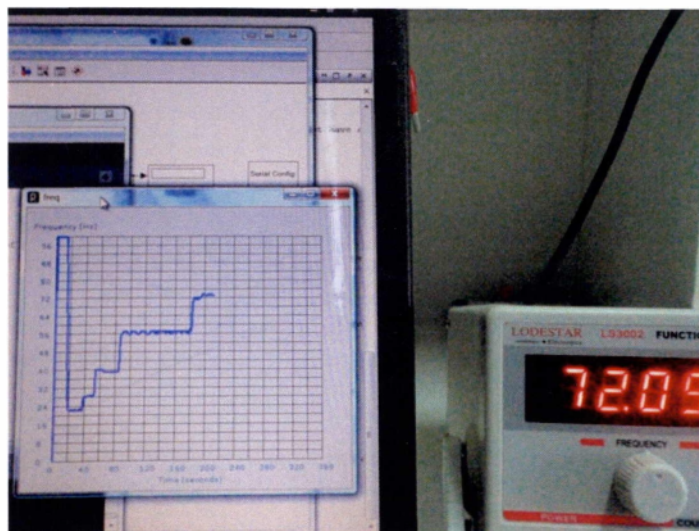


Α.Τ.Ε.Ι. ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ



### ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ:** ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ.

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:** ΛΙΑΠΕΡΔΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:** ΓΑΤΣΟΣ ΣΠΥΡΙΔΩΝ  
**ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:** 2005007

ΣΠΑΡΤΗ 2011

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εργασίας είναι η κατασκευή συστήματος μέτρησης και καταγραφής της συχνότητας ενός σήματος(π.χ.του σήματος του ηλεκτρικού δικτύου). Οι μετρήσεις θα λαμβάνονται αυτόματα σε τακτά χρονικά διαστήματα και θα αποστέλλονται σε Η/Υ για καταγραφή και γραφική απεικόνιση. Για την σχεδίαση και υλοποίηση του συστήματος μέτρησης και καταγραφής της συχνότητας σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιήθηκε Η/Υ και πλακέτα Arduino Duemilanove,ενώ για τον έλεγχο παλμογράφος και γεννήτρια συναρτήσεων.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b>	7
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ</b>	9
1.1 Επεξεργασία Σήματος	9
1.2 Δειγματοληψία σήματος	9
1.3 Συχνότητα	11
1.4 Zero Crossing	12
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΟΡΓΑΝΑ</b>	15
2.1 Βασικά εργαστηριακά όργανα	15
2.2 Τροφοδοτικά συνεχούς (DC)	16
2.3 Πολύμετρα	17
2.4 Γεννήτριες σήματος – ταλαντωτές – γεννήτριες συναρτήσεων	24
2.5 Παλμογράφος	25
2.6 Περιγραφές εργαστηριακών οργάνων	36
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Arduino Duemilanove</b>	41
3.1 Χρήσεις της πλακέτας ανάπτυξης πρωτοτύπων Arduino Duemilanove	41
3.2 Γενικές πληροφορίες	47
3.3 Τα τεχνικά μέρη της πλατφόρμας ανοικτού λογισμικού Arduino Duemilanove	49
3.4 Πλεονεκτήματα Arduino	54
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ-ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO</b>	57
4.1 Matlab	57
4.2 Simulink	60
4.3 Processing	61
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ</b>	63
5.1 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino με matlab	65
5.2 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino με χρήση γλώσσας C	71
5.3 Γραφική αναπαράσταση δειγμάτων συχνότητας	73
5.4 Παραρτήματα	80
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>	83
<b>ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ</b>	84

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Α.Τ.Ε.Ι.Καλαμάτας Παραρτήματος Σπάρτης. Το αντικείμενο μελέτης της ήταν η σχεδίαση και υλοποίηση συστήματος μέτρησης και καταγραφής της συχνότητας σε πραγματικό χρόνο.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Ιωάννη Λιαπέρδο για την καθοδήγηση και την πολύτιμη βοήθειά του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσης πτυχιακής εργασίας, καθώς και για τη διάθεση των υποδομών του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής χωρίς την οποία θα ήταν αδύνατη η πραγματοποίησή της. Επίσης, ευχαριστώ την οικογένειά μου για την πολύπλευρη συμπαράστασή της, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας, αλλά για ολόκληρο το διάστημα της φοίτησής μου. Τέλος θα ήθελα να αφιερώσω αυτή, την πτυχιακή εργασία, στην μνήμη του πατέρα μου.

Σπάρτη, Οκτώβρης του 2011

Σπύρος Γάτσος

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

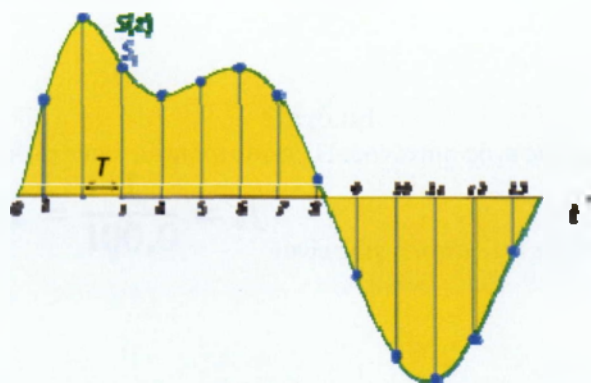
## ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ

### 1.1 Επεξεργασία Σήματος

Ως επεξεργασία σήματος ορίζουμε την ανάλυση και τον χειρισμό σημάτων, όπου ως σήμα ορίζεται οποιαδήποτε συνάρτηση μεταξύ φυσικών ποσοτήτων. Τα σήματα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες, τα αναλογικά σήματα και τα ψηφιακά. Ως αναλογικό σήμα χαρακτηρίζεται το σήμα στο οποίο λαμβάνουν συνεχείς τιμές οι ποσότητες ( $x, y$ ). Από την άλλη ως ψηφιακό σήμα καλείται αυτό στο οποίο λαμβάνουν διακριτές τιμές οι ποσότητες ( $x, y$ ). Ένα ψηφιακό σήμα μπορεί να προκύψει από ένα αναλογικό σήμα μέσω μιας διεργασίας γνωστής ως δειγματοληψία π.χ. με στόχο το σήμα να αποθηκευτεί και υποστεί επεξεργασία σε έναν ψηφιακό ηλεκτρονικό υπολογιστή.

### 1.2 Δειγματοληψία σήματος

Δειγματοληψία σήματος, στην επιστήμη της επεξεργασίας σήματος είναι η μετατροπή ενός συνεχούς σήματος σε διακριτό σήμα. Το δείγμα συνήθως αναφέρεται σε μια τιμή του συνεχούς σήματος σε ένα συγκεκριμένο χρονικό σημείο.



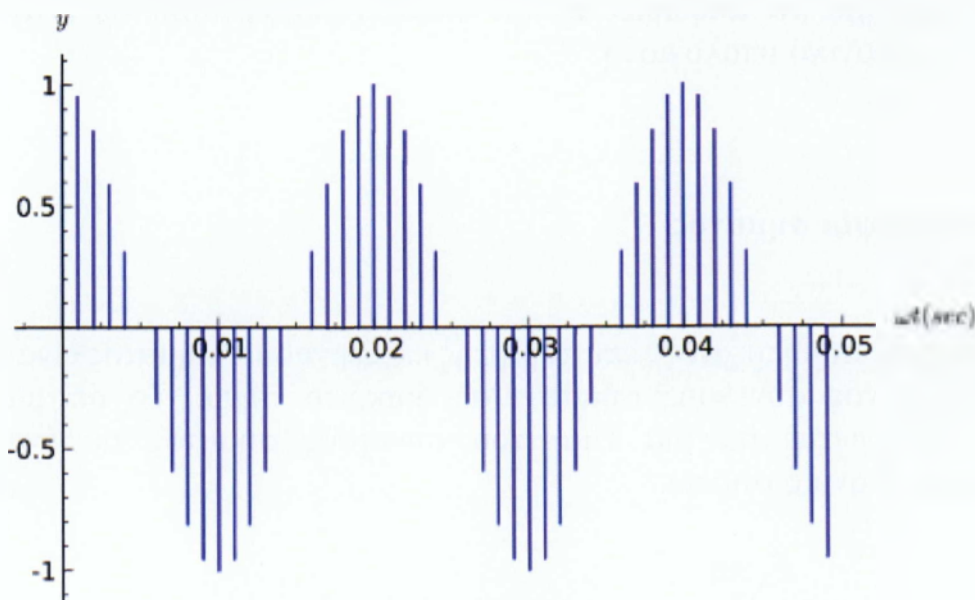
Εικόνα 1 :Σχεδιάγραμμα δειγματοληψίας σήματος. Το συνεχές σήμα αναπαριστάται από την πράσινη γραμμή ενώ τα διακριτά δείγματα (αποτέλεσμα δειγματοληψίας) με το μπλε χρώμα.

Ο δειγματολήπτης είναι ένα σύστημα το οποίο εξάγει δείγματα (σε ίσα χρονικά διαστήματα) από ένα συνεχές σήμα. Ένας θεωρητικός ιδανικός δειγματολήπτης δημιουργεί δείγματα τα οποία αντιστοιχούν στην στιγμιαία τιμή του συνεχούς σήματος στα επιθυμητά χρονικά σημεία. Η δειγματοληψία αναφέρεται σε σήματα τα οποία μεταβάλλονται σε σχέση με τον χρόνο. Η συχνότητα δειγματοληψίας ή ρυθμός δειγματοληψίας μετριέται στην μονάδα μέτρησης Χερτζ ( $H_z$ ) και μας δείχνει πόσα δείγματα έχουν ληφθεί από τον δειγματολήπτη σε διάρκεια ενός δευτερολέπτου.

Εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι ίση με  $1000H_z$ , τότε ο δειγματολήπτης δημιουργεί 1000 δείγματα για 1 δευτερόλεπτο σήματος. Η χρονική απόσταση των δειγμάτων υπολογίζεται από τον τύπο

$f_s = \frac{1}{T}$  (το  $T$  είναι η περίοδος δειγματοληψίας) και για συχνότητα

δειγματοληψίας  $1000H_z$  έχουμε  $T = \frac{1}{f_s} = \frac{1}{1000} = 0,001sec$



Εικόνα 2 :

Παράδειγμα δειγματοληψίας ενός ημιτόνου. Η δειγματοληψία έγινε σε κάθε 0,001

δευτερόλεπτο. Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι  $f_s = \frac{1}{0,001} = 1000H_z$

## Θεώρημα δειγματοληψίας Nyquist-Shannon

Έστω  $x_c(t)$  ένα συνεχές σήμα περιορισμένου εύρους:  $X_c(j\Omega) = 0$  για  $|\Omega| > \Omega_N$ .

$\Omega_s = \frac{2\pi}{T}$  είναι η έκφραση της συχνότητας σε ακτίνια/sec.

Τότε το σήμα  $x_c(t)$  ορίζεται και μπορεί να ανακατασκευαστεί από τα

δείγματά του  $x[n] = x_c(nT), n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$  εάν  $\Omega_s = \frac{2\pi}{T} \geq 2\Omega_N$  ή  $f_s \geq 2f_N$ .

Σύμφωνα με θεώρημα δειγματοληψίας τα σήματα περιορισμένου φάσματος (π.χ. σήματα τα οποία στο πεδίο της συχνότητας έχουν τιμές μέχρι μια μέγιστη συχνότητα) μπορούν να ανακατασκευαστούν πλήρως από την δειγματοληπτημένη μορφή τους εάν η συχνότητα δειγματοληψίας είναι μεγαλύτερη ή ίση από το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητά τους.

Η πλήρης ανακατασκευή των διακριτών σημάτων που έχουν δειγματοληφθεί σύμφωνα με το θεώρημα Nyquist-Shannon είναι εφικτό να γίνει με την συνάρτηση παρεμβολής Whittaker-Shannon

### 1.3 Συχνότητα

Συχνότητα ονομάζουμε τον αριθμό των επαναλήψεων ενός γεγονότος στη μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα χαρακτηρίζει οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος το οποίο επαναλαμβάνει τις ίδιες τιμές σε τακτά χρονικά διαστήματα. Επομένως εκφράζει περιοδικές κινήσεις.

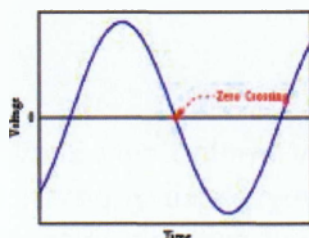
Στον ηλεκτρισμό η έννοια της συχνότητας περιγράφει περιοδικές μεταβολές ηλεκτρικών μεγεθών όπως της τάσης και της έντασης. Παραδείγματα περιοδικών σημάτων είναι το εναλλασσόμενο ρεύμα ή οι ηλεκτρικοί παλμοί χρονισμού ενός υπολογιστικού συστήματος. Το εναλλασσόμενο ρεύμα μεταβάλλεται ημιτονικά ενώ οι παλμοί χρονισμού έχουν τετραγωνική μορφή καθώς παίρνουν μία μέγιστη και μία ελάχιστη τιμή σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Ένα όργανο μέτρησης της συχνότητας είναι το συχνόμετρο.

Συγκεκριμένα το συχνόμετρο είναι ηλεκτρονικό όργανο το οποίο μετράει συχνότητα ηλεκτρικών σημάτων και προβάλλει το αποτέλεσμα της μέτρησης σε ψηφιακή οθόνη. Χρησιμοποιείται κυρίως για μέτρηση συχνότητας περιοδικών ηλεκτρικών σημάτων υψηλής συχνότητας. Για να μετρηθεί μία περιοδική κίνηση με αυτό το όργανο θα πρέπει να μετατραπεί πρώτα σε αντίστοιχο περιοδικό ηλεκτρικό σήμα με έναν κατάλληλο αισθητήρα. Η συχνότητα του παραγόμενου περιοδικού σήματος ταυτίζεται με την συχνότητα της περιοδικής κίνησης

#### 1.4. Zero Crossing

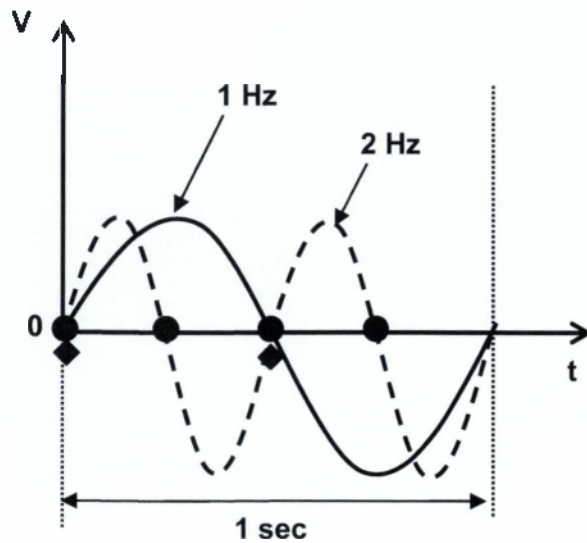
Zero cross ονομάζεται η χρονική στιγμή στην οποία ένα ημίτονο βρίσκεται σε μηδενική τιμή. Την χρονική αυτή στιγμή θέλουμε να γνωρίζουμε για την κατασκευή αρκετών εφαρμογών που κυρίως έχουν να κάνουν με τον έλεγχο της ηλεκτρονικής ισχύος. Ο συγκεκριμένος όρος χρησιμοποιείται συνήθως στην ηλεκτρονική, και τα μαθηματικά.

Στην ηλεκτρονική το σημείο Zero cross είναι το σημείο στο οποίο εκείνη την στιγμή υπάρχει μηδενική τάση σε ένα ημιτονοειδές κύμα ή σε μια άλλη, απλή κυματομορφή, αυτό συμβαίνει συνήθως δύο φορές κατά την διάρκεια κάθε κύκλου.



Εικόνα 3A :  
Σημείο Zero Crossing





Εικόνα 3B: Σημεία Zero Crossings για συχνότητες 1Hz και 2 Hz

Στην εικόνα 3B, παρατηρούμε για τις συχνότητες 1Hz και 2 Hz τα Zero Crossing σημεία. Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε πως στη συχνότητα του 1 Hz το σήμα μηδενίζεται 2 φορές σε χρόνο 1 sec, ενώ στη συχνότητα των 2Hz, αυτό συμβαίνει 4 φορές. Μπορούμε, επομένως να πούμε γενικά πως η συχνότητα ( $f$ ) ενός σήματος συνδέεται με τον αριθμό των μηδενισμών του ( $Z$ ) σε χρόνο  $T$  σύμφωνα με τη σχέση:

$$f = Z / (2T)$$

Η πιο πάνω παρατήρηση θα χρησιμοποιηθεί ως βασική αρχή στη σχεδίαση του καταγραφέα συχνότητας η οποία θα ακολουθήσει.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΒΑΣΙΚΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΑ ΟΡΓΑΝΑ

#### 2.1 Βασικά εργαστηριακά όργανα

Ο βασικός ρόλος ενός εργαστηρίου ηλεκτρονικής είναι η σχεδίαση και η δοκιμή (ο έλεγχος, δηλαδή, λειτουργίας) ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Κατά τη διαδικασία δοκιμής, εκτός από το ίδιο το κύκλωμα στο οποίο διενεργείται έλεγχος, απαιτείται και ένας αριθμός εργαστηριακών οργάνων τα οποία είτε παράγουν τα απαιτούμενα σήματα δοκιμής, είτε παρέχουν τις απαιτούμενες τάσεις τροφοδοσίας, είτε λαμβάνουν μετρήσεις των διάφορων ηλεκτρικών χαρακτηριστικών του υπό έλεγχο κυκλώματος.

Τα όργανα που παρέχουν τάση τροφοδοσίας σε ένα κύκλωμα ονομάζονται τροφοδοτικά. Ανάλογα με τη μορφή της τάσης που παράγουν διακρίνονται σε τροφοδοτικά συνεχούς (DC) και σε τροφοδοτικά εναλλασσόμενου (AC).

Τα σήματα δοκιμής παράγονται από διαφορετικούς τύπους οργάνων που γενικά ανήκουν στις κατηγορίες των γεννητριών σήματος ή των γεννητριών συναρτήσεων. Τέλος, τα όργανα που παρέχουν μετρήσεις των ηλεκτρικών χαρακτηριστικών ανήκουν στην οικογένεια των μετρητικών οργάνων.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε τα κυριότερα χαρακτηριστικά των βασικότερων εργαστηριακών οργάνων, αποφεύγοντας τις επιμέρους λεπτομέρειες μιας και αυτές εξαρτώνται από τον τύπο τους και από τον κατασκευαστή τους

## 2.2 Τροφοδοτικά συνεχούς (DC)

Πρόκειται για επιτραπέζιες συσκευές που λειτουργούν με την AC τάση του ηλεκτρικού δικτύου και παρέχουν σταθερή DC τάση. Η τάση αυτή είναι συνήθως ρυθμιζόμενη και συχνά η τιμή της παρέχεται από το ίδιο το τροφοδοτικό είτε σε άντυγα με κινητή βελόνα, είτε σε ενσωματωμένη οθόνη σε ψηφιακή μορφή. Διακρίνονται σε απλά, τα οποία παρέχουν μία έξοδο DC τάσης, και στα πολλαπλά που διαθέτουν περισσότερες από μία εξόδους. Η DC τάση των τροφοδοτικών αυτών είναι σταθεροποιημένη, διατηρείται δηλαδή σταθερή για τις συνήθεις διακυμάνσεις που μπορεί να εμφανίσει η τάση του ηλεκτρικού δικτύου που τα τροφοδοτεί.

Αρκετά τροφοδοτικά συνεχούς διαθέτουν τη δυνατότητα να περιορίζουν το ρεύμα που μπορεί να αντλήσει από αυτές κάποιος φόρτος, λειτουργώντας ως πηγές ρεύματος πάνω από το όριο τάσης που καθορίζει ο χρήστης.

Χαρακτηριστικά μεγέθη των τροφοδοτικών συνεχούς είναι η μέγιστη τάση που μπορούν να αποδώσουν (αν αυτή είναι μεταβλητή), καθώς και το μέγιστο ρεύμα.

Κάθε έξοδος ενός τροφοδοτικού DC αντιστοιχεί σε τρεις ακροδέκτες: Τον θετικό πόλο της πηγής τάσης (+), τον αρνητικό πόλο (-) και τον ακροδέκτη γείωσης (GND – ground). Ο τελευταίος αποτελεί την απόληξη των μεταλλικών μερών της συσκευής τα οποία και συνδέονται γαλβανικά με αυτόν. Θα πρέπει να προσέξουμε πως ο ακροδέκτης γείωσης δεν σχετίζεται με τον κοινό αγωγό του τροφοδοτούμενου κυκλώματος, ο οποίος στα κυκλωματικά διαγράμματα συμβολίζεται επίσης με το σύμβολο της γείωσης. Συνήθως ως κοινός αγωγός θεωρείται ο αρνητικός πόλος της πηγής τάσης, και δεν θα πρέπει να συγχέεται με τον ακροδέκτη γείωσης του τροφοδοτικού.

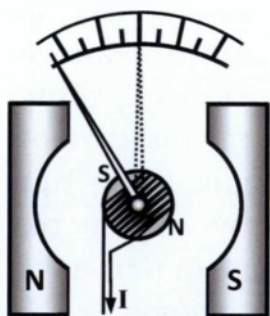
Με τις βασικές αρχές λειτουργίας ενός τροφοδοτικού συνεχούς θα ασχοληθούμε στο επόμενο κεφάλαιο.

## 2.3 Πολύμετρα

Οι σύγχρονες πρόοδοι στην τεχνολογία των μετρητικών οργάνων τείνουν να συγκεντρώσουν τη δυνατότητα μέτρησης των περισσότερων ηλεκτρικών μεγεθών (τάση, ένταση, αντίσταση, κ.λπ.) σε ένα και μόνο όργανο. Το όργανο αυτό ονομάζεται πολύμετρο (multimeter).

