



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, Τομέας ΜΚ&ΑΕ

Ηλεκτρικά Κυκλώματα & Συστήματα

Εισαγωγή στο Εργαστήριο

1. Τροφοδοτικά

Τα τροφοδοτικά (power supply) είναι συσκευές που παρέχουν την απαραίτητη ισχύ στα κυκλώματα (ή αλλιώς στο φορτίο). Υπάρχουν διάφοροι τύποι τροφοδοτικών. Το πλέον απλό μοντέλο που μπορούμε να θεωρήσουμε για ένα τροφοδοτικό είναι αυτό μιας ανεξάρτητης πηγής. Υπάρχουν όμως και πιο προηγμένα τροφοδοτικά με προστασία ως προς τη μέγιστη τάση ή το ρεύμα που επιτρέπεται να παρέχουν στο φορτίο. Έτσι έχουμε,

1. Πηγή τάσης

Το τροφοδοτικό παρέχει στο φορτίο **σταθερή τάση**, ανεξάρτητη από το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο.

2. Πηγή ρεύματος

Το τροφοδοτικό παρέχει στο φορτίο **σταθερό ρεύμα**, ανεξάρτητη από την τάση στα άκρα του φορτίου.

3. Πηγή τάσης με προστασία ρεύματος

Το τροφοδοτικό παρέχει στο φορτίο **σταθερή τάση**, ανεξάρτητη από το ρεύμα που διαρρέει το φορτίο, **εφ' όσον** το ρεύμα δεν υπερβαίνει μια, καθορισμένη από τον χρήστη, οριακή τιμή. Εάν το ρεύμα τείνει να ξεπεράσει την οριακή τιμή τότε το τροφοδοτικό συμπεριφέρεται ως πηγή ρεύματος και παρέχει ρεύμα τόσο όσο η καθορισμένη οριακή τιμή.

4. Πηγή ρεύματος με προστασία τάσης

Το τροφοδοτικό παρέχει στο φορτίο **σταθερό ρεύμα**, ανεξάρτητο από την τάση στα άκρα του φορτίου, **εφ' όσον** η τάση δεν υπερβαίνει μια, καθορισμένη από τον χρήστη, οριακή τιμή. Εάν η τάση τείνει να ξεπεράσει την οριακή τιμή τότε το τροφοδοτικό συμπεριφέρεται ως πηγή τάσης και παρέχει ρεύμα τόσο όσο η καθορισμένη οριακή τιμή.

Η χρησιμότητα των τροφοδοτικών με προστασία έγκειται στο ότι μπορούν να τροφοδοτήσουν **μεταβλητά** φορτία, τα οποία όμως έχουν περιορισμό ως προς την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση στα άκρα τους ή ως προς το μέγιστο επιτρεπόμενο ρεύμα που τα διαρρέει. Η μεταβλητότητα του φορτίου δεν διευκολύνει την προστασία μέσω χρήσης του νόμου του Ohm, οπότε η χρήση ενός τροφοδοτικού χωρίς προστασία είναι επίφοβη. Ένα τέτοιο τροφοδοτικό, εάν ρυθμιστεί σωστά, μπορεί να προστατεύσει από σφάλματα στη συνδεσμολογία κατά τον έλεγχο ενός κυκλώματος.



Εικόνα 1. Τροφοδοτικό HAMEG 3 καναλιών HM7042.

Το τροφοδοτικό που χρησιμοποιείται και το οποίο φαίνεται στην Εικόνα 1, είναι της εταιρίας HAMEG και μπορεί να παρέχει τάση ή ρεύμα υπό προστασία. Το συγκεκριμένο τροφοδοτικό μπορεί να παρέχει τρεις ανεξάρτητες τάσεις ή ρεύματα, ενώ έχει την δυνατότητα της ταυτόχρονης ενεργοποