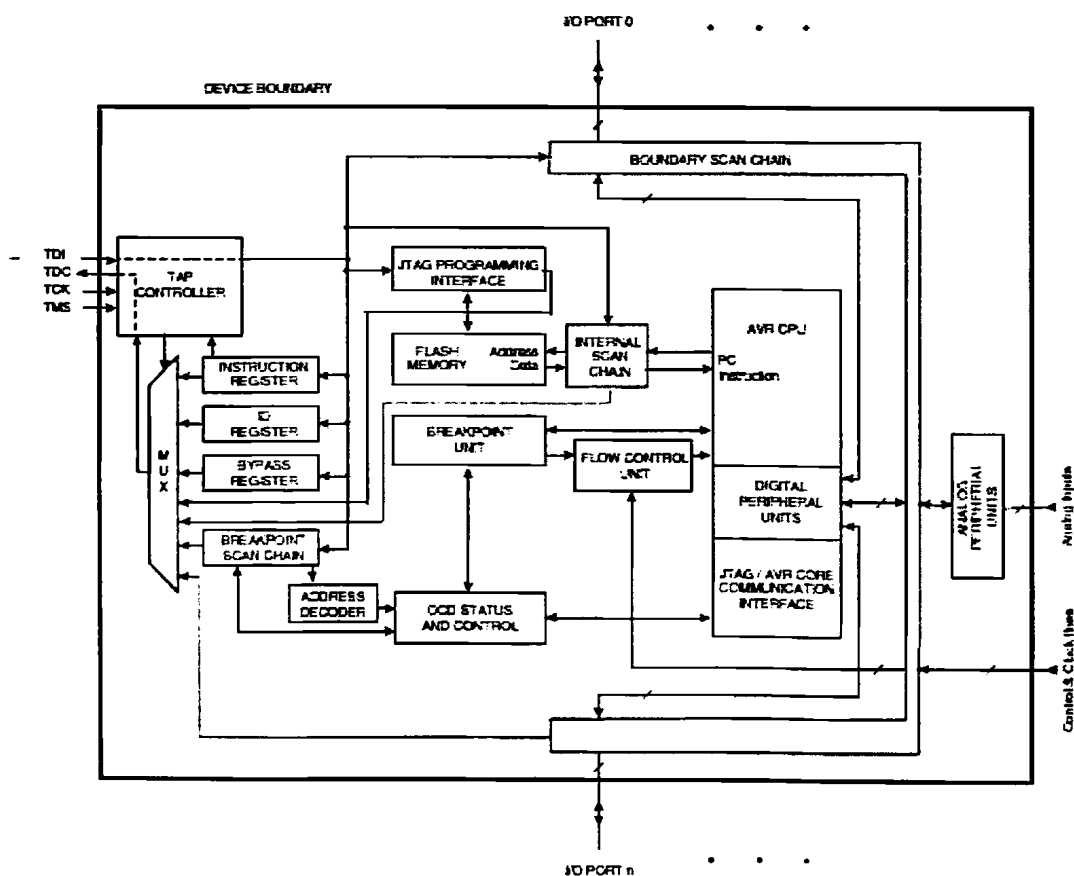
Το ISP χαρακτηρίζεται ως ο προγραμματισμός εντός του συστήματος (on chip In System Programming). Η διεπαφή αυτή βρίσκεται εντός του ολοκληρωμένου του ATmega128 και αποθηκεύει το λογισμικό στην μνήμη εκκίνησης (boot memory) της Flash μνήμης (εικόνα 2.29). Χρησιμοποιεί διεπαφή παρόμοια με την SPI. Οι ακροδέκτες (pins) που συνδέονται είναι το RESET, το CLOCK του SPI και τα pins PE0, PE1. Το υλικό του είναι ευρέως διαδεδομένο σε πλακέτες προγραμματισμού μικροελεγκτών (programmers) (υποκεφάλαιο 3.1.2.3).



Εικόνα 2.29: Μνήμη Flash



Το JTAG χρησιμοποιείται για απασφαλμάτωση (on - system debugging) και προγραμματισμό των μικροελεγκτών. Ένα γενικό διάγραμμα του JTAG φαίνεται παρακάτω εικόνα 2.30. Οι ακροδέκτες που απαιτούνται για τη σύνδεση του interface είναι οι PF7 (TDI, Data Input), PF6 (TDO, Data Output), PF5 (TMS, Mode Select) και PF4 (TCK, Clock). Το JTAG σε συνεργασία με λογισμικό προγραμματισμού του ATmega128 (όπως το studio4), είναι ικανό να αποδίδει στον υπολογιστή την κατάσταση της μνήμης και των καταχωρητών του μικροελεγκτή ανά πάσα στιγμή (υποκεφάλαιο 3.1.2.3).



Εικόνα 2.30: Γενικό διάγραμμα της JTAG

## Κεφάλαιο 3

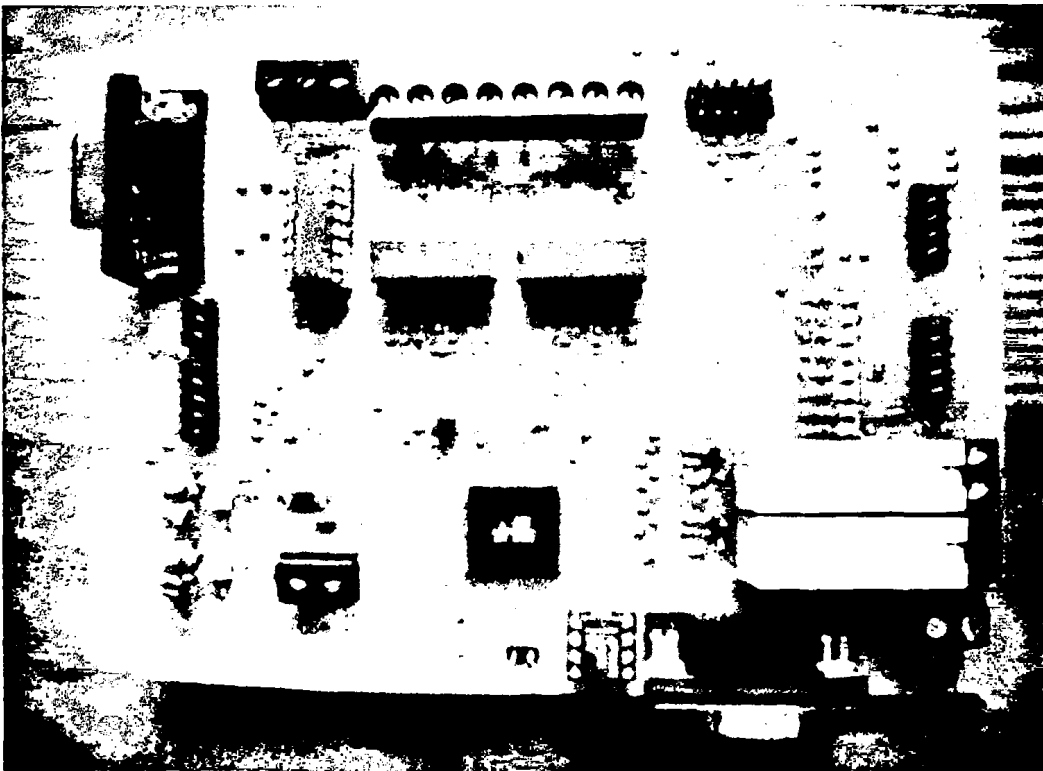
### 3. Υλοποίηση του συστήματος

#### 3.1 – Η συνδεσμολογία των πλακετών

Ολόκληρο το σύστημα τόσο η πλακέτα του αναγνώστη δεδομένων όσο και η πλακέτα του τροφοδοτικού, σχεδιάστηκαν με τη χρήση του προγράμματος OrCAD 9.1 και συγκεκριμένα με τα CAPTURE και LAYOUT. Στο CAPTURE σχεδιάστηκε το σχηματικό διάγραμμα και στο LAYOUT πραγματοποιήθηκε η φυσική σχεδίαση PCB. Τέλος και όσον αφορά το υλικό (Hardware), τυπώθηκαν οι πλακέτες με τη χρήση κατάλληλης χημικής διαδικασίας.

Ακολούθησε η ανάπτυξη του λογισμικού στον μικροελεγκτή ATmega128 ο οποίος έγινε με τη χρήση του προγράμματος Studio4.15 της ATMEL. Ο προγραμματισμός έγινε με τη χρήση της γλώσσας Embedded C η οποία πλεονεκτεί της γλώσσας Assembly διότι είναι πιο εύχρηστη, αποτελεί την πλέον διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού για μικροελεγκτές και κυρίως γιατί είναι υψηλότερου επιπέδου από την Assembly.

#### 3.1.1 – Ο σχεδιασμός του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων



Εικόνα 3.1: Το σύστημα (πλακέτα) ανάγνωσης δεδομένων

Ο σχεδιασμός του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία (components):

- Έναν μικροελεγκτή ATmega128
- Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα για την επίτευξη επικοινωνίας με άλλες συσκευές που χρησιμοποιούν τα πρωτόκολλα RS232 και RS485 και
- Το ολοκληρωμένο κύκλωμα ενίσχυσης το οποίο μετατρέπει το σήμα ρεύματος σε σήμα τάσης.

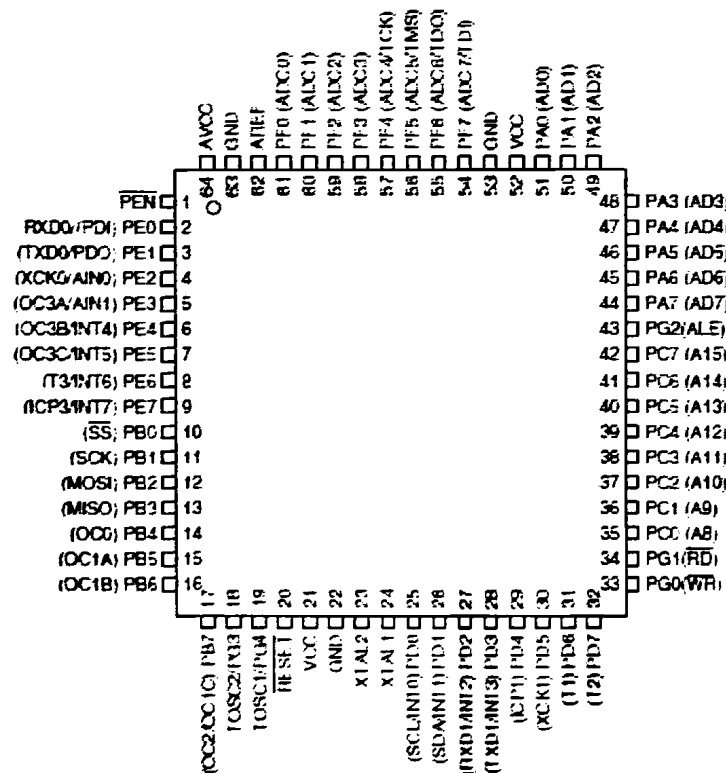
Στην εικόνα 3.1 φαίνεται η φωτογραφία της τελικής έκδοσης (version 2.3).

### 3.1.1.1 – Η συνδεσμολογία του Atmega128

Ο μικροεπεξεργαστής ATmega128 αποτελεί το κύριο στοιχείο του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων και διαχειρίζεται τα περιφερειακά της πλακέτας. Στην εικόνα 3.2 παρουσιάζονται οι ακροδέκτες του (Pinout).

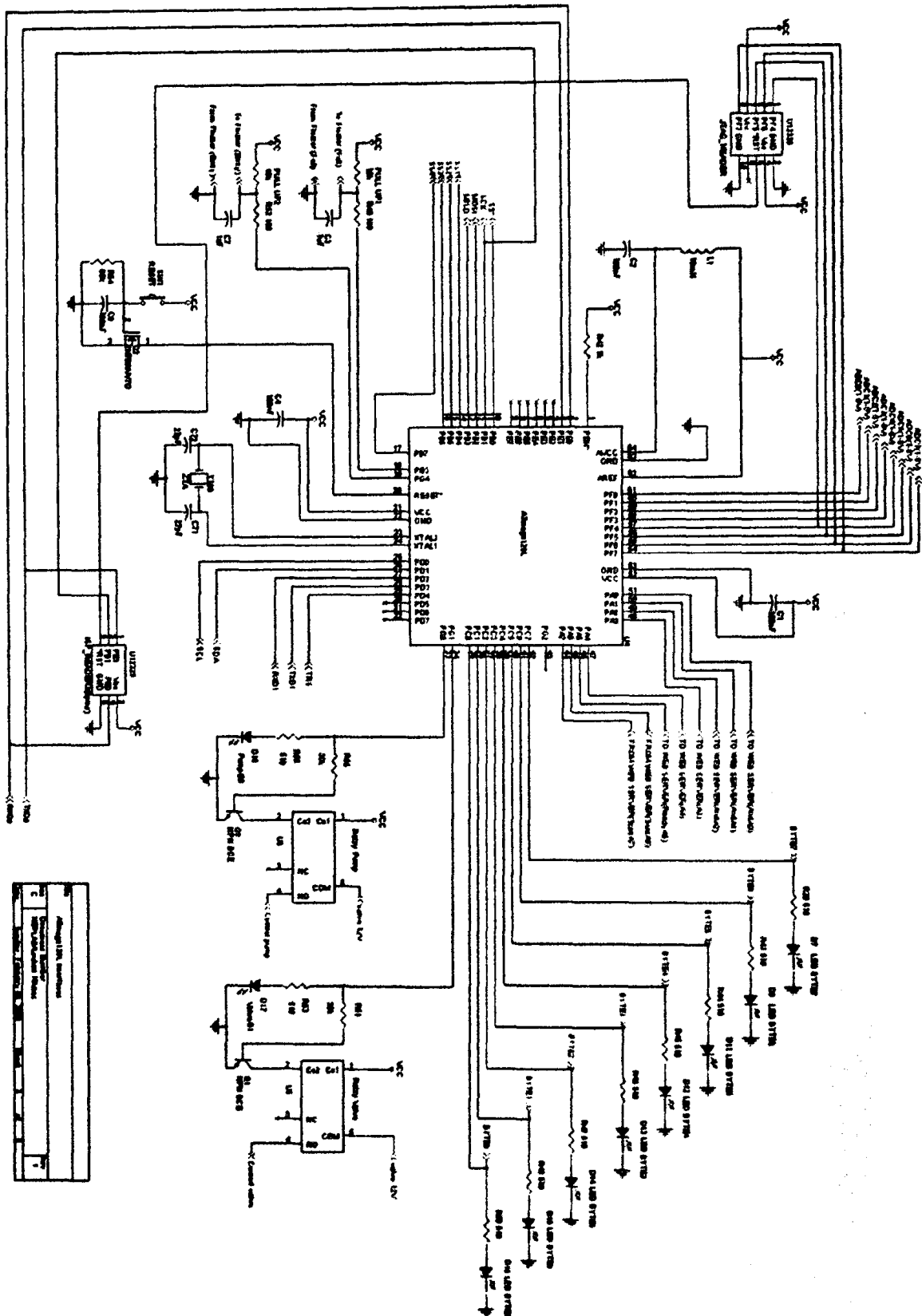
Η τοποθέτησή του στο κέντρο της πλακέτας, οδηγεί στην απλοποίηση των αγωγών (όσο το δυνατόν λιγότερη διακλάδωση) με τις οποίες διασυνδέεται. Συνολικά 52 γραμμές συνδέονται στους ακροδέκτες (pins) του μικροελεγκτή εκ των οποίων οι 9 χρησιμοποιούνται για τροφοδοσία, reset και write enable, και την διασύνδεση με τον εξωτερικό κρύσταλλο χρονισμού.

Οι υπόλοιπες περιλαμβάνουν τις 6 πόρτες με τις ονομασίες PORTs A, B, C, D, E και F. Οι πόρτες είναι των 8 ακροδεκτών αφού και ο μικροελεγκτής είναι οκτάμπιτος. Τέλος δύο ακόμα γραμμές χρησιμοποιούνται για τον εσωτερικό ADC του ATmega128, η μία προσδιορίζει την τάση αναφοράς του (Vreference) και στην άλλη τοποθετείται ένα χαμηλοπερατό φίλτρο.

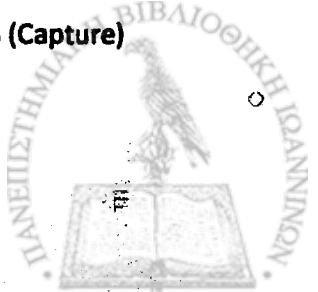


Εικόνα 3.2: Οι ακροδέκτες του Atmega128



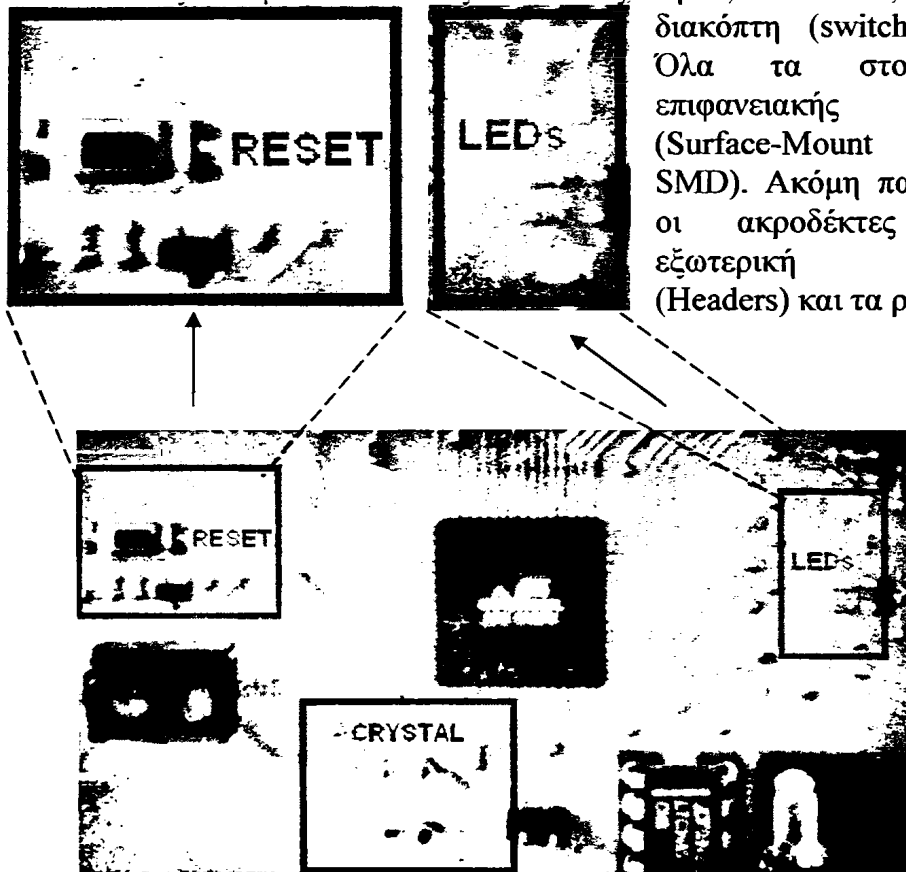


Εικόνα 3.3: Το σχηματικό διάγραμμα διασύνδεσης του Atmega128 (Capture)



Στην εικόνα 3.3 παρουσιάζεται το σχηματικό διάγραμμα διασύνδεσης του ATmega128 στο λογισμικό Capture του OrCAD. Εδώ εύκολα διακρίνονται οι διασυνδέσεις του με αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, transistors, LEDs, με το

διακόπτη (switch) του reset. Όλα τα στοιχεία είναι επιφανειακής στήριξης (Surface-Mount Devices, SMD). Ακόμη παρουσιάζονται οι ακροδέκτες για την εξωτερική επικοινωνία (Headers) και τα ρελέ (Relay).



Εικόνα 3.4: Atmega128

Η εικόνα 3.4 αποτελεί μεγέθυνση, μέρος της εικόνας 3.1 που αντιστοιχεί στο σχηματικό της εικόνας 3.3. Εδώ διακρίνονται ο μικροελεγκτής, η κλέμα της τροφοδοσίας η οποία παρέχει τη Vcc ίση με 5 V και την γείωση (GND), το SMD switch του reset, και τους επίσης SMD πυκνωτές πηνία και LEDs.

Χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία SMD όπως αντιστάσεις, πηνία, πυκνωτές, τρανζίστορ γιατί προσφέρουν εργονομία αξιοπιστία και χαμηλή κατανάλωση. Το μέγεθος είναι της τάξης των μερικών χιλιοστών. Τα πιο εντυπωσιακά από αυτά, είναι τα SMD-LEDs τα οποία έχουν πάχος μόλις 1,3 mm, φωτοβολούν αρκετά έντονα και καταναλώνουν ρεύμα περίπου 20 mA. Στη ένθετη εικόνα 3.5 φαίνεται η πόρτα C, στην οποία οι οκτώ γραμμές καταλήγουν στον header και στα LEDs με αντιστάσεις σε σειρά (αριστερά των LEDs). Ο ακροδέκτης 5 της πόρτας λαμβάνει εξωτερικό σήμα λογικής τιμής '1' (Vcc).



Εικόνα 3.5: SMD LEDs

Η αρχικοποίηση του συστήματος πετυγχάνεται με τον διακόπτη, reset. Αυτό παρουσιάζεται πάνω αριστερά στην εικόνα 3.4 και θέτει το pin 20 (RESET) του μικροελεγκτή σε λογική κατάσταση 0 όταν πιέζεται και τότε ο μικροελεγκτής αρχικοποιείται θέτοντας τις κατάλληλες αρχικές τιμές στους καταχωρητές του (συνήθως σε λογικό '1'). Ακόμα η μνήμη RAM διαγράφεται αρχίζει να εκτελείται το πρόγραμμα στη μνήμη Flash.

Στην εικόνα 3.1 φαίνονται οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές καθώς επίσης και οι κλέμες στις οποίες προσαρμόζονται οι ακροδέκτες των δεικτών στάθμης του νερού τα καλούμενα ως πλωτήρες (floater).

Οι πλωτήρες που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο της στάθμης του νερού στο δοχείου είναι δύο. Το ένα ελέγχει την μέγιστη στάθμη και το δεύτερο την ελάχιστη. Στο σχηματικό διάγραμμα της εικόνας 3.3 φαίνεται το κύκλωμα ελέγχου των πλωτήρων.

Το πλωτήρας διακόπτει ή επανασυνδέει το κύκλωμα το οποίο με τη βοήθεια μιας pull up αντίστασης τίθεται σε λογική κατάσταση 0 ή 1.

Ο έλεγχος της ηλεκτροβαλβίδας πλήρωσης γίνεται με ένα σύστημα αυτοματισμού (υποκεφάλαιο 3.3) στο βοηθητικό κύκλωμα του οποίου συμμετέχουν και οι ηλεκτρονόμοι (κάτω δεξιά της εικόνας 3.1).

Στο σχηματικό 3.2 (κάτω δεξιά) φαίνεται διάγραμμα ελέγχου του ηλεκτρονόμου της αντλίας (Pump relay), προστέθηκαν LEDs για τον έλεγχο της λειτουργίας τους. Οι ηλεκτρονόμοι ελέγχονται από συνεχή τάση (Direct Current, DC) στα 5 V και στο δευτερεύον ελέγχουν τάση 12 V DC.

Οι ηλεκτρονόμοι που τοποθετήθηκαν είναι στερεάς κατάστασης για λόγους κατανάλωσης.

Το κύκλωμα αυτοματισμού που περιέχει τα ελεγχόμενα μέρη αντλία και ηλεκτροβαλβίδα από τα ανωτέρω relay, αναφέρεται στο υποκεφάλαιο 3.2.

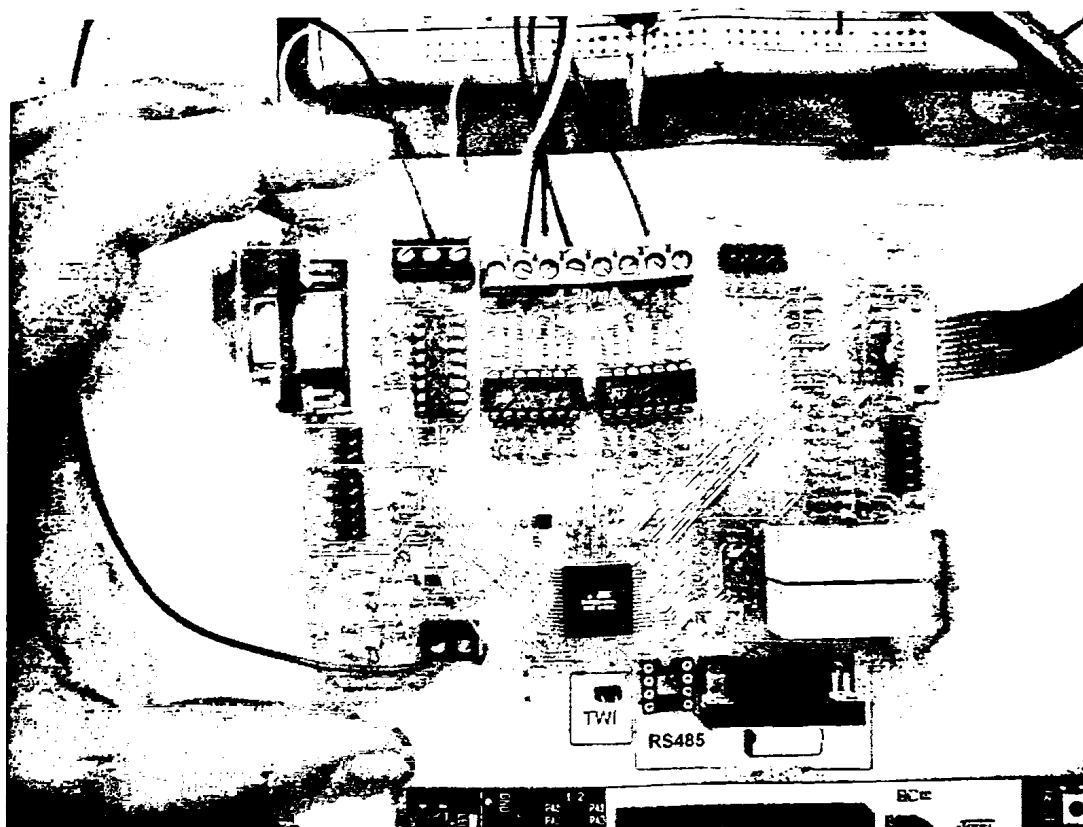
### 3.1.2 – Ο σχεδιασμός των διεπαφών του συστήματος

Το κύκλωμα του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων που κατασκευάστηκε περιλαμβάνει πέντε κυκλώματα πρωτοκόλλων επικοινωνίας μεταξύ μικροελεγκτή και εξωτερικών συσκευών (devices). Περιλαμβάνει επίσης δύο κυκλώματα πρωτοκόλλων για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή.

Κάθε πρωτόκολλο επικοινωνίας απαιτεί συγκεκριμένα υλικά (hardware) για την υλοποίησή του.

Στην εικόνα 3.6 φαίνονται οι διαφορετικές διεπαφές στην πλακέτα. Οι περιοχές αυτές κατηγοριοποιούνται χρωματικά στην παρακάτω εικόνα 3.6.

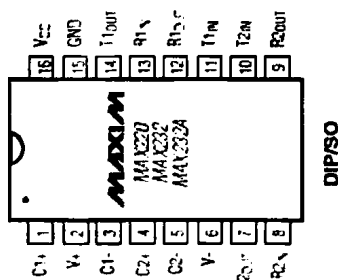




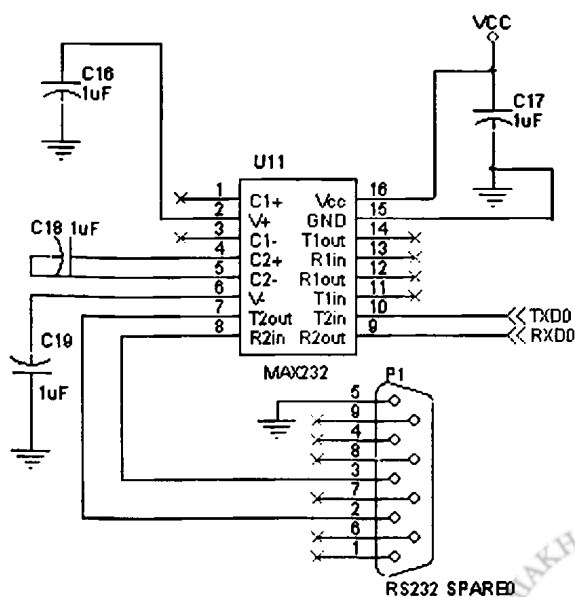
Εικόνα 3.6: Διεπαφές του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων SPI μπλε, RS 232μοβ, RS485 ανοιχτό μπλε, I2C (TWI) κόκκινο, 4-20mA πράσινο, ISP σκούρο, πράσινο και JTAG τουρκουάζ

### 3.1.2.1 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής RS232

Η διεπαφή RS232 χρησιμοποιείται για την επίτευξη επικοινωνίας μεταξύ της Κεντρικής Μονάδας Επεξεργασίας (CPU) του ATmega128 και ενός περιφερειακού ή ενός υπολογιστή. Το κύριο μέρος του κυκλώματος της διεπαφής είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα MAX232CPE [15] της εταιρίας MAXIM.



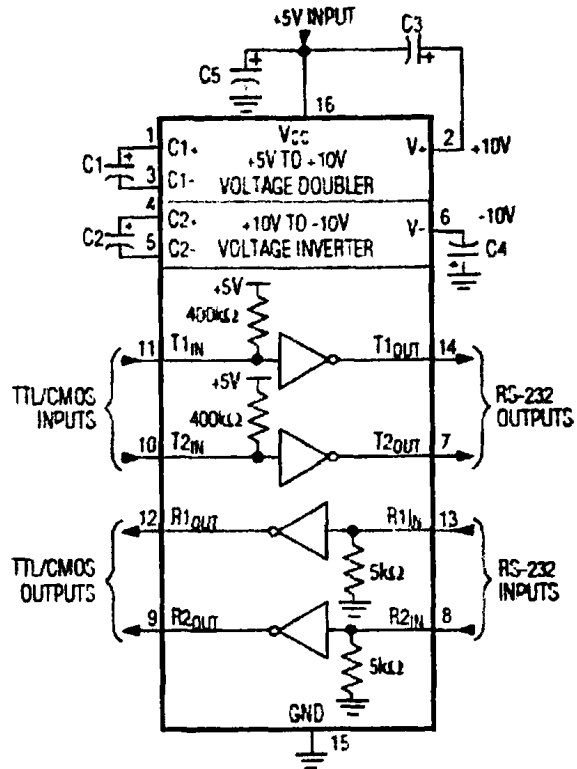
Εικόνα 3.7: Σχηματικό του κυκλώματος της διεπαφής RS232



Στο σχηματικό διάγραμμα (εικόνες 3.7, 3.8) φαίνονται τα στοιχεία του κυκλώματος και οι διασυνδέσεις τους.

Το πρωτόκολλο απαιτεί το λογικό '1' των σημάτων RS-232 OUTPUTS και RS-232 INPUTS να είναι +12V ενώ το λογικό '0' είναι -12V. Από την πλευρά της πλακέτας τα σήματα ακολουθούν το πρότυπο TTL με το λογικό '1' στα +5V και το λογικό '0' στα 0V (GND).

Τα σήματα TTL είναι και ονομάζονται TXD0 (Transmit Data) και RXD0 (Receive Data).



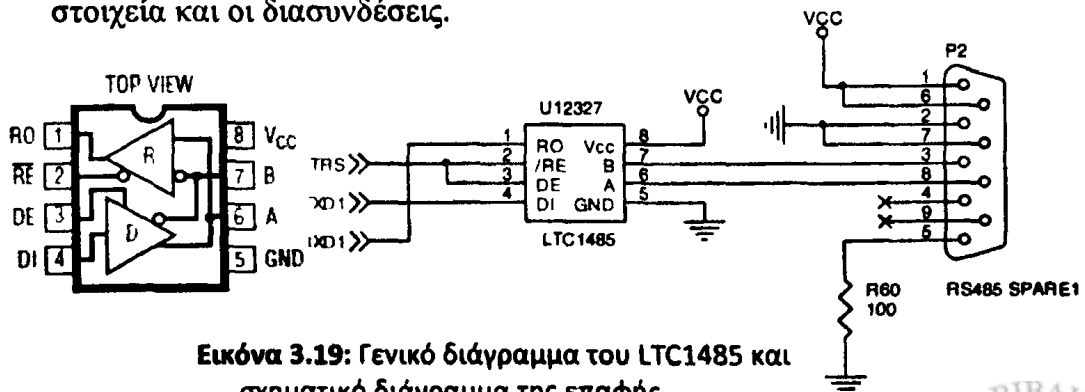
δύο

Εικόνα 3.8: Γενικό διάγραμμα του MAX232

### 3.1.2.2 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής RS485

Η διεπαφή RS485 χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του ATmega128 και ενός περιφερειακού ή και περισσότερων. Το συγκεκριμένο interface συναντάται ευρέως στους βιομηχανικούς αυτοματισμούς και μπορεί να διασύνδεει συσκευές που απέχουν σχετικά μεγάλες αποστάσεις μέχρι και 100 μέτρα.

Το κύριο στοιχείο του κυκλώματος της διεπαφής RS485 είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα LTC1485 (εικόνα 3.9) [16] της εταιρίας LINEAR TECHNOLOGY. Στο σχηματικό διάγραμμα της διεπαφής RS485 φαίνονται τα στοιχεία και οι διασυνδέσεις.

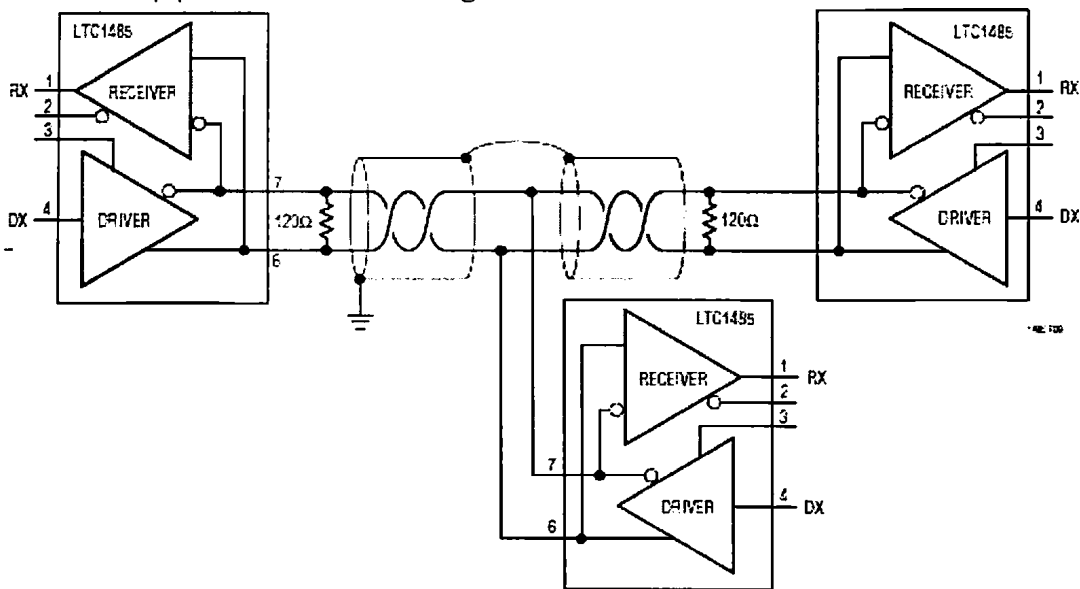


Εικόνα 3.19: Γενικό διάγραμμα του LTC1485 και σχηματικό διάγραμμα της επαφής



Στο πρωτόκολλο RS485 απαιτούνται σήματα τα οποία μεταφράζουν την πληροφορία σε διαφορά τάσης μεταξύ των γραμμών όπως δείχνει η εικόνα 3.10. Σε αυτήν παρουσιάζεται μια τυπική εφαρμογή διασύνδεσης τριών συσκευών. Το λογικό '1' αντιστοιχεί σε διαφορά τάσης στις δύο γραμμές +12V, ενώ το λογικό '0' αντιστοιχεί σε διαφορά τάσης -7 Volts [17].

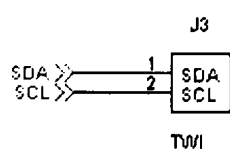
Το ολοκληρωμένο κύκλωμα στην πλευρά της πλακέτας παράγει σήματα στο πρότυπο TLL, ονομάζονται RxD και TxD. Στο πρότυπο TLL το λογικό '1' είναι στα +5V ενώ το λογικό '0' είναι στ 0V (GND) και συνδέονται στη διεπαφή USART1 του Atmega128.



Εικόνα 3.10: Τυπική εφαρμογή διεπαφής RS485 με την χρήση του LTC1485

### 3.1.2.3 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής I<sup>2</sup>C

Η διεπαφή I<sup>2</sup>C στους μικροελεγκτές AVR ονομάζεται διεπαφή δύο αγωγών (Two Wire Interface, TWI) και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του ATmega128 και πολλών περιφερειακών συσκευών (127 το πλήθος) με τη χρησιμοποίηση μόνο δύο γραμμών. Πρόκειται για σειριακή επικοινωνία όπου ο Atmega128 κατέχει τη διεύθυνση 0x00 και η υπόλοιπες τις διευθύνσεις από την 0x01 μέχρι την 0x7F. Η επικοινωνία επιτυγχάνεται αφού σταλεί πρώτα η διεύθυνση του παραλήπτη, (address) 7-bit και στη συνέχεια δεδομένα (data) ενός byte (8-bit). Η διεπαφή I<sup>2</sup>C συναντάται σε διασυνδέσεις πολλών ψηφιακών ηλεκτρονικών διατάξεων και το πλεονέκτημά του είναι ότι με δύο

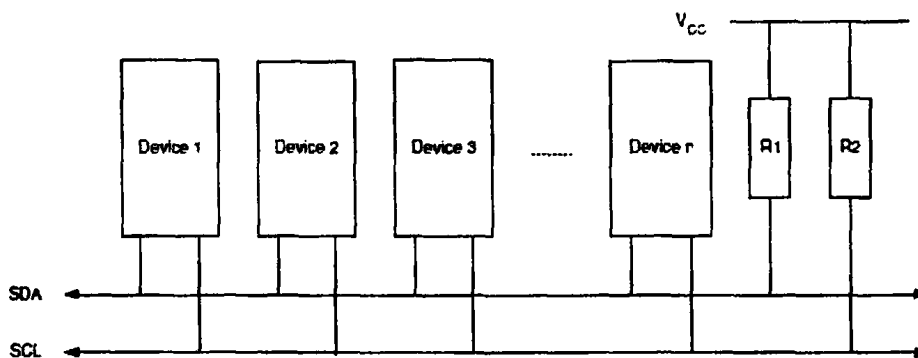


καλώδια συνδέονται ακολουθιακά 128 συσκευές. Ο ακροδέκτης του I<sup>2</sup>C με τον Atmega128 φαίνεται κάτω στο κέντρο της εικόνας 3.6.

Εικόνα 3.11: Γενικό διάγραμμα της διεπαφής TWI (I<sup>2</sup>C)

Η διεπαφή δύο αγωγών όπως δηλώνει και όνομα της περιλαμβάνει δύο αγωγούς, τους SDA και SCL. Αυτοί αναφέρονται αντίστοιχα στα δεδομένα και στο ρολόι. Πρόκειται για σύγχρονη μετάδοση δεδομένων.

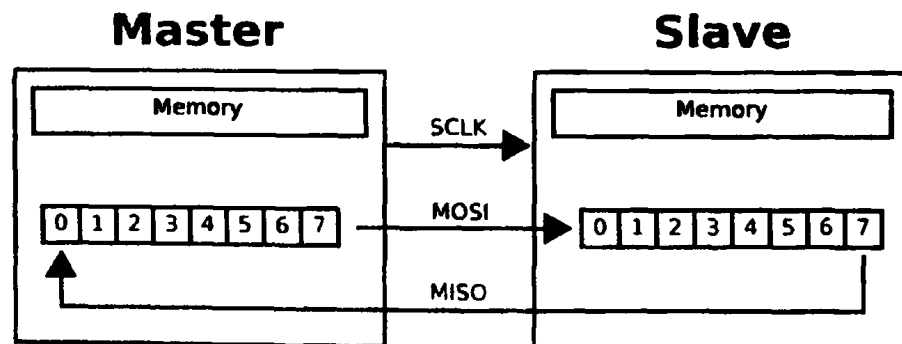
Ανάμεσα στις συσκευές που διασυνδέονται με τη διεπαφή TWI υπάρχει μία που παίζει τον ρόλο του αφεντικού (Master), ελέγχει το πότε αρχίζει και τελειώνει η μεταφορά των δεδομένων. Ο Master επίσης δημιουργεί το ρολόι SCL. Σκλάβος (Slave) είναι η συσκευή στην οποία απευθύνεται ο Master. Αποστολέας (Transmitter) είναι η συσκευή η οποία αποστέλλει τα δεδομένα στο δίαυλο (bus). Δέκτης (Receiver) είναι η συσκευή ανάγνωσης των δεδομένων από το bus. Μία τυπική διασύνδεση του διαύλου δεδομένων μέσω της διεπαφής TWI φαίνεται στην εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12: Δίαυλος δεδομένων μέσω διεπαφής TWI

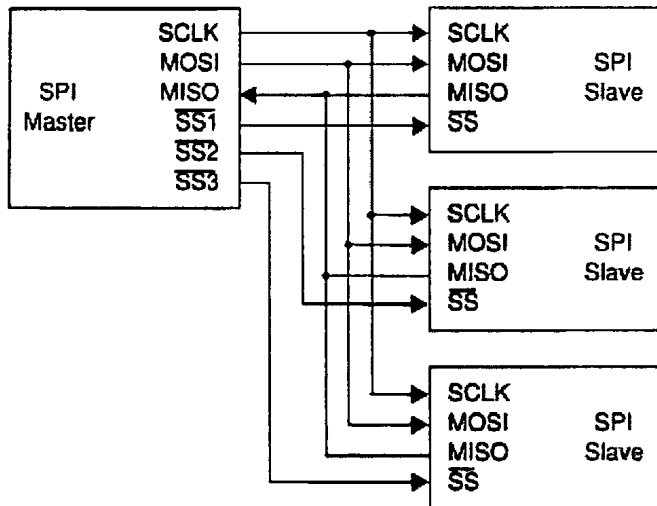
#### 3.1.2.4 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής SPI

Η διεπαφή SPI χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του μικροελεγκτή και περιφερειακών συσκευών όπως αισθητήρες κπλ. Η διεπαφή SPI έχει τέσσερις αγωγούς με τα σήματα MISO (Master In Slave Out), MOSI (Master Out Slave In), SCK (Clock pulse) και το SS (chip Select).



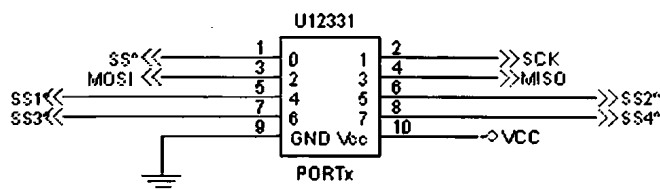
Εικόνα 3.13: Διακίνηση δεδομένων με διεπαφή SPI

Η συσκευές περιέχουν καταχωρητές ολίσθησης (shift registers) όπως για παράδειγμα αυτοί της εικόνας 3.13. Η διακίνηση των δεδομένων συμβαίνει σε συμφωνία με το σήμα του ρολογιού. Ο Master είναι επίσης αυτός που διαχειρίζεται τους Slave ελέγχοντας κάθε φορά με ποιόν θα επικοινωνήσει. Αυτό το πετυχαίνει με το σήμα SS ενεργοποιώντας τον Slave που επιθυμεί (εικόνα 3.14).



Εικόνα 3.14: Διασύνδεση του διαύλου δεδομένων της διεπαφής SPI

Η διεπαφή SPI που σχεδιάστηκε στο σύστημα ανάγνωσης δεδομένων καθιστά τον ATmega128 ως Master ικανό να μπορεί να ελέγξει έως 5 Slave devices και είναι εφοδιασμένος με 5 σήματα εξόδου επιλογής στοιχείων slave τα  $SS^{\wedge}$ ,  $SS1^{\wedge}$ ,  $SS2^{\wedge}$ ,  $SS3^{\wedge}$  και  $SS4^{\wedge}$  (εικόνα 3.15).

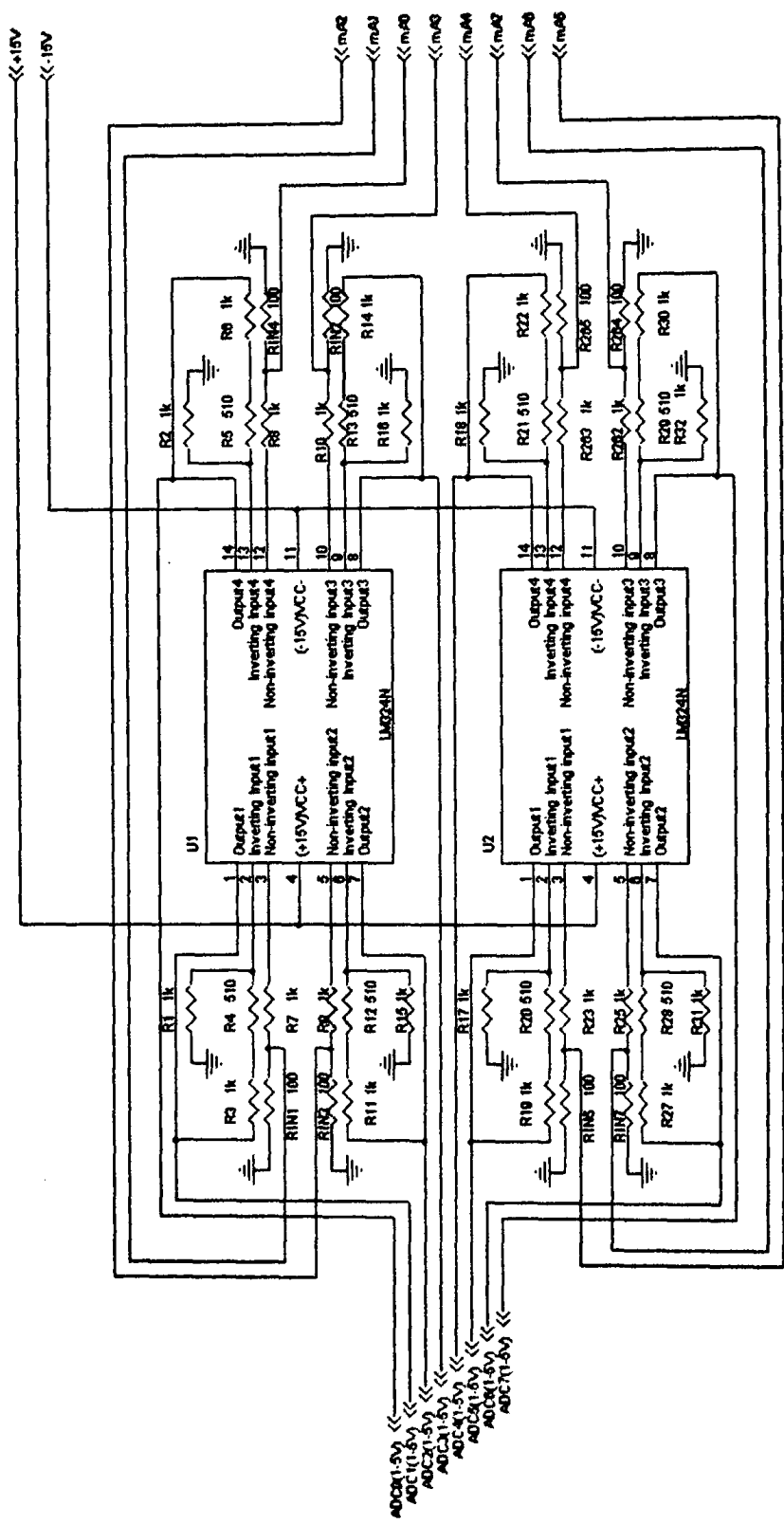


Εικόνα 3.15: Γενικό διάγραμμα της διεπαφής SPI

### 3.1.2.5 – Η συνδεσμολογία της διεπαφής 4-20mA

Η διεπαφή 4-20mA χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα ανάγνωσης δεδομένων για την συλλογή των μετρήσεων από τους αισθητήρες. Η διεπαφή 4-20mA χρησιμοποιείται ευρύτατα σε μετρητικές διατάξεις στις βιομηχανίες, στα αυτοκίνητα, και γενικά όπου υπάρχουν αισθητήρες. Στην εικόνα 3.16 φαίνονται τα ολοκληρωμένα κυκλώματα των τελεστικών ενισχυτών LM324N [18]. Το κύκλωμα μετατρέπει το σήμα που προέρχεται από κάθε αισθητήρα σε σήμα κατάλληλο να οδηγηθεί στον μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter, ADC).