Ένα πολύμετρο μπορεί να επιτελεί τη λειτουργία βολτομέτρου (=όργανο μέτρησης τάσης), αμπερομέτρου (=όργανο μέτρησης έντασης), ή ωμομέτρου (=όργανο μέτρησης αντίστασης). Επιπλέον, ένα πολύμετρο μπορεί να μετρά τη χωρητικότητα πυκνωτών (να λειτουργεί, δηλαδή, ως καπασιτόμετρο), να προσδιορίζει χαρακτηριστικά μεγέθη διόδων ή τρανζίστορ, να παρέχει ενδείξεις της γαλβανικής συνέχειας μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος, κ.λπ. Η επιλογή του μεγέθους προς μέτρηση γίνεται συνήθως με την κατάλληλη ρύθμιση του περιστροφικού επιλογέα που διαθέτει κάθε σύγχρονο πολύμετρο.

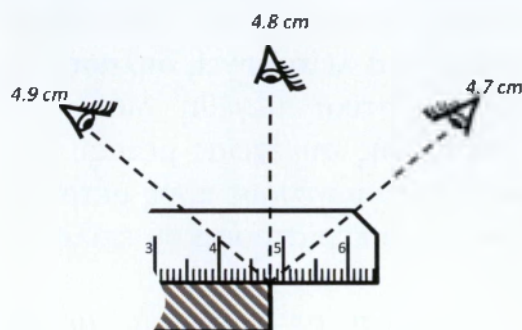
Τα πολύμετρα διακρίνονται σε αναλογικά και σε ψηφιακά, με τα τελευταία να τείνουν να κυριαρχήσουν έναντι των πρώτων εξαιτίας της ευκολότερης χρήσης τους και της μεγαλύτερης αξιοπιστίας των μετρήσεων που παρέχουν.



Εικόνα 4: Αρχή λειτουργίας αναλογικού πολυμέτρου

Η αρχή λειτουργίας ενός αναλογικού πολυμέτρου φαίνεται στην Εικόνα 4. Αποτελείται από μια βελόνα, το ένα άκρο της οποίας στερεώνεται σε στρεφόμενο άξονα γύρω από τον οποίο τυλίγεται μεταλλικό σύρμα, σχηματίζοντας ένα πηνίο. Κατά τη διέλευση ρεύματος μέσα από αυτό, το πηνίο συμπεριφέρεται ως ηλεκτρομαγνήτης. Η θέση των πόλων του ηλεκτρομαγνήτη εξαρτάται από τη φορά διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το τύλιγμα.

Υπό την επίδραση ενός μόνιμου μαγνήτη που περιβάλλει το σύστημα του κινητού πηνίου, ο ηλεκτρομαγνήτης δέχεται ροπή στρέψης η οποία αναγκάζει τη βελόνα να αποκλίνει από τη θέση ισορροπίας της. Η γωνία απόκλισης εξαρτάται από την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Με κατάλληλη βαθμονόμηση, η κλίμακα πάνω στην οποία μετακινείται το ελεύθερο άκρο της βελόνας μπορεί να δώσει ενδείξεις της έντασης του ρεύματος που διαρρέει το πηνίο. Με τη χρήση κυκλωμάτων μετατροπής των μεγεθών που θέλουμε να μετρήσουμε (τάση, αντίσταση, κ.λπ.) σε ένταση ρεύματος, το πολύμετρο μπορεί να δώσει μετρήσεις που αντιστοιχούν στα μεγέθη αυτά, και όχι μόνο μετρήσεις ρεύματος. Είναι προφανές ότι για κάθε μετρούμενο μέγεθος η βαθμονόμηση διαφέρει, και για το λόγο αυτό απαιτείται διαφορετική κλίμακα ανάγνωσης των ενδείξεων της βελόνας.



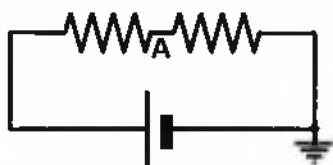
Εικόνα 5: Σφάλμα παράλλαξης

Η αρχή λειτουργίας των ψηφιακών πολυμέτρων είναι εντελώς διαφορετική. Όπως συμβαίνει και στα αναλογικά πολύμετρα, το μετρούμενο μέγεθος μετατρέπεται αρχικά με τη βοήθεια κατάλληλων κυκλωμάτων σε τάση. Από το σημείο αυτό και μετά, η τιμή της τάσης ψηφιοποιείται, με τη βοήθεια ενός κυκλώματος μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό. Η βαθμονόμηση γίνεται με ψηφιακές μεθόδους και η τιμή που προκύπτει απεικονίζεται σε ψηφιακή μορφή στην οθόνη του οργάνου. Με τη χρήση μετατροπέα πολύ μεγάλης ακρίβειας οι μετρήσεις που δίνει ένα ψηφιακό πολύμετρο είναι εξαιρετικά αξιόπιστες. Η αξιοπιστία αυξάνει ακόμα περισσότερο με τη μη παρέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα κατά τη μέτρηση. Κατά την ανάγνωση μιας μέτρησης από ένα αναλογικό πολύμετρο υπεισέρχεται το λεγόμενο σφάλμα παράλλαξης. Το σφάλμα αυτό συνίσταται στην εξάρτηση του αποτελέσματος της ανάγνωσης από τη γωνία υπό την οποία βλέπει ο παρατηρητής τη βελόνα. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 5, σε κάθε οπτική ανάγνωση μιας μέτρησης, το αποτέλεσμα αποκλίνει από την αναμενόμενη τιμή του όσο η γωνία ανάγνωσης μεγαλώνει.

Παρόλο που τα αναλογικά πολύμετρα διαθέτουν κάτοπτρο (καθρέφτη) κάτω ακριβώς από τη διαδρομή του ελεύθερου άκρου της βελόνας τους, προκειμένου η ανάγνωση να γίνεται κάθετα στο επίπεδο της κλίμακας, το αντίστοιχο σφάλμα δεν είναι δυνατό να μηδενισθεί πλήρως.

## Μετρήσεις με πολύμετρο

Έστω το απλό κύκλωμα της Εικόνας 6, στο σημείο Α του οποίου επιθυμούμε να μετρήσουμε την τάση και την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από αυτό.

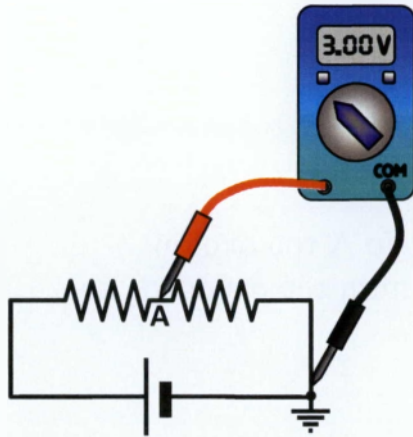


Εικόνα 6: Σχηματικό διάγραμμα απλού κυκλώματος

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη παράγραφο, η μέτρηση της τάσης γίνεται με αναφορά το σημείο μηδενικού δυναμικού, το οποίο σημειώνεται με το σύμβολο της γείωσης στο σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος. Για το σκοπό αυτό συνδέουμε τον ακροδέκτη COM (συνήθως μαύρου χρώματος) του πολυμέτρου στο σημείο μηδενικού δυναμικού και τον ακροδέκτη με κόκκινο χρώμα στο σημείο Α, την τάση του οποίου θέλουμε να μετρήσουμε, όπως φαίνεται στην Εικόνα 7. Προφανώς ο περιστροφικός επιλογέας του πολυμέτρου θα πρέπει να έχει ρυθμιστεί για μέτρηση τάσης, και να αντιστοιχεί στην κατάλληλη κλίμακα αν το πολύμετρο είναι αναλογικό.

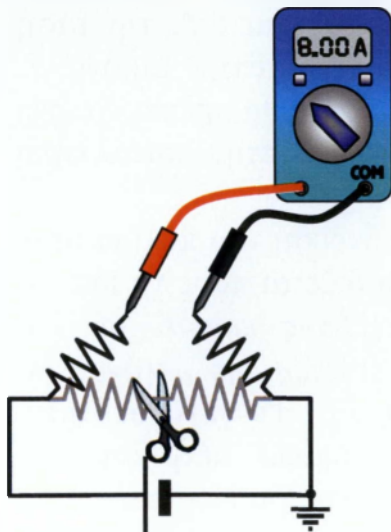
Εδώ θα πρέπει να παρατηρήσουμε ότι κατά τη σύνδεση του πολυμέτρου στο κύκλωμα, ένα μέρος του ρεύματος θα διακλαδίζεται προς το ίδιο το όργανο, ιδιαίτερα αν αυτό είναι αναλογικό (Όπως είδαμε, σε ένα αναλογικό πολύμετρο προκειμένου να πάρουμε ένδειξη της βελόνας θα πρέπει να διέλθει ρεύμα μέσα από το κινητό πηνίο). Το γεγονός αυτό, ωστόσο, προκαλεί μεταβολή της τάσης στο σημείο μέτρησης, με αποτέλεσμα σφάλμα στη μέτρηση αυτή. Όσο μεγαλύτερο είναι το ρεύμα που διέρχεται από το πολύμετρο, τόσο μεγαλύτερο θα είναι και το μέγεθος του σφάλματος μέτρησης. Μπορούμε, επομένως, να συμπεράνουμε το εξής:

Ένα πολύμετρο σε λειτουργία βολτομέτρου θα πρέπει να έχει πολύ μεγάλη εσωτερική αντίσταση.



Εικόνα 7: Μέτρηση τάσης με τη βοήθεια πολυμέτρου

Ας υποθέσουμε πως για το κύκλωμα της Εικόνας 7 επιθυμούμε να μετρήσουμε την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από το σημείο A. Η μέτρηση αυτή θα πραγματοποιηθεί κατά τον τρόπο που υποδεικνύει της Εικόνας 8. Η συνέχεια του κυκλώματος θα πρέπει να διακοπεί στο σημείο A, ώστε να παρεμβληθεί το πολύμετρο. Γενικά, κατά τη μέτρηση της έντασης του ρεύματος με τη βοήθεια πολυμέτρου θα πρέπει να έχουμε υπόψη μας τον ακόλουθο κανόνα:



Εικόνα 8: Μέτρηση ρεύματος με τη βοήθεια πολυμέτρου Προκειμένου να μετρήσουμε την ένταση του ρεύματος με τη χρήση πολυμέτρου, θα πρέπει το ρεύμα που επιθυμούμε να μετρήσουμε να διέρχεται ολόκληρο μέσα από το πολύμετρο.

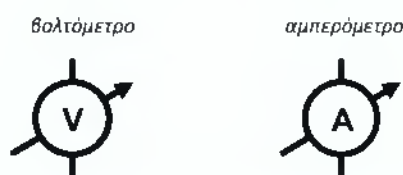


Κατά τη μέτρηση του ρεύματος θα πρέπει να φροντίζουμε ώστε η φορά του να είναι τέτοια ώστε το ρεύμα να εξέρχεται από τη θύρα COM. Στην αντίθετη περίπτωση, η μέτρηση του ρεύματος θα είναι αρνητική αν χρησιμοποιούμε ψηφιακό πολύμετρο, ή αν χρησιμοποιούμε αναλογικό η βελόνα θα τείνει να κινηθεί προς αρνητικές τιμές της κλίμακας, με κίνδυνο καταστροφής της. Για την αποφυγή του τελευταίου, πολλά σύγχρονα αναλογικά πολύμετρα διαθέτουν πλήκτρο αλλαγής πολικότητας (polarity).

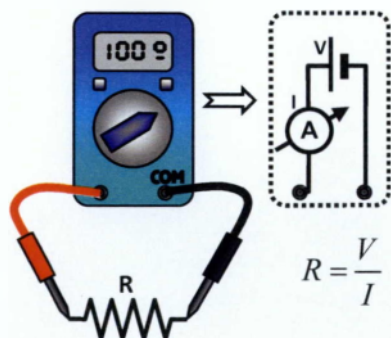
Είναι φανερό ότι κατά τη μέτρηση του ρεύματος, μεγάλη εσωτερική αντίσταση του πολυμέτρου θα περιορίζει την τιμή του, με αποτέλεσμα σφάλμα στη μέτρηση. Μπορούμε, επομένως να συμπεράνουμε το εξής:

Ένα πολύμετρο σε λειτουργία αμπερομέτρου θα πρέπει να έχει πολύ μικρή εσωτερική αντίσταση.

Τα συνηθέστερα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για τα βολτόμετρα και τα αμπερόμετρα κατά τη σχεδίαση κυκλωματικών διαγραμμάτων φαίνονται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9: Κυκλωματικά σύμβολα βολτομέτρου - αμπερομέτρου

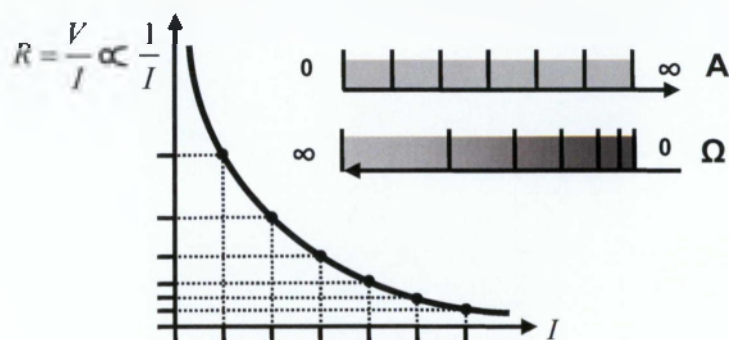


Εικόνα 10: Μέτρηση αντίστασης με τη βοήθεια πολυμέτρου

Προκειμένου να μετρηθεί η τιμή μιας αντίστασης, κάθε πολύμετρο χρησιμοποιεί μια εσωτερική πηγή σταθερής τάσης. (Για το λόγο αυτό τα φορητά πολύμετρα – ακόμα και τα αναλογικά - εφοδιάζονται με μπαταρία). Συνδέοντας την προς μέτρηση αντίσταση στους ακροδέκτες του πολυμέτρου, κατά το Εικόνα 10, η αντίσταση διαρρέεται από ένα ρεύμα  $I$  το οποίο και μετράται από το πολύμετρο. Δεδομένου ότι η τιμή  $V$  της εσωτερικής πηγής τάσης είναι γνωστή, η τιμή της αντίστασης  $R$  είναι αντιστρόφως ανάλογη της έντασης του ρεύματος, σύμφωνα με τον νόμο του Ohm. Σε ένα αναλογικό πολύμετρο μπορεί να βαθμονομηθεί ειδική κλίμακα για τα  $\Omega$  με βάση τη σχέση αυτή, όπως υποδεικνύει στην Εικόνα 11

Επειδή η τιμή της αντίστασης είναι αντιστρόφως ανάλογη της έντασης του ρεύματος (για σταθερή τάση  $V$ ), η σχέση μεταξύ των κλιμάκων  $A$  (Ampere) και  $\Omega$  (Ohm) θα προκύψει με βάση την καμπύλη της υπερβολής που φαίνεται στην Εικόνα 11. Αξίζει να παρατηρήσουμε πως η φορά των πιο πάνω κλιμάκων είναι αντίρροπη.

Η σχέση βαθμονόμησης μεταξύ των κλιμάκων  $A$  και  $\Omega$  εμπεριέχει και την τιμή  $V$  της εσωτερικής πηγής τάσης του πολυμέτρου. Σε ένα φορητό πολύμετρο που τροφοδοτείται από μπαταρία η τάση αυτή παρουσιάζει μια αργή πτώση με την πάροδο του χρόνου, αντίστοιχη της απόκλισης της τάσης της μπαταρίας από την ονομαστική της τιμή. (Η τάση που παρέχει μια μπαταρία διαφέρει από την ονομαστική της τιμή, ανάλογα με το ποσοστό κατά το οποίο αυτή έχει «εκφορτισθεί» λόγω προηγούμενης χρήσης. Εξαρτάται, δηλαδή, από την «παλαιότητα» της μπαταρίας).



Εικόνα 11: Σχέση κλιμάκων  $A$ - $\Omega$  σε αναλογικό πολύμετρο

Η βαθμονόμηση της κλίμακας των  $\Omega$  θα πρέπει, επομένως, να τροποποιείται προκειμένου να αντισταθμίζεται η μεταβολή της εσωτερικής τάσης.

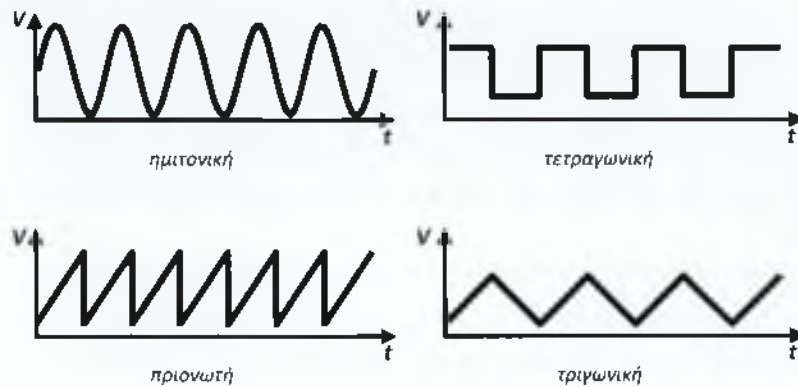
Στα ψηφιακά πολύμετρα η αντιστάθμιση γίνεται αυτόματα, χωρίς να απαιτείται κάποια ενέργεια από το χρήστη. Τα αναλογικά πολύμετρα διαθέτουν για το σκοπό αυτό περιστροφικό κουμπί αρχικής ρύθμισης: Πριν μετρηθεί η αντίσταση βραχυκυκλώνουμε τους ακροδέκτες του πολυμέτρου, ώστε η αντίσταση μεταξύ τους να είναι μηδενική, και ρυθμίζουμε τη βελόνα ώστε να δείχνει  $0\Omega$ .

Στη μέτρηση μιας αντίστασης παρεμβάλλονται αναπόφευκτα και οι αντιστάσεις των καλωδίων διασύνδεσης, οι οποίες αν και μικρές δεν είναι αμελητέες. Για το λόγο αυτό η ακρίβεια της μέτρησης υποβιβάζεται αν η μετρούμενη αντίσταση είναι πάρα πολύ μικρή. Για αντιστάσεις πολύ μικρής τιμής ( $< 1\Omega$ ) χρησιμοποιούνται τεχνικές μέτρησης τεσσάρων ακροδεκτών (Kelvin) για τις οποίες παραπέμπουμε τον αναγνώστη στη σχετική βιβλιογραφία.

Τέλος, να σημειώσουμε πως οι μετρήσεις της αντίστασης διακριτών αντιστατών είναι αξιόπιστες μόνο όταν πραγματοποιούνται εκτός κυκλώματος, δηλαδή κατά τον τρόπο που φαίνεται στο Εικόνα 10. Μετρήσεις επί του κυκλώματος συμπεριλαμβάνουν και κάθε στοιχείο ή κλάδο του κυκλώματος που συνδέεται παράλληλα προς τον αντιστάτη, έτσι ώστε το αποτέλεσμα της μέτρησης να αποκλίνει σημαντικά από την πραγματική τιμή του εξαρτήματος.

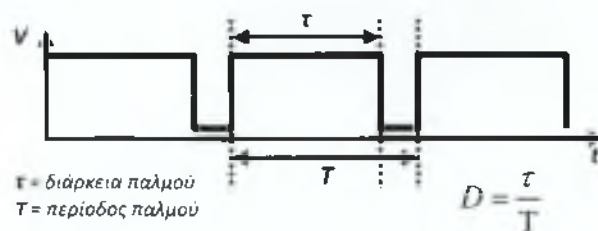
## 2.4 Γεννήτριες σήματος – ταλαντωτές – γεννήτριες συναρτήσεων

Οι γεννήτριες σήματος είναι ηλεκτρονικές συσκευές που παρέχουν συνήθως τάσεις ημιτονικές (οπότε και λέγονται ταλαντωτές), αλλά μπορούν επιπλέον να παρέχουν τάσεις τετραγωνικής, πριονωτής ή άλλης μορφής και τότε χαρακτηρίζονται ως γεννήτριες συναρτήσεων. Τυπικές κυματομορφές εξόδου μιας γεννήτριας συναρτήσεων φαίνονται στο Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Τυπικές κυματομορφές εξόδου γεννήτριας συναρτήσεων

Ανάλογα με τις τιμές των συχνοτήτων που παράγουν, οι γεννήτριες σήματος διακρίνονται σε γεννήτριες χαμηλών (LF), ακουστικών (AF) συχνοτήτων και σε γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων (RF). Δύο παράμετροι που είναι καλό να γνωρίζουμε κατά τη χρήση γεννητριών συναρτήσεων είναι ο κύκλος λειτουργίας (duty cycle) και η ολίσθηση DC (DC offset).

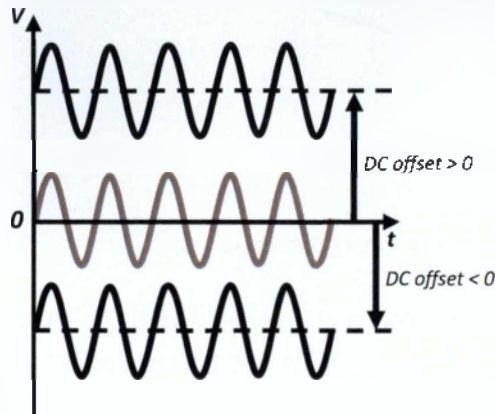


Εικόνα 13: Κύκλος λειτουργίας ορθογώνιου παλμού

Ο κύκλος λειτουργίας ( $D$ ) αναφέρεται σε ορθογώνιο παλμό και ορίζεται ως το πηλίκο της διάρκειας προς την περίοδο του παλμού αυτού, σύμφωνα και με την Εικόνα 13. Συχνά γράφεται ως ποσοστό (%).

Η ολίσθηση **DC** ενός σήματος ταυτίζεται με τη μέση τιμή του σήματος αυτού. Μεταβάλλοντας τη μέση τιμή το σήμα ολισθαίνει στον κατακόρυφο άξονα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 14.