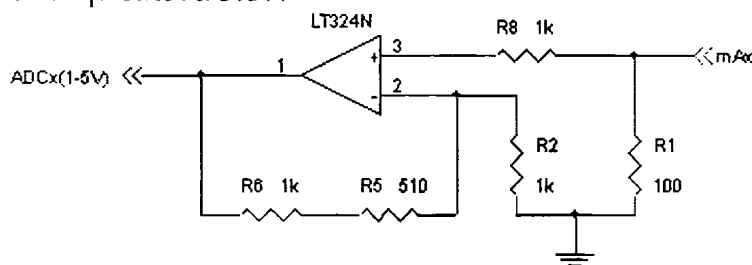




Εικόνα 3.16: Γενικό διάγραμμα της διεπαφής 4-20 mA



Αναλυτικότερα κάθε αισθητήρας με έξοδο 4-20mA διαβάζει τη φυσική παράμετρο και παράγει σήμα το οποίο έχει σταθερή τάση 12 V και μεταβλητό ρεύμα (περίπου 4 mA για την χαμηλότερη τιμή και 20 mA για την υψηλότερη). Ακολούθως το σήμα αυτό, το οποίο στις εικόνα 3.16 δηλώνεται ως mA<sub>x</sub>, όπου x αρίθμηση αισθητήρα, μετατρέπεται σε σήμα τάσης με πλάτος ανάλογο του ρεύματος ADC<sub>x</sub>, 0-5V. Η μετατροπή αυτή βασίζεται στο κύκλωμα που παρουσιάζεται στην εικόνα 3.17.



Εικόνα 3.17: Μετατροπή σήματος από 4-20 mA σε 0-5 V

Πρόκειται για μια αναστρέφουσα συνδεσμολογία του τελεστικού ενισχυτή και ως εκ τούτου για το κέρδος του A θα ισχύει ότι:  $A=1+R_B/R_A$  όπου:  $A=V_{out}/V_{in}$ ,  $R_A=R_2$ ,  $R_B=R_6 + R_5$ ,  $V_{out}=ADC_x$ , και  $V_{in}=V_{R1}=I_{R1} \cdot R_1 \Rightarrow V_{in} = mA_x \cdot R_1$ . Δηλαδή  $V_{out}(V)=0.251 I_{in} (mA)$ . Στη συνέχεια το σήμα ADC<sub>x</sub> καταλήγει στην είσοδο του ενσωματωμένου ADC (10 dits) στον Atmega128.

Επομένως, συμπερασματικά: Για  $I_{in} = 4mA$ ,  $V_{out}(V)=1.00V$ , ενώ για  $I_{in} = 20mA$ ,  $V_{out}(V)=5.00V$  και το 1Volt αντιστοιχεί σε 204.8 ADC counts, ενώ ρεύμα 1 mA αντιστοιχεί σε 51.2 ADC counts.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης εξόδου του ADC χωρίζεται σε δύο μέρη. Στα οκτώ πιο σημαντικά bits και στα δύο λιγότερο σημαντικά bits. Τα πρώτα αποθηκεύονται σε έναν οκτάμπιτο καταχωρητή, τον ADCH και τα δύο τελευταία bits στις δύο τελευταίες θέσεις ενός επίσης οκτάμπιτου καταχωρητή, του ADCL. Το σύστημα ανάγνωσης δεδομένων έχει τη δυνατότητα καταγραφής οκτώ αισθητήρων μιας και δύναται να λαμβάνει σήματα από κάθε ακροδέκτη της πόρτας F (PF0 έως PF7). Εσωτερικά στο μικροελεγκτή και για τα οκτώ pins χρησιμοποιείται ο ίδιος ADC, η επιλογή της εισόδου γίνεται με έναν πολυπλέκτη 8 σε 1 (Mux8→1).

Εάν απαιτείται πολύ μεγάλη ακρίβεια κατά τη μετατροπή του σήματος στον τελεστικό ενισχυτή θα πρέπει στο κύκλωμα της μετατροπής (εικόνα 3.17) να χρησιμοποιηθούν αντιστάσεις μεγαλύτερης ακρίβειας από τις υπάρχουσες.

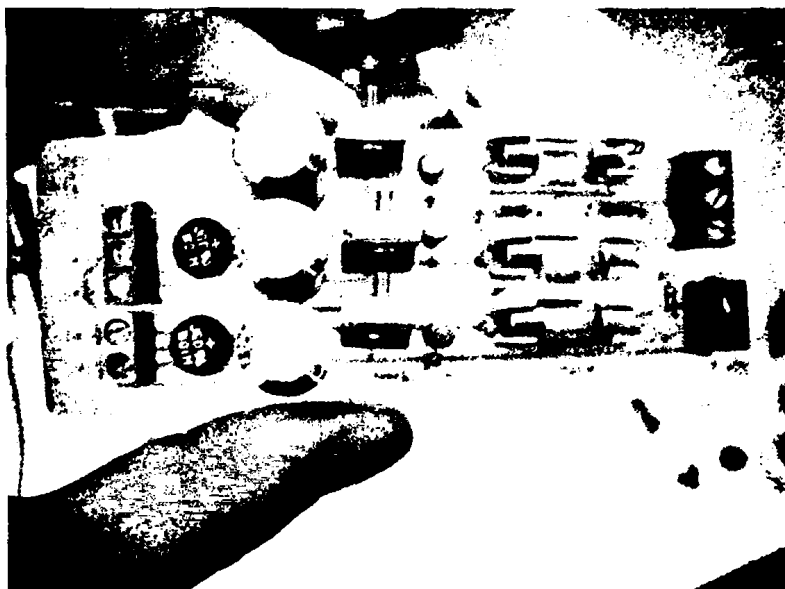
### 3.1.2.6 – Προγραμματισμός του μικροελεγκτή

Στη διαδικασία προγραμματισμού του ATmega128 χρησιμοποιήθηκαν δύο προγραμματιστές, ο STK500 και ο JTAGIn-CircuitEMULATORmkII (JTAGICEmkII) που περιγράφονται στο υποκεφάλαιο 3.5.2. Στις εικόνες 3.1 και 3.3 φαίνεται η ομάδα των ακροδεκτών (header) που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση ISP του AVR με τον programmer.

Ο προγραμματιστής JTAG επιπρόσθετα δίνει και τη δυνατότητα απασφαλμάτωσης (debugging) του προγράμματος. Ο όρος debug προήρθε από τα αρχικά στάδια των υπολογιστών, τότε που αυτοί ήταν τεράστιοι σε όγκο καλύπτοντας μια αίθουσα. Εκείνη την εποχή δημιουργούνταν προβλήματα από τα σκαθάρια (bugs) τα οποία αγαπούσαν την θερμότητα που παράγονταν από τις διατάξεις των τρανζίστορς, τις τότε λυχνίες, δημιουργώντας σφάλματα. Έτσι καθιερώθηκε ο όρος debugging ως ο τρόπος απασφαλμάτωσης, απόρριψης δηλαδή των λάθος καταστάσεων (σφαλμάτων). Η διαδικασία debugging ξεκινά την λειτουργία της κάνοντας «START debugging» από κατάλληλο λογισμικό (π.χ. Studio4 της ATMEL), αλλά δεν διορθώνει τα σφάλματα αυτόματα. Δίνει τη δυνατότητα με τη τοποθέτηση προσωρινών διακοπών λειτουργίας στον κώδικα να ελέγχει ο προγραμματιστής τις τρέχουσες τιμές στη μνήμη και στους καταχωρητές του μικροεπεξεργαστή [19]. Στις εικόνες 3.1 και 3.3 φαίνεται η ομάδα των ακροδεκτών (header) που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του debugger JTAGICEmkII

### 3.1.3 – Το τροφοδοτικό του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων

Για τη σχεδίαση του τροφοδοτικού του συστήματος λήφθηκε υπ όψιν οι συνολική μέγιστη κατανάλωση την οποία απαιτεί το σύστημα ανάγνωσης δεδομένων, οι αισθητήρες, οι ηλεκτρονόμοι και ο διακοσμητής διαδικτύου με τον οποίο συνεργάζεται το σύστημα ανάγνωσης δεδομένων. Σημαντικό ρόλο έπαιξε επίσης και το μέγεθος του τροφοδοτικού επειδή ενσωματώθηκε στον ηλεκτρικό πίνακα του κυκλώματος αυτοματισμού. Όπως παρουσιάζεται στην εικόνα 3.18 το τροφοδοτικό έχει τις εξής διαστάσεις, μήκος 11.5cm, πλάτος 4.5cm και ύψος 3.5cm.



Εικόνα 3.18: Το τροφοδοτικό του συστήματος

Το τροφοδοτικό έχει επίσης κλέμες για τη σύνδεση των καλωδίων, γέφυρες για την ανόρθωση, σταθεροποιητές στα 5 V και στα  $\pm 12$  V, κατάλληλους πυκνωτές για τους σταθεροποιητές, ασφάλειες στο 1A, ενδεικτικά LEDs και αντιστάσεις. Οι ασφάλειες καλύπτουν τη μέγιστη κατανάλωση των μονάδων του συστήματος σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα 3.1.

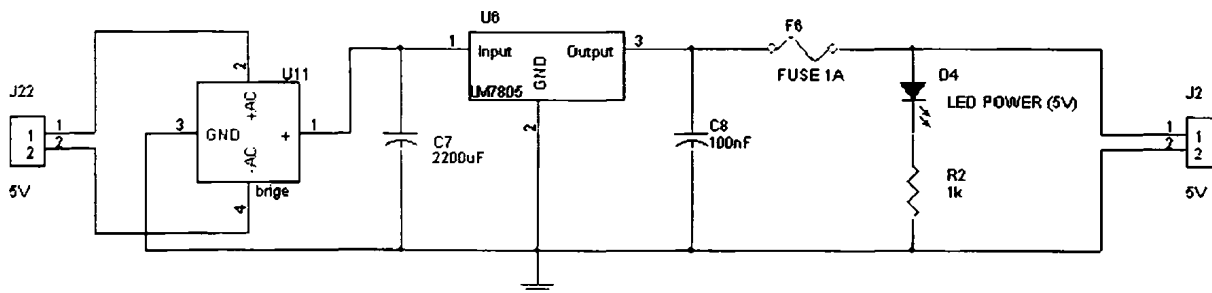
**Πίνακας 3.1:** Μέγιστο απαιτούμενο ρεύμα ανά τμήμα του συστήματος ανάγνωσης

		Αισθητήρες	Μικροελεγκτής	Ηλεκτρονόμοι	Σύνολο	Ανώτατο όριο
+12V	mA	68,4	40	80	228,4	1000
-12V	mA		40		40	1000
+5V	mA		400	80	880	1000

Οι σταθεροποιητές LM7805, LM7812 και LM7912 αποδίδουν έως και 1A μέγιστο ρεύμα, όμως με την προσθήκη ψηκτρών φτάνουν τα 1,5 A [20].

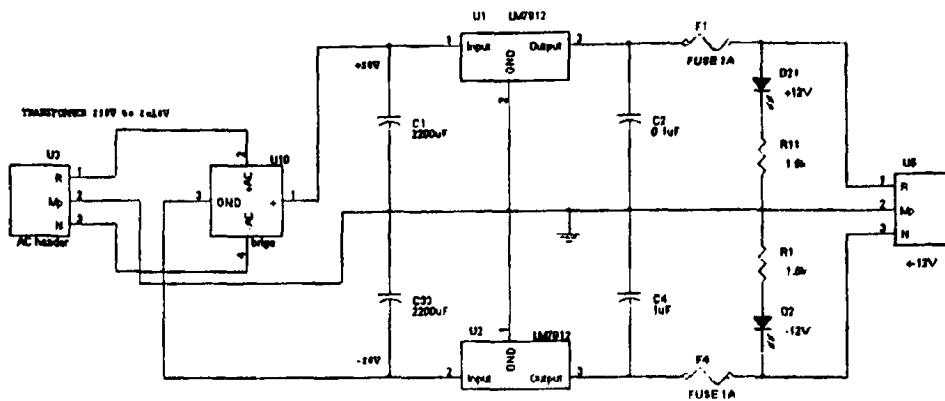
Η συνδεσμολογία του τροφοδοτικού των +5 V παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα της εικόνας 3.19. Στην είσοδο του κυκλώματος λαμβάνεται εναλλασσόμενο ρεύμα +6 V από κατάλληλο μετασχηματιστή (220AC $\rightarrow$ 6AC). Στη συνέχεια ακολουθεί η ανόρθωση με τη χρήση γέφυρας. Ύστερα ο σταθεροποιητής σε συνδυασμό με τους πυκνωτές εξαλείφουν την κυμάτωση (ripple) που δημιουργείται δίνοντας σταθερή τάση +5V. Η ασφάλεια προστατεύει το σύστημα από βραχυκύκλωμα και το LED πληροφορεί το χρήστη για τη τροφοδοσία του συστήματος.

TRANSFORMER 230V to 6V



**Εικόνα 3.19:** Σχηματικό διάγραμμα της τροφοδοσίας των +5V

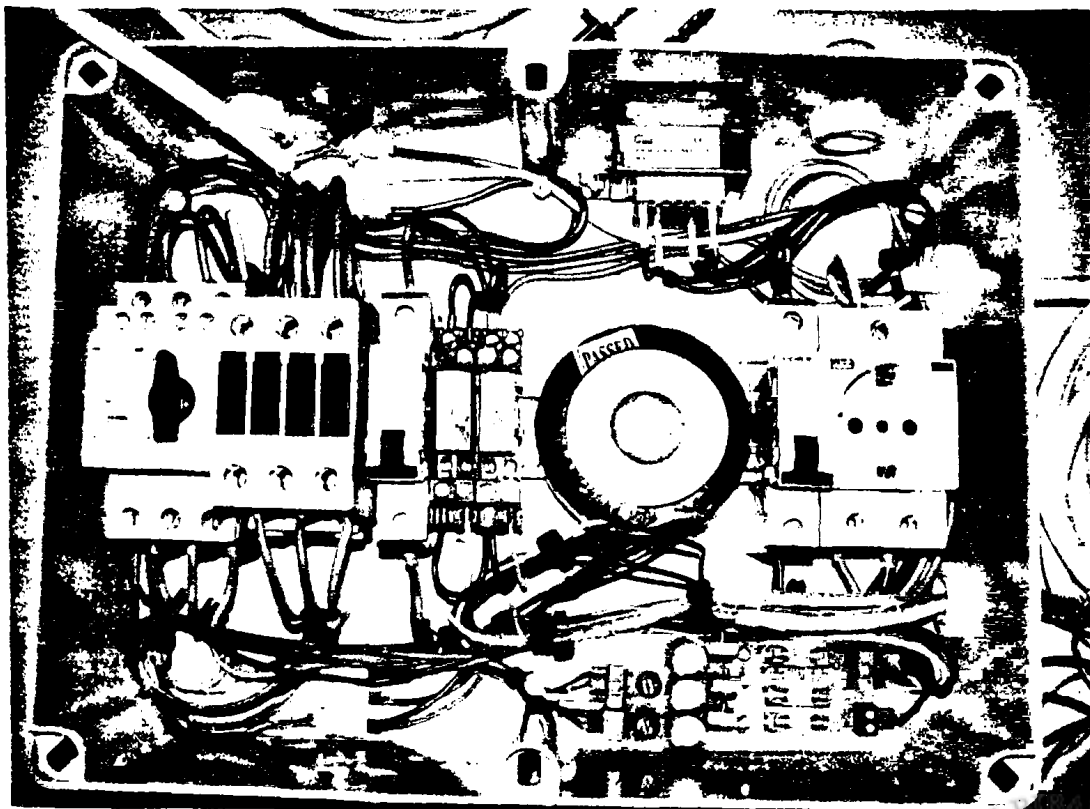
Η συνδεσμολογία του τροφοδοτικού των  $\pm 12$  V παρουσιάζεται σε Σχηματικό διάγραμμα της εικόνας 3.20. Στην είσοδο του κυκλώματος λαμβάνονται εναλλασσόμενο ρεύμα 20V από κατάλληλο μετασχηματιστή (220AC $\rightarrow$ 20AC). Στη συνέχεια ακολουθεί η ανόρθωση με τη χρήση γέφυρας. Ο σταθεροποιητής σε συνδυασμό με τους πυκνωτές εξαλείφουν την κυμάτωση (ripple) που δημιουργείται δίνοντας σταθερή τάση  $\pm 12$  V. Οι ασφάλειες προστατεύουν το σύστημα από βραχυκύκλωμα και τα LEDs πληροφορούν το χρήστη για τη τροφοδοσία του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων, των αισθητήρων και των Relay.



Εικόνα 3.20: Σχηματικό διάγραμμα της τροφοδοσίας των  $\pm 12$  V

### 3.2 – Ηλεκτρικοί αυτοματισμοί του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων - αισθητήρων

Όπως ήδη έχει αναφερθεί το σύστημα περιλαμβάνει μία αντλία και μια ηλεκτροβαλβίδα. Ο αυτοματισμός ελέγχου της αντλίας και της ηλεκτροβαλβίδας συνεργάζεται με το ηλεκτρονικό σύστημα ακολουθώντας τον προγραμματισμό του. Στην εικόνα 3.21 παρουσιάζεται ο ηλεκτρικός πίνακας του αυτοματισμού.



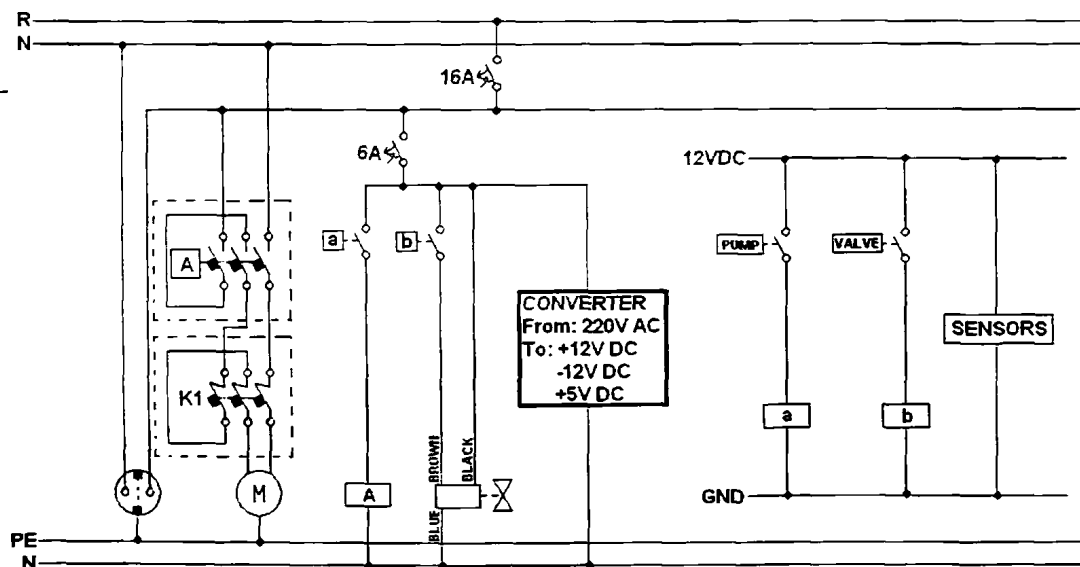
Εικόνα 3.21: Ο ηλεκτρικός πίνακας του αυτοματισμού



Ο ηλεκτρολογικός πίνακας ξεκινώντας από αριστερά προς τα δεξιά τις εικόνες 3.21 περιέχει: Θερμικό προστασίας της αντλίας, ηλεκτρονόμο της αντλίας πρωτεύοντος πηνίου 220Vac, γενική ασφάλεια 16 A, ηλεκτρονόμο της αντλίας πρωτεύοντος πηνίου 12Vdc, ηλεκτρονόμο της ηλεκτροβαλβίδας πρωτεύοντος πηνίου 12Vdc, τοροιδή μετασχηματιστή από 220Vac σε  $\pm 20$ Vac, ασφάλεια 6 A και πρίζα τύπου σούκο. Επίσης περιέχει πάνω τις εικόνες 3.21 μετασχηματιστή από 220Vac σε 6Vac και κάτω τις εικόνες 3.21 το τροφοδοτικό του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων.

Για την ανάπτυξη του ηλεκτρολογικού πίνακα λήφθηκαν υπ όψιν, τα χαρακτηριστικά της αντλίας και της ηλεκτροβαλβίδας.

Στην εικόνα 3.22 παρουσιάζεται το ηλεκτρολογικό πολυγραμμικό σχέδιο του κυκλώματος αυτοματισμού και στον πίνακα 3.2 μία λίστα με τα ηλεκτρολογικά υλικά που χρησιμοποιήθηκαν.



Εικόνα 3.22: Ηλεκτρολογικό πολυγραμμικό σχέδιο του συστήματος αυτοματισμού

Πίνακας 3.2: Υλικά του συστήματος αυτοματισμού

ΥΛΙΚΑ		ΤΕΜΑΧΙΑ
ΡΕΛΕ (A)	3RT1024-1AΡ00	1
ΘΕΡΜΙΚΟ (K1)	3RV1021-1HA10	1
ΠΡΙΖΑ	M1173	1
ΒΑΣΗ	ES3S	2
ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ (6A)	C6A 5SY41	1
ΜΙΚΡΟΑΥΤΟΜΑΤΟΣ (16A)	C16A 5SY41	1
ΒΟΗΘΗΤΙΚΗ ΕΠΑΦΗ	3RV1901-1E	1
ΣΤΥΠΙΟΘΛΗΠΤΗΣ	PG16	2
ΣΤΥΠΙΟΘΛΗΠΤΗΣ	PG13.5	4
ΕΡΜΑΡΙΟ ΣΤΕΓΑΝΟ ΜΕ ΔΙΑΦΑΝΟ ΚΑΠΑΚΙ	ABB	1

### 3.3 – Μηχανολογικό μέρος του συστήματος δειγματοληψίας

Η διαδικασία της δειγματοληψίας απαιτεί την ανανέωση του προς αξιολόγηση νερού. Έτσι εκτός του ηλεκτρονικού και του ηλεκτρολογικού τμήματος απαραίτητο είναι και ένα μηχανολογικό τμήμα. Αυτό αποτελείται από μία αντλία, μία ηλεκτροβαλβίδα, δοχείο δειγματοληψίας, τους πλωτήρες πλήρωσης και κένωσης του δοχείου δειγματοληψίας και τις σωληνώσεις.

Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν αντλία ισχύος 1Hp για την πλήρωση του δοχείου, δοχείο από ανοξείδωτο χάλυβα χωρητικότητας 75 λίτρων, ένας πλωτήρας ελέγχου της πλήρωσης και ένας της εκκένωσης του δοχείου, ηλεκτροβαλβίδα η οποία εκκενώνει το δοχείο και τέλος 40 μέτρα πλαστικών σωληνώσεων διαμέτρου μίας ίντσας. Οι σωληνώσεις αυτές χρησιμεύουν για τη μεταφορά νερού από το ποτάμι και για την εκκένωση του δοχείου. Για ασφάλεια το δίκτυο των σωληνώσεων περιέχει και μία έξοδο του νερού για την περίπτωση υπερχειλίσης του δοχείου.

Ακόμη στο δοχείο δειγματοληψίας χρησιμοποιήθηκε σιλικόνη κατάλληλη για ενυδρεία. Οι διαστάσεις της μεταλλικής κατασκευής στην οποία τοποθετήθηκε το σύστημα έχει διαστάσεις 60x140x100 (cm).

Στην εικόνα 3.23 φαίνονται τα μέρη του μηχανολογικού τμήματος.