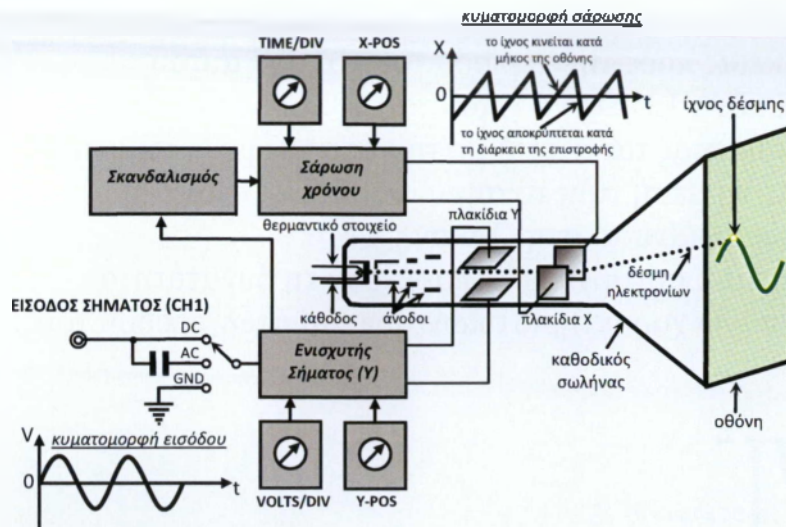
Οι περισσότερες γεννήτριες συναρτήσεων παρέχουν τη δυνατότητα ρύθμισης των δύο πιο πάνω χαρακτηριστικών των σημάτων εξόδου τους.



Εικόνα 14: DC Offset σήματος

## 2.5 Παλμογράφος

Ο παλμογράφος (oscilloscope) είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα του ηλεκτρονικού εργαστηρίου. Επιτρέπει την απεικόνιση της χρονικής εξέλιξης ηλεκτρικών σημάτων και παρέχει πληροφορίες γι' αυτά, τις οποίες δεν μπορούμε να πάρουμε με ένα κοινό πολύμετρο. Υπάρχουν κυρίως δύο τύποι παλμογράφου, ο αναλογικός και ο ψηφιακός, ενώ πολλοί παλμογράφοι διαθέτουν ταυτόχρονα αναλογικό και ψηφιακό τμήμα. Ο αναλογικός παλμογράφος στηρίζει τη λειτουργία του στον καθοδικό σωλήνα, ενώ ο ψηφιακός προσομοιώνει τη λειτουργία του αναλογικού παλμογράφου, χρησιμοποιώντας τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, παρέχοντας πολύ περισσότερες δυνατότητες.



Εικόνα 15: Απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων αναλογικού παλμογράφου

Στην Εικόνα 15 φαίνεται το απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων ενός αναλογικού παλμογράφου. Η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας ενός παλμογράφου είναι πολύ σημαντική για το σωστό χειρισμό του. Για το λόγο αυτό θα περιγράψουμε συνοπτικά τη δομή και τις βασικές αρχές λειτουργίας του:

Η οθόνη του αναλογικού παλμογράφου πάνω στην οποία σχηματίζονται οι κυματομορφές αποτελεί την πρόσοψη ενός καθοδικού σωλήνα, μιας ειδικού τύπου λυχνίας που ονομάζεται και σωλήνας καθοδικών ακτίνων (Cathode Ray Tube - CRT), ή εικονογράφος.

Το εσωτερικό του σωλήνα καθοδικών ακτίνων είναι κενό από αέρα και περιέχει τις απαραίτητες διατάξεις για τη λειτουργία του. Αυτές είναι το πυροβόλο ηλεκτρονίων, τα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης (X), τα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης (Y) και η φθορίζουσα οθόνη.

Το πυροβόλο ηλεκτρονίων είναι μια διάταξη που παράγει μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων με θερμιονική εκπομπή. Αποτελείται από την κάθοδο, ένα ηλεκτρόδιο σε αρνητικό δυναμικό το οποίο αναπτύσσει πολύ υψηλή θερμοκρασία με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικά τροφοδοτούμενου θερμαντικού στοιχείου. Εξαιτίας της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται, μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων διαφεύγουν από την κάθοδο.

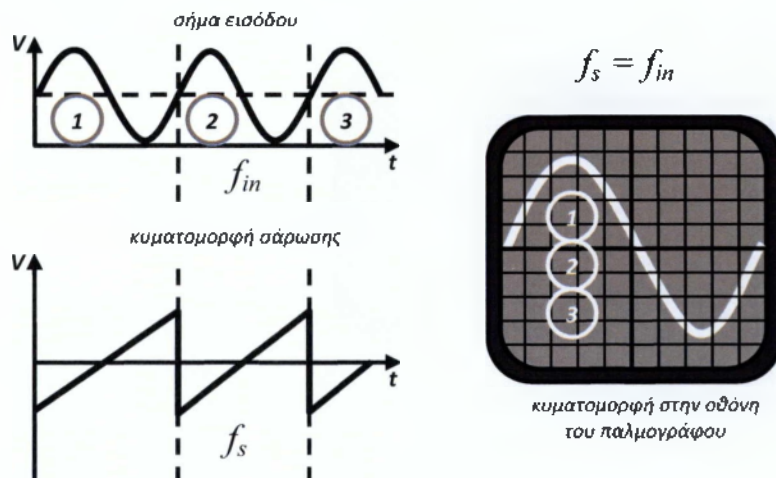
Τα ηλεκτρόνια της καθόδου απομακρύνονται από αυτήν κινούμενα υπό την επίδραση συστήματος ανόδων· θετικά φορτισμένων ηλεκτροδίων τα οποία λειτουργώντας ως ηλεκτρικοί φακοί συγκεντρώνουν τα ηλεκτρόνια σχηματίζοντας μια λεπτή δέσμη. Η έλξη που ασκούν οι άνοδοι στην ηλεκτρονική δέσμη προσδίδει σε αυτήν την απαραίτητη επιτάχυνση ώστε να μπορέσει να προσπέσει στην φθορίζουσα οθόνη.

Κατά την πορεία της προς την οθόνη, η δέσμη εκτρέπεται από την ευθύγραμμη πορεία της εξαιτίας της παρουσίας των φορτισμένων

πλακιδίων οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης. Η γωνία απόκλισης εξαρτάται από το δυναμικό των πλακιδίων και καθορίζει το σημείο της φθορίζουσας οθόνης στο οποίο θα προσπέσει η δέσμη. Η ενέργεια των ηλεκτρονίων διεγείρει την φθορίζουσα επίστρωση, με αποτέλεσμα το συγκεκριμένο σημείο να φωτοβολεί.

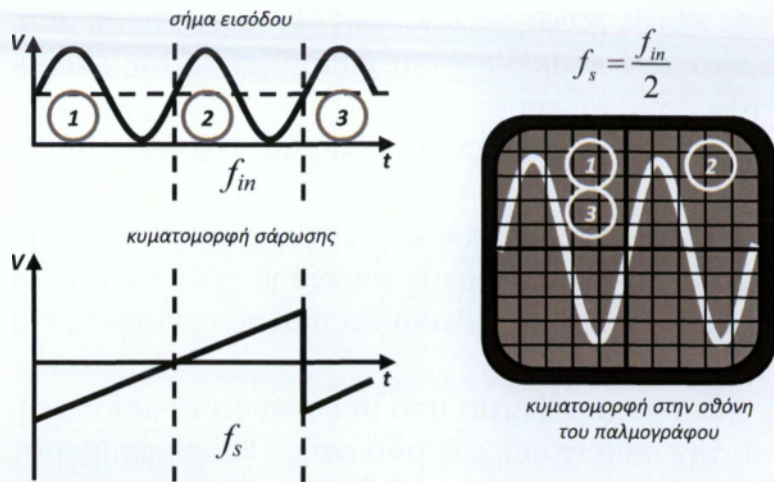
Η τιμή και η πολικότητα της τάσης στα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης καθορίζονται από την έξοδο του κυκλώματος σάρωσης χρόνου, ενώ τα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης τροφοδοτούνται από τον ενισχυτή του σήματος εισόδου.

Το κύκλωμα σάρωσης χρόνου αποτελείται από μια γεννήτρια πριονωτής τάσης η οποία παράγει την κυματομορφή σάρωσης. Η κυματομορφή αυτή εξασφαλίζει την περιοδική σάρωση της οθόνης από την κηλίδα της δέσμης κατά τον οριζόντιο άξονα (άξονας χρόνου). Επιπλέον, αποκόπτει τη δέσμη κατά την επιστροφή της ώστε να μην αφήνει ίχνος επιστροφής. Η αρχή λειτουργίας της σάρωσης φαίνεται στην Εικόνα 16.

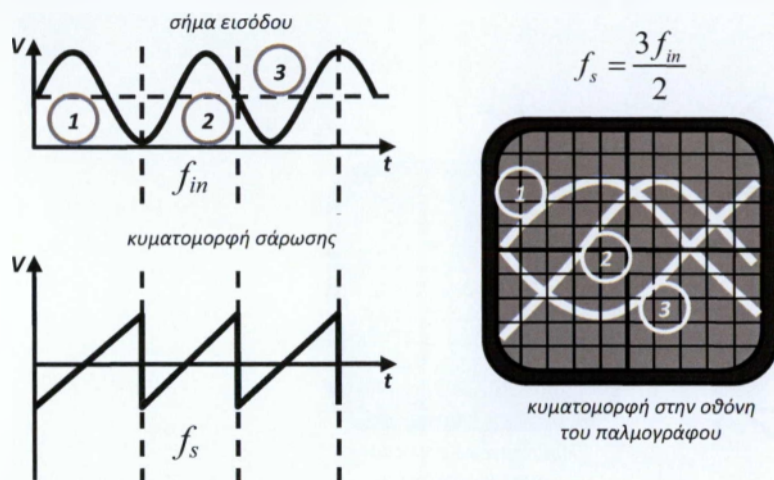


Εικόνα 16: Αρχή λειτουργίας σάρωσης

Από την Εικόνα 16 παρατηρούμε ότι αν η συχνότητα σάρωσης ( $f_s$ ) είναι ίση με τη συχνότητα του σήματος εισόδου ( $f_{in}$ ), τότε στην οθόνη του παλμογράφου απεικονίζεται μία περίοδος του σήματος, από την επαλληλία των διαδοχικών περιόδων που σαρώνονται («1», «2», «3» κ.λπ., για το συγκεκριμένο παράδειγμα).



Εικόνα 17: Επίδραση της συχνότητας σάρωσης στην κυματομορφή που απεικονίζεται στον παλμογράφο



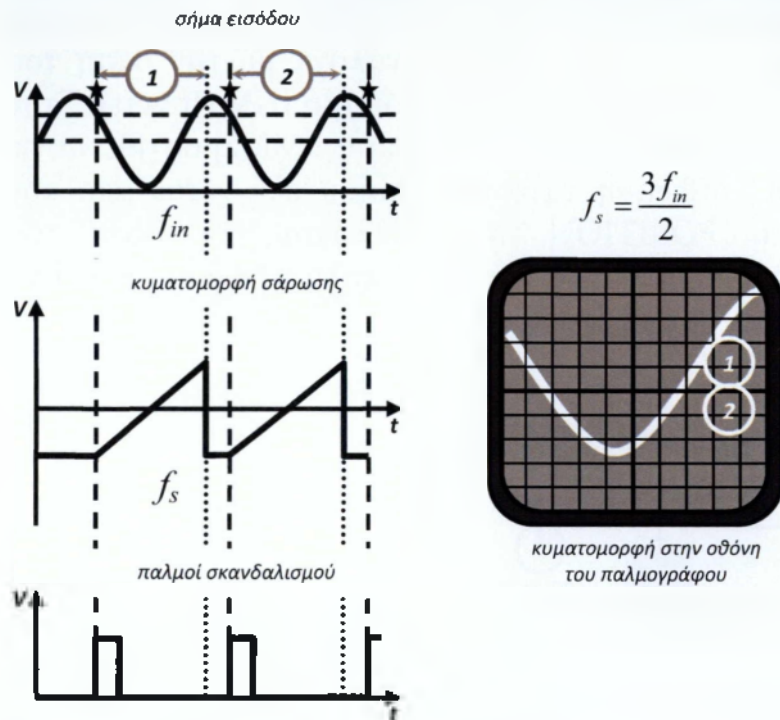
Εικόνα 18: Ασταθής απεικόνιση κυματομορφής στον παλμογράφο

Από την Εικόνα 17 παρατηρούμε ότι αν η συχνότητα σάρωσης είναι ίση με το ήμισυ της συχνότητας του σήματος εισόδου, τότε στην οθόνη του παλμογράφου απεικονίζονται δύο περίοδοι του σήματος, από την επαλληλία των διαδοχικών ζευγών περιόδων που σαρώνονται κατά τη φάση αύξησης της τιμής της κυματομορφής σάρωσης.

Όταν, ωστόσο, η συχνότητα σάρωσης δεν είναι ακέραια υποδιαίρεση της συχνότητας εισόδου, τότε έχουμε την αστάθεια που απεικονίζεται στην Εικόνα 17. Αυτό συμβαίνει επειδή στις διαδοχικές περιόδους της κυματομορφής σάρωσης αντιστοιχεί διαφορετικό τμήμα του σήματος εισόδου που απεικονίζεται στην οθόνη του παλμογράφου (τα «1», «2» και «3» στο παράδειγμα της Εικόνας 17).



Για να έχουμε μια σταθερή εικόνα θα πρέπει ο πριονωτός παλμός σάρωσης να βρίσκεται σε φάση με το σήμα εισόδου. Αυτό εξασφαλίζεται με το κύκλωμα σκανδαλισμού (trigger), η λειτουργία του οποίου φαίνεται στην Εικόνα 18. Το κύκλωμα αυτό ανιχνεύει διαδοχικά συμφασικά σημεία του σήματος εισόδου (σημεία, δηλαδή, που έχουν την ίδια φάση – Μια οικογένεια τέτοιων διαδοχικών σημείων σημειώνονται με αστερίσκο στην Εικόνα 19).



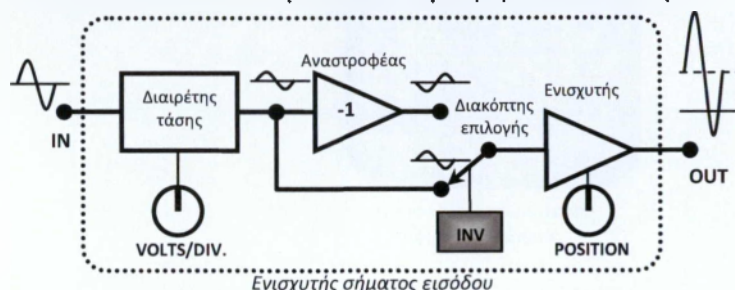
Εικόνα 19: Λειτουργία κυκλώματος σκανδαλισμού

Για καθένα από τα σημεία που προαναφέραμε παράγεται ένας παλμός σκανδαλισμού, ο οποίος πυροδοτεί την ενεργοποίηση της κυματομορφής σάρωσης. Μετά την πάροδο χρόνου ίσου με την περίοδο σάρωσης η γεννήτρια πριονωτής τάσης απενεργοποιείται, αναμένοντας τον επόμενο παλμό σκανδαλισμού, όπως φαίνεται στην Εικόνα 19. Με τον τρόπο αυτό σαρώνεται το ίδιο τμήμα της κυματομορφής εισόδου κάθε φορά, και αίρεται έτσι η αστάθεια στην οθόνη του παλμογράφου.

Το τμήμα του σήματος εισόδου που απεικονίζεται στον κατακόρυφο άξονα της οθόνης του παλμογράφου καθώς και η θέση του ως προς το μέσο του άξονα αυτού καθορίζονται από τον ενισχυτή του σήματος εισόδου. Η είσοδος αυτού του ενισχυτή μπορεί να συνδεθεί απευθείας στην είσοδο του καναλιού (DC mode), μέσω ενός πυκνωτή (AC mode) ή να γειωθεί στα 0V (GND), όπως φαίνεται στην Εικόνα 14. Η σύνδεση μέσω πυκνωτή καταργεί τη συνεχή συνιστώσα και επιτρέπει να εξετάσουμε με ακρίβεια την εναλλασσόμενη συνιστώσα του σήματος που εφαρμόζεται στο αντίστοιχο κανάλι εισόδου.

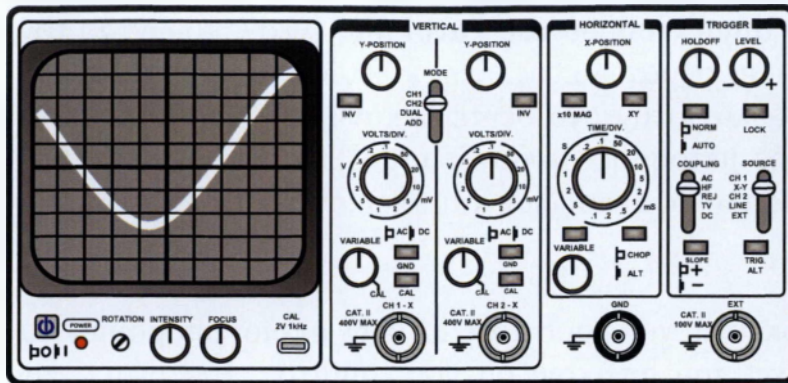
Στην περίπτωση αυτή ο πυκνωτής σε συνδυασμό με την εσωτερική αντίσταση του ενισχυτή (τυπική τιμή 1MΩ) σχηματίζουν ένα φίλτρο διέλευσης υψηλών συχνοτήτων (ή υψιπερατό, HPF- High Pass Filter).

Ένα απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων για τον ενισχυτή του σήματος εισόδου φαίνεται στην Εικόνα 20. Εισερχόμενο το σήμα στον ενισχυτή διέρχεται από διαιρέτη τάσης ο οποίος ελέγχεται από τον περιστροφικό επιλογέα VOLTS/DIV που βρίσκεται στην πρόσοψη του παλμογράφου και καθορίζει την αντιστοιχία μεταξύ της τάσης (σε Volts) και των κατακόρυφων υποδιαιρέσεων στην οθόνη του οργάνου. Στη συνέχεια το σήμα μπορεί να υποστεί ή όχι αναστροφή, ανάλογα με την θέση του διακόπτη επιλογής ο οποίος ελέγχεται από το πλήκτρο INV (Invert). Στον ενισχυτή της τελικής βαθμίδας το σήμα ενισχύεται, ενώ προστίθεται σε αυτό το επιθυμητό DC offset, η τιμή του οποίου ελέγχεται από τον περιστροφικό επιλογέα POSITION. Μεταβάλλοντας τη θέση του επιλογέα αυτού η κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου μπορεί να ολισθαίνει κατά την κατακόρυφη διεύθυνση.



Εικόνα 20: Διάγραμμα βαθμίδων ενισχυτή σήματος εισόδου

Οι περισσότεροι αναλογικοί παλμογράφοι διαθέτουν δύο κανάλια εισόδου, μπορούν δηλαδή να υποδεχθούν ταυτόχρονα δύο σήματα. Τα σήματα αυτά μπορούν να εμφανίζονται στην οθόνη είτε επιλέγοντας για απεικόνιση το ένα από τα δύο (CH1 ή CH2), είτε και τα δύο ταυτόχρονα (DUAL). Στην τελευταία περίπτωση, όταν ο παλμογράφος παράγει την κυματομορφή σκανδαλισμού με βάση το σήμα στο ένα από τα δύο κανάλια εισόδου, υπάρχει πιθανότητα η απεικόνιση του σήματος στο άλλο κανάλι να είναι ασταθής, για τους λόγους που ήδη εξηγήσαμε. Προκειμένου να υπάρχει ευσταθής απεικόνιση και των δύο καναλιών διατίθενται οι λειτουργίες ALT (Alternate) και CHOP. Με την πρώτη το σήμα σκανδαλισμού παράγεται εκ περιτροπής και από τα δύο σήματα, απεικονίζοντας στην οθόνη τα δύο σήματα κατ' εναλλαγή. Με τη δεύτερη, κάθε κυματομορφή κατατέμενεται σε μεγάλο αριθμό δειγμάτων τα οποία εμφανίζονται εναλλάξ (πολυπλέκονται) σε κάθε σάρωση.



Εικόνα 21: Πρόσωση τυπικού αναλογικού παλμογράφου δύο καναλιών

Στην Εικόνα 21 παρουσιάζεται η πρόσωση ενός τυπικού αναλογικού παλμογράφου με δύο κανάλια εισόδου (CH1 και CH2).

Τα διάφορα πλήκτρα, οι επιλογείς και οι υποδοχές σήματος οργανώνονται σε τρία βασικά τμήματα (ομάδες): VERTICAL, HORIZONTAL και TRIGGER. Τις κυριότερες λειτουργίες των τμημάτων αυτών θα εξετάσουμε στη συνέχεια:

## **VERTICAL**

Το τμήμα Vertical χωρίζεται σε δύο ομάδες όμοιων στοιχείων, μία για κάθε κανάλι εισόδου. Κάθε ομάδα ελέγχει τον ενισχυτή εισόδου του αντίστοιχου καναλιού. Το σήμα προσαρμόζεται στην είσοδο του ενισχυτή μέσω μιας υποδοχής (βύσματος) BNC (Bayonet Neill-Concelman).

Οι κύριες ρυθμίσεις – λειτουργίες είναι οι εξής:

**VOLTS/DIV** – Ρυθμίζει την αντιστοιχία τάσης ανά υποδιαίρεση, μεταβάλλοντας το κλάσμα διαίρεσης τάσης στον ενισχυτή εισόδου. Διατίθεται και μικρομετρική ρύθμιση που συνήθως βρίσκεται στο κέντρο του περιστροφικού επιλογέα της ευαισθησίας. Στην περίπτωση που ο μικρομετρικός ροοστάτης δεν βρίσκεται στο τέρμα της ορθής φοράς υπάρχει μικρή διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τάση ανά υποδιαίρεση και σε αυτήν που δείχνει ο επιλογέας.

**INV** — Αναστρέφει το σήμα εισόδου του καναλιού, ενεργοποιώντας τον αναστροφέα που είναι ενσωματωμένος στα κυκλώματα του ενισχυτή εισόδου. Διατίθεται τουλάχιστον στο δεύτερο κανάλι. Χρησιμοποιείται για τη λήψη διαφορικής μέτρησης σε συνδυασμό με το πλήκτρο ADD (που αθροίζει τις τάσεις των δύο εισόδων και απεικονίζει το αποτέλεσμα στην οθόνη).