Πλωτήρας  
πλήρωσης

Υπερχειλίση

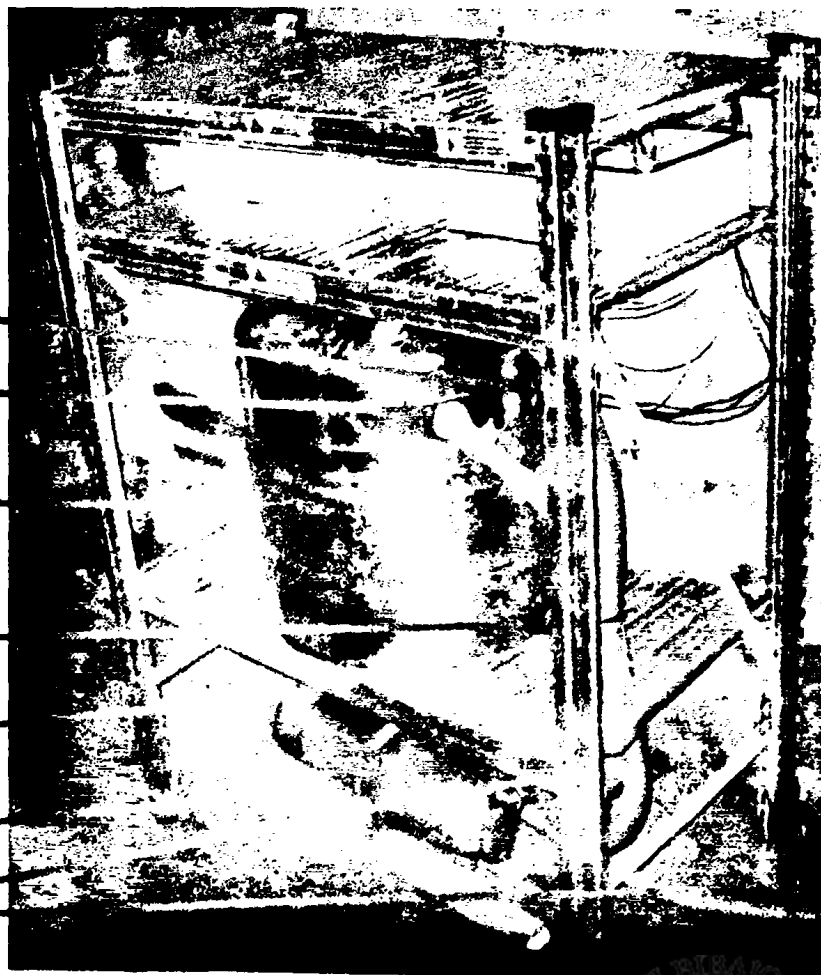
Δοχείο  
δειγματοληψίας

Πλωτήρας  
Εκκένωσης

Ηλεκτροβαλβίδα

Αντλία

Σωληνώσεις



Εικόνα 3.23: Μηχανικό τμήμα του συστήματος δειγματοληψίας

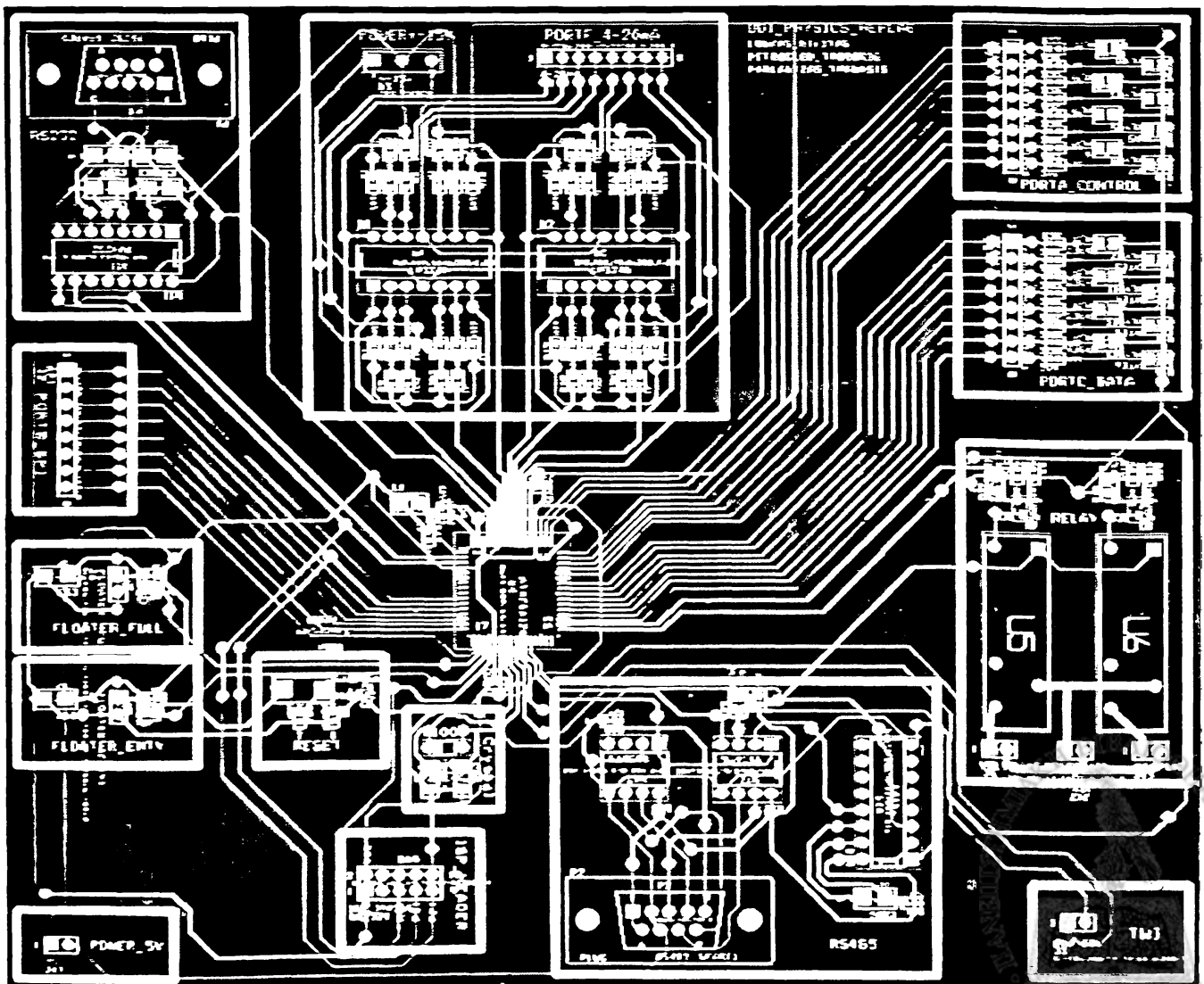


### 3.4 – PCBs

Η φυσική σχεδίαση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του προγράμματος Layout του OrCAD version 9.1 [21]. Στο Layout μεταφέρθηκε το σχηματικό διάγραμμα που σχεδιάστηκε στο Capture OrCAD9.1 του OrCAD9.1 μεταφέροντας έτσι τις συνδέσεις, το είδος των ακροδεκτών (footprint) και το μέγεθος των υλικών (components).

#### 3.4.1 – Πλακέτα συστήματος ανάγνωσης πληροφορίας έκδοση 1.0 (version 1.0)

Κατά τη διάταξη των components στο Layout, σχεδιάστηκαν πολλές εκδόσεις (version). Παρακάτω παρουσιάζονται δύο. Η έκδοση 1.0 και η έκδοση 2.3. Η τελευταία χρησιμοποιήθηκε τελικά στην εφαρμογή του συστήματος ανάγνωσης - καταγραφή. Αξίζει να αναφερθεί ότι η πλακέτα της V2.3 είναι κατά 48% μικρότερη από την V1. (εικόνα 3.24), με καλύτερη σχεδίαση αναφορικά με τη σχεδίαση της επιφάνειας.



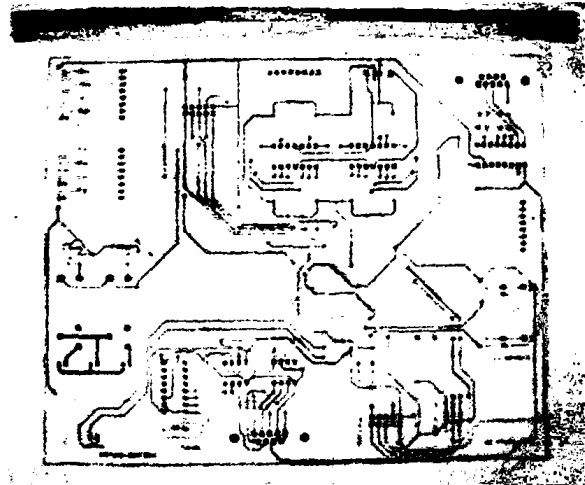
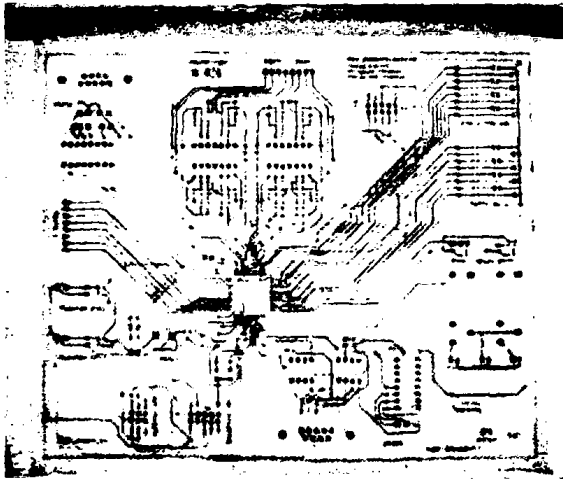
Εικόνα 3.24: Σχεδίαση πλακέτας PCB του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων V1.0



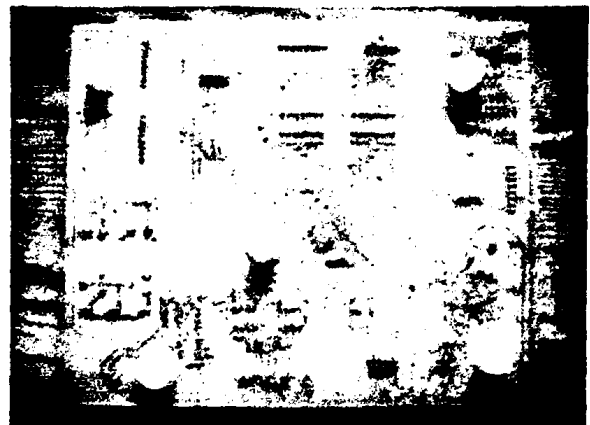
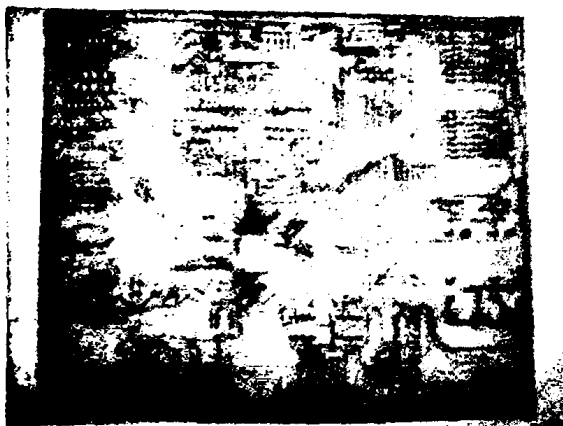
Στην εικόνα 3.24 ξεχωρίζουν τα διάφορα μέρη του συστήματος όπως διεπαφές, υποσύνολα ακροδεκτών, ηλεκτρονόμοι, κύκλωμα κρυστάλλου - χρονοστή και reset. Όπως παρατηρείται ο ATmega128 είναι τοποθετημένος στο κέντρο για λόγους μέγιστης εργονομίας.

Η έκδοση V1.0 της πλακέτας τυπώθηκε στο Εργαστήριο Υψηλών Ενεργειών από εκτυπωμένο ριζόχαρτο (εικόνες 3.25 και 3.26). Πρόκειται για πλακέτα δύο επιπέδων (layers), με τη χρήση κατάλληλων χημικών αποχάλκωσης και εμφάνισης και μετά από επικασσιτέρωση πήρε τη μορφή των εικόνων 3.27 και 3.28.

Για την αποχάλκωση της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε διάλυμα που περιείχε: 350ml H<sub>2</sub>O, 120ml HCl (υδροχλώριο ) και 80ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (υπεροξείδιο του υδρογόνου, Peridrol). Για την εμφάνιση της πλακέτας χρησιμοποιήθηκε διάλυμα που περιείχε: 500ml (υδροξείδιο του καλίου).

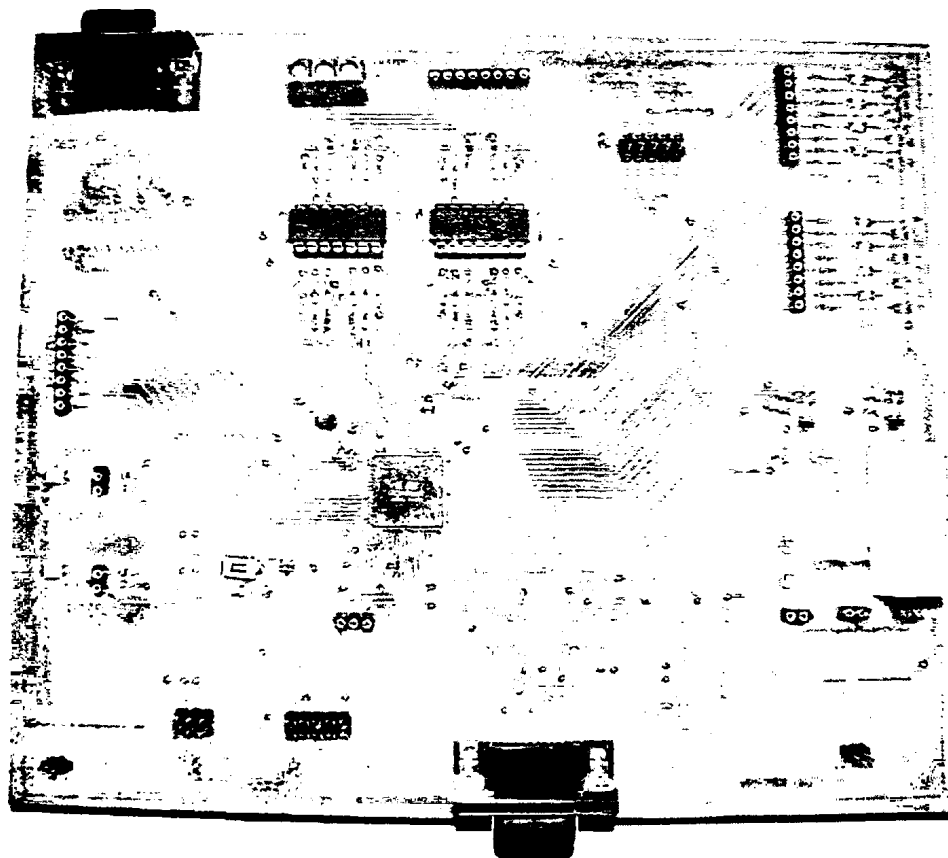


Εικόνες 3.25 και 3.26: Ριζόχαρτο top layer και bottom layer



Εικόνες 3.27 και 3.28: Τυπωμένο κύκλωμα top layer και bottom layer

Εδώ αξίζει να αναφερθεί ότι ο μικροελεγκτής ο οποίος είναι τεχνολογίας επιφανειακής στήριξης (Surface-mount technology, SMT) παρά την θερμότητα που αναπτύχθηκε κατά την κόλληση (270 με 300 °C), διατήρησε το αποθηκευμένο του πρόγραμμα. Το σύστημα λειτούργησε με επιτυχία. Παρουσιάζεται ολοκληρωμένο στην εικόνα 3.29.

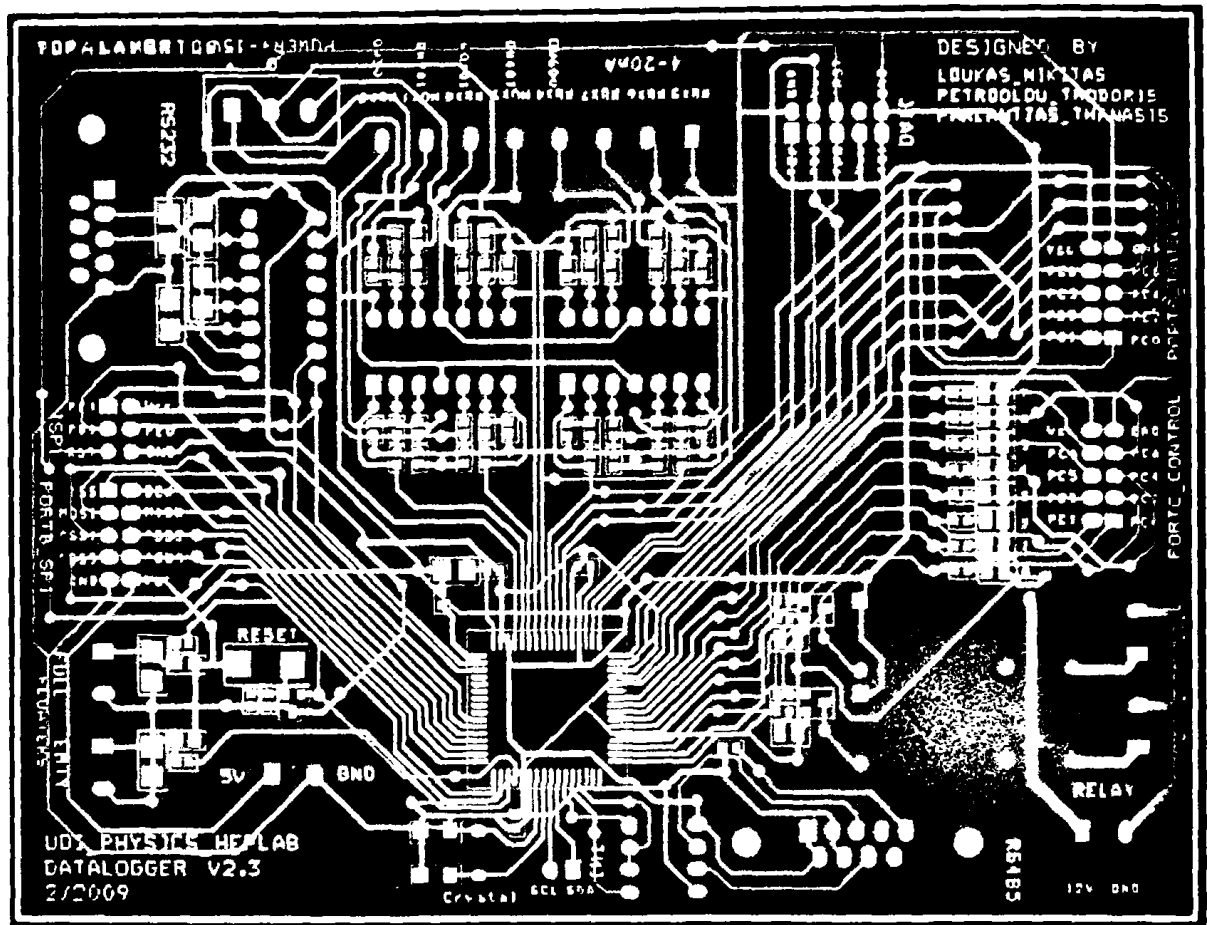


Εικόνα 3.29: Σύστημα ανάγνωσης δεδομένων (V1.0)

#### 3.4.2 – Πλακέτα συστήματος ανάγνωσης δεδομένων έκδοση 2.3 (version 2.3)

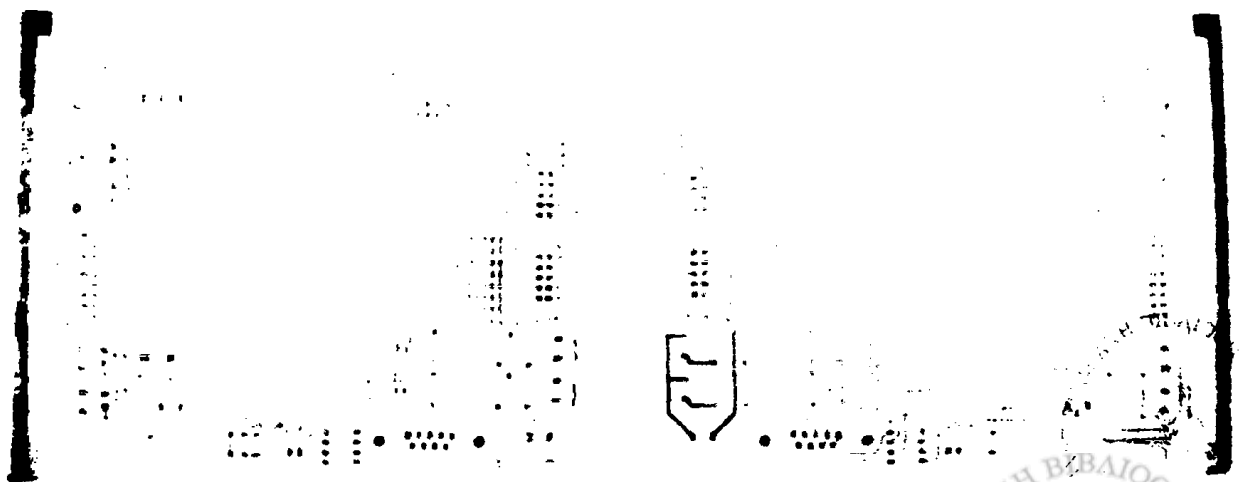
Στην version 2.3 εκτός από την καλύτερη διάταξη των ηλεκτρονικών στοιχείων που όπως αναφέρθηκε μείωσε σημαντικά την επιφάνεια της πλακέτας, χρησιμοποιήθηκαν και αρκετά διαφορετικά υλικά. Η τελευταία έκδοση, δίνει μεγαλύτερη ευχρηστία (όπως οι ακροδέκτες στις πόρτες εισόδων - εξόδων) προσφέροντας καλύτερο έλεγχο (όπως στον διακόπτη του reset).

Η διαδικασία που ακολουθήθηκε στη φυσική υλοποίηση (τύπωση, επεξεργασία με χημικά, επικασσιτέρωση, τρύπημα, κολλήσεις, έλεγχος τυχόν διακοπής γραμμών, επιτυχής προγραμματισμός) είναι ίδια με αυτή των προηγούμενων εκδόσεων. Στην εικόνα 3.30 παρουσιάζεται η σχεδίαση στο Layout του λογισμικού OrCAD.



Εικόνα 3.30: Σχέδιο πλακέτας (PCB) του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων V(2.3)

Η έκδοση V2.3 της πλακέτας τυπώθηκε στο Εργαστήριο Υψηλών Ενεργειών από εκτυπωμένο ριζόχαρτο (εικόνες 3.31 και 3.32). Πρόκειται για πλακέτα δύο επιπέδων (layers) και με τη χρήση κατάλληλων χημικών και τοποθέτησης των components πήρε τη μορφή των εικόνων 3.33 και 3.34.

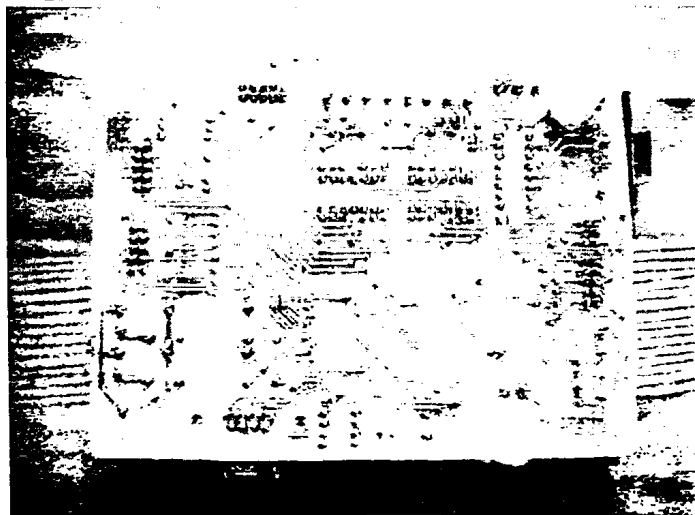
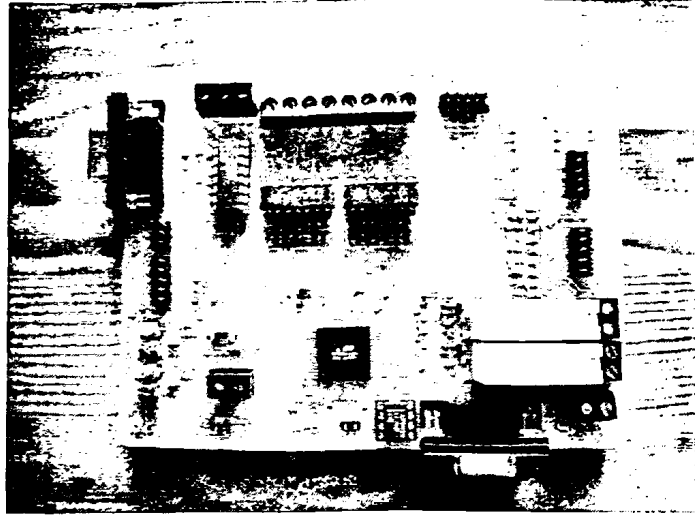


Εικόνες 3.31 και 3.32: Ριζόχαρτο top layer και bottom layer



Όπως διακρίνεται, στην έκδοση αυτή κλέμες έχουν αντικαταστήσει ακροδέκτες των προηγούμενων εκδόσεων με αποτέλεσμα την εύκολη και αξιόπιστη σύνδεση της πλακέτας με εξωτερικές συσκευές. Επιπρόσθετα αλλαγές έγιναν στη διεπαφή 485 όπου το ολοκληρωμένο LTC1485 πήρε τη θέση των τριών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που υπήρχαν εκεί. Νέοι συστάδες ακροδεκτών αντικατέστησαν τους παλαιότερους με πλεονέκτημα την εύκολη σύνδεσή τους με καλωδιωταινίες.

Κλέμες αντικατέστησαν επίσης και την τροφοδοσία των +5V και ±12V αλλά και την διασύνδεση των ηλεκτρονόμων και των πλωτήρων εξασφαλίζοντας ασφάλεια στη σύνδεση. Το σύστημα ελέγχθηκε και όλες οι διεπαφές λειτούργησαν με επιτυχία. Η εικόνα 3.35 παρουσιάζει το σύστημα σε λειτουργία όπως δοκιμάστηκε στο εργαστήριο. Εδώ διακρίνονται εύκολα οι καλωδιωταινίες που συνδέεται ο μικροελεγκτής με τις εξωτερικές συσκευές web server, αισθητήρες και τον προγραμματιστή JTAGICEmkII.



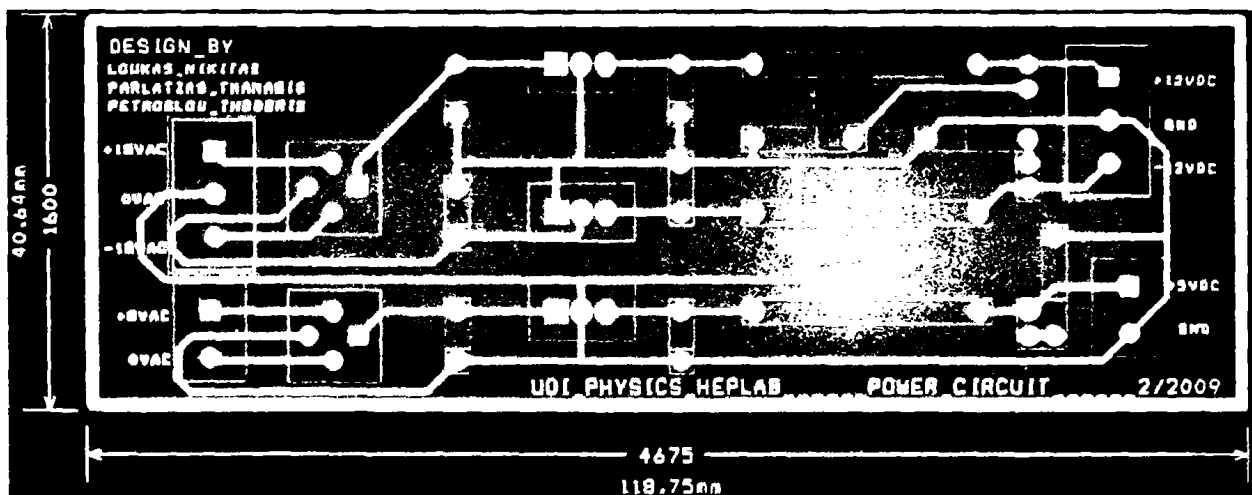
Εικόνες 3.33 και 3.34: Το σύστημα πάνω και κάτω όψη



Εικόνα 3.35: Μετάδοση πληροφορίας με πρωτόκολλο 4-20mA (Στο εργαστήριο)

### 3.4.3 – Υλοποίηση του τροφοδοτικού

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο στο υποκεφάλαιο 3.1.3 το συγκεκριμένο τροφοδοτικό είναι ικανό να καλύψει τις ανάγκες που απαιτούνται για τη σωστή λειτουργία του συστήματος ανάγνωσης παρέχοντας +5 V και  $\pm 12$  V στο σύστημα. Η σχεδίασή του έγινε και αυτή στο Capture και στη συνέχεια στο Layout του OrCAD, η πλακέτα του ήταν δύο επιπέδων. Στην εικόνα 3.36 παρουσιάζεται η φυσική σχεδίαση με τις πραγματικές διαστάσεις του.



Εικόνα 3.36: Το PCB (φυσική σχεδίαση) του τροφοδοτικού

Το τροφοδοτικό εγκαταστάθηκε στον ηλεκτρολογικό πίνακα όπως και οι μετασχηματιστές του (υποκεφάλαιο 3.2.3). Οι μετασχηματιστές είναι δύο και επίσης δύο τύπων. Ο πρώτος είναι απλός και μετασχηματίζει τα 220V AC σε 6V AC. Ο δεύτερος είναι τοροειδής και μετασχηματίζει τα 220V AC σε  $\pm 20$ V AC. Ακολούθως την διαδικασία της ανόρθωσης αναλαμβάνει το κύκλωμα του τροφοδοτικού.

### 3.5 – Λογισμικό

Το λογισμικό (software) είναι γραμμένο σε γλώσσα embedded C. Το πρόγραμμα περιέχει κατάλληλες εντολές ικανές για τον έλεγχο των διεπαφών 4-20mA, τους πλωτήρες, τους ηλεκτρονόμους και την επικοινωνία του ATmega128 με την CPU του εξυπηρετητή διαδίκτυου (ATmega16). Στο υποκεφάλαιο 3.5.1 δίνεται διάγραμμα ροής του κώδικα εντολών που εκτελεί ο μικροελεγκτής. Στο παράρτημα Α1 αναπτύσσεται αναλυτικά ο κώδικας που φορτώθηκε και εκτελείται στον μικροελεγκτή και στα παραρτήματα Α2.1, Α2.2, Α2.3 κώδικες που ελέγχουν τις διεπαφές που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή οι οποίες ελέγχθηκαν στο εργαστήριο και είναι λειτουργικές. Τέλος στο υποκεφάλαιο 3.5.2 λόγος γίνεται για δύο συσκευές που χρησιμοποιήθηκε για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή ATmega128.

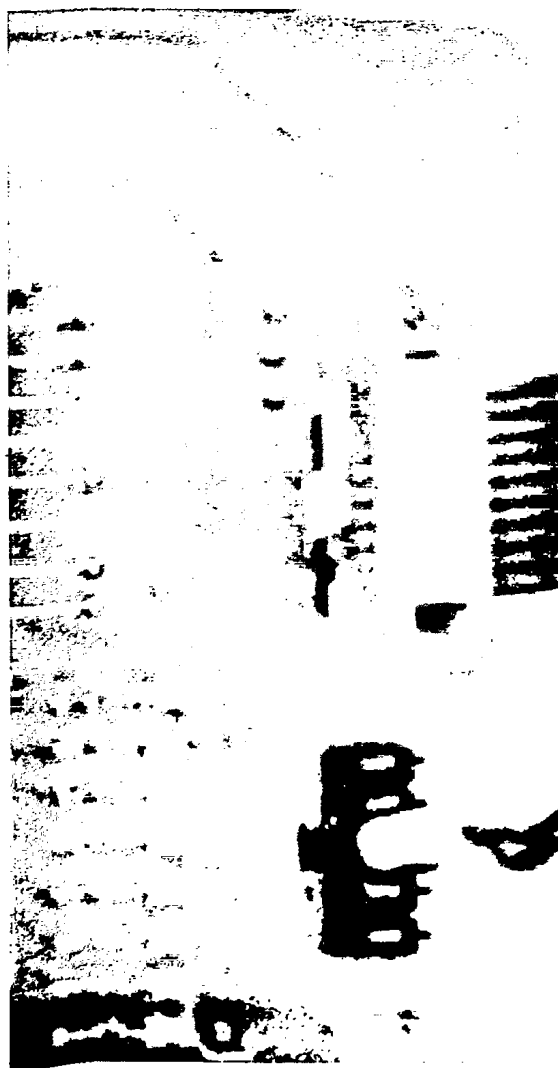


### 3.5.1 – Διάγραμμα ροής του προγράμματος του συστήματος

Η επικοινωνία μεταξύ του συστήματος συλλογής δεδομένων που αναπτύχθηκε για αυτήν τη διπλωματική εργασία και συστήματος του διακοσμητή διαδικτύου, έγινε με πρωτόκολλο παράλληλης επικοινωνίας όπως δείχνει η εικόνα 1.18 του υποκεφαλαίου 1.5.

Το πρωτόκολλο αυτό χρησιμοποιεί δύο πόρτες του κάθε μικροελεγκτή των δύο συστημάτων. Η πρώτη πόρτα μεταφέρει την κρίσιμη πληροφορία όσον αφορά τις τιμές των αισθητήρων (Data Port). Ο ρόλος της δεύτερης πόρτας είναι να στέλνει ψηφία (Control και Status bits) για τις καταστάσεις της αποστολής και τις λείψεις των δεδομένων (Control και Status Port). Στην πλακέτα του συστήματος που σχεδιάστηκε η πόρτα A αντιστοιχεί στην Data Port και η πόρτα C στην Control Port (εικόνα 3.37). Οι ακροδέκτες 5 και 7 (αντιστοιχούν στα LEDs της εικόνας 3.37) ελέγχουν αντίστοιχα την εκκίνηση του συστήματος και την εναλλαγή των μετρήσεων, ενώ ο ακροδέκτης 6 απεικονίζει την κατάσταση της αποστολής.

Το διάγραμμα ροής του προγράμματος που εκτελείται στον ATmega128 απεικονίζεται στην εικόνα 3.40. Στο διάγραμμα παρατηρείται ότι το πρόγραμμα ξεκινάει από το εικονίδιο **START**. Η κατάσταση αυτή είναι αποτέλεσμα της αρχικοποίησης του συστήματος (**RESET**) ή αποτελεί συνέχεια από το εικονίδιο **END** δημιουργώντας έτσι έναν κλειστό βρόχο (Loop) ο οποίος επαναλαμβάνει την εκτέλεση του προγράμματος από την αρχή. Ακολουθώντας από το **START** οδηγείται σε ενέργεια υπό συνθήκη **if** η οποία είναι επαναλαμβανόμενη δημιουργώντας έτσι τελικά μία συνθήκη **while**. Στη συνθήκη αυτή για τη εκτέλεση των επόμενων εντολών του προγράμματος απαιτείται εξωτερική διέγερση από την πλακέτα του Web Server έτσι ώστε το bit 5 της πόρτας C (PORTC) να τεθεί στην λογική τιμή '1'. Τότε στην πλακέτα του συστήματος θα ανάψει το LED7 της πόρτας C (εικόνα 3.37). Η PORTC λειτουργεί στην παρούσα εφαρμογή ως πόρτα ελέγχου (control port). Στη συνέχεια το σύστημα δίνει εντολή στην ηλεκτροβαλβίδα να ανοίξει αδειάζοντας έτσι το νερό που είχε συλλεχθεί στο δοχείο δειγματοληψίας νερού κατά την προηγούμενη μέτρηση. Η επόμενη εντολή είναι της μορφής **while** και παραμένει στη κατάσταση αυτή έως ότου το σύστημα αντιληφθεί ότι το δοχείο άδειασε και η ένδειξη



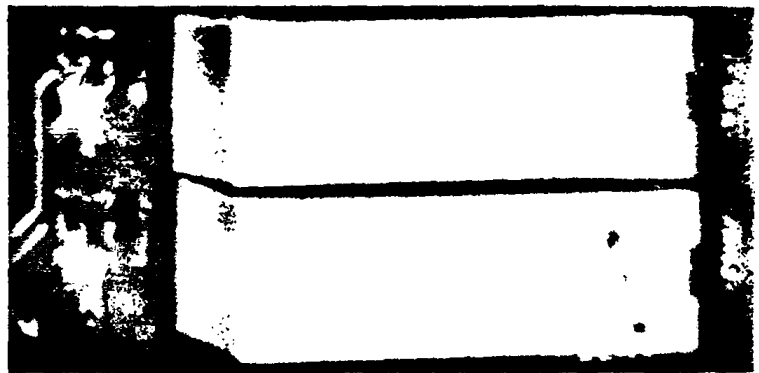
Εικόνα 3.37: Πόρτες C και A

του αδειάσματος δίνεται από τον έλεγχο της κατάστασης του πλωτήρα. Ακολούθως, το πρόγραμμα αναλαμβάνει την πλήση του δοχείου δειγματοληψίας για ένα δύο λεπτά. Γι' αυτό οι δύο καταστάσεις που ακολουθούν περιέχουν τις εντολές της εκκίνησης της αντλίας και μιας καθυστέρησης 120 sec (delay) μέχρι την επόμενη εντολή. Στην συνέχεια το πρόγραμμα κλίνει την ηλεκτροβαλβίδα για να ακολουθήσει η πλήρωση του δοχείου δειγματοληψίας νερού.

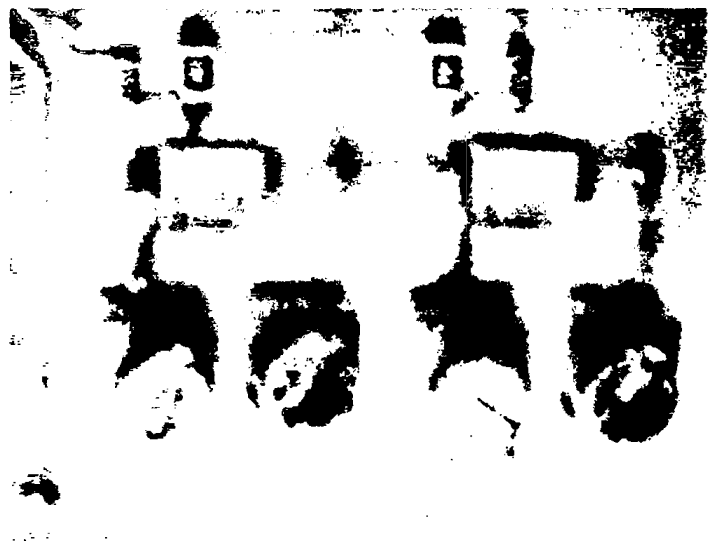
Το τμήμα της πλακέτας που αφορά τον έλεγχο των ηλεκτρονόμων παρουσιάζεται στην εικόνα 3.38 και των πλωτήρων στη εικόνα 3.39. Η ένδειξη της πλήρωσης του δοχείου δειγματοληψίας παράγεται από ένα δεύτερο πλωτήρα το **Floater Full**, με μια συνθήκη **while**. Μόλις ο πλωτήρας δώσει την πληροφορία ότι η στάθμη του νερού έφτασε στο ανώτατο σημείο η αντλία κλίνει και το πρόγραμμα περιμένει για ένα λεπτό ώστε οι αισθητήρες να έχουν τον απαιτούμενο χρόνο προσαρμογής (Warm Up Time) στις καινούριες συνθήκες. Στη συνέχεια ακολουθούν οι μετρήσεις. Γι' αυτές χρησιμοποιείται η λογική ενός βρόχου **for loop**, ο οποίος επαναλαμβάνεται πέντε φορές, μία για κάθε αισθητήρα.

Ακολουθεί η αποστολή των τιμών στην πλακέτα του διακοσμητή διαδικτύου, μέσω της πόρτας A (PORTA). Αυτή έχει οριστεί να λειτουργεί ως πόρτα μεταφοράς δεδομένων (data port). Η πόρτα A παίρνει την τιμή του πρώτου αισθητήρα **PORTA = sensor[0]**. Ακολουθεί **while** συνθήκη έως ότου το bit5 της πόρτας A πάρει τη λογική τιμή '0'.

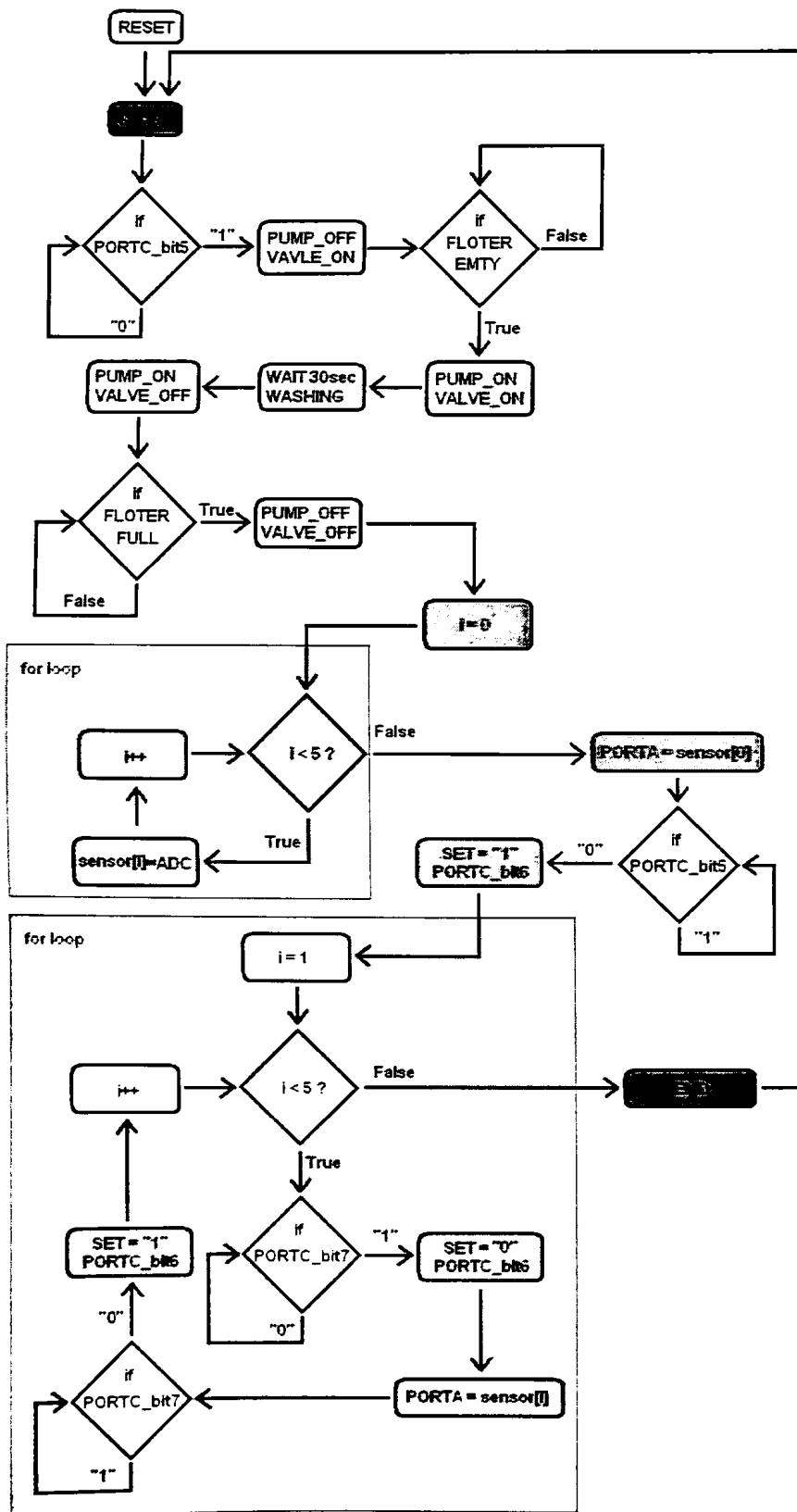
Τότε ο μικροελεγκτής θέτει το λογικό ένα στο bit6 της πόρτας C. Μετά το πρόγραμμα εκτελεί ένα βρόχο **for** με σκοπό την αποστολή των υπόλοιπων καταγεγραμμένων τιμών στον διακομιστή διαδικτύου. Περιμένει το bit7 της PORTA να γίνει λογικό '1', θέτει ίσο με λογικό '0' το bit6 της PORTC, αποστέλλει την τιμή **sensor[i]** στην PORTA, περιμένει το bit7 της PORTA να αλλάξει από λογικό '1' σε λογικό '0' και θέτει το bit6 της PORTC από λογικό '0' σε λογικό '1'. Το πρόγραμμα τελειώνει στο **END** και επανέρχεται στο **START**, έτοιμο για την επόμενη διαδικασία μέτρησης.



Εικόνα 3.38: Κύκλωμα ελέγχου ηλεκτρονόμων



Εικόνα 3.39: Κύκλωμα ελέγχου πλωτήρων



Εικόνα 3.40: Διάγραμμα ροής του προγράμματος του ATmega128



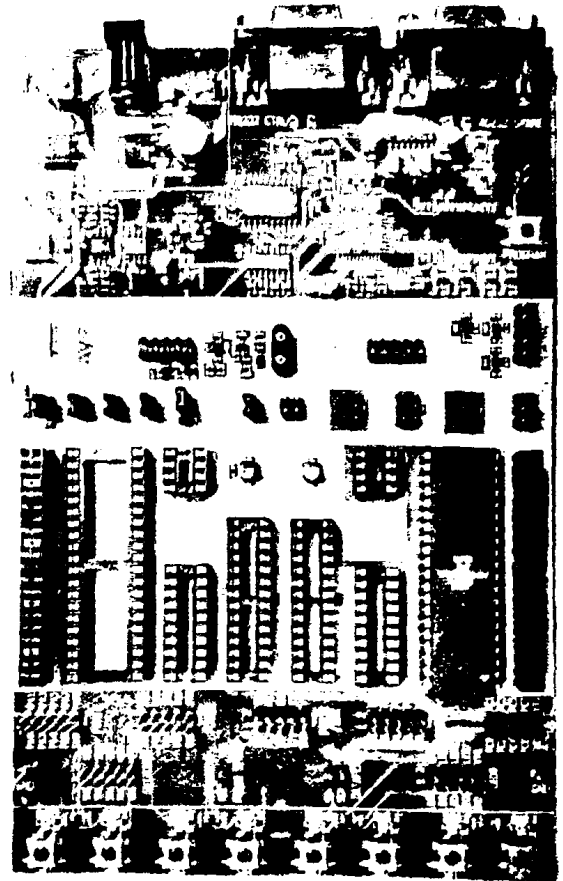
### 3.5.2 – Λογισμικό προγραμματισμού και προγραμματιστές

Προς επίτευξη του προγραμματισμού του AVR ATmega128 εγκαταστάθηκε το λογισμικό Studio4.15 της ATMEL. Ακόμη από την ίδια εταιρία χρησιμοποιήθηκε κατάλληλο υλικό προγραμματισμού συνδεδεμένο με τις διεπαφές του μικροελεγκτή ISP και JTAG. Αυτό ονομάζεται προγραμματιστής (programmer). Οι προγραμματιστές ήταν δύο, ο STK500 και ο JTAGICEmk2.

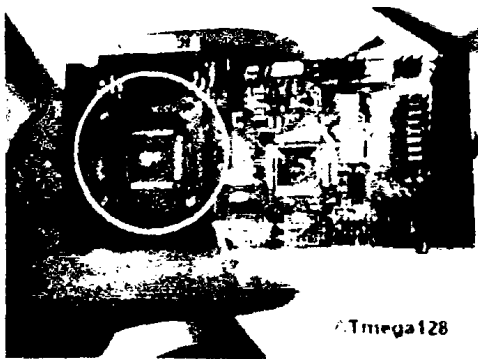
Για τη χρήση του STK500 (εικόνα 3.41) ενσωματώθηκε σε αυτόν το πρόσθετο υλικό (socket) STK501 (εικόνα 3.42). Ο προγραμματιστής αυτός αποτελεί ταυτόχρονα και ένα ολοκληρωμένο αναπτυξιακό περιέχοντας διακόπτες, LEDs, θέση για εξωτερικό κρύσταλλο αρκετούς headers για προγραμματισμό και εξωτερική επικοινωνία. Συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω RS232.