**Y-POSITION** — Πρόκειται για ροοστάτη με τον οποίο μπορούμε να αλλάξουμε το DC offset του απεικονιζόμενου σήματος. Επιτρέπει την παρατήρηση λεπτομερειών της κυματομορφής εισόδου, ελαχιστοποιώντας το σφάλμα ανάγνωσης. Ακόμη, μπορούμε με τη βοήθειά του να τοποθετήσουμε την κυματομορφή στο επιθυμητό σημείο προκειμένου να λάβουμε ειδικές μετρήσεις (ποσοστών ή σχετικών αποκλίσεων μεταξύ των καναλιών).

**AC/DC** — Επιτρέπει την κατάργηση ή μη της DC συνιστώσας του σήματος εισόδου, όπως ήδη εξηγήσαμε.

**GND (ή GD)** — Παρακάμπτει το σήμα στην είσοδο του καναλιού γειώνοντας την είσοδο του ενισχυτή σήματος. Χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της στάθμης αναφοράς (0V) στην οθόνη του οργάνου.

**MODE** — Πρόκειται για επιλογικό διακόπτη με δυνατές επιλογές τις CH1, CH2, DUAL και ADD. Με τις δύο πρώτες απεικονίζεται στην οθόνη το κανάλι που επιλέγεται. Με την επιλογή DUAL εμφανίζονται ταυτόχρονα και τα δύο σήματα εισόδου. Με την επιλογή ADD απεικονίζεται το αποτέλεσμα της άθροισης των δύο σημάτων εισόδου (CH1 + CH2).

## ***HORIZONTAL***

Το τμήμα Horizontal ελέγχει τα κυκλώματα σάρωσης χρόνου του παλμογράφου, με κυριότερο τον καθορισμό την περιόδου της πριονωτής τάσης σάρωσης.

Οι κύριες ρυθμίσεις – λειτουργίες είναι οι εξής:

**TIME/DIV** — Ρυθμίζει την αντιστοιχία χρόνου ανά υποδιαίρεση στην οθόνη, μεταβάλλοντας την περίοδο της κυματομορφής σάρωσης. Διατίθεται και μικρομετρική ρύθμιση που συνήθως βρίσκεται στο κέντρο του περιστροφικού επιλογέα της ευαισθησίας. Στην περίπτωση που ο μικρομετρικός ροοστάτης δεν βρίσκεται στο τέρμα της ορθής φοράς υπάρχει μικρή διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή ανά υποδιαίρεση και σε αυτήν που δείχνει ο επιλογέας.

**X-POSITION** — Πρόκειται για ροοστάτη με τον οποίο μπορούμε να ολισθήσουμε στο χρόνο την πριονωτή κυματομορφή σάρωσης. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να απεικονίζουμε διαφορετικό τμήμα (ως προς τον χρόνο) του σήματος εισόδου κάθε φορά. Επιτρέπει την παρατήρηση λεπτομερειών της κυματομορφής εισόδου, ελαχιστοποιώντας το σφάλμα ανάγνωσης.

**CHOP/ALT** — Σε συνδυασμό με τη λειτουργία DUAL επιλέγει μεταξύ CHOP και ALT, σύμφωνα με αυτά που εξηγήσαμε πιο πάνω.

**x10 MAG** — Χρησιμοποιείται στην περίπτωση που επιθυμούμε να παρατηρήσουμε μια κυματομορφή στη λεπτομέρειά της. Με ενεργοποιημένη την επιλογή αυτή ο παλμογράφος μεγεθύνει το σήμα 10 φορές στον χρόνο και εμφανίζει στην οθόνη το ένα δέκατο της αντίστοιχης κυματομορφής.

**XY** — Αφαιρεί από το πριονωτό σήμα σάρωσης τον έλεγχο των πλακιδίων-*X* και τον παραχωρεί στην έξοδο του ενισχυτή σήματος του δεύτερου καναλιού. Με τον τρόπο αυτό η απόκλιση της δέσμης κατά τον οριζόντιο άξονα αντιστοιχεί στη μεταβολή του σήματος στο δεύτερο κανάλι. Η κατακόρυφη απόκλιση εξακολουθεί να ελέγχεται από το σήμα στο πρώτο κανάλι. Η κυματομορφή που εμφανίζεται στην οθόνη του παλμογράφου αντιστοιχεί στην παράσταση της σχέσης  $V_{CHI}=f(V_{CH2})$ . Η λειτουργία XY είναι εξαιρετικά χρήσιμη για μετρήσεις συχνότητας με πολύ μεγάλη ακρίβεια, για την παραγωγή διαγραμμάτων φάσης, κ.λπ.

## **TRIGGER**

Το τμήμα Trigger ελέγχει τα κυκλώματα σκανδαλισμού του παλμογράφου, με κυριότερο την παραγωγή των παλμών σκανδαλισμού.

Οι κύριες ρυθμίσεις – λειτουργίες είναι οι εξής:

**NORM/AUTO** — Καθορίζει τον τύπο σκανδαλισμού (τυπικό ή αυτόματο, αντίστοιχα).

**LEVEL** — Καθορίζει τη στάθμη των συμφασικών σημείων σκανδαλισμού. Εάν η στάθμη αυτή είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη τάση του σήματος εισόδου από το οποίο παράγεται η κυματομορφή σκανδαλισμού, τότε θα έχουμε αστάθεια στην απεικόνιση της αντίστοιχης κυματομορφής.

**SOURCE** — Επιλέγει το σήμα από το οποίο προκύπτει η κυματομορφή σκανδαλισμού. (Παρέχεται και η δυνατότητα χρήσης εξωτερικού (τρίτου) σήματος το οποίο συνδέεται στην υποδοχή EXT [external].)

**SLOPE** — Επιλέγει την κλίση (θετική ή αρνητική) στα σημεία σκανδαλισμού, μιας και σε κάθε τιμή στάθμης που ορίζεται με τη ρύθμιση LEVEL αντιστοιχούν δύο οικογένειες συμφασικών σημείων· μία στην οποία αντιστοιχεί θετική και μία στην οποία αντιστοιχεί αρνητική κλίση.

**COUPLING** — Επιλέγει τον τύπο του σήματος με βάση το οποίο παράγονται οι παλμοί σκανδαλισμού.

Εκτός των ρυθμίσεων που αναφέρονται στα τμήματα Vertical, Horizontal και Trigger υπάρχουν και οι ακόλουθες χρήσιμες ρυθμίσεις:

**ROTATION** — Εξασφαλίζει οριζόντια γραμμή σάρωσης όταν το κανάλι εισόδου είναι γειωμένο. Η γραμμή αυτή μπορεί αποκλίσει από την οριζόντια θέση λόγω της διαφοροποίησης του μαγνητικού πεδίου της γης κατά τόπους.

**INTENSITY** — Καθορίζει την ένταση (πάχος) του ίχνους στην οθόνη.

**FOCUS** — Καθορίζει την εστίαση της ηλεκτρονικής δέσμης. Αξιόπιστες μετρήσεις επιβάλλουν την καλύτερη δυνατή εστίαση.

**CAL** — Αποτελεί σύντμηση της λέξης Calibration (βαθμονόμηση). Πριν από κάθε χρήση του παλμογράφου είναι καλό να ελέγχουμε την κατάστασή του μετρώντας το σήμα βαθμονόμησης που ο ίδιος ο παλμογράφος μας παρέχει (βλπ. έξοδο “CAL 2V 1kHz” στην Εικόνα 33). Το σήμα αυτό είναι ένας τετραγωνικός παλμός γνωστού πλάτους και συχνότητας που μας επιτρέπει να επιβεβαιώσουμε ότι ο παλμογράφος έχει τις ρυθμίσεις που αναμένουμε.



Εικόνα 22: Τυπικός σηματολήπτης (probe) παλμογράφου

Τα σήματα προς απεικόνιση εισέρχονται στον παλμογράφο μέσω ενός ειδικού καλωδίου που ονομάζεται σηματολήπτης (probe) . Ένας τυπικός σηματολήπτης φαίνεται στην Εικόνα 22. Το καλώδιο αυτό λειτουργεί σαν γραμμή μεταφοράς και περιέχει κύκλωμα προσαρμογής προς την αντίσταση εισόδου του παλμογράφου. Η επιλογή του επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του παλμογράφου κοντά στη μέγιστη συχνότητά του. Συνήθως το καλώδιο αυτό συνοδεύεται και από ένα κύκλωμα υποβιβασμού τάσης προκειμένου να δώσει στον παλμογράφο τη δυνατότητα να μετρήσει υψηλότερες τάσεις. Ο υποβιβασμός του καλωδίου αναγράφεται σε κάποιο από τα άκρα του. Οι συχνότερα χρησιμοποιούμενοι σηματολήπτες είναι αυτοί με υποβιβασμό 1:1, 1:2, 1:10 ή 1:100. Σε πολύ χαμηλές συχνότητες (π.χ. ακουστικές συχνότητες) μπορεί χωρίς πρόβλημα να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε θωρακισμένο καλώδιο σαν σηματολήπτης 1:1. Για σήματα με υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται σηματολήπτες οπτικών ινών.

Ολοκληρώνοντας την παρουσίαση του αναλογικού παλμογράφου θα αναφέρουμε μερικές ενδιαφέρουσες παρατηρήσεις.

Η ικανότητα του παλμογράφου να απεικονίζει σήματα πολύ υψηλών συχνοτήτων περιορίζεται από την υψηλότερη συχνότητα αποκοπής των ενισχυτή εισόδου σήματος και την απόδοση της φωτεινότητας του καθοδικού σωλήνα σε μεγάλες ταχύτητες κίνησης της ηλεκτρονικής δέσμης. Στη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του παλμογράφου, μια ημιτονοειδής κυματομορφή εμφανίζεται με πλάτος κατά 3dB μικρότερο του αναμενόμενου. Για να διατηρήσουμε την εικόνα των απεικονιζόμενων κυματομορφών θα πρέπει αυτές να έχουν βασική συχνότητα αρκετά μικρότερη της μέγιστης συχνότητας του παλμογράφου.

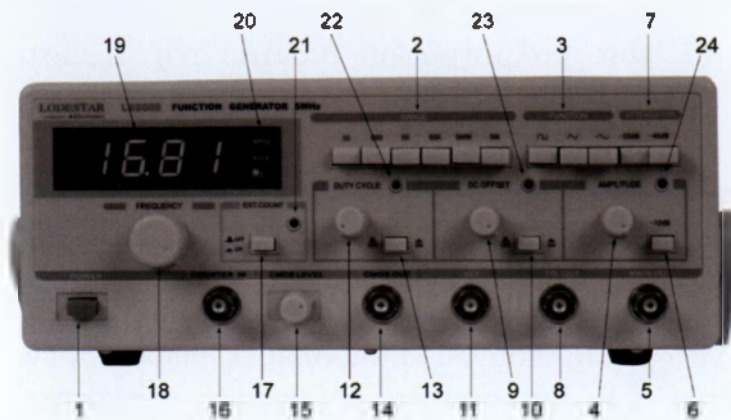
Στα βασικά χαρακτηριστικά ενός παλμογράφου εντάσσονται η μέγιστη συχνότητα και το μέγιστο πλάτος του σήματος εισόδου.

## 2. 6 Περιγραφές εργαστηριακών οργάνων

### Γεννήτρια συναρτήσεων LS300{2/5}

Πρόκειται για γεννήτρια συναρτήσεων χαμηλών συχνοτήτων (έως 2MHz το μοντέλο LS3002 και έως 5MHz το μοντέλο LS3005). Οι βασικές της λειτουργίες συνοψίζονται στην ακόλουθη εικόνα.

Εικόνα 23: Γεννήτρια συναρτήσεων LS300{2/5}



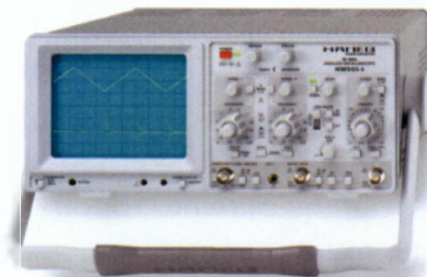
1. Διακόπτης ON/OFF
2. Κουμπιά επιλογής περιοχής συχνοτήτων
3. Κουμπιά επιλογής μορφής σήματος εξόδου
4. Ροοστάτης για τη ρύθμιση του πλάτους του σήματος εξόδου
5. Ακροδέκτης σήματος εξόδου
6. Κουμπί υποβιβασμού του σήματος κατά 10 dB
7. Κουμπιά υποβιβασμού της στάθμης του σήματος εξόδου
8. Έξοδος σήματος TTL. (Ανεξάρτητο των λοιπών ρυθμίσεων εξαρτώμενο μόνο από τη συχνότητα)
9. Ρύθμιση DC Offset του σήματος
10. Κουμπί εισαγωγής DC Offset στο σήμα
11. Voltage Controlled Frequency. Υποδοχή εξωτερικού σήματος ελέγχου της συχνότητας της γεννήτριας
12. Ροοστάτης ρύθμισης του Duty Cycle τετραγωνικών παλμών
13. Κουμπί ενεργοποίησης της ρύθμισης του duty cycle τετραγωνικών παλμών
14. Έξοδος σήματος CMOS
15. Ροοστάτης ρύθμισης του πλάτους του σήματος CMOS



- 16.Εξωτερική είσοδος στον μετρητή του οργάνου
- 17.Κουμπί ενεργοποίησης εξωτερικού ελέγχου του μετρητή. (Η συχνότητα εξόδου θα καθορίζεται από το σήμα στην είσοδο 16)
- 18.Ροοστάτης ρύθμισης συχνότητας
- 19.Οθόνη απεικόνισης συχνότητας
- 20.Λυχνία ένδειξης περιοχής συχνότητας
- 21.Λυχνία ένδειξης εξωτερικού ελέγχου μετρητή
- 22.Λυχνία ένδειξης ελέγχου duty cycle
- 23.Λυχνία ένδειξης εισαγωγής DC Offset
- 24.Λυχνία ένδειξης υποβιβασμού του σήματος

### **Παλμογράφος HM303-6**

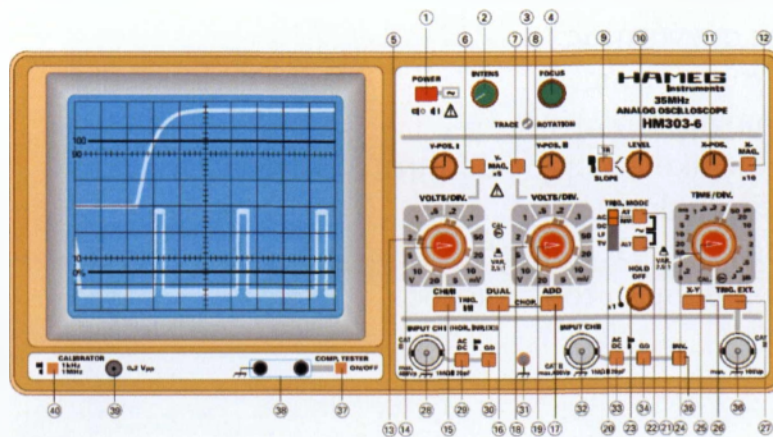
Εικόνα 24: Παλμογράφος HM303-6



Πρόκειται για αναλογικό παλμογράφο δύο καναλιών με μέγιστη συχνότητα σήματος προς παρατήρηση ίση με 35MHz και με δυνατότητες που υπερκαλύπτουν τις ανάγκες των ασκήσεων ενός εισαγωγικού εργαστηρίου αναλογικών ηλεκτρονικών.

Περιγραφή των στοιχείων της πρόσθιας όψης του συνοψίζεται στο διάγραμμα που ακολουθεί:

Εικόνα 25: Απεικόνιση παλμογράφου HM303-6 με αρίθμηση των σημείων του για επεξήγηση του κάθε σημείου



1. Διακόπτης ON/OFF
2. Ροοστάτης ρύθμισης της έντασης της φωτεινής δέσμης
3. Κοχλίας οριζοντίωσης της δέσμης. Εξουδετερώνει αποκλίσεις λόγω του μαγνητικού πεδίου της Γης.
4. Ροοστάτης ρύθμισης της εστίασης της φωτεινής δέσμης
5. Ροοστάτης ελέγχου της κατακόρυφης θέσης του σήματος στο κανάλι I. Ανενεργό σε λειτουργία X-Y
6. Κουμπί 5-πλασιασμού της κατακόρυφης ευαισθησίας για το κανάλι I
7. Κουμπί 5-πλασιασμού της κατακόρυφης ευαισθησίας για το κανάλι II
8. Ροοστάτης ελέγχου της κατακόρυφης θέσης του σήματος στο κανάλι II
9. Επιλογέας της κλίσης του σήματος σκανδαλισμού
10. Περιστροφικός διακόπτης καθορισμού της στάθμης σκανδαλισμού
11. Ροοστάτης καθορισμού της οριζόντιας θέσης του σήματος
12. Κουμπί 10-πλασιασμού της οριζόντιας ευαισθησίας
13. Επιλογικός διακόπτης που καθορίζει την κατακόρυφη ευαισθησία για το κανάλι I
14. Άντγα μικρομετρικής ρύθμισης του πλάτους του σήματος στο κανάλι I
15. Κουμπί επιλογής του καναλιού που απεικονίζεται στην οθόνη
16. Κουμπί για την απεικόνιση και των δύο καναλιών
17. Κουμπί απεικόνισης του αθροίσματος των σημάτων των δύο καναλιών
18. Επιλογικός διακόπτης που καθορίζει την κατακόρυφη ευαισθησία για το κανάλι II

19. Άντυγα μικρομετρικής ρύθμισης του πλάτους του σήματος στο κανάλι II
20. Διακόπτης καθορισμού του τρόπου σκανδαλισμού
21. Κουμπί επιλογής αυτόματου ή κανονικού σκανδαλισμού
22. Κουμπί επιλογής σκανδαλισμού εναλλασσόμενου μεταξύ των καναλιών
23. Άντυγα καθορισμού του χρόνου κατακράτησης μεταξύ των σαρώσεων
24. Επιλογικός διακόπτης καθορισμού του απεικονιζόμενου χρόνου ανά υποδιαίρεση στον οριζόντιο άξονα
25. Άντυγα μικρομετρικής ρύθμισης του άξονα των χρόνων
26. Κουμπί επιλογής της λειτουργίας X-Y
27. Κουμπί επιλογής εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού
28. Ακροδέκτης εισόδου για το κανάλι I (X)
29. Επιλογέας σύζευξης για το κανάλι I
30. Κουμπί απομόνωσης (γείωσης) του σήματος εισόδου
31. Ακροδέκτης σήματος αναφοράς (γαλβανικά γειωμένος)
32. Ακροδέκτης εισόδου για το κανάλι II (Y)
33. Επιλογέας σύζευξης για το κανάλι II
34. Κουμπί απομόνωσης (γείωσης) του σήματος εισόδου
35. Κουμπί αναστροφής του σήματος στο κανάλι II
36. Ακροδέκτης εισόδου εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού
37. Κουμπί που ενεργοποιεί τη λειτουργία ελέγχου εξαρτημάτων
38. Ακροδέκτης σύνδεσης του ελεγκτή εξαρτημάτων
39. Έξοδος σήματος βαθμονόμησης
40. Κουμπί επιλογής της συχνότητας του σήματος βαθμονόμησης



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Arduino Duemilanove

#### 3.1 Χρήσεις της πλακέτας ανάπτυξης πρωτοτύπων Arduino Duemilanove

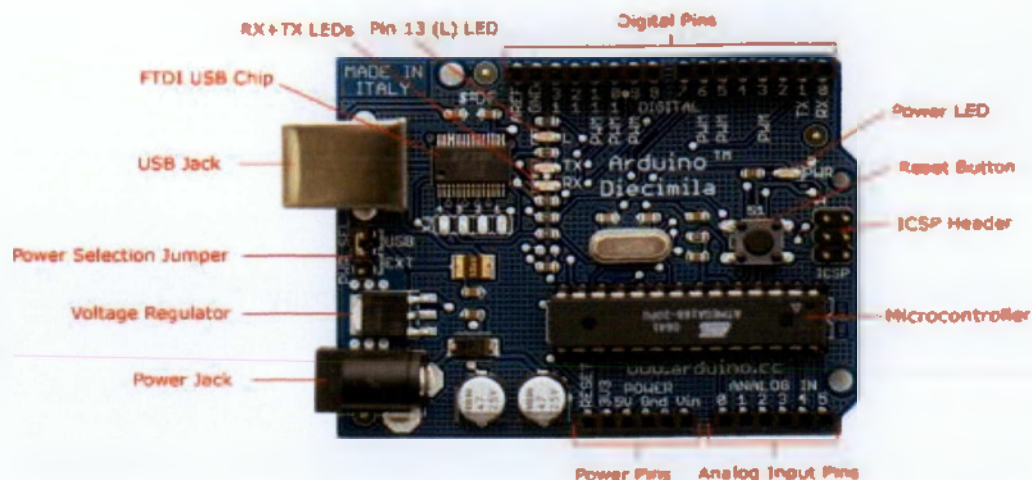
Το Arduino Duemilanove είναι μια πλακέτα ανάπτυξης πρωτοτύπων ανοιχτού υλικού και λογισμικού. Ενσωματώνει έναν μικροελεγκτή και συνδέεται με τον Η/Υ ώστε να προγραμματίζεται μέσα από ένα απλό περιβάλλον ανάπτυξης. Ένα Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτύξουμε εφαρμογές ελέγχου (control) όπως να ελέγχουμε διάφορα φώτα, κινητήρες και άλλες συσκευές εξόδου του φυσικού κόσμου.

Τα Projects στον εν λόγω Μικροελεγκτή μπορούν να είναι αυτόνομα (σε επίπεδο hardware) ή να επικοινωνούν με κάποιο software στον Η/Υ του προγραμματιστή (προγράμματα όπως τα Flash, Processing, MaxMSP).

Οι πλακέτες μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν ακόμη και από έναν αρχάριο ή να αγοραστούν μονταρισμένες. Το περιβάλλον ανάπτυξης του λογισμικού βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Processing και την γλώσσα προγραμματισμού Wiring, οι οποίες είναι ανοιχτού κώδικα (open source) και μπορεί κάποιος να τις "κατεβάσει" δωρεάν. Η Γλώσσα προγραμματισμού του Arduino εξομοιώνει απόλυτα το φυσικό περιβάλλον του μικροελεγκτή και είναι βασισμένη σε C/C++.