Ο JTAGICEmkII (εικόνα 3.43) υπερτερεί στην σύνδεση του με τον υπολογιστή διότι χρησιμοποιεί διεπαφή USB και έτσι ο μικροελεγκτής προγραμματίζεται εύκολα σε μια απομακρυσμένη περιοχή. Ακόμα λειτουργεί και ως debugger. Όμως το μειονέκτημα του σε σχέση με το STK500 είναι ότι δεν αποτελεί ταυτόχρονα και αναπτυξιακό.

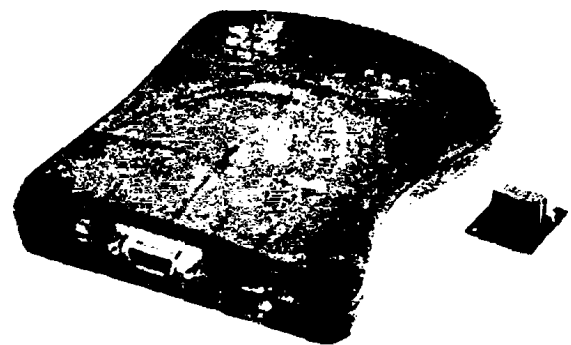
Στο Παράρτημα Γ παρουσιάζονται απλά βήματα για τον προγραμματισμό της κατασκευασμένης πλακέτας που αναπτύχθηκε.



Εικόνα 3.41: Το STK500



Εικόνα 3.42: Το STK501



Εικόνα 3.43: Ο προγραμματιστής JTAGICE mk2

## Κεφάλαιο 4

### 4. Αποτίμηση του συστήματος

#### 4.1 – Βαθμονόμηση αισθητήρων

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια η διεπαφή που χρησιμοποιήθηκε για την συλλογή των μετρήσεων της ποιότητας του νερού ήταν διεπαφή 4-20 mA. Εγκαταστάθηκαν πέντε αισθητήρες της εταιρίας Global Water [12]. Για τη σωστή λειτουργία του συστήματος, δηλαδή τη καταγραφή των πραγματικών μετρήσεων, απαραίτητη είναι η βαθμονόμηση (calibration) των αισθητήρων. Η εταιρία Global Water η οποία προμήθευσε τους αισθητήρες, τους παρείχε βαθμονομημένους και έτσι απλοποιήθηκε η διαδικασία βαθμονόμησης, με τον έλεγχο της εργοστασιακής βαθμονόμησης.

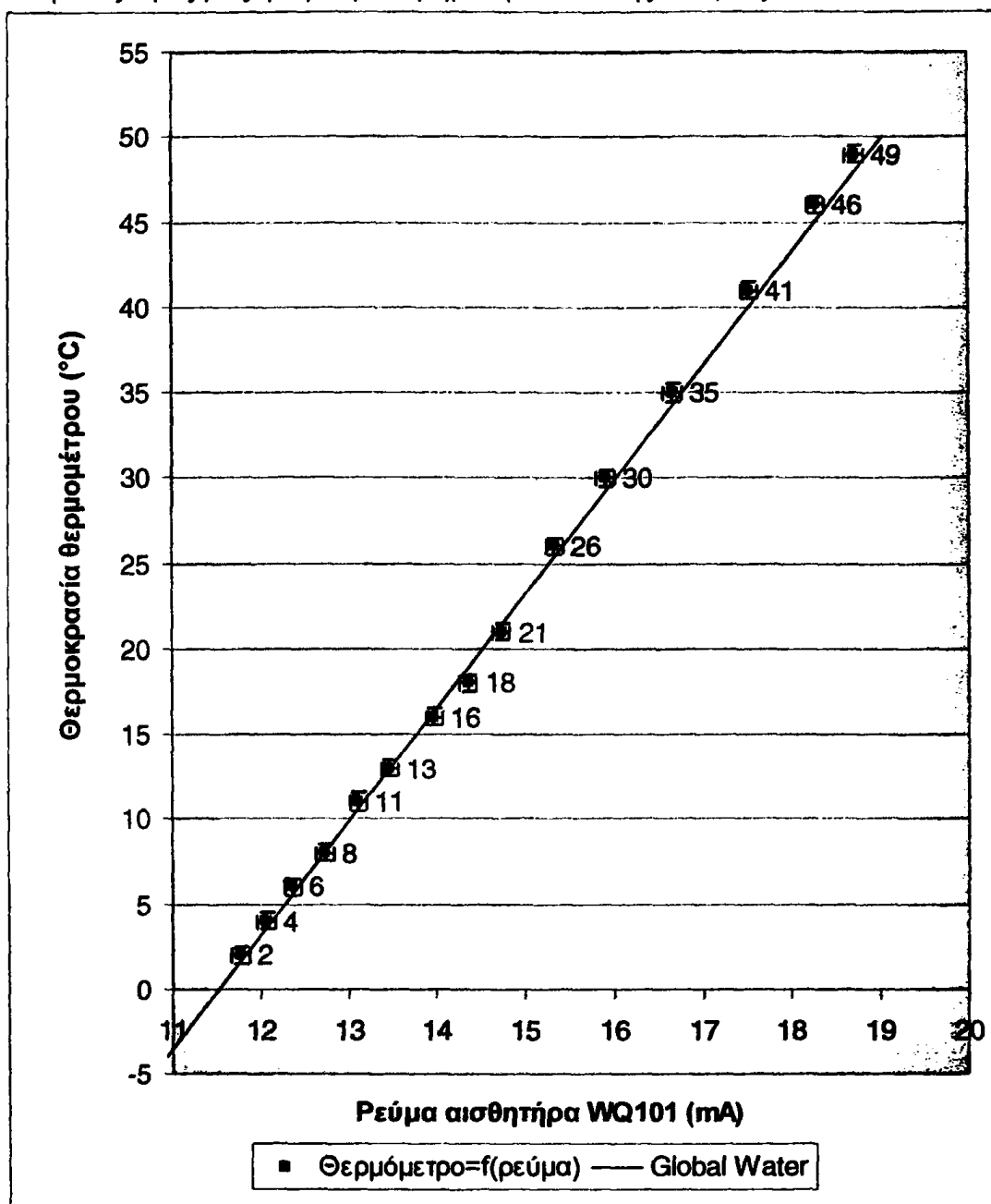
##### 4.1.1 Έλεγχος της βαθμονόμησης του αισθητήρα θερμοκρασίας WQ101

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας ελέγχθηκε στο εργαστήριο λαμβάνοντας μια σειρά μετρήσεων σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιήθηκαν μία λεκάνη με νερό, ένας βραστήρας, παγάκια, θερμόμετρο, ο αισθητήρας WQ101 και το σύστημα ανάγνωσης. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε ήταν η εξής: Ξεκινώντας από κρύο νερό με παγάκια και θερμαίνοντας με νερό από τον βραστήρα το σύστημα αναλάμβανε να συλλέγει περιοδικά τιμές. Έτσι έγινε η σύγκριση μεταξύ του ρεύματος σε σχέση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες του θερμόμετρου αλλά και η καταγραφή των ADC counts.

Πίνακας 4.1: Βαθμονόμηση WQ101

A/A	Ρεύμα αισθητήρα (mA) $\pm 0.005$	Θερμοκρασία Θερμομέτρου (°C) $\pm 0.3$	ADC counts δεκαδικοί
1	11,78	2	597
2	12,07	4	610
3	12,37	6	628
4	12,74	8	646
5	13,12	11	663
6	13,48	13	678
7	13,98	16	710
8	14,36	18	723
9	14,74	21	743
10	15,34	26	779
11	15,92	30	809
12	16,67	35	847
13	17,54	41	891
14	18,29	46	922
15	18,72	49	951

Οι τιμές της θερμοκρασίας παρουσιάζονται στον πίνακα 4.1 και στη εικόνα 4.1. δίνονται η ίδιες τιμές μαζί με βαθμονομημένη ευθεία της εταιρίας.



Εικόνα 4.1: Θερμοκρασία σε συνάρτηση με το ρεύμα και η εργοστασιακή βαθμονόμηση

Όπως προκύπτει από το σχηματικό διάγραμμα 4.1 για τον αισθητήρα WQ101, η μετρήσεις της θερμοκρασίας του θερμομέτρου σε σχέση με την ευθεία βαθμονόμησης της Global Water ως προς το ρεύμα εξόδου ταυτίζονται. Συμπερασματικά προκύπτει ότι η βαθμονόμηση από την εταιρία του αισθητήρα αυτού είναι επαρκής. Έτσι κρίνεται ότι και οι υπόλοιποι τέσσερις αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στο σύστημα (WQ201, WQ301, WQ401 και WQ600) είναι ικανοποιητικά βαθμονομημένοι.



#### 4.1.2 Εξαγωγή της τιμής της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου των αισθητήρων από το σύστημα ανάγνωσης δεδομένων

Στην παράγραφο 3.1.2.5 για το σήμα των αισθητήρων αναφέρθηκε ότι κάθε 1mA του σήματος εξόδου ισούται με 51.2 ADC counts. Συνεπώς με τη χρήση των βαθμονομημένων τιμών που δίνει η προμηθεύτρια εταιρία (πίνακας 4.2) προκύπτει η σχέση μεταξύ των ADC counts που αποδίδει το σύστημα και της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου. Η σχέση αυτή είναι γραμμική της μορφής  $A+BX$ , όπου  $X$  η τιμή των ADC counts. Έτσι στον πίνακα 4.2 παρουσιάζονται η τιμές των  $A$  και  $B$  οι οποίες προκύπτουν.

Πίνακας 4.2: Βαθμονόμηση αισθητήρων

Βαθμονόμηση (calibration)	Μετρούμενη τιμή (mA)	Βαθμονομημένη τιμή		A	B
WQ101 (Temperature)	4,020	-50	(°C)	-76,8	0,129
	19,044	50			
WQ201 (pH)	4,033	0	(pH)	-3,7	0,018
	19,176	14			
WQ301 (Conductivity)	4,004	0	(μS)	-2614,3	12,701
	19,320	10000			
WQ401 (Dissolved Oxygen)	4,000	0	%	-26,2	0,128
	19,247	100			
WQ600 (ORP/Redox)	3,991	-500	(mV)	-765,8	1,296
	19,005	500			

Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο ADC του συστήματος ανάγνωσης είναι 10 ψηφίων (bits) και έτσι το εύρος του είναι 1024 ADC counts για τάση από 0V έως 5V. Στην παρούσα εφαρμογή όμως το εύρος του μειώνεται επειδή η τάση εισόδου κυμαίνεται από 1.00V έως 5.00V, λόγω των τελεστικών ενισχυτών (παράγραφος 3.1.2.5). Αποτέλεσμα είναι η μείωση της ακρίβειας στη μέτρηση των φυσικών παραμέτρων και τελικά το εύρος του συστήματος είναι  $1024-204 = 820$  διακριτές τιμές.

#### 4.1.3 Μετρήσεις

Στην παράγραφο αυτή παρουσιάζονται μετρήσεις του συστήματος ανάγνωσης των φυσικών παραμέτρων του νερού, δηλαδή θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, περιεκτικότητα διαλυμένου οξυγόνου και ικανότητα οξείδωσης. Όπως είναι γνωστό το σύστημα ελέγχεται εξ αποστάσεως αυτόματα από ασύρματο σύστημα μετάδοσης ψηφιακής πληροφορίας. Υπάρχει όμως και δυνατότητα τοπικού μηχανικού (manual) χειρισμού του συστήματος, με τη χρήση πλήκτρου που υπάρχει για το χειρισμό και σειράς ενδεικτικών LEDs τα οποία παρουσιάζουν τη μέτρηση δυαδικά.

Ακόμα στον πίνακα 4.4 γίνεται σύγκριση των μετρήσεων του συστήματος σε σχέση με μετρήσεις ενός φορητού αναγνώστη δεδομένων. Τέλος γίνεται μία εκτίμηση της ρύπανσης του ποταμού με βάση τις μετρήσεις του πίνακα.



Στα στοιχεία του πίνακα 4.3 παρουσιάζονται οι τιμές του ADC που εξάγονται στην πόρτα A και οι τιμές των φυσικών παραμέτρων που αντιστοιχούν με χρήση των σταθερών A και B του πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.3: Ενδεικτικές μετρήσεις με τη χρήση του συστήματος μετά τη βαθμονόμηση

Μέρα	Ωρα	Αισθητήρας	Παράμετρος	ADC counts	mA	Τιμή
7/7/2009	16:00	WQ101	Temperature	748	14,609	20,1 °C
		WQ201	pH	652	12,734	8,0 pH
		WQ301	Conductivity	248	4,844	535,7 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	780	15,234	73,3 %
		WQ600	ORP	736	14,375	187,8 mV
	18:00	WQ101	Temperature	744	14,531	19,6 °C
		WQ201	pH	652	12,734	8,0 pH
		WQ301	Conductivity	244	4,766	484,9 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	752	14,688	69,7 %
		WQ600	ORP	764	14,922	224,1 mV
9/7/2009	12:00	WQ101	Temperature	752	14,688	20,6 °C
		WQ201	pH	660	12,891	8,1 pH
		WQ301	Conductivity	248	4,844	535,7 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	572	11,172	46,7 %
		WQ600	ORP	724	14,141	172,3 mV
	2:15	WQ101	Temperature	752	14,688	20,6 °C
		WQ201	pH	656	12,813	8,1 pH
		WQ301	Conductivity	252	4,922	586,5 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	588	11,484	48,8 %
		WQ600	ORP	744	14,531	198,2 mV
	16:00	WQ101	Temperature	764	14,922	22,2 °C
		WQ201	pH	664	12,969	8,2 pH
		WQ301	Conductivity	256	5,000	637,3 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	572	11,172	46,7 %
		WQ600	ORP	680	13,281	115,2 mV
	17:30	WQ101	Temperature	756	14,766	21,1 °C
		WQ201	pH	644	12,578	7,9 pH
		WQ301	Conductivity	252	4,922	586,5 μS
		WQ401	Dissolved Oxygen	564	11,016	45,7 %
		WQ600	ORP	708	13,828	151,5 mV
17:50	WQ101	Temperature	756	14,766	21,1 °C	
	WQ201	pH	656	12,813	8,1 pH	
	WQ301	Conductivity	252	4,922	586,5 μS	
	WQ401	Dissolved Oxygen	584	11,406	48,3 %	
	WQ600	ORP	708	13,828	151,5 mV	

Πίνακας 4.4: Μετρήσεις στις 17/07/2009

ΩΡΑ 11:05			
Δοχείο Δειγματοληψίας	Ανάλυση εργαστηρίου	Βαθμονομημένη συσκευή	Σύστημα Ανάγνωσης δεδομένων
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	-	743 (μS)	688 (μS)
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	-	17,3 (°C)	17,6 (°C)
pH	8,22 pH	-	8,32 pH
% ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ O <sub>2</sub>	-	-	51,1 (%O <sub>2</sub> )
ORP	-	-	204 (mV)
ΩΡΑ 11:35			
Δοχείο Δειγματοληψίας	Ανάλυση εργαστηρίου	Βαθμονομημένη συσκευή	Σύστημα Ανάγνωσης δεδομένων
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	-	743 (μS)	739 (μS)
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	-	17,6 (°C)	17,6 (°C)
pH	8,32 pH	-	7,96 pH
% ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ O <sub>2</sub>	-	-	53,2 (%O <sub>2</sub> )
ORP	-	-	224 (mV)
ΩΡΑ 11:50			
ΑΠΟ ΔΟΧΕΙΟ:	Ανάλυση εργαστηρίου	Βαθμονομημένη συσκευή	Σύστημα Ανάγνωσης δεδομένων
ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ	-	742 (μS)	739 (μS)
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	-	17,6 (°C)	17,6 (°C)
pH	8,36 pH	-	8,11 pH
% ΔΙΑΛΥΜΕΝΟ O <sub>2</sub>	-	-	52,6 (%O <sub>2</sub> )
ORP	-	-	245 (mV)

Στις 17/07/2009 καταγράφηκαν οι μετρήσεις που παρουσιάζονται στον πίνακα 4.5. Οι μετρήσεις αυτές αποδόθηκαν από το σύστημα συλλογής δεδομένων, κάποιες από αυτές από φορητή συσκευή του εργαστηρίου αναλυτικής χημείας του τμήματος αυτού και το pH από δείγμα και ανάλυση του στο εργαστήριο. Οι αποκλίσεις στις μετρήσεις που παρουσιάζονται μεταξύ του συστήματος που αναπτύχθηκε και των άλλων μεθόδων μέτρησης κρίνονται αμελητέες, δεδομένου ότι σε υδάτινα οικοσυστήματα αποκλίσεις τέτοιας κλίμακας δεν επηρεάζουν τα συμπεράσματα και τις εκτιμήσεις που βγάνουν για την ενδεχόμενη ρύπανση.

Σε ορεινούς ποταμούς όπως του Άραχθου συνήθως η αγωγιμότητα κυμαίνεται μεταξύ 350 και 400 μS, ακόμα το pH παίρνει τιμές μεταξύ 7 και 8. Οι μετρήσεις στον πίνακα 4.5 δείχνουν ότι τα μS είναι περίπου 700 και ότι το pH παίρνει τιμές γύρο στο 8.1. Η υψηλή αγωγιμότητα στα ποτάμια οφείλεται στην ύπαρξη πλούσιων οργανικών προσμίξεων και υποθετικά συμπεραίνεται ότι πιθανότατα υπάρχουν ανεξέλεγκτες ρίψεις λυμάτων στο ποτάμι. Επίσης το υψηλό pH δείχνει το νερό του ποταμού είναι σχετικά βασικό και πιθανότατα προδίδει την ύπαρξη απορρυπαντικών μέσα σε αυτό.



## Κεφάλαιο 5

### 5. Ανακεφαλαίωση – Συμπεράσματα και επεκτάσεις

Το σύστημα ανάγνωσης – καταγραφής δεδομένων που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο φυσικής υψηλών ενεργειών είναι ικανό να ελέγχει και να καταγράφει ένα πλήθος συσκευών. Πρόκειται για συσκευές μετατροπέων όπως αισθητήρες, μικροελεγκτές, ηλεκτρικούς αυτοματισμούς (PLC), κπλ. Περιέχει 5 ειδών διεπαφές επικοινωνίας στις οποίες μπορούν να συνδεθούν συνολικά με τουλάχιστον 143 συσκευές:

- ✓ 5 συσκευές διεπαφής SPI
- ✓ 1 συσκευή διεπαφής RS232 (PC)
- ✓ 1 συσκευή ή και περισσότερες διεπαφής RS485
- ✓ 127 συσκευές διεπαφής I<sup>2</sup>C
- ✓ 8 συσκευές διεπαφής 4-20mA
- ✓ 1 συσκευή διεπαφής παράλληλης επικοινωνίας (8-bits)

Η τελευταία διεπαφή χρησιμοποιείται στη σύνδεση του συστήματος ανάγνωσης – καταγραφής με το υπόλοιπο ασύρματο σύστημα αποστολής δεδομένων. Η παράλληλη διασύνδεση πετυχαίνεται με τη χρήση δύο ελεύθερων πόρτων οι οποίες είναι η PORT A και η PORT C. Η πρώτη χρησιμοποιείται για να στέλνει και να λαμβάνει δεδομένα των 8-bits και η δεύτερη για τον έλεγχο της διακίνησης τους. Η πόρτα C (control port) εμφανίζει την κατάσταση της επικοινωνίας (status) σε LEDs που απεικονίζουν bits καταστάσεων. Το σύστημα ανάγνωσης – καταγραφής χρησιμοποιεί ακόμα δυο διεπαφές για τον προγραμματισμό του, αυτές είναι οι διεπαφές ISP και JTAG.

Το σύστημα ελέγχει έναν ηλεκτρικό αυτοματισμό που περιλαμβάνει δύο ηλεκτρονόμους και τη κατάσταση στην οποία βρίσκονται δύο πλωτήρες. Ο ηλεκτρικός αυτοματισμός ελέγχει τη λειτουργία του κινητήρα μιας αντλίας νερού και το άνοιγμα ή το κλείσιμο μιας ηλεκτροβαλβίδας με σκοπό να ανανεώνει το νερό του δοχείου δειγματοληψίας νερού στο οποίο είναι εγκατεστημένοι οι αισθητήρες.

**Πίνακας 4.3:** Καταναλώσεις ισχύος του συστήματος ανάγνωσης – καταγραφής

Με ενεργοποιημένο	ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ (mA)
Πρωτεύον ενός RELEY	44
Πρωτεύον δύο RELEY	75
Ένα LED	19
Δύο LEDs	25
Αναμονή μικροελεγκτή	13



Το σύστημα ανάγνωσης – καταγραφής έχει μικρή κατανάλωση. Λειτουργεί στα 5 V και ρεύμα που καταναλώνεται κυμαίνεται από 13mA όπου βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής έως 75mA όταν ενεργοποιούνται και οι δύο ηλεκτρονόμοι. Στον πίνακα 4.3 παρουσιάζονται μετρήσεις κατανάλωσης ρεύματος που έγιναν στο εργαστήριο σε χαρακτηριστικές φάσεις λειτουργίας.

Τίθεται σε λειτουργία ανά 6 ώρες περιμένοντας την εντολή υπό τη μορφή διακοπής (interrupt) από τον μικροελεγκτή του διακομιστή διαδικτύου και η διαδικασία δειγματοληψίας – μέτρησης διαρκεί περίπου 20 λεπτά. Τον υπόλοιπο χρόνο το σύστημα καταναλώνει το ελάχιστο ρεύμα αναμονής.

Οι διαστάσεις είναι αρκετά περιορισμένες δίνοντας τη δυνατότητα καλής εργονομίας σε περιορισμένους χώρους. Το μήκος της πλακέτας είναι 13.5 cm, το πλάτος 10.5 cm ενώ το ύψος με τα ηλεκτρονικά στοιχεία 2.5 cm.

Το πρόγραμμα του συστήματος είναι αποθηκευμένο στην μνήμη προγράμματος (Flash Memory) του μικροελεγκτή που η χωρητικότητα του φτάνει τα 128K. Το πρόγραμμα που χρησιμοποιείται είναι 902 bytes κατέχοντας έτσι μόλις το 0,7% της συνολικής μνήμης Flash. Αυτό μελλοντικά δίνει τη δυνατότητα στο σύστημα να προσαρμοστεί σε πολύ πιο πολύπλοκες λειτουργίες χρησιμοποιώντας και τις υπόλοιπες διαθέσιμες διεπαφές.

Επεκτάσεις μπορούν γίνουν στο σύστημα και σε επίπεδο υλικού. Στην περίπτωση που απαιτηθεί η εγκατάσταση περισσότερων από 8 αισθητήρες διεπαφής 4-20mA, η επέκταση υλοποιείται εύκολα με τη προσθήκη μια μικρής πλακέτας και τη χρήση ενός είτε ενσωματωμένου πολυπλέκτη. Σε κάθε περίπτωση είναι δυνατόν να επεκταθεί ο εσωτερικός πολυπλέκτης του μικροελεγκτή με έναν εξωτερικό ο οποίος θα ελέγχεται από την πόρτα C (Control PORT).

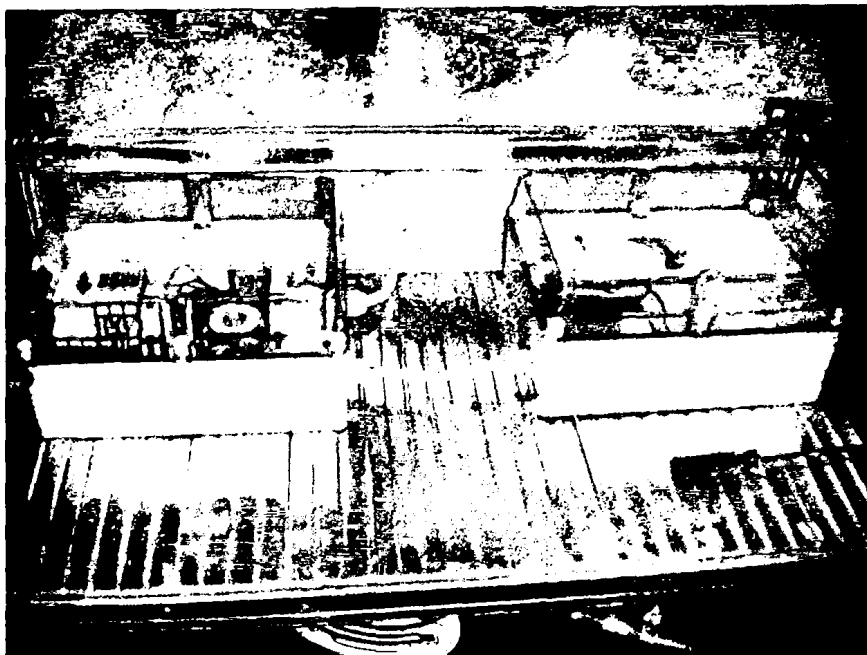
Όσον αφορά τις υπόλοιπες διεπαφές και αυτές δέχονται επεκτάσεις όπως η διεπαφή SPI. Η συγκεκριμένο λειτουργεί ελέγχοντας σήματα SS (Chip Select) των συσκευών σκλάβων (Slave). Συνεπώς με έναν αποκωδικοποιητή (decoder) δύναται η δυνατότητα κατασκευής περισσότερων σημάτων ελέγχων συσκευών. Για παράδειγμα χρησιμοποιώντας τους 5 ακροδέκτες των σημάτων SS της πόρτας B και έναν αποκωδικοποιητή 5 σε 32, δύναται να ελεγχθούν 32 συσκευές.

Στην σχεδίαση η ταχύτητα του συστήματος δεν λήφθηκε ιδιαίτερο υπ' όψη, διότι ο χρόνος εκτέλεσης των εντολών του ATmega128 (μερικά δευτερόλεπτα) είναι μικρός αναφορικά με τους απαιτούμενους χρόνους αναμονής του συστήματος (6 ώρες). Οι διαδικασία που απαιτεί περισσότερο χρόνο είναι αυτή που αφορά τους ηλεκτρολογικούς αυτοματισμούς για την ανανέωση του νερού του δοχείου δειγματοληψίας (20 λεπτά).

Τέλος στο κεφάλαιο 3 αναφέρθηκε ότι προγραμματισμός του ATmega128 στο Εργαστήριο Φυσικής Υψηλών Ενεργειών του Τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων έγινε με τη χρήση του αναπτυξιακού προγραμματιστή STK500 και την προσθήκη του STK501. Ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή είναι δυνατός και στην πλακέτα του συστήματος ανάγνωσης – καταχώρησης με της διεπαφές ISP και JTAG.

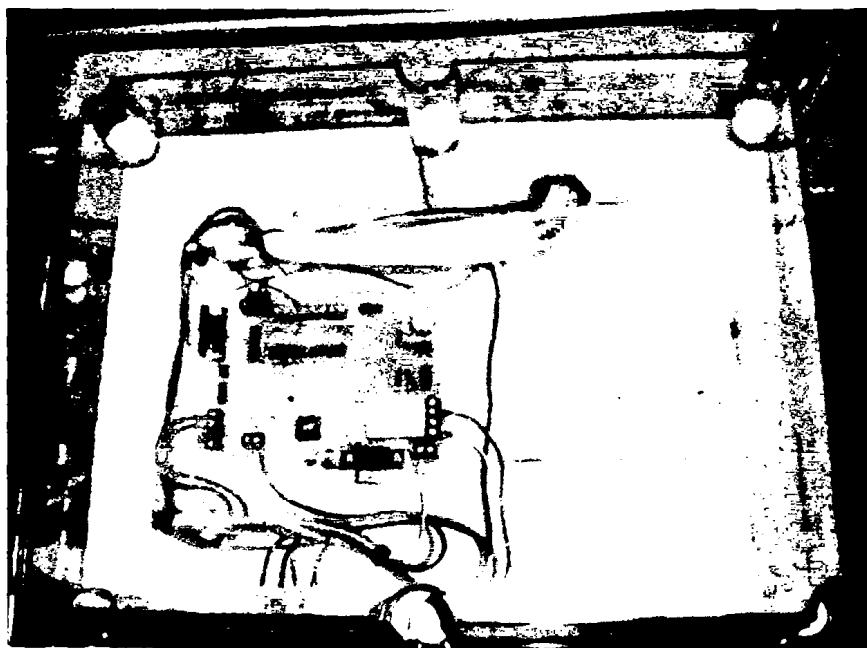
Παρακάτω δίνονται οι εικόνες 5.1, 5.2 και 5.3 στις οποίες παρουσιάζεται το σύστημα εγκατεστημένο.



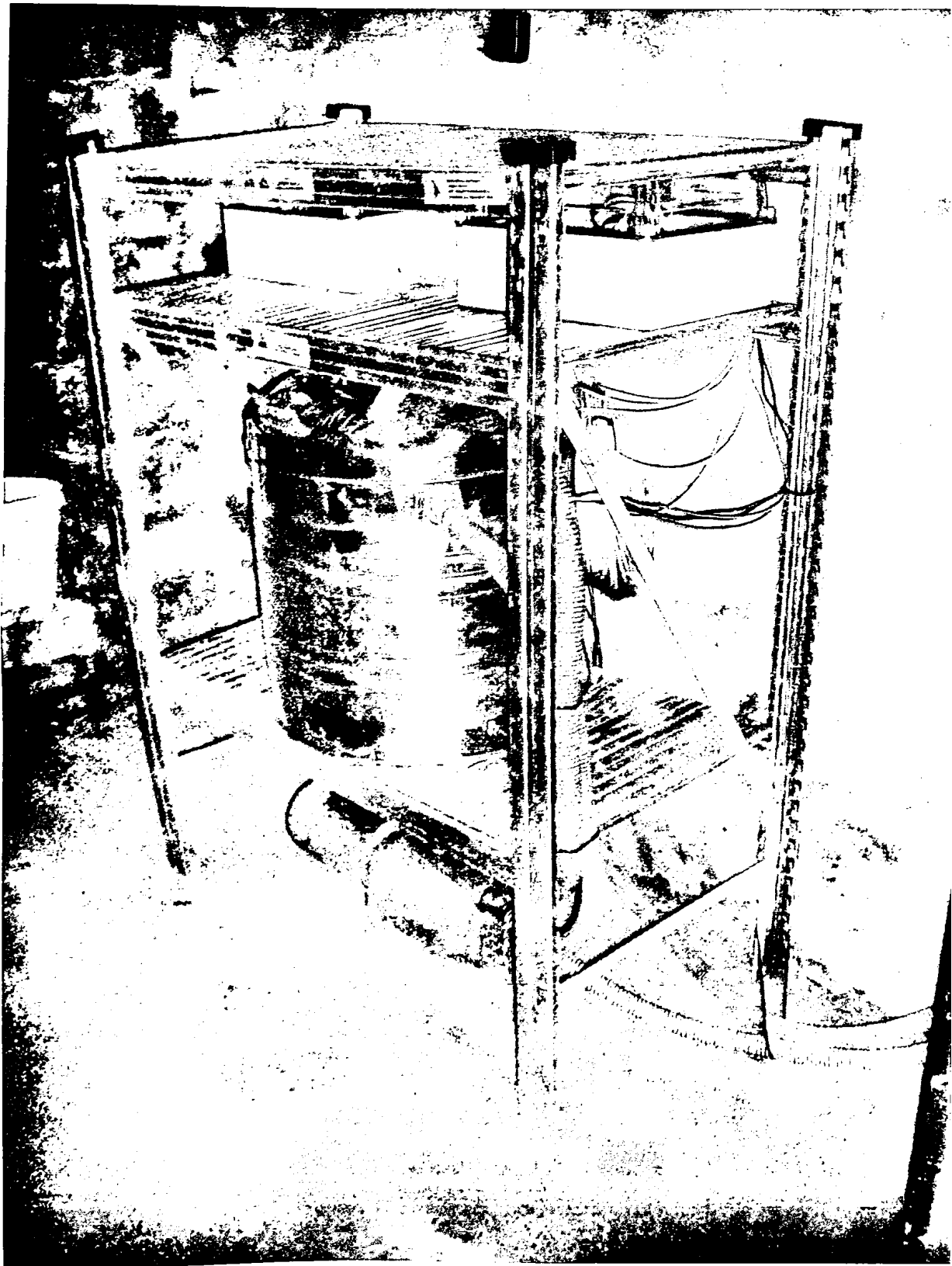


Εικόνα 5.1: Ηλεκτρολογικός πίνακας αυτοματισμών και το σύστημα ανάγνωσης – καταχώρησης

Μελλοντικά θα μπορούσε να υπάρξει επέκταση στον τρόπο προγραμματισμού του συστήματος ανάγνωσης – καταχώρησης με προγραμματισμό του μικροελεγκτή εξ' αποστάσεως. Ακόμη θα μπορούσε το σύστημα να επεκταθεί με την εγκατάσταση κλειστού κυκλώματος παρακολούθησης και την προσθήκη συναγερμού.



Εικόνα 5.2: Η πλακέτα του συστήματος ανάγνωσης – καταχώρησης μετρήσεων φυσικών παραμέτρων εγκατεστημένο



Εικόνα 5.3: Ολόκληρο το σύστημα εγκατεστημένο

## Αναφορές – Βιβλιογραφία

[1] [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_acquisition](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_acquisition)

[2] [http://en.wikipedia.org/wiki/Data\\_logger](http://en.wikipedia.org/wiki/Data_logger)

[3] [http://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_sensors](http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_sensors)

[4] <http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/227>

[5] Κωνσταντίνος Β. Ρακόπουλος: Διπλωματική Εργασία, «Υλοποίηση αποκωδικοποιητή mp3 με τη χρήση του μικροελεγκτή AVR», ΕΜΠ (2005)

[6] <http://en.wikipedia.org/wiki/Pentium>

[7] Ayala Kenneth: «The 8051 microcontroller», Thomson Delmar Learning (2005)

[8] Γεώργιος Αλεξίου: «Μικροεπεξεργαστές», Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο (2001)

[9] Μλέτσας Δημήτριος-Ευστάθιος: «Καταμετρητής Ψηφιακών Σημάτων βασισμένος σε Ολοκληρωμένο Προγραμματιζόμενη Λογική», ΜΔΕ του ΠΜΣ ΣΗΤ του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (2008)

[10] [http://www.xilinx.com/publications/products/cpld/logic\\_handbook.pdf](http://www.xilinx.com/publications/products/cpld/logic_handbook.pdf)

[11] Τζοβάρας Ευστράτιος: «Ασύρματο Σύστημα Αυτοματισμού και Τηλεμετρίας Ερευνητικού Εργαστηρίου», ΜΔΕ του ΠΜΣ ΣΗΤ του τμήματος Φυσικής του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων (2007)

[12] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3247>

[13] <http://www.globalw.com/downloads/WQ/WQSensormanual.pdf>

[14] [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2467.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2467.pdf)

[15] <http://datasheets.maxim-ic.com/en/ds/MAX220-MAX249.pdf>

[16] <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/1485fs.pdf>



[17] <http://pdfserv.maxim-ic.com/en/an/AN763.pdf>

[18] <http://www.national.com/ds/LM/LM124.pdf>

[19] <http://www.avrfreaks.net/modules/FreaksArticles/files/17/Guide%20To%20Understanding%20JTAG%20fuses%20and%20Security.pdf>

[20] <http://www.fairchildsemi.com/ds/LM/LM7805.pdf>

[21] <http://www.cadence.com/products/orcad/pages/default.aspx>

[22] <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/f/0csfwcfzegxa3qkpeacelapf2h3v.pdf>



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

### A.1 – Κυρίως Πρόγραμμα

Παρακάτω παρουσιάζεται το πρόγραμμα της εφαρμογής στον ATmega128 σε γλώσσα embedded C.

```
/******  
* Chip type: ATmega128 *  
* Internal Clock frequency: 1MHz *  
* Name: Data Logger *  
* Version, Date: 2.3 , 02/2009 *  
* Designed by: Lukas Nikitas*  
*****/  
  
#include <avr/io.h> // Βιβλιοθήκη εισόδων - εξόδων  
#include <util/delay.h> // Βιβλιοθήκη του delay  
#include <stdio.h> // Βασική βιβλιοθήκη  
  
int main(void) // Αρχικοποίηση του μικροελεγκτή  
{  
// Initialization of the ports  
DDRC = 0x40; // I/O: 0 1 0 X XXXX (inpout pins:7-5, output pin:6)  
DDRA = 0xFF; // I/O: 1 1 1 1 1 1 1 1 (output, data port)  
DDRG = 0x23; // I/O: 0 0X 1 1 (inpout pin:4-3, output pins:1-0)  
PORTC = 0x00; // Control Port  
PORTA = 0x00; // Data Port  
PORTG = 0x00; // FloaterEmtyG4_FloaterFullG3_ValveG1_PumpG0  
// Initialization for setting and clearing bits  
#define SETBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS |= (1<<BIT))  
#define CLRBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS &= ~(1<<BIT))  
#define TOGBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS ^= (1<<BIT))  
  
int control,data,i; // Ορισμός μεταβλητών  
int sensor[5]; // Ορισμός πίνακα αισθητήρων  
  
void mA(void) // Υπορουτίνα καταγραφής μετρήσεων  
{  
if (control == 0) ADMUX = 0x20; // Επιλογή πολυπλέκτη ανάλογα με τον  
if (control == 1) ADMUX = 0x21; // αισθητήρα  
if (control == 2) ADMUX = 0x22;  
if (control == 3) ADMUX = 0x23;  
if (control == 4) ADMUX = 0x26;  
  
ADCSRA = 0x80; // Control Register  
SFIOR = 0x00; // Special Function Register  
ADCSRA = 0xC3;
```



```

_delay_ms(200);
while(!(ADCSRA & (1<<ADIF)));
}

again:
_delay_ms(200);
while ((PINC & (1<<PORTC5)) == 0);
CLRBIT(PORTG, PORTG0);
SETBIT(PORTG, PORTG1);
_delay_ms(200);
while (PING & (1<<PORTG4));
SETBIT(PORTG, PORTG0);
SETBIT(PORTG, PORTG1);
for (i=0;i<120;i++)
{
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
}
while (PING & (1<<PORTG4));
SETBIT(PORTG, PORTG0);
CLRBIT(PORTG, PORTG1);
_delay_ms(200);
while (PING & (1<<PORTG3));
CLRBIT(PORTG, PORTG0);
CLRBIT(PORTG, PORTG1);
_delay_ms(2000);

for (i=0;i<30;i++)
{
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
_delay_ms(0xF7);
}

//Initializing Sensor values
sensor[0] = 0x00;
sensor[1] = 0x00;
sensor[2] = 0x00;
sensor[3] = 0x00;
sensor[4] = 0x00;
data = 0x00;

```

```

// Delay
// Αναμονή μέχρι ADIF ← 1
// Αποθήκευση σε ADCH;
// και ADCL;

```

```

// START Εκκίνηση του προγράμματος

```

```

// Start
// Low Pump
// Hi Valve
// FloaterEmtyG4
// Hi Pump
// Hi Valve
// 120_seconts_Washing

```

```

// FloaterEmtyG4
// Hi Pump
// Low Valve

```

```

// FloaterFullG3
// Low Pump
// Low Valve

```

```

// 30_seconts_Measuring

```

```

for (i=0;i<5;i++)
{
    control = i;
    mA();
    _delay_ms(2000);
    data = ADCH;
    _delay_ms(2000);
    sensor[i] = data;
}

// Βρόχος for sensor[i] ← ADC

// ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

//WQ101: Temperature_Sensor
_delay_ms(200);
PORTA = sensor[0];
_delay_ms(200);
while (PINC & (1<<PORTC5));
_delay_ms(200);
SETBIT(PORTC, PINC6);
_delay_ms(200);

// Απόδοση του sensor[0] (WQ101)
// Waiting until 0
// Επιβεβαίωση ότι στάλθηκε

//WQ201: pH_Sensor
while ((PINC & (1<<PORTC7))=0);
_delay_ms(200);
CLRBIT(PORTC, PINC6);
_delay_ms(200);
PORTA = sensor[1];
_delay_ms(200);
while (PINC & (1<<PORTC7));
_delay_ms(200);
SETBIT(PORTC, PINC6);
_delay_ms(200);

// Waiting until 1
// Έτοιμο να σταλεί
// Απόδοση του sensor[1] (WQ201)
// Waiting until 0
// Επιβεβαίωση ότι στάλθηκε

//WQ301: Conductivity_Sensor
while ((PINC & (1<<PORTC7)) = 0);
_delay_ms(200);
CLRBIT(PORTC, PINC6);
_delay_ms(200);
PORTA = sensor[2];
_delay_ms(200);
while (PINC & (1<<PORTC7));
_delay_ms(200);
SETBIT(PORTC, PINC6);
_delay_ms(200);

// Waiting until 1
// Έτοιμο να σταλεί
// Απόδοση του sensor[2] (WQ301)
// Waiting until 0
// Επιβεβαίωση ότι στάλθηκε

//WQ401: Dissolved_Oxygen_Sensor
while ((PINC & (1<<PORTC7)) = 0);

```



```

    _delay_ms(200);
    CLRBIT(PORTC, PINC6); //Low           // Έτοιμο να σταλεί
    _delay_ms(200);
    PORTA = sensor[3];                    // Απόδοση του sensor[2] (WQ401)
    _delay_ms(200);
    while (PINC & (1<<PORTC7));           // Waiting until 0
    _delay_ms(200);
    SETBIT(PORTC, PINC6);                  // Επιβεβαίωση ότι στάλθηκε
    _delay_ms(200);

    //WQ600: ORP/Redox_Sensor
    while ((PINC & (1<<PORTC7)) == 0);     // Waiting until 1
    _delay_ms(200);
    CLRBIT(PORTC, PINC6); //Low           // Έτοιμο να σταλεί
    _delay_ms(200);
    PORTA = sensor[4];                    // Απόδοση του sensor[2] (WQ600)
    _delay_ms(200);
    while (PINC & (1<<PORTC7));           // Waiting until 0
    _delay_ms(200);
    SETBIT(PORTC, PINC6);                  // Επιβεβαίωση ότι στάλθηκε
    _delay_ms(200);

    //END
    while ((PINC & (1<<PORTC7)) == 0);     // Waiting until 1
    _delay_ms(200);

    PORTC = 0x00;                          // Μηδενισμός Control Port
    PORTA = 0x00;                          // Μηδενισμός Data Port
    PORTG = 0x00;                          // Μηδενισμός (Floater-Relay) Port

goto again;                               // Επιστροφή στο START

return (0);
}

```

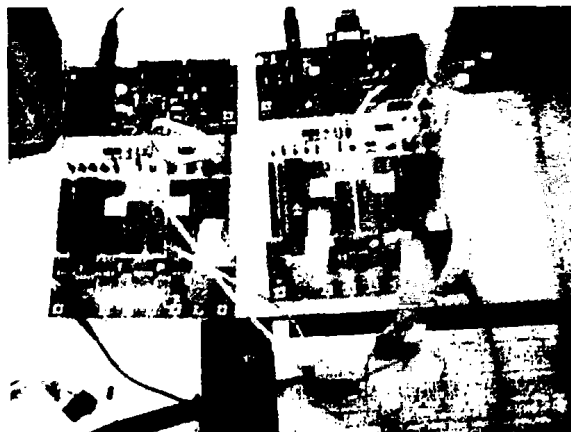
## A.2 – Διεπαφές εκτός εφαρμογής του συστήματος ανάγνωσης δεδομένων

Η ανάλυση του παραπάνω προγράμματος περιέχει τη χρήση μιας διεπαφής, ης 4-20mA. Στην πλακέτα της παρούσας εφαρμογής όμως έχουν ενσωματωθεί υπό τη μορφή hardware ακόμη τέσσερα interfaces. Πρόκειται για τα SPI, USART (RS232 και RS485) και TWI (I2C) interfaces. Το κάθε ένα από αυτά χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία κατά τον έλεγχο της πλακέτας δίνοντας μελλοντικά τη δυνατότητα στον μικροελεγκτή να επικοινωνήσει με τα συγκεκριμένα interfaces. Στις υποενότητες 3.4.3.1, 3.4.3.2 και 3.4.3.3 παρουσιάζεται ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε κατά την επικοινωνία των διεπαφών αυτών.



## A.2.1 – Οδηγός SPI

Ο συγκεκριμένος κώδικας ορίζει τον μικροελεγκτή ως Master και ως Receiver. Χρησιμοποιήθηκε διασυνδέοντας τον ATmega128 με έναν ATmega16. Ο δεύτερος ορίστηκε ως Slave – Transceiver. Παράδειγμα διασύνδεσης δύο ATmega16 δίνεται στην εικόνα A.1.



Εικόνα A.1: Διασύνδεση δύο ATmega16 με διεπαφή SPI

```
#include <avr/io.h> // Βιβλιοθήκη εισόδων - εξόδων
#include <util/delay.h> // Βιβλιοθήκη του delay

//Designed by, Date: Lukas Nikitas, 02/2009

#define DDR_SPI DDRB // Ορισμός DDR_SPI=DDRB
#define DD_SS PINB4 // Ορισμός DD_SS=PINB4
#define DD_SCK PINB7 // Ορισμός DD_SCK=PINB7
#define DD_MOSI PINB5 // Ορισμός DD_MOSI=PINB5
#define DD_MISO PINB6 // Ορισμός DD_MISO=PINB6

//For setting and clearing bits
#define SETBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS |= (1<<BIT))
#define CLRBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS &= ~(1<<BIT))
#define TOGBIT(ADDRESS,BIT) (ADDRESS ^= (1<<BIT))

void SPI_MasterInit(void) // Ορισμός Data Direction και Control registers
{
    DDR_SPI = (1<<DD_MOSI)|(1<<DD_SCK)|(0<<DD_SS)|(0<<DD_MISO);
    SPCR = (1<<SPE)|(0<<SPIE)|(1<<MSTR)|(1<<SPR1|(1<<SPR0));
}

void SPI_MasterReceive(int Data)// Λήψη ενός byte
{
    while(!(SPSR & (1<<SPIF))); // Αναμονή έως την ολοκλήρωση της λήψης
    Data = SPDR; // Αποθήκευση του byte στο Data
}

int main(void) // Κυρίως πρόγραμμα
{
    _delay_ms(2000);
```



```

int Data;
DDRC = 0xFF;
SPI_MasterInit();
SETBIT(PORTB, PINB4);
SPI_MasterReceive(Data);
_delay_ms(2000);
_delay_ms(2000);
for(;;) {
PORTC = Data;
}

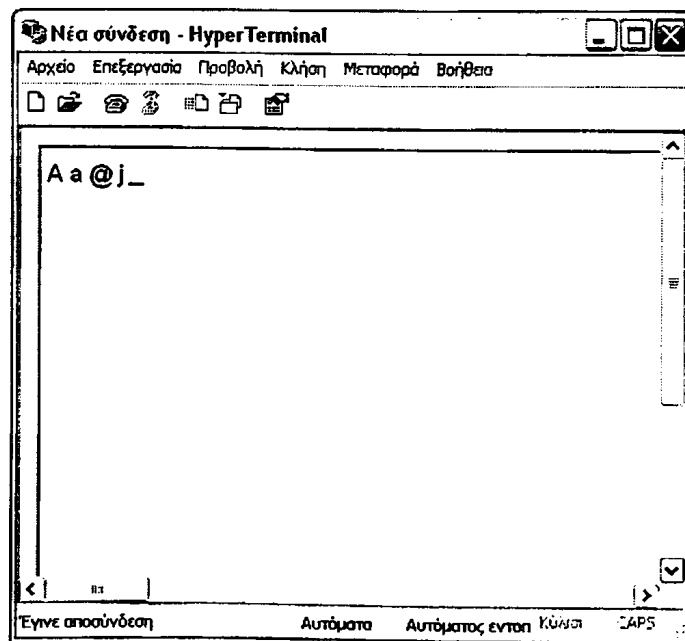
```

*// Ορισμός μεταβλητής Data*  
*// Ορισμός της PORTC ως output*  
*// Υπορουτίνα MasterInit*  
*// Επιλογή Slave (Ship Select)*  
*// Υπορουτίνα MasterReceive*

*// Απεικόνιση Data σε LEDs*

## A.2.2 – Οδηγός USART

Ο οδηγός USART (Universal Synchronous-Asynchronous Receiver/ Transmitter) στην παρούσα εφαρμογή απευθύνεται σε δύο τύπων διεπαφές: RS232 και RS485. Το RS232 δοκιμάστηκε στέλνοντας δεδομένα σε υπολογιστή και πιο συγκεκριμένα στάλθηκαν δεκαεξαδικοί αριθμοί από τον μικροελεγκτή στο Hyper terminal ενός PC οι οποίοι παρουσιάστηκαν από το τερματικό σε κωδικοποίηση ASCII. Έτσι δίνοντας από τον ATmega128 τους δεκαεξαδικούς 0x41, 0x61, 0x40, 0x6A, το PC έλαβε τους εξής χαρακτήρες, A, a, @, j (εικόνα A.2).