Στην αγορά διατίθενται πολλά μοντέλα της πλατφόρμας Arduino τα οποία είναι παλιότερα τεχνολογικά από το Arduino Duemilanove. Μερικά από αυτά τα μοντέλα είναι : το Arduino Diecimila, το Arduino NG Rev.C, το Arduino USB, το Arduino Extreme, το Arduino BT, το Arduino Lily Pad, το Arduino Mini, Arduino Nano.

## Το Arduino Diecimila:



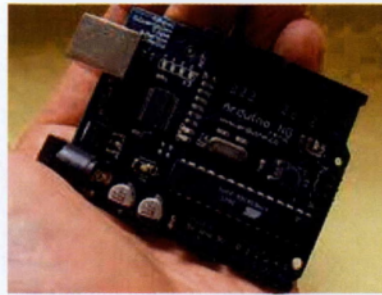
*Photograph by SparkFun Electronics. Used under the Creative Commons Attribution Share-Alike 3.0 license*

Εικόνα 26 : Απεικόνιση ηλεκτρονικών μερών της πλακέτας

Η πλατφόρμα Arduino Diecimila αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega168 ο οποίος κάνει όλες τις υπολογιστικές λειτουργίες. Διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους-εξόδους (εκ των οποίων 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοδοί PWM), 6 αναλογικές εισόδους, έναν ταλαντωτή κρυστάλλου 16 MHz, μια σύνδεση USB, μια κεφαλίδα ICSP και ένα κουμπί επαναφοράς.

Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι ότι μπορεί να επαναρυθμιστεί από τον υπολογιστή χωρίς να πιεστεί το κουμπί reset που βρίσκετε στην πλατφόρμα. Το συγκεκριμένο μοντέλο έχει ένα ρυθμιστή τάσης χαμηλής ισχύος, ο οποίος μειώνει την κατανάλωση ενέργειας της πλατφόρμας όταν αυτή τροφοδοτείται από ηλεκτρονικό υπολογιστή ή μπαταρία. Οι θύρες USB του ηλεκτρονικού υπολογιστή προστατεύονται από τα κύματα με τη χρήση ενός polyfuse. Στην ψηφιακή είσοδο 13 βρίσκεται ενσωματωμένο LED.

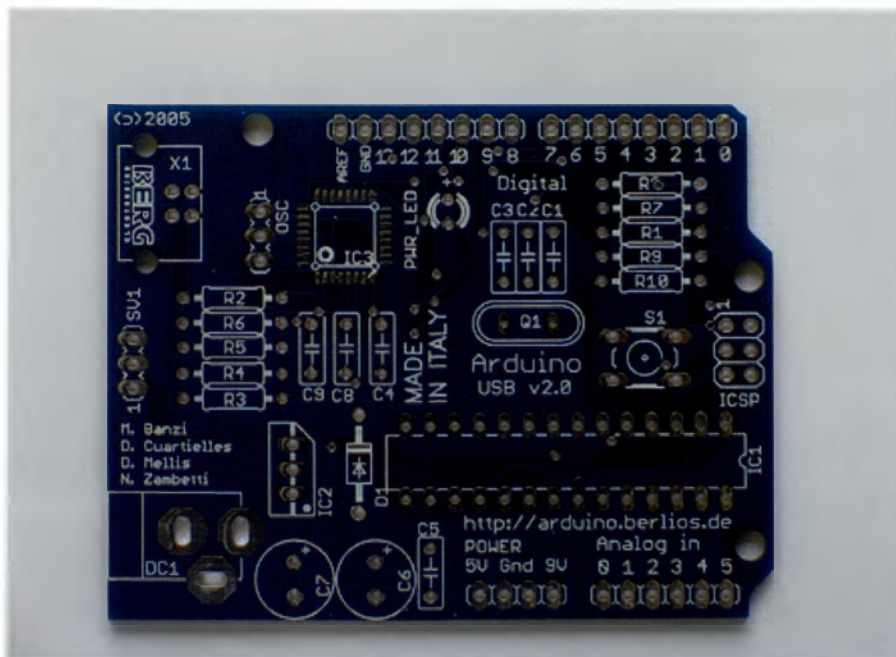
## To Arduino NG Rev.C :



Εικόνα 27 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino NG Rev.C

Η πλατφόρμα Arduino NG Rev.C δεν διαθέτει ενσωματωμένο LED στην ψηφιακή είσοδο 13. Εντούτοις διαθέτει περίπου  $1000\Omega$  αντίστασης στην είσοδο 13 και μπορεί να γίνει σύνδεση με LED χωρίς εξωτερική αντίσταση.

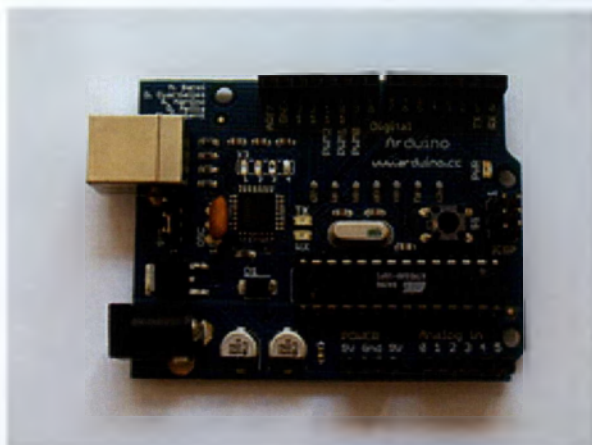
## To Arduino USB:



Εικόνα 28 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino USB

Η πλατφόρμα Arduino USB ήταν η πρώτη πλατφόρμα που ονομάστηκε Arduino. Αρχικά, πούληθηκαν σαν ανεξάρτητα κομμάτια τα οποία απαιτούσαν συναρμολόγηση. Η πρώτη έκδοση παρουσίαζε σφάλμα κατά την σύνδεση USB.

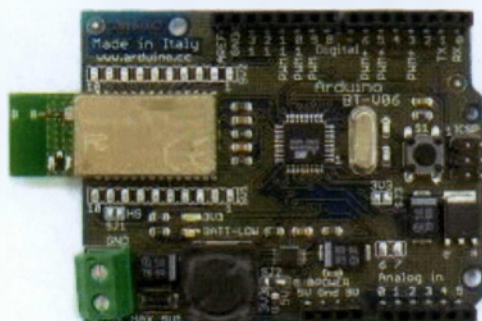
## **To Arduino Extreme:**



Εικόνα 29 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino Extreme

Η πλατφόρμα Arduino Extreme χρησιμοποιεί περισσότερα συστατικά στην επιφάνεια σε σχέση με το Arduino USB και έχει θηλυκούς αποδέκτες στις εισόδους. Επίσης, διαθέτει RX και TX LEDs, τα οποία υποδεικνύουν πότε στέλνονται τα δεδομένα στην πλατφόρμα Η από την πλατφόρμα αντίστοιχα.

## **To Arduino BT:**



Εικόνα 30 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino BT

Η πλατφόρμα Arduino BT αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega168 ο οποίος κάνει όλες τις υπολογιστικές λειτουργίες. Διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους-εξόδους (εκ των οποίων 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξόδοι PWM), υποστηρίζει ασύρματη σειριακή επικοινωνία μέσω Bluetooth, αλλά δεν είναι συμβατό με Bluetooth ακουστικά ή άλλες συσκευές ήχου. Μπορεί να προγραμματιστεί ασύρματα μέσω της σύνδεσης Bluetooth αλλά το Bluetooth εκτελείται μία φορά σε κάθε Arduino BT. Το όνομά του έχει οριστεί σε Arduino BT και ο κωδικός για να μπούμε στο πρόγραμμα είναι 12345.



## **To Arduino Lily Pad:**

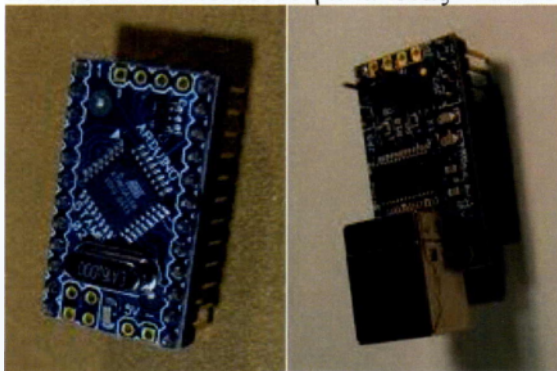


Εικόνα 31 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino Lily Pad

Η πλατφόρμα Arduino Lily Pad αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega168V ο οποίος κάνει όλες τις υπολογιστικές λειτουργίες. Έχει 10 εισόδους ICSP. Η Arduino Lily Pad είναι ένας μικροελεγκτής σχεδιασμένος για wearable's και κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα. Είναι ραμμένη στο ύφασμα αλλά τα τροφοδοτικά, οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές είναι με αγώγιμο νήμα.

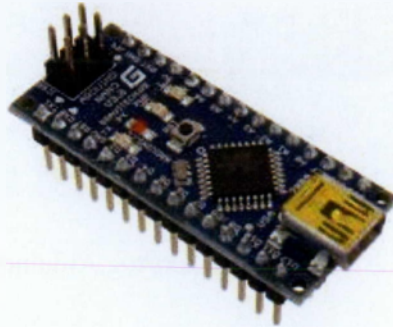
## **To Arduino Mini:**

Εικόνα 32 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino Mini



Η πλακέτα Arduino Mini Pad αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega168, ο οποίος κάνει όλες τις υπολογιστικές λειτουργίες, και προορίζεται για την χρήση με breadboards. Διαθέτει 14 ψηφιακές εισόδους-εξόδους (εκ των οποίων 6 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM), 8 αναλογικές εισόδους και ένα ταλαντωτή κρυστάλλου 16MHz. Υπάρχει η δυνατότητα προγραμματισμού είτε με το Mini Usb με την χρήση αντάπτορα, είτε με άλλους τρόπους.

## **To Arduino Nano:**



Εικόνα 33 : Απεικόνιση πλακέτας Arduino Nano

Η πλατφόρμα Arduino Nano χαρακτηρίζεται από το μικρό της μέγεθος. Χρησιμοποιείτε ως σχέδιο για την χρήση breadboard. Αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega168 και FTDI USB. Έχει σχεδόν την ίδια λειτουργία με το Arduino Duemilanove αλλά σε διαφορετική πλακέτα. Λείπουν μόνο μια υποδοχή ρεύματος DC και έχει mini-B καλώδιο USB αντί για το συνηθισμένο. Το Nano σχεδιάστηκε και παράγεται από την GRAVITECH.

### 3.2 Γενικές πληροφορίες

Το **Arduino Duemilanove** είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Περιέχει όλα αυτά που απαιτούνται για να υποστηρίξουν τον μικροελεγκτή. Συνδέεται απλά με έναν υπολογιστή με ένα καλώδιο USB και τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα ή με μπαταρία.



Εικόνα 34 : Arduino Duemilanove

Οι υπολογιστικές λειτουργίες εκτελούνται στον μικροελεγκτή ATmega328 που διαθέτει 16KB μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα. Έχει επίσης 1 KB SRAM και 512 bytes μνήμης EEPROM (τα οποία μπορούν να διαβαστούν και να γραφτούν με την βιβλιοθήκη EEPROM).



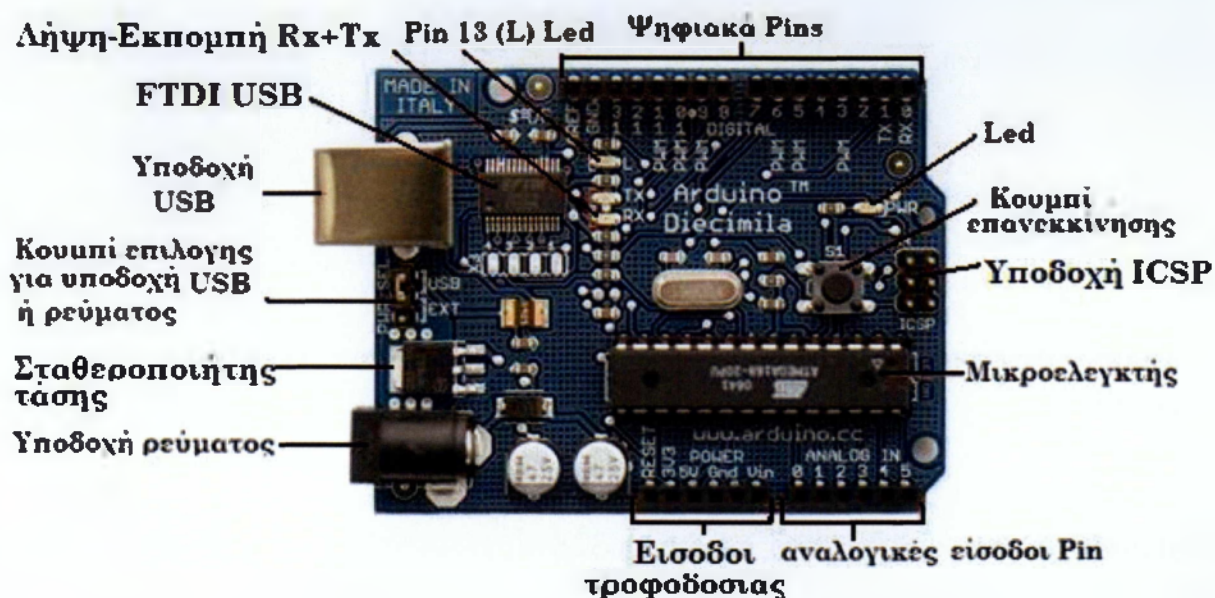
Εικόνα 35 : Ο μικροελεγκτής ATmega328

Το Arduino Duemilanove τροφοδοτείται είτε από εξωτερική τροφοδοσία είτε απευθείας από την θύρα USB. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα. Ως εξωτερική τροφοδοσία ορίζεται είτε μια μπαταρία, είτε μετασχηματιστής των 9Volt από 220V. Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στις υποδοχές του Arduino Vin και GND όπου τοποθετούνται ο θετικός πόλος και ο αρνητικός αντίστοιχα. Από την άλλη αν τροφοδοτήσουμε με μετασχηματιστή απλά τοποθετούμε το βύσμα στην υποδοχή που υπάρχει με τον θετικό πόλο στο κέντρο.

Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή από 6 έως 20 Volts. Αν ωστόσο τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7 Volt τα pin εξόδου 5Volt δεν θα καταφέρουν να εξάγουν τάση 5 Volts. Αν από την άλλη δώσουμε πάνω από 12 Volts θα υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί. Συνεπώς μια ιδανική τάση είναι τα 9 Volts.

Το Arduino Duemilanove έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, με ένα άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ολοκληρωμένο ATmega 328 παρέχει σειριακή επικοινωνία TTL 5Volt UART, η οποία είναι διαθέσιμη από τους ακροδέκτες (λήψη RX) 0 και (εκπομπή TX) 1 του ολοκληρωμένου. Επιπλέον, στην πλακέτα του Arduino είναι ενσωματωμένο ένα ολοκληρωμένο FTDI FT232RL το οποίο παρέχει σειριακή επικοινωνία με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για προγραμματισμό, πάνω από την θύρα USB με την βοήθεια των ανάλογων FTDI drivers. Οι drivers αυτοί περιλαμβάνονται στο software για το Arduino και παρέχουν μια ιδεατή θύρα επικοινωνίας στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για τους σκοπούς της επικοινωνίας.

### 3.3 Τα τεχνικά μέρη της πλατφόρμας ανοικτού λογισμικού Arduino Duemilanove



Εικόνα 36 : Απεικόνιση ηλεκτρονικών μερών της πλακέτας

#### Λειτουργίες Ακροδεκτών:

**Σειριακή Λειτουργία:** 0 (RX) and 1 (TX). Χρησιμοποιούνται για λήψη (RX) και εκπομπή (TX) TTL σειριακών δεδομένων. Αυτοί οι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους του ολοκληρωμένου FTDI USB-to-TTL Serial.

**PWM:** 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM με την συνάρτηση `analogWrite()`.

**SPI:** 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI, η οποία αν και παρέχεται από το hardware δεν είναι ακόμα διαθέσιμη στην γλώσσα προγραμματισμού του Arduino.

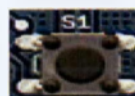
**LED:** 13. Στον ακροδέκτη 13 υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED. Όταν ο ακροδέκτης έχει τιμή HIGH, το LED φωτοβολεί.

**I2C:** 4 (SDA) and 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις Γλώσσας προγραμματισμού Wiring.

AREF.είναι ένα αναλογικό pin που χρησιμοποιείτε για μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό. Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση analogReference().

Reset. Αν τεθεί σε κατάσταση LOW (χαμηλή) τότε μπορούμε να κάνουμε επανεκκίνηση τον Μικροελεγκτή, χρησιμοποιώντας το κουμπί επανεκκίνησης όπως φαίνεται παρακάτω.

Εικόνα 37 : Διακόπτης επανεκκίνησης



## Χαρακτηριστικά της πλατφόρμας ανοικτού λογισμικού Arduino Duemilanove

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου	7-12V
Όρια Τάσης	6-20V
Ψηφιακοί Ακροδέκτες I/O	14
Ψηφιακοί Ακροδέκτες Εισόδου	6
DC ρεύμα ανά I/O Ακροδέκτη	40 mA
DC ρεύμα για 3.3V Ακροδέκτη	50 mA
Μνήμη Flash	16 KB
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Ταχύτητα Ρολογιού	16 MHz

### Μνήμη

Το ολοκληρωμένο ATmega168 έχει 16KB μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα (2 KB εκ των οποίων χρησιμοποιούνται από τον bootloader). Έχει επίσης 1 KB SRAM και 512 bytes μνήμης EEPROM (τα οποία μπορούν να διαβαστούν και να γραφτούν με την βιβλιοθήκη EEPROM).

## Τροφοδοσία

Το αναπτυξιακό Arduino Duemilanove τροφοδοτείται είτε από εξωτερική τροφοδοσία είτε απευθείας από την θύρα USB. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα από το αναπτυξιακό. Ως εξωτερική τροφοδοσία ορίζεται είτε μια μπαταρία, είτε μετασχηματιστής των 9Volt από 220V. Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στις υποδοχές του Arduino Vin και GND όπου τοποθετούνται ο θετικός πόλος και ο αρνητικός αντίστοιχα. Από την άλλη αν τροφοδοτήσουμε με μετασχηματιστή απλά τοποθετούμε το βύσμα στην υποδοχή που υπάρχει με τον θετικό πόλο στο κέντρο. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή από 6 έως 20 Volts. Αν ωστόσο τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7 Volt τα pin εξόδου 5Volt δεν θα καταφέρουν να εξάγουν τάση 5 Volts. Αν από την άλλη δώσουμε πάνω από 12 Volts θα υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα και ενδεχομένως να καταστραφεί. Συνεπώς μια ιδανική τάση είναι τα 9 Volts.

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

**VIN.** Ακροδέκτης για μη σταθεροποιημένη τάση. Συνήθως εδώ συνδέεται μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.

**5V.** Ακροδέκτης σταθεροποιημένης τάσης 5Volt. Χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή ή άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων.

**3V3.** Το ολοκληρωμένο FTDI που βρίσκεται στην πλακέτα του Arduino παράγει τάση των 3.3V με μέγιστο ρεύμα 50mA.

**GND.** Ακροδέκτες Γείωσης

## Λειτουργία εντόλων

### AnalogWrite( )

Δίνει μια αναλογική τιμή (παλμός PWM) σε ένα Pin του Arduino. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ένταση φωτός ενός led ή να ρυθμίσει την ταχύτητα ανάλογα με το πόσο αργά η γρήγορα θέλουμε να δουλέψει . Μετά από μια κλήση στο *analogWrite( )*, το pin παράγει ένα σταθερό τετραγωνικό παλμό μέχρι την επόμενη κλήση στο *analogWrite( )*. Η συχνότητα του σήματος PWM είναι περίπου 490 Hz.

Στους περισσότερους πίνακες Arduino (εκείνοι με το ATmega168 ή το ATmega328), αυτή η λειτουργία δουλεύει στα pin 3, 5, 6, 9, 10, και 11.

Στο Arduino mega, δουλεύει στα pin 2 μέχρι 13. Τα πιο παλαιά κυκλώματα Arduino με μικροελεγκτή ATmega8 υποστηρίζουν μόνο *analogWrite()* στα Pin 9, 10, και 11.

Η συνάρτηση *analogWrite* δεν έχει να κάνει με τα αναλογικά pin ή τη λειτουργία *analogRead*.

### Σύνταξη

*analogWrite* (pin, value)

### Παράμετροι

Pin: ποιο pin του Arduino θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

Value: λειτουργεί μεταξύ 0 (always off) και 255 (always on).

Η συνάρτηση δεν επιστρέφει τίποτα.

Τα αποτελέσματα PWM που παράγονται στα pins 5 και 6 θα έχουν τους μεγαλύτερους από ότι θα περιμέναμε κύκλους. Αυτό είναι εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων με τις συναρτήσεις *millis()* και *delay()*, οι οποίες μοιράζονται το ίδιο εσωτερικό χρονόμετρο που χρησιμοποιείται για να παραγάγει τα αποτελέσματα PWM.

### *analogRead()*

Διαβάζει την αξία από το *analog pin*. Ο πίνακας Arduino περιλαμβάνει 6 κανάλια (8 κανάλια mini και nano, 16 στο mega), 10 bit αναλογικά στον ψηφιακό μετατροπέα. Αυτό σημαίνει ότι θα ενσωματώσει τις τάσεις μεταξύ 0 και 5 Volt στις τιμές ακέραιων αριθμών μεταξύ 0 και 1023. Αυτό παράγει ένα αποτέλεσμα μεταξύ των: 5 Volt/1024 μονάδες ή, .0049 βολτ (4.9 mV) ανά μονάδα. Τη σειρά και το αποτέλεσμα εισαγωγής μπορεί να αλλάξει χρησιμοποιώντας την συνάρτηση *analogReference()*. Διάρκει περίπου 100 microseconds (0.0001 s) για να διαβάσει μια αναλογική εισαγωγή, έτσι το μέγιστο ποσοστό που μπορεί να αναγνωρίσει (διαβάσει) είναι περίπου 10.000 φορές το δευτερόλεπτο.

### Σύνταξη

*analogRead*(pin)



## Παράμετροι

pin: ο αριθμός εισαγωγής (analog input pin) που διαβάζει απο (0 έως 5, απο 0 έως 7 σε Arduino Mini και Nano).

## Επιστρέφει

int (0 to 1023)

Εάν το αναλογικό Pin εισαγωγής δεν συνδέεται με τίποτα, η αξία που επιστρέφεται από το *analogRead* ( ) θα κυμανθεί βασισμένο σε διάφορους παράγοντες (π.χ. οι τιμές των άλλων αναλογικών εισαγωγών κ.λ.π.).

Για να προγραμματίσουμε το Arduino Duemilanove χρησιμοποιήσαμε αυτές τις δυο εντολές που αναφέρθηκαν πιο πριν. Αρχικά ξεκινήσαμε με την παραγωγή (random) τυχαίων αριθμών με αναλογική είσοδο *analogPin=3,analogPin2=10,analogPin1=5* που θα παράγει στην έξοδο τυχαίους αριθμούς.

Η συνάρτηση *pinMode(analogPin2, OUTPUT);* ρυθμίζει το καθορισμένο pin να συμπεριφέρεται ως έξοδος.

Όσον αφορά την συνάρτηση *Serial.begin(9600);* καθορίζει το ρυθμό δεδομένων σε bits ανά δευτερόλεπτο (baud) για τη σειριακή μετάδοση δεδομένων.

Για την επικοινωνία με τον υπολογιστή, συνήθως χρησιμοποιούμε μία από αυτές τις τιμές: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, ή 115200.

Μετά τη δημιουργία του *setup()*, η οποία προετοιμάζει και θέτει τις αρχικές τιμές, το void **loop()** κάνει αυτή την συνεχόμενη επανάληψη που θέλουμε για να πάρουμε τα αποτελέσματα μας.

Η συνάρτηση *delay (i);* : Καθυστερεί το πρόγραμμα για το χρονικό διάστημα (miliseconds) του διευκρινίζεται ως παράμετρος.

*void setup ();* : Η ρουτίνα *setup* τρέχει μόνο μια φορά στην αρχή του προγράμματος (όπως στον arduino). Στην ρουτίνα *draw* γράφουμε τον κύριο κώδικα. Η ρουτίνα αυτή τρέχει συνέχεια (σε loop), εκτός αν στην ρουτίνα *setup* γράψετε την εντολή *noLoop();*. Μόνο τότε η κύρια ρουτίνα θα εκτελεστεί μια φορά.

Φυσικά (όπως και στον arduino) μέσα στο sketch (ναι έτσι λέγονται τα προγράμματά σας) μπορούν να υπάρχουν και δικές σας ρουτίνες.

Ο τύπος δεδομένων float.Υπάρχουν σταθερές τύπου float και μεταβλητές τύπου float.Μία σταθερά τύπου float δεν είναι τίποτα άλλο από ένας δεκαδικός αριθμός.Για να θεωρηθεί τύπου float ένας αριθμός πρέπει απαραίτητα να έχει το χαρακτήρα της υποδιαστολής(.) π.χ.125.52

Υπάρχουν δύο τύποι μεταβλητών κινητής υποδιαστολής,ο τύπος float (4 bytes)και ο τύπος double(8 bytes).

### 3.4 Πλεονεκτήματα Arduino

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία μικροελεγκτών και αναπτυξιακών πλακετών στο εμπόριο. Ο Basic Stamp της Parallax, ο BX-24 της Netmedia, το Handyboard του MIT και πολλά άλλα όμοιας λειτουργικότητας. Όλα αυτά τα εργαλεία που προαναφέραμε είναι απλά και για τον αρχάριο χρήστη καθώς "κρύβουν" τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο "πακέτο" έτοιμο για χρήση. Ο Arduino διαφέρει από τους προηγούμενους μικροελεγκτές, γιατί είναι ακόμη πιο απλοποιημένη η διαδικασία του προγραμματισμού του συγκεκριμένου μικροελεγκτή. Πέρα από το ότι ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής είναι πιο εύκολος στον προγραμματισμό από τους υπόλοιπους μικροελεγκτές έχει και άλλα πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, άτομα που ασχολούνται με την επεξεργασία μικροελεγκτών όπως καθηγητές, μαθητές και ερευνητές αναφέρουν πως τα κύρια πλεονεκτήματα του Arduino είναι το ότι τρέχει σε αρκετά λειτουργικά συστήματα σε αντίθεση με άλλους μικροελεγκτές οι οποίοι περιορίζονται μόνο στα Windows. Για παράδειγμα οι μηχανικοί λογισμικού ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για Windows, και το Machinstoh OSX και για λειτουργικά συστήματα Linux. Μία ακόμη διαφορά είναι πως είναι εύκολο στη χρήση για κάποιον αρχάριο αλλά παράλληλα ευέλικτο και για προχωρημένους χρήστες. Έχει απλό, εύκολο προγραμματιστικό περιβάλλον. Το πλέον σημαντικό είναι πως ο μικροελεγκτής Arduino, είναι ανοικτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται και ανοικτού υλικού. Τι σημαίνει αυτό; Το software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοικτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές.

Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών την C++ και οι άνθρωποι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές μπορούν να μεταβούν από τον Arduino στην AVR C που είναι για προγραμματισμό των Atmel Μικροελεγκτών και η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί κάποιος να προσθέσει κώδικα της AVR-C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για τον Arduino του. Όσον αφορά το ανοικτού υλικού, ο μικροελεγκτής Arduino μπορεί να επεκταθεί. Ο Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA8 και ATMEGA168. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι κάτω από την άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας σε έμπειρους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα. Άκομη ένα σημαντικό πλεονέκτημα του Arduino σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές είναι πως είναι οικονομικός. Ειδικά δε μπορεί με τα σχηματικά που κυκλοφορούν στο Internet να κατασκευάσει κάποιος την φθηνότερη εκδοχή ενός Arduino. Ωστόσο ακόμα και αν προμηθευτεί την έτοιμη (μονταρισμένη πλακέτα) αυτή θα κοστίσει το μέγιστο 50 Euro.

Αυτοί είναι οι σημαντικότεροι λόγοι κατά τους οποίους ο Arduino είναι τόσο δημοφιλές και χρησιμοποιείται ευρέως.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ-ΓΛΩΣΣΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΥ ΠΛΑΚΕΤΑΣ ARDUINO

#### 4.1 Matlab

##### Λίγα λόγια για το Matlab

Το MATLAB είναι ένα λογισμικό πακέτο για υψηλής απόδοσης αριθμητικούς υπολογισμούς (numerical computations). Παρέχει στο χρήστη ένα διαδραστικό περιβάλλον με χιλιάδες ενσωματωμένες συναρτήσεις, κατάλληλες για την υλοποίηση απαιτητικών υπολογιστικών αναλύσεων, γραφημάτων καθώς επίσης και για την παραγωγή διαφόρων *animations*.

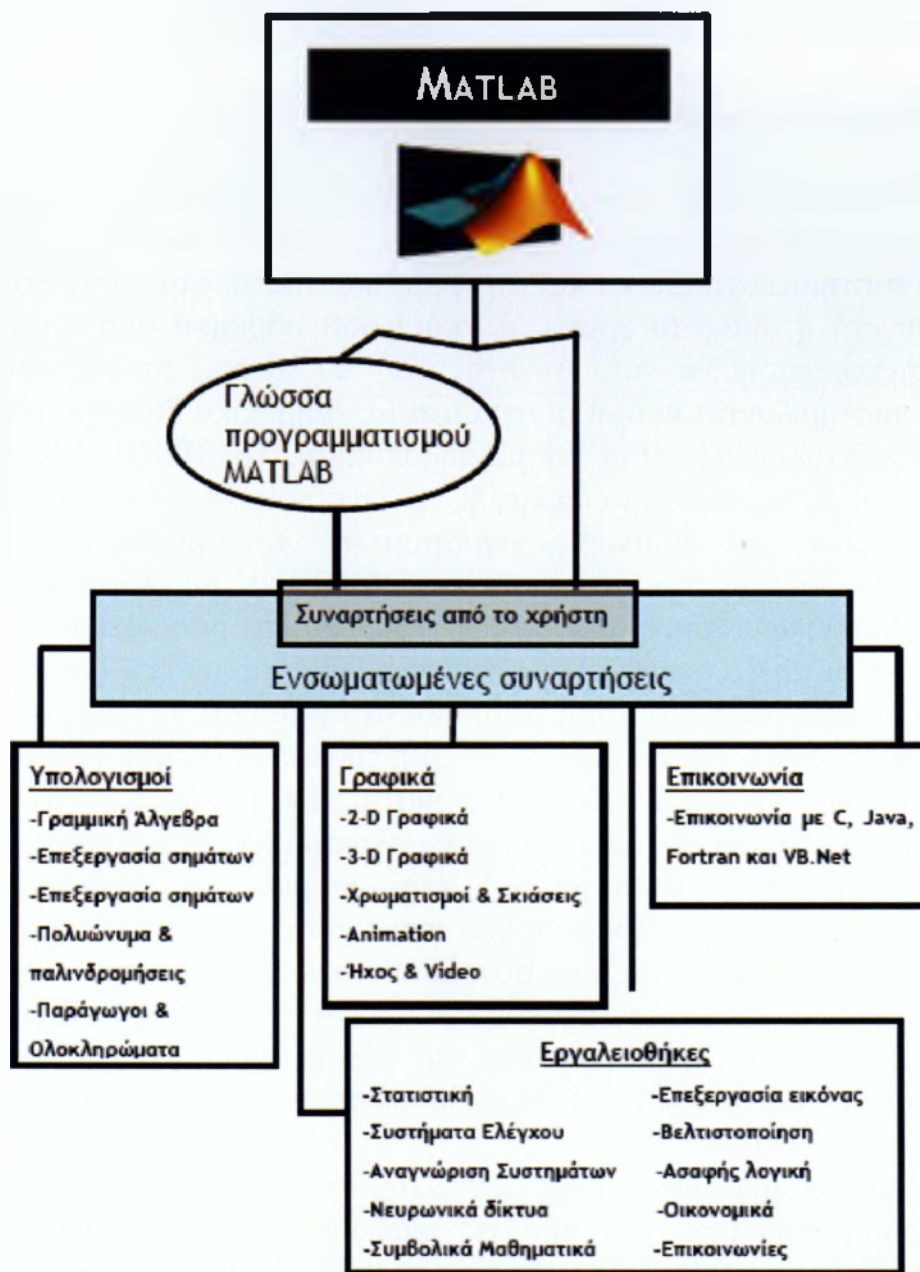
Επιπλέον, το MATLAB προσφέρει τη δυνατότητα επέκτασης σε ποικίλα πεδία εφαρμογών με τη αξιοποίηση την υψηλού επιπέδου γλώσσας προγραμματισμού, την οποία διαθέτει σε όλες τις εκδόσεις του. Για λόγους πληρότητας, να αναφερθεί ότι το όνομα MATLAB προέρχεται από τις λέξεις MATrix και LABoratory.

Το MATLAB αποτελεί ένα εξελιγμένο υπολογιστικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να βρει εφαρμογή σε διάφορους τομείς της επιστήμης αλλά βέβαια και της πράξης, όπως για παράδειγμα τη μηχανική, την ιατρική, τις θετικές επιστήμες (Μαθηματικά - Φυσική), την οικονομία καθώς και γενικά τη βιομηχανική παραγωγή. Μάλιστα, το φάσμα των εφαρμογών του συγκεκριμένου πακέτου λογισμικού διευρύνεται συνεχώς και περισσότερο, αναδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο τις πολλαπλές δυνατότητες του, όπως:

- 1.Υψηλή απόδοση και ταχύτητα υπολογιστικών αναλύσεων
- 2.Δυνατότητα προσομοίωσης φυσικών συστημάτων
- 3.Δυνατότητα υλοποίησης αλγορίθμων
- 4.Δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας με πληθώρα άλλων προγραμμάτων και εφαρμογών
- 5.Υψηλής ποιότητας γραφικές απεικονίσεις και animations . Δυνατότητα σύνδεσης με διάφορες συσκευές καταγραφής.
- 6.Φιλικότητα προς το χρήστη και διαδραστικός χαρακτήρας.

Στην εικόνα 40 παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα κύρια χαρακτηριστικά και δυνατότητες του MATLAB. Οι ενσωματωμένες συναρτήσεις του λογισμικού παρέχουν τα απαραίτητα πακέτα εργαλείων για υπολογισμούς γραμμικής άλγεβρας, ανάλυσης δεδομένων, επεξεργασία σημάτων, αριθμητικές λύσεις κανονικών διαφορικών εξισώσεων. Οι περισσότερες από τις προαναφερόμενες συναρτήσεις εφαρμόζουν την πλέον πρόσφατη και εξελιγμένη γνώση στο κάθε τομέα επιστήμης. Επίσης, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να αναπτύξει τις δικές του συναρτήσεις, κάνοντας χρήση της δικής του γλώσσας προγραμματισμού. Από τη στιγμή που θα αναπτυχθούν οι συναρτήσεις αυτές, λειτουργούν ως ενσωματωμένες συναρτήσεις του εν λόγω λογισμικού.

Τέλος παρέχονται από το MATLAB πολλές προαιρετικές εργαλειοθήκες, οι οποίες προορίζονται για την ανάπτυξη ειδικών εφαρμογών, όπως συμβολικοί υπολογισμοί (*symbolic computation*), επεξεργασία εικόνων (*image processing*), στατιστική (*statistics*), σχεδιασμός ελέγχου συστημάτων (*control system design*), νευρωνικά δίκτυα (*neural networks*), ασαφή λογική (*fuzzy logic*). Η λίστα με τις διαθέσιμες εργαλειοθήκες συνεχώς διευρύνεται (στην τελευταία έκδοση του λογισμικού ο αριθμός των εργαλειοθηκών έχει ξεπεράσει τις 50).



Εικόνα 38 : Δυνατότητες του MATLAB

## 4.2 Simulink

### Λίγα λόγια για το Simulink

Το SIMULINK είναι ένα λογισμικό πακέτο που επιτρέπει τη μοντελοποίηση, προσομοίωση και ανάλυση δυναμικών συστημάτων. Υποστηρίζει γραμμικά και μη γραμμικά συστήματα, μοντελοποιημένα σε συνεχή ή διακριτό χρόνο, ή ακόμη και υβριδικά συστήματα (εν μέρει μοντελοποιημένα σε συνεχή και εν μέρει σε διακριτό χρόνο). Υποστηρίζονται ακόμη συστήματα με τμηματικά διαφορετικούς χρόνους δειγματοληψίας. Για τη μοντελοποίηση, το SIMULINK παρέχει ένα γραφικό περιβάλλον διεπαφής (GUI) που επιτρέπει την κατασκευή μοντέλων ως δομικών διαγραμμάτων, χρησιμοποιώντας λειτουργίες click-and-drag του ποντικιού. Το SIMULINK περιλαμβάνει ένα πλήθος βιβλιοθηκών δομικών στοιχείων (blocks), τα βασικότερα από τα οποία είναι οι πηγές (sources), τα στοιχεία «απορρόφησης» (sinks), τα συνεχή γραμμικά στοιχεία, τα μη γραμμικά στοιχεία και τα στοιχεία σημάτων και συστημάτων. Είναι επίσης δυνατή η τροποποίηση και η δημιουργία νέων δομικών στοιχείων από το χρήστη. Τα μοντέλα SIMULINK είναι ιεραρχικά (ένα μοντέλο μπορεί να περιέχει μπλοκ τα οποία περιέχουν με τη σειρά τους άλλα μπλοκ), έτσι μπορούν να ιδωθούν σε διάφορα επίπεδα. Ένα σύστημα που έχει ιεραρχική δομή μπορεί να ιδωθεί αρχικά σε υψηλό επίπεδο ως ένα σύνολο διασυνδεδεμένων υποσυστημάτων, κάθε ένα από τα οποία μοντελοποιείται ως ένα μπλοκ. Στη συνέχεια, κάνοντας διπλό κλικ με το ποντίκι στα επί μέρους μπλοκ, ο χρήστης μπορεί να κατέβει σε χαμηλότερα επίπεδα ώστε να δει αυξανόμενους βαθμούς λεπτομέρειας.

Μετά τη δημιουργία ενός μοντέλου, είναι δυνατή η προσομοίωση του, χρησιμοποιώντας μια από τις διάφορες μεθόδους ολοκλήρωσης που παρέχει το SIMULINK. Χρησιμοποιώντας παλμογράφους (scopes) και άλλα μπλοκ απεικόνισης, είναι δυνατή η παρακολούθηση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης καθώς αυτή εξελίσσεται.

Επιπλέον, είναι δυνατή η εξαγωγή αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στο χώρο εργασίας της MATLAB για περαιτέρω επεξεργασία. Είναι ακόμη δυνατή η χρήση του SIMULINK για προσομοίωση αλλά και έλεγχο συστημάτων σε πραγματικό χρόνο, μέσω της εργαλειοθήκης πραγματικού χρόνου (Real Time Workshop).

Στη συνέχεια θα δοθούν κάποιες βασικές οδηγίες χρήσης με έμφαση στην προσομοίωση έτοιμων μοντέλων SIMULINK και θα γίνει μια συνοπτική περιγραφή των βιβλιοθηκών και ορισμένων δομικών στοιχείων.

Περαιτέρω πληροφορίες για τα δομικά στοιχεία και τις βιβλιοθήκες του SIMULINK είναι διαθέσιμες μέσω της βοήθειας της MATLAB.

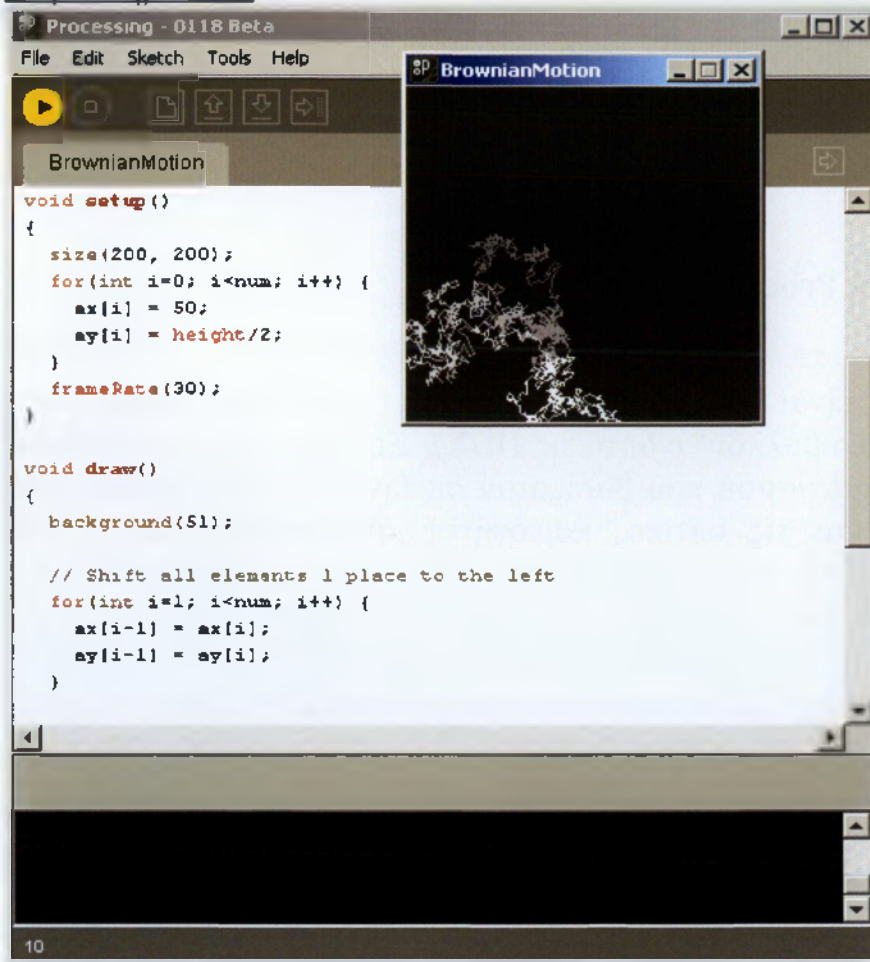


## 4.3 Processing

### Λίγα λόγια για το Processing

Το Processing είναι μια ανοικτή γλώσσα προγραμματισμού και ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE). Ξεκίνησε ως μια ανοικτή γλώσσα προγραμματισμού που βασιζόταν σε Java για να βοηθήσει την Electronic Arts και τις οπτικές κοινότητες ,στον σχεδιασμό για να μάθουν τα βασικά του προγραμματισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών σε ένα οπτικό περιβάλλον .Στην αρχή δημιουργήθηκε για να χρησιμεύσει ως θεμέλιο για ηλεκτρονικά sketchbooks και για να διδάξει βασικές αρχές προγραμματισμού των ηλεκτρονικών υπολογιστών.Πλέον έχει εξελιχθεί σε ένα εργαλείο επαγγελματικής χρήσης . Ξεκίνησε το 2001 από τους Casey Reas και Ben Fry, οι οποίοι ήταν πρώτα στο MIT Media Lab. Ένας από τους στόχους του Processing είναι να λειτουργήσει ως ένα εργαλείο για να κάνει μη-προγραμματιστές να ασχοληθούν με τον προγραμματισμό, μέσω της οπτικής επικοινωνίας. Η γλώσσα βασίζεται στις γραφικές δυνατότητες της γλώσσας προγραμματισμού Java, απλοποιώντας τα χαρακτηριστικά και δημιουργώντας μερικά νέα.