Εικόνα A.2: Hyper Terminal

Παρακάτω δίνεται ο κώδικας του οδηγού:

```

/*****
* Version:      Data Logger V2.3 *
* Date:        02/2009          *
* Designed by: Lukas Nikitas   *
*****/

```

```

#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
#include <stdio.h>
#ifndef F_CPU

```

```

// Βιβλιοθήκη εισόδων - εξόδων
// Βιβλιοθήκη του delay
// Βασική βιβλιοθήκη

```

```

#define F_CPU 8000000 // Ορισμός συχνότητας
#endif

//set desired baud rate
#define BAUDRATE 9600 // Ορισμός BAUDRATE=9600

//calculate UBRR value
#define UBRRVAL ((F_CPU/(BAUDRATE*16UL))-1) // define receive parameters

char n, // number
c; // current state of display

int main(void)
{
    //Set baud rate
    UBRRL=UBRRVAL; // low byte
    UBRRH=(UBRRVAL>>8); // high byte

    //Set data frame format: asynchronous mode, no parity, 1 stop bit, 8 bit size
    UCSRC=(1<<URSEL)|(0<<UMSEL)|(0<<UPM1)|(0<<UPM0)|
(0<<USBS)|(0<<UCSZ2)|(1<<UCSZ1)|(1<<UCSZ0);

    UCSRB=(1<<RXEN)|(1<<TXEN); // Enable Transmitter and Receiver
    DDRA=0x00; // all A port pins as input
    PORTA=0xFF; // Enable internal Pull-Up resistors
    DDRB=0xFF; // All B port pins as output
    while(1)
    {
        c=1; // start with first LED
        while(PINA==0xFF) // wait for button to be pressed
        {
            if (c==0) c=1; // if light passed all leds start over
            PORTB=~c; // LED on
            _delay_ms(100); // short delay
            n++; // increase number value
            c=c<<1; // shift lighted LED
        }
        //wait for empty transmit buffer
        //while (!(UCSRA&(1<<UDRE))){};
        //UDR=n; // send number to USART
        //PORTB=~n; // and display number with led (binary)
        //_delay_ms(200); // long delay
        //PORTB=0xFF; // All LEDs OFF

        while ((UCSRA & (1 << RXC)) == 0) {}; // Do nothing until data
        // have been received and is
        // ready to be read from UDR
    }
}

```



```

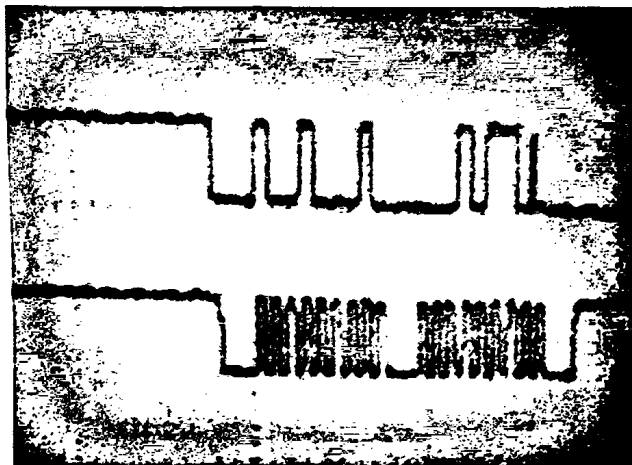
n = UDR;                // Fetch the received byte value into the
                        // variable "ByteReceived"

PORTB=~n;              // and display number with led (binary)
delay_ms(200);         // long delay
//PORTB=0xFF;         // All LEDs OFF
}
return 0;
}

```

### A.2.3 – Οδηγός TWI

Η διεπαφή TWI δοκιμάστηκε με επιτυχία στο εργαστήριο διασυνδέοντας τον μικροελεγκτή με αισθητήρα θερμοκρασίας (TMP175) [22]. Χρησιμοποιήθηκε ο παρακάτω κώδικας:



Εικόνα 3.34: Μετάδοση πληροφορίας με πρωτόκολλο I<sup>2</sup>C (εικόνα από παλμογράφο)

*//Designed by, Date: Lukas Nikitas, 02/2009*

```

#include <avr/io.h>      // Βιβλιοθήκη εισόδων - εξόδων
#include <util/delay.h>  // Βιβλιοθήκη του delay
#include <stdio.h>       // Βασική βιβλιοθήκη
#define F_CPU 8000000   // Ορισμός συχνότητας
#define DDR_TWI DDRD    // Ορισμός DDR_TWI=DDRD
#define DD_SDA PIND1    // Ορισμός DDR_SDA=PIND1
#define DD_SCL PIND0    // Ορισμός DDR_SCL=PIND0

```

```

void TWI_Start_Condition(void)           // Nikitas Start mode
{
    TWCR = (1<<TWINT)|(1<<TWSTA)|(0<<TWSTO)|(1<<TWEN);
    while(!(TWCR & (1<<TWINT)));
}
void TWI_MR_mode(void)                  // Nikitas M-R mode
{
    TWDR = 0x91;
    TWCR = (1<<TWINT)|(0<<TWSTA)|(0<<TWSTO)|(1<<TWEN);
    while(!(TWCR & (1<<TWINT)));      // wait for acknowledge bit
}
void TWI_MasterReceive(void)           // Nikitas TWI Maser Receiver mode
{
    TWCR = (1<<TWINT)|(0<<TWSTA)|(0<<TWSTO)|(1<<TWEA)|(1<<TWEN);
    while(!(TWCR & (1<<TWINT)));
}
void TWI_Master_Stop(void)             // Nikitas Stop mode
{
    TWCR = (1<<TWINT)|(0<<TWSTA)|(1<<TWSTO)|(1<<TWEN);
}
int main(void)                          // Κυρίως κώδικας
{
    DDRB = 0xFF;                         // set port B, output
again:
    _delay_ms(2000);
    TWI_Start_Condition();               // Υπορουτίνα Start_Condition
    TWI_MR_mode();                       // Υπορουτίνα MR_mode
    TWI_MasterReceive();                 // Υπορουτίνα MasterReceive
    TWI_Master_Stop();                   // Υπορουτίνα Master_Stop
    _delay_ms(2000);
    _delay_ms(2000);
    PORTB = ~TWDR;
    _delay_ms(2000);
    _delay_ms(2000);
goto again;
for(;;) { }
}

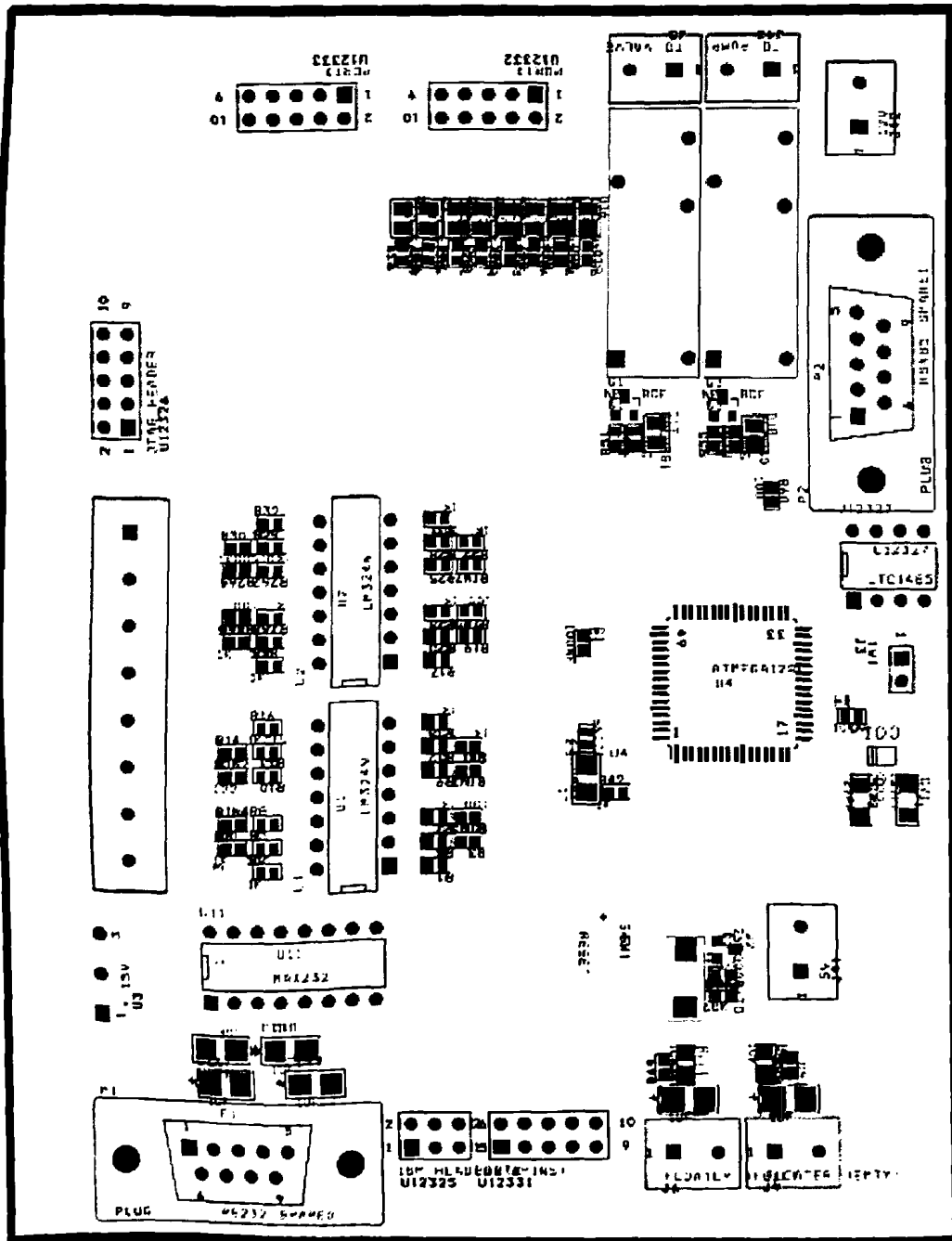
```



## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

### Β.1 – Το επίπεδο της πλακέτας με τα ηλεκτρονικά στοιχεία

Παρακάτω παρουσιάζονται τα υλικά της πλακέτας του συστήματος αλλά και η θέση που καταλαμβάνουν.



Εικόνα Β.1: Silk screen του συστήματος ανάγνωσης πληροφορίας

## B.2 – Ηλεκτρονικά στοιχεία της πλακέτας

Τα Ηλεκτρονικά στοιχεία της πλακέτας φαίνονται στον παρακάτω κατάλογο

```
*****
*
* Component List (Generic)
*
* E:\NIKITAS\LAYOUT\BACKUP_15_12\PCB_LAYOUT\NIKITAS_ATMEGA128_PARTS1138.MAX *
* Mon Jun 15 12:31:21 2009
*
*****
```

REF DES	VALUE	PACKAGE	FOOTPRINT
C1	100NF	C	SM/C_0603
C2	100NF	C	SM/C_0603
C3	1UF	C	SM/CT_3528_12
C4	100NF	C	SM/C_0603
C7	1UF	C	SM/CT_3528_12
C8	100NF	C	SM/C_0603
C16	1UF	C	SM/CT_3528_12
C17	1UF	C	SM/CT_3528_12
C18	1UF	C	SM/CT_3528_12
C19	1UF	C	SM/CT_3528_12
C71	27PF	C	SM/C_1206
C72	27PF	C	SM/C_1206
D7	LED BYTE7	LED	SM/D_0805_21
D9	LED BYTE6	LED	SM/D_0805_21
D11	LED BYTE5	LED	SM/D_0805_21
D12	LED BYTE4	LED	SM/D_0805_21
D13	LED BYTE3	LED	SM/D_0805_21
D14	LED BYTE6	LED	SM/D_0805_21
D15	LED BYTE6	LED	SM/D_0805_21
D16	LED BYTE6	LED	SM/D_0805_21
D17	VALVEG1	LED	SM/D_0805_21
D18	PUMPG0	LED	SM/D_0805_21
J3	TWI	CON2_4	BLKCON.100/VH/TM1SQ/W.100/2
J5	TO VALVE	CON2_6	FLOATERR_REV4
J6	FLOATER (FULL)	CON2_6	FLOATERR
J9	FLOATER (EMTY)	CON2_6	FLOATERR
J41	5V	CON2_6	FLOATERR_REV1
J42	12V	CON2_6	FLOATERR_REV3
J43	TO PUMP	CON2_6	FLOATERR_REV2
L1	10MH	CHOKE_RF	SM/L_1210
P1	RS232 SPARE0	CONNECTOR_DB9	DSUB/VP/TM/9
P2	RS485 SPARE1	CONNECTOR_DB9	DSUB/VP/TM/9
PULL UP1	10K	R	SM/R_0805
PULL UP2	10K	R	SM/R_0805
Q1	NPN BCE	NPN_BCE_0	SM/SOT23_123
Q2	2N7000P/TO	2N7000P/TO	SM/SOT23_123
Q3	NPN BCE	NPN_BCE_0	SM/SOT23_123
R1	1K	R	SM/R_0603
R2	1K	R	SM/R_0603
R3	1K	R	SM/R_0603



R4	510	R	SM/R_0603
R5	510	R	SM/R_0603
R6	1K	R	SM/R_0603
R7	1K	R	SM/R_0603
R8	1K	R	SM/R_0603
R9	1K	R	SM/R_0603
R10	1K	R	SM/R_0603
R11	1K	R	SM/R_0603
R12	510	R	SM/R_0603
R13	510	R	SM/R_0603
R14	1K	R	SM/R_0603
R15	1K	R	SM/R_0603
R16	1K	R	SM/R_0603
R17	1K	R	SM/R_0603
R18	1K	R	SM/R_0603
R19	1K	R	SM/R_0603
R20	510	R	SM/R_0603
R21	510	R	SM/R_0603
R22	1K	R	SM/R_0603
R23	1K	R	SM/R_0603
R25	1K	R	SM/R_0603
R27	1K	R	SM/R_0603
R28	510	R	SM/R_0603
R29	510	R	SM/R_0603
R30	1K	R	SM/R_0603
R31	1K	R	SM/R_0603
R32	1K	R	SM/R_0603
R39	510	R	SM/R_0603
R41	510	R	SM/R_0603
R42	1K	R	SM/R_0603
R44	510	R	SM/R_0603
R45	510	R	SM/R_0603
R46	510	R	SM/R_0603
R47	510	R	SM/R_0603
R48	510	R	SM/R_0603
R49	160	R	SM/R_0603
R50	510	R	SM/R_0603
R51	30K	R	SM/R_0603
R52	160	R	SM/R_0603
R53	510	R	SM/R_0603
R54	68K	R	SM/R_0603
R55	100K	R	SM/R_0603
R56	510	R	SM/R_0603
R60	100	R	SM/R_0603
R262	1K	R	SM/R_0603
R263	1K	R	SM/R_0603
R264	100	R	SM/R_0603
R265	100	R	SM/R_0603
RJN1	100	R	SM/R_0603
RJN2	100	R	SM/R_0603
RJN3	100	R	SM/R_0603
RJN4	100	R	SM/R_0603
RJN5	100	R	SM/R_0603
RJN7	100	R	SM/R_0603
SW1	RESET	SW_PUSHBUTTON	SWITCH_SMD
U1	LM324N	LM324N_0	DIP.100/14/W.300/L.800





U2	LM324N	LM324N_0	DIP.100/14/W.300/L.800
U3	+15V	AC_HEADER	220_HEADER_REV1
U4	ATMEGA128L	ATMEGA128L	QUAD.80M/64/WG16.00
U5	RELAY VALVE	RELAY	RELAY_REV1
U6	RELAY PUMP	RELAY	RELAY_REV2
U11	MAX232	MAX232CPE	DIP.100/16/W.300/L.775
U12325	ISP_HEADER2	ISP_HEADER2	BLKCON.100/VH/TM2OE/W.200/6
U12326	JTAG_HEADER	JTAG_HEADER	BLKCON.100/VH/TM2OE/W.200/10
U12327	LTC1485	LTC1485	DIP.100/8/W.300/L.400
U12331	PORTX	PORTX(2)	BLKCON.100/VH/TM2OE/W.200/10
U12332	PORTX	PORTX(2)	BLKCON.100/VH/TM2OE/W.200/10
U12333	PORTX	PORTX(2)	BLKCON.100/VH/TM2OE/W.200/10
U12334	KLEMA (SENSORS)	KLEMA_(SENSORS)	KLEMA (SENSORS)
Y100	ZTA	ZTA	JUMPER200



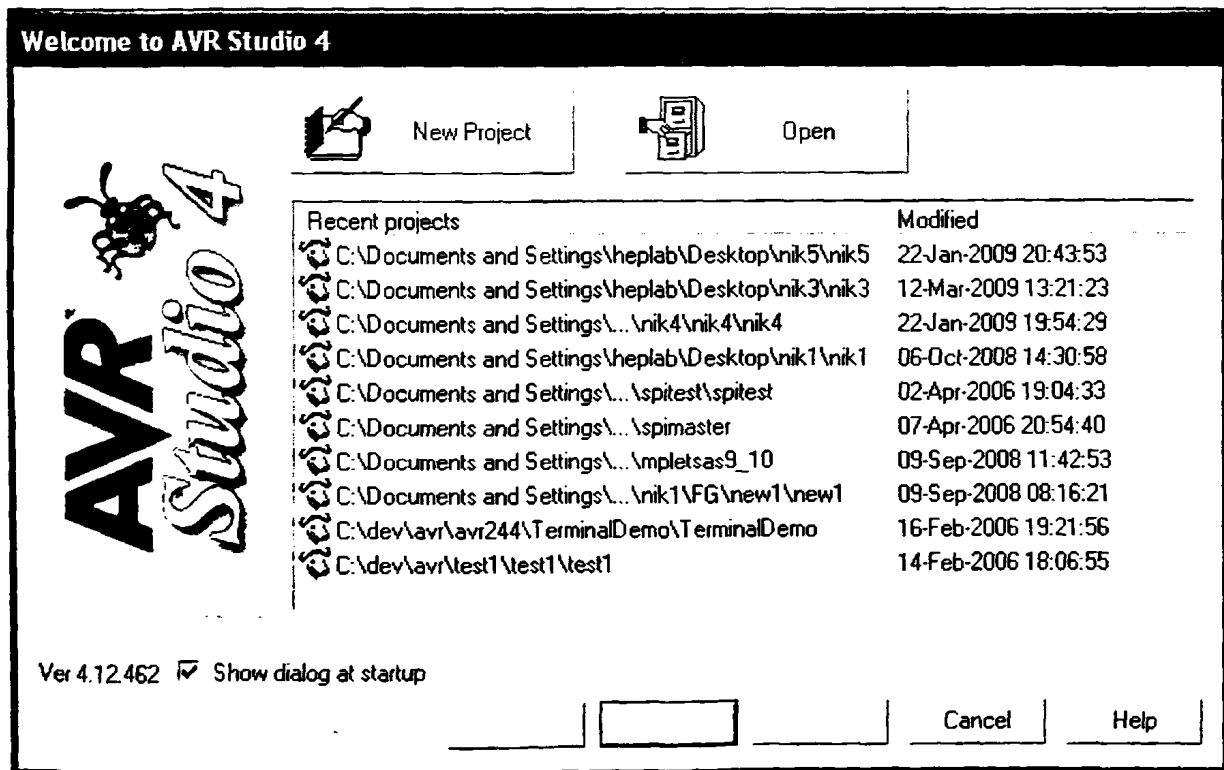
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

### Γ – Απλά βήματα προγραμματισμού του συστήματος συλλογής – καταγραφής δεδομένων

Για τον προγραμματισμό του ATmega128 χρησιμοποιήθηκαν η διεπαφή SPI και ο προγραμματιστής JTAGICEmk-II, ένας φορητός υπολογιστής (laptop) και το λογισμικό Studio4.15, ή νεότερη έκδοση.

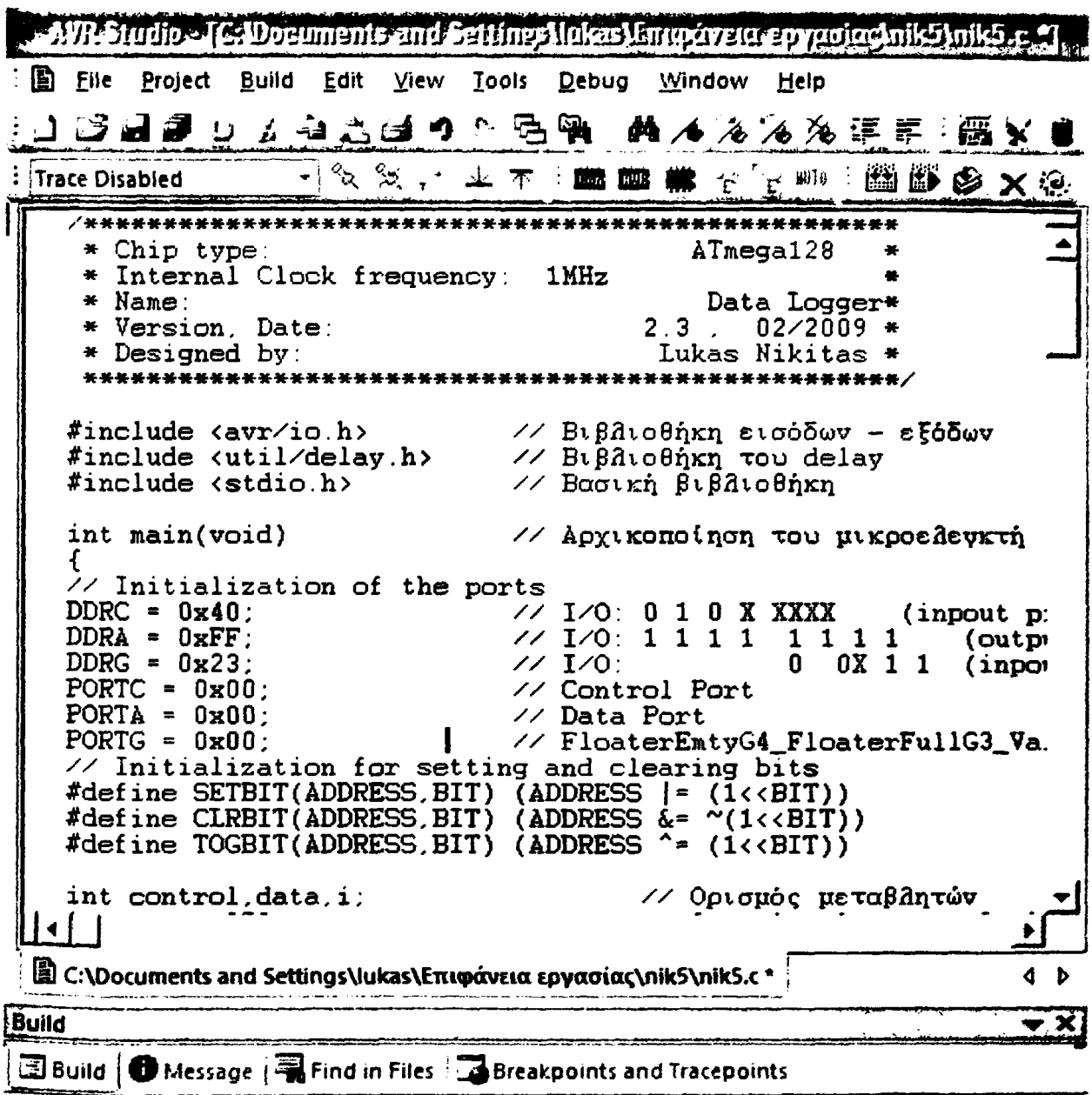
Ο προγραμματιστής JTAGICEmk-II (φαίνεται στην εικόνα 3.43) συνδέεται στη θήρα USB του φορητό υπολογιστή.

Με τη βοήθεια του προγράμματος Studio4 δημιουργείται νέο PROJECT όπου εισάγεται ο κατάλληλος κώδικας και στη συνέχεια γίνεται μετάφραση (COMPILE) και δημιουργία (BUILD) του αντίστοιχου δεκαεξαδικού αρχείου (εικόνα Γ.2).



Εικόνα Γ.1: Παράδειγμα δημιουργίας καινούριου PROJECT

Ακολούθως με την επιλογή CON συνδέεται ο υπολογιστής με το μικροεπεξεργαστή και στη συνέχεια με τη επιλογή PROGRAM προγραμματίζεται ο ATmega128 (εικόνα Γ.3).



Εικόνα Γ.2: Παράδειγμα φόρτωσης νέου κώδικα