## Χαρακτηριστικά



Εικόνα 39 :

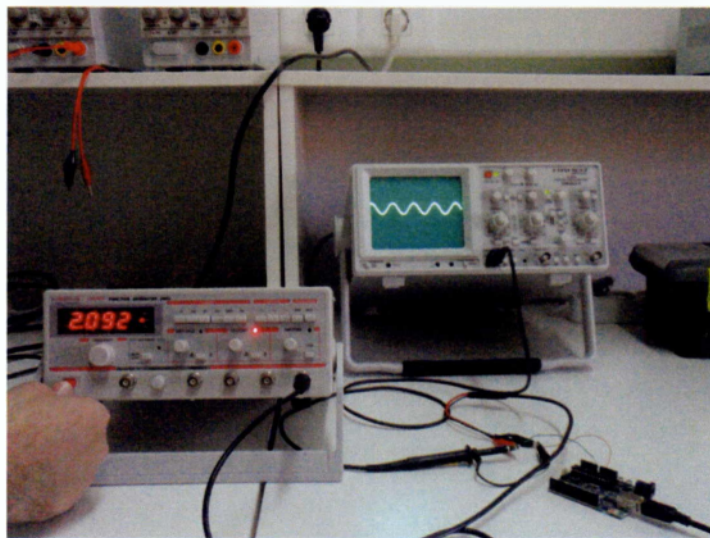
Το Processing περιλαμβάνει ένα sketchbook, μια εναλλακτική λύση του IDE για την οργάνωση projects.

Κάθε σκίτσο του Processing είναι στην πραγματικότητα μια υποκατηγορία της PApplet Java κλάσης που υλοποιεί τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του Processing.

Κατά τον προγραμματισμό στο Processing όλες οι επιπλέον κλάσεις που καθορίζονται θα πρέπει να αντιμετωπίζονται ως εσωτερικές κλάσεις όταν ο κώδικας μεταφράζεται σε Java πριν από τη σύνταξη (compile). Αυτό σημαίνει ότι η χρήση στατικών μεταβλητών και των μεθόδων των κλάσεων απαγορεύεται εκτός αν θέσετε ρητά στο Processing ότι θέλετε κώδικα σε Java.

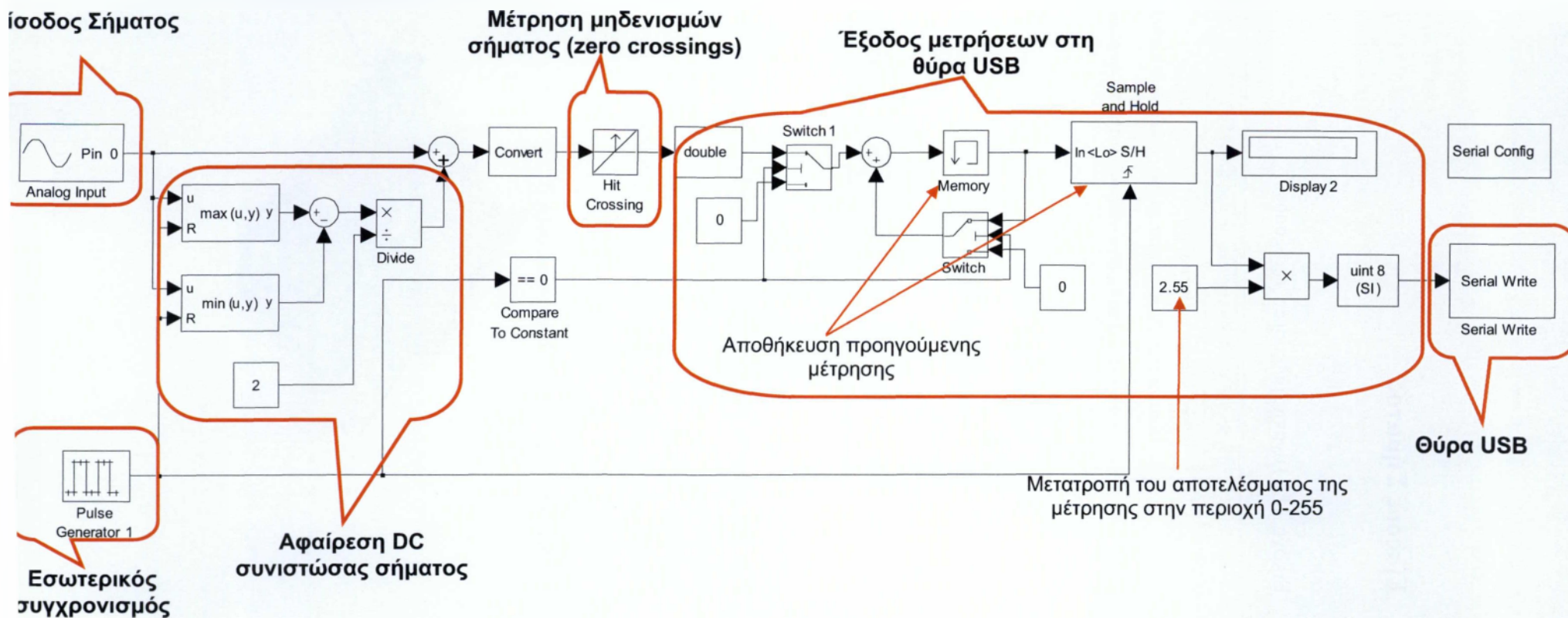
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΓΡΑΦΗΣ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ ΣΕ ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΟ ΧΡΟΝΟ



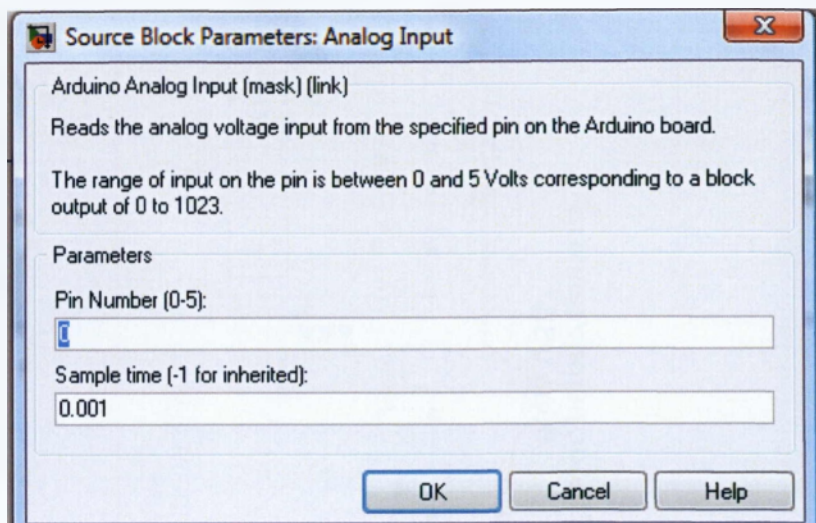
## 5.1 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino με matlab

Εικόνα 40 : Αναπαράσταση προγραμματισμού πλακέτας με χρήση matlab



## Είσοδος Σήματος

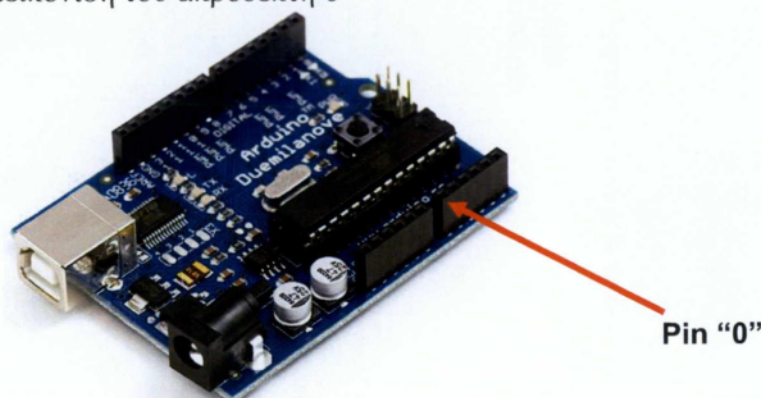
Εικόνα 41 : Πίνακας ρυθμίσεων της εισόδου



Pin Number = ακροδέκτης στο ARDUINO όπου συνδέεται το αναλογικό σήμα.

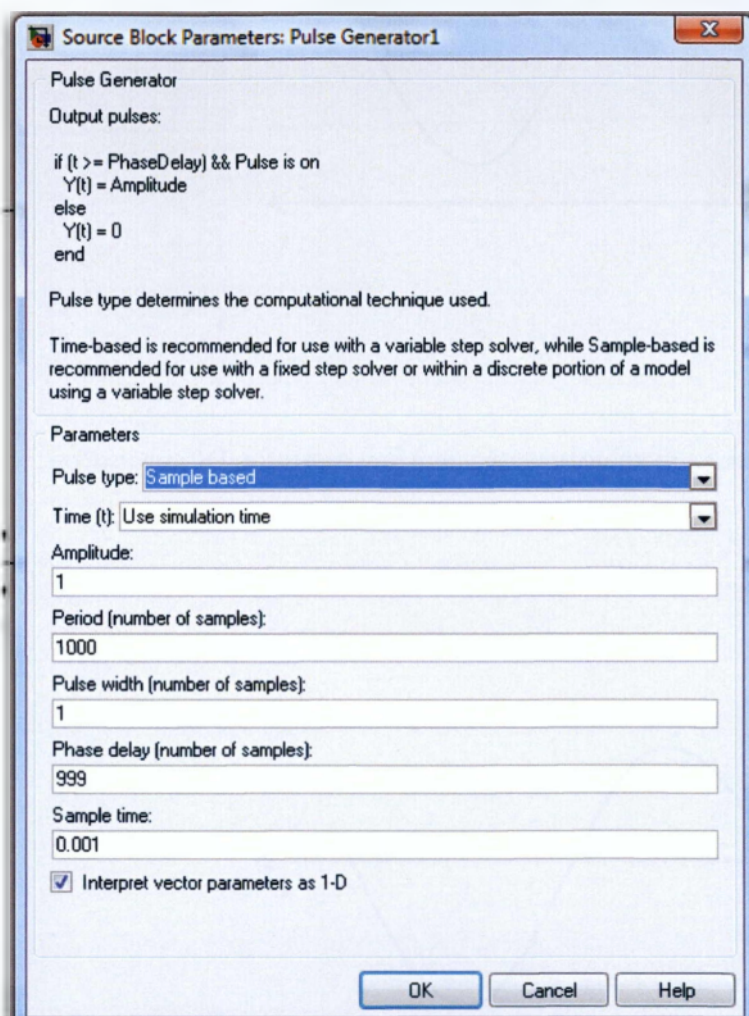
Sample Time: Η περίοδος δειγματοληψίας του αναλογικού σήματος (0.001=1ms, άρα η συχνότητα δειγματοληψίας είναι 1/1ms=1kHz)

Εικόνα 42 : Απεικόνιση του ακροδέκτη 0



## Εσωτερικός συγχρονισμός

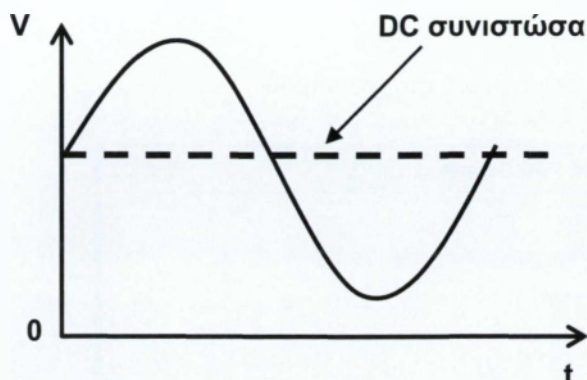
Εικόνα 43 : Πίνακας ρυθμίσεων του εσωτερικού συγχρονισμού



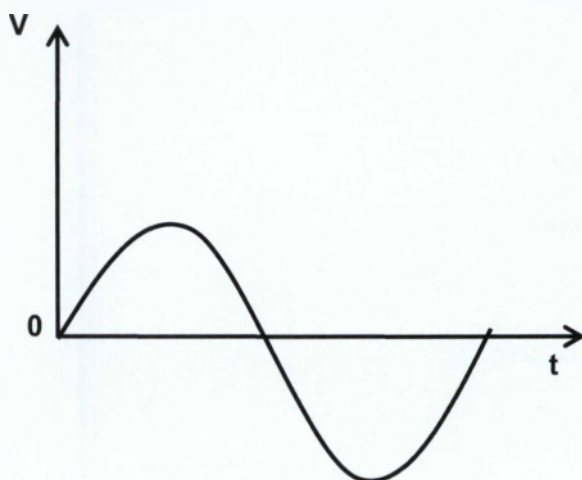
Εσωτερικό ρολόι συγχρονισμού της πλακέτας Arduino. Στον συγκεκριμένο κατάλογο επιλέγουμε τις τιμές ηλεκτρονικά που θα πάρει η πλακέτα Arduino. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε στο 1s να πάρει 1000 δείγματα διάρκειας 1ms το καθένα.

## Αφαίρεση DC συνιστώσας σήματος

Εικόνα 44 : Απεικόνιση κυματομορφής πριν την Αφαίρεση DC συνιστώσας



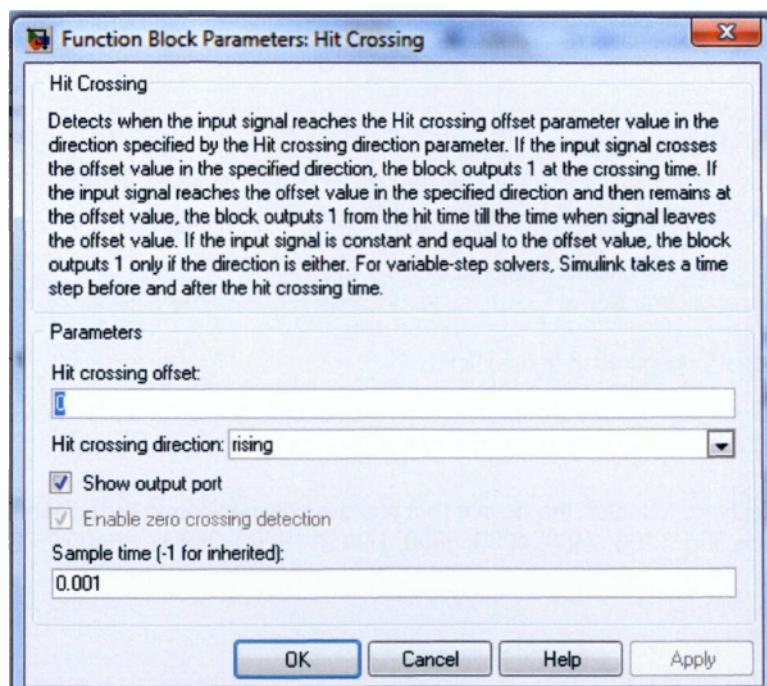
Εικόνα 45 : Απεικόνιση κυματομορφής μετά την Αφαίρεση DC συνιστώσας



Στις παραπάνω εικόνες βλέπουμε την χρησιμότητα της αφαίρεσης DC συνιστώσας σήματος. Συγκεκριμένα στην Εικόνα 44 βλέπουμε πως το σήμα ξεκινάει από την τιμή X στον άξονα της τάσης. Η τιμή X δεν μας βοηθάει στον εντοπισμό του σημείου zero crossing, γι αυτό χρησιμοποιούμε την αφαίρεση της συνιστώσας DC του σήματος όπως βλέπουμε στην Εικόνα 45. Η αφαίρεση γίνεται ως εξής, τιμή  $(Max+Min)/2$ . Για παράδειγμα, έστω ότι έχουμε στην παραπάνω κυματομορφή  $Max=5$  και  $Min=1$  τότε βρίσκουμε και το σημείο X,  $X=3$  και ξέρουμε πόσο πρέπει να είναι η αφαίρεση για να μετατοπιστεί η κυματομορφή μας στο 0.

## Μέτρηση μηδενισμών σήματος (zero crossings)

Εικόνα 46 : Πίνακας ρυθμίσεων για την μέτρηση μηδενισμών σήματος



Μέτρηση zero crossings σε δείγματα με περίοδο 1ms



## Έξοδος μετρήσεων στη θύρα USB

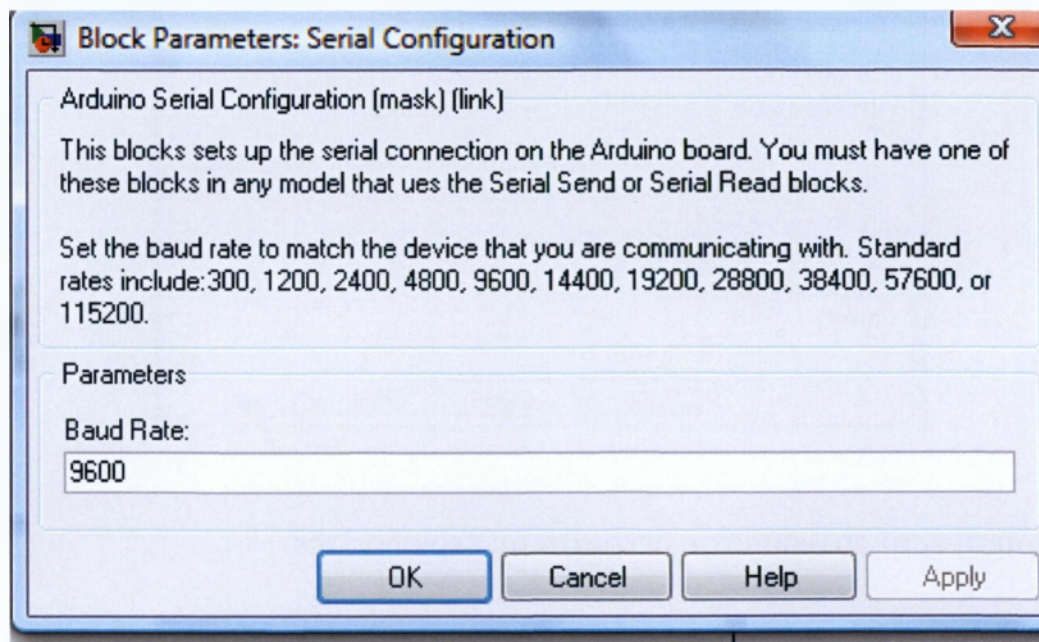
Στο συγκεκριμένο τμήμα του matlab αποθηκεύονται οι μετρήσεις πριν ακολουθήσουν οι επόμενες μετρήσεις της συχνότητας. Επίσης ακολουθεί η μετατροπή της μέτρησης σε τιμές που μπορεί να πάρει η θύρα USB από 0 έως 255. Στην συγκεκριμένη εργασία οι τιμές που έχουμε ορίσει για τις μετρήσεις είναι έως 100. Έπειτα εμφανίζεται το αποτέλεσμα και πηγαίνει στο επόμενο τμήμα, στην θύρα USB.

## Θύρα USB

Από την θύρα USB βγαίνουν τα τελικά δεδομένα, και εμφανίζονται στον Η/Υ.

## Serial Config

Εικόνα 47 : Πίνακας ρύθμισης του ρυθμού μετάδοσης



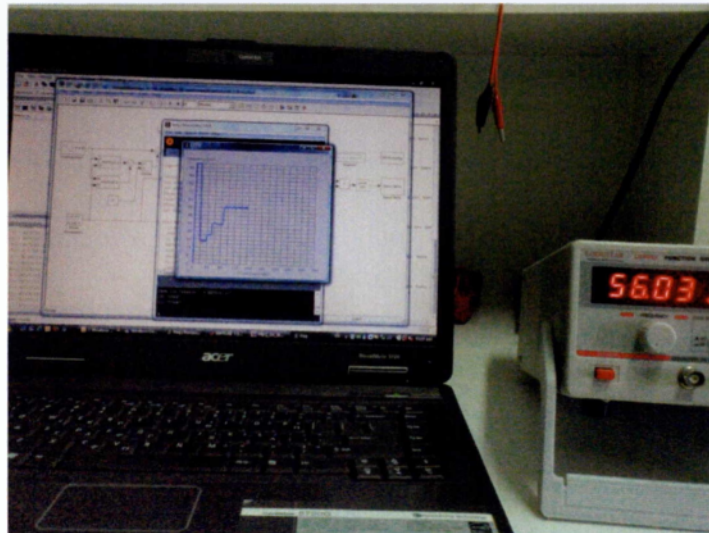
Ο ρυθμός μετάδοσης των δεδομένων από το Arduino μέσω της USB στο PC. Ο ρυθμός αυτός θα πρέπει να συμφωνεί με τον αντίστοιχο ρυθμό που θα ορίσουμε στο Processing.

## 5.2 Προγραμματισμός πλακέτας Arduino με χρήση γλώσσας C

Ο προγραμματισμός της πλακέτας Arduino μπορεί να γίνει με χρήση κώδικα. Για να γίνει αυτό είναι απαραίτητη η γνώση της γλώσσας C, καθώς επίσης και η μελέτη των βιβλιοθηκών του Processing.

Παρακάτω ακολουθεί ο κώδικας, που μας εμφανίζει τις τιμές συχνότητας στην οθόνη του υπολογιστή.

Εικόνα 48 : Γραφική απεικόνιση της τιμής της γεννήτριας στον Η/Υ



```
int analogPin = 3;
```

```
int X; // τρέχουσα τιμή δείγματος
```

```
int X_1=0; // τιμή προηγούμενου δείγματος
```

```
float frequency=0; // συχνότητα
```

```
unsigned long time; // χρόνος Arduino
```

```
void setup()  
{
```

```
    Serial.begin(9600); //ρυθμός μετάδοσης δεδομένων στη θύρα USB
```

```
}
```

```

void loop()
{
    int zero_crossings=0; // δίνει στα zero crossings αρχική τιμή 0, στην αρχή κάθε
    κύκλου μέτρησης

    for (int i=0; i < 1000; i++) // 1000 επαναλήψεις για μέτρηση των 1000ms που
    αποτελούν την περίοδο του 1s
    {
        time=millis();

        X = analogRead(analogPin); //ανάγνωση τρέχουσας τιμής του δείγματος του
        αναλογικού σήματος- εντοπισμός zero crossing

        if (X*X_1<0 || X==0) zero_crossings=zero_crossings+1;

        do
        {
            delayMicroseconds(1); // αναμονή
        } while (millis()-time < 1);
    }

    frequency=zero_crossings/2; // διαχωρισμός θετικών zero crossings

    Serial.println(frequency,6); //στέλνει αποτέλεσμα στη USB
}

```

### 5.3 Γραφική αναπαράσταση δειγμάτων συχνότητας

Για την πραγματοποίηση της γραφικής αναπαράστασης των δειγμάτων συχνότητας χρησιμοποιήθηκε το Processing στο οποίο γράφτηκε κώδικας,ο οποίος ακολουθεί παρακάτω.

```
import processing.serial.*;

Serial myPort;    //ορίζει την πόρτα X π.χ.COM1

int xPos = 41;    //Αρχική τιμή της οριζόντιας θέσης

int xPos_last =41;

float real_value_last=0;

float inByte_float;

PFont font;

int count_seconds=1;

void setup () {

    size(400+40, 300+80); //ρύθμιση μεγέθους παραθύρου

    background(#DDDDDD ); // εισαγωγή φόντου

    font = loadFont("Verdana-10.vlw");
```

```

textFont(font);

fill(0, 102, 153);

line(40,340,400,340);

for (int i = 0; i <= 300; i = i+12) { //σχεδιάζει τις οριζόντιες γραμμές του
διαγράμματος

line(40, 340-i, 400, 340-i);

}

for (int i = 40; i < 400; i = i+20) { //σχεδιάζει τις κατακορυφες γραμμες του
διαγράμματος

line(440-i, 40, 440-i, 340);

}

line(40,340,40,40);

text("Frequency (Hz)", 10,30); //τίτλος κατακόρυφου άξονα

for (int i = 0; i <= 300; i = i+24) {

text(i/3, 20,345-i); //υποδιαιρέσεις του κατακόρυφου άξονα

}

text("Time (seconds)", width/2-40,height-10); //τίτλος οριζόντιου άξονα

for (int i = 40; i <= 400; i = i+40) {

text(+i-40, i-5,355); //υποδιαιρέσεις του οριζόντιου άξονα

}

println(Serial.list()); //λίστα όλων των διαθέσιμων σειριακών θυρών, ξέρω
την πρώτη θύρα στον Η/Υ,επίσης γνωρίζω ότι στο Arduino θα διαλέγω θύρα
Serial.list()[0]

```

```

    myPort = new Serial(this, Serial.list()[0], 9600); //προετοιμάζει την
επικοινωνία μέσω της USB
}

void draw () {

}

void serialEvent (Serial myPort) { //αναμονή για αποκατάσταση της
επικοινωνίας μέσω USB

    while (myPort.available() <= 0) {

        delay(1);

    }

    Integer inByte = myPort.read();

    delay(1000);

    inByte_float = map(inByte, 0, 255, 0, 300);

    stroke(127,34,255); //επίσταση της γραμμής

    strokeWeight(3);

    float real_value = inByte_float;

    line(xPos_last, height-real_value_last-40, xPos, height - real_value-
40); //γραφική παράσταση της γραμμής που ενώνει τα διαδοχικά σημεία των
μετρήσεων

        if (xPos >= width-40) {

            xPos = 40;

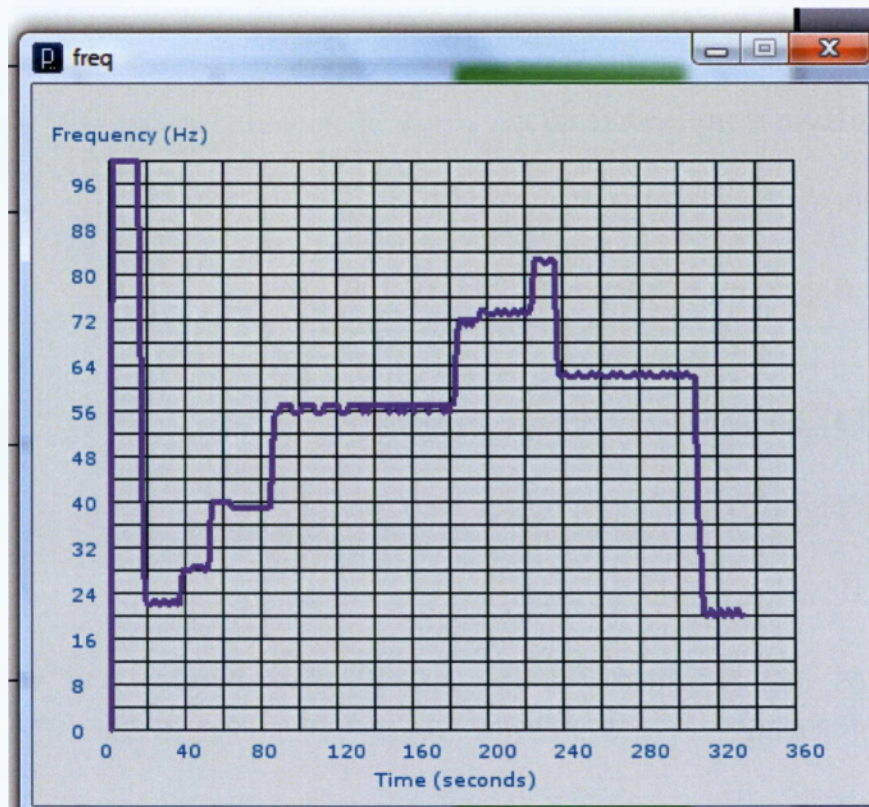
        }

        // increment the horizontal position: //σε κάθε μέτρηση γίνεται προώθηση
στο επόμενο sec

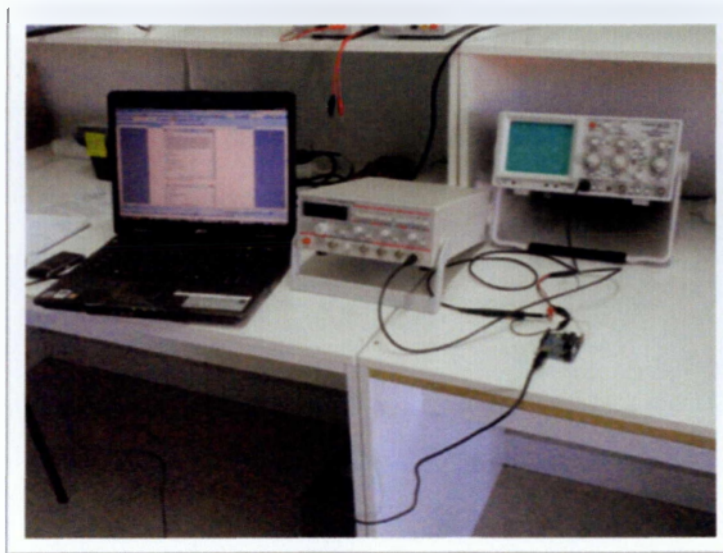
```

```
real_value_last=real_value;  
  
xPos_last=xPos;  
  
xPos++;  
  
count_seconds++;  
  
if (count_seconds>=360) exit();  
  
}
```

Εικόνα 49 : Γραφική απεικόνιση των διακυμάνσεων της συχνότητας

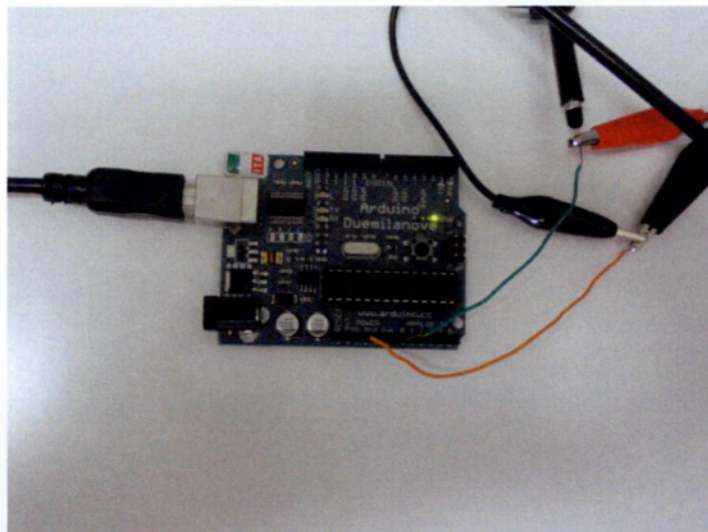


Εικόνα 50 : Απεικόνιση εργαστηριακών οργάνων που χρησιμοποιήθηκαν



Στην Εικόνα 50 βλέπουμε την πλακέτα Arduino συνδεδεμένη με τον Η/Υ ,την γεννήτρια και τον παλμογράφο.

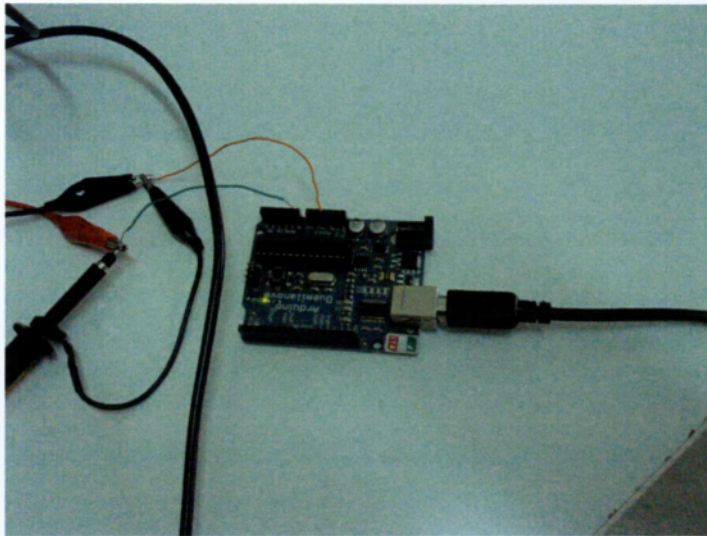
Εικόνα 51 : Συνδεσμολογία πλακέτας Arduino



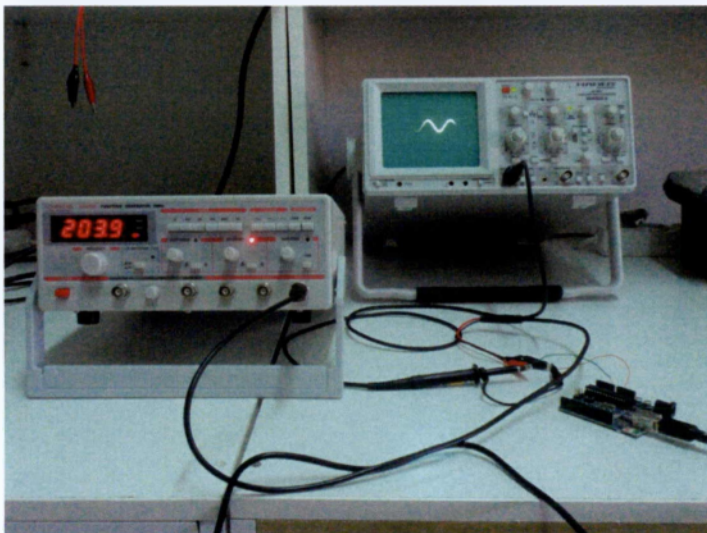
Στις Εικόνες 51 και 52 βλέπουμε την πλακέτα Arduino και την συνδεσμολογία με τα εργαστηριακά όργανα(βλ. Εικόνα 50).συγκεκριμένα βλέπουμε πως η γεννήτρια είναι συνδεδεμένη στον ακροδέκτη 3 και ο παλμογράφος στην αναλογικό ακροδέκτη 0.



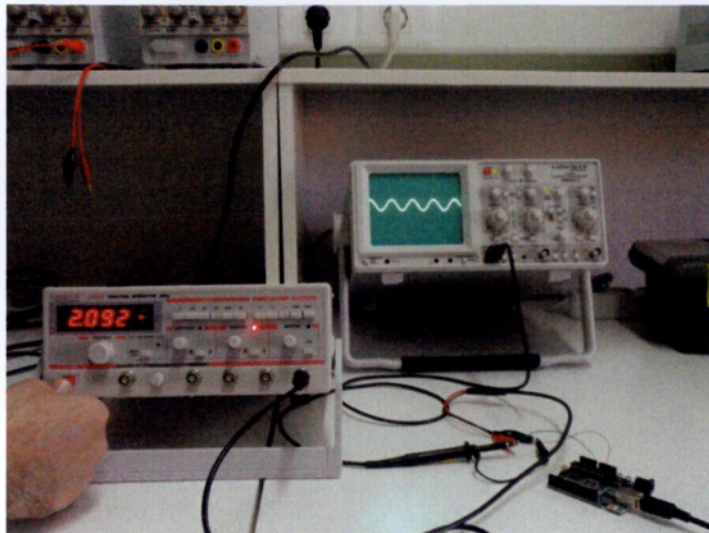
Εικόνα 52 : Συνδεσμολογία Arduino



Εικόνα 53 : Απεικόνιση τιμής γεννήτριας στον παλμογράφο

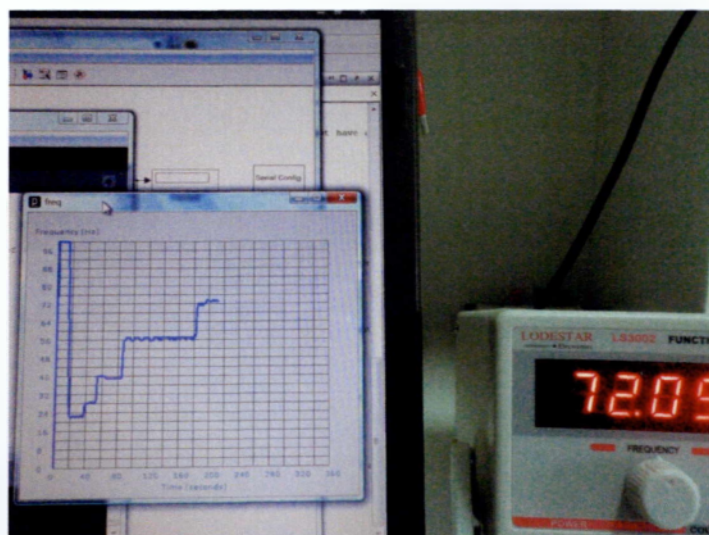


Εικόνα 54 : Απεικόνιση τιμής γεννήτριας στον παλμογράφο



Στις Εικόνες 53 και 54 βλέπουμε την τιμή συχνότητας του σήματος της γεννήτριας η οποία αναπαρίσταται γραφικά στον παλμογράφο.

Εικόνα 55 : Απεικόνιση τιμής γεννήτριας στον Η/Υ



Στην Εικόνα 55 βλέπουμε την τιμή συχνότητας του σήματος της γεννήτριας η οποία αναπαρίσταται γραφικά στον Η/Υ.

## 5.4 Παραρτήματα

### Βιβλιοθήκη του Arduino Duemilanove :

#### Structure

- setup()
- loop()

#### Control Structures

- if
- if...else
- for
- switch case
- while
- do... while
- break
- continue
- return

#### Further Syntax

- ; (semicolon)
- {} (curly braces)
- // (single line comment)
- /\* \*/ (multi-line comment)

#### Arithmetic Operators

- = (assignment)
- + (addition)
- - (subtraction)
- \* (multiplication)
- / (division)
- % (modulo)

#### Comparison Operators

- == (equal to)
- != (not equal to)
- < (less than)
- > (greater than)
- <= (less than or equal to)
- >= (greater than or equal to)

#### Boolean Operators

- && (and)
- || (or)
- ! (not)

#### Compound Operators

- ++ (increment)
- -- (decrement)
- += (compound addition)
- -= (compound subtraction)
- \*= (compound multiplication)
- /= (compound division)

#### Variables

##### Constants

- HIGH | LOW
- INPUT | OUTPUT
- true | false
- Integer Constants

##### Data Types

- boolean
- char
- byte
- int
- unsigned int
- long
- unsigned long
- float
- double
- string
- array
- void

##### Conversion

- char()
- byte()
- int()
- long()
- float()

#### Functions

##### Digital I/O

- pinMode()
- digitalWrite()
- digitalRead()

##### Analog I/O

- analogRead()
- analogWrite() - *PWM*

##### Advanced I/O

- tone()
- noTone()
- shiftOut()
- pulseIn()

##### Time

- millis()
- micros()
- delay()
- delayMicroseconds()

##### Math

- min()
- max()
- abs()
- constrain()
- map()
- pow()
- sq()
- sqrt()

##### Trigonometry

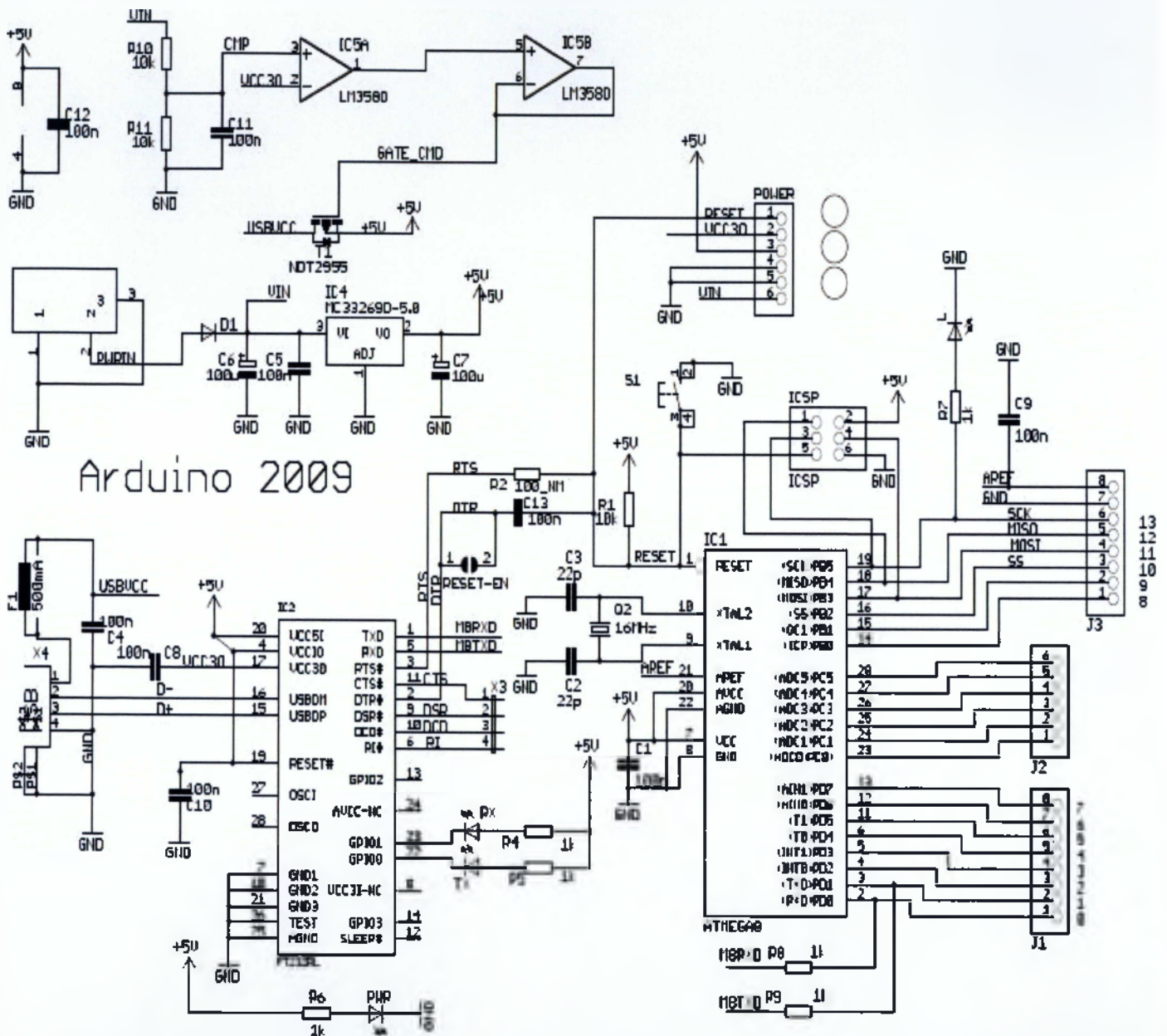
- sin()
- cos()
- tan()

##### Random Numbers

- randomSeed()
- random()

##### Communication

- Serial



Arduino 2009

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Practical Arduino Cool Projects for Open Source Hardware  
Jonathan Oser /Hugh Blemings
- Getting Started with Arduino by Massimo Banzi Co-founder of  
Arduino
- Microcontroller Programming Beginning with Arduino by Charlie  
Mooney
- PWM και SWITCHING τεχνολογίες Βεζέρης Δημήτριος
- Γιάννης Λιαπέρδος: Εργαστηριακές Ασκήσεις Αναλογικών  
Ηλεκτρονικών, Σπάρτη 2008 (Εργαστηριακό Εγχειρίδιο)
- Γιάννης Λιαπέρδος: Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις  
Τηλεπικοινωνίες, τόμος Α: Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Σπάρτη 2011  
(υπό έκδοση)

## ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

- [http://translate.googleusercontent.com/translate\\_c?hl=el&langpair=en|el&rurl=translate.google.com&u=http://www.encyclopedia.com/doc/1O13-samplingfrequency.html&usg=ALkJrhg029BzWKKIRTTIFG74gbvRdmUbkw](http://translate.googleusercontent.com/translate_c?hl=el&langpair=en|el&rurl=translate.google.com&u=http://www.encyclopedia.com/doc/1O13-samplingfrequency.html&usg=ALkJrhg029BzWKKIRTTIFG74gbvRdmUbkw)
- [http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B5%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%AF%CE%B1\\_%28%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1\\_%CF%83%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82%29](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B5%CE%B9%CE%B3%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%BB%CE%B7%CF%88%CE%AF%CE%B1_%28%CE%B5%CF%80%CE%B5%CE%BE%CE%B5%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CF%83%CE%AE%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82%29)
- <http://xanthippi.ceid.upatras.gr/people/psarakis/courses/DSP/demos/demo2.pdf>
- [http://translate.google.gr/translate?hl=el&langpair=en|el&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Sampling\\_rate](http://translate.google.gr/translate?hl=el&langpair=en|el&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Sampling_rate)
- <http://www.ladyada.net/learn/arduino/>
- <http://www.arduino.cc/en/Main/Software>
- [http://portal.survey.ntua.gr/main/courses/general/sigproc/lectures/dsp2005\\_02.pdf](http://portal.survey.ntua.gr/main/courses/general/sigproc/lectures/dsp2005_02.pdf)
- <http://c.bytes.gr/files/kefalaia.pdf>
- <http://stathisv.wordpress.com/2010/08/11/arduino-zero-crossing-detector/>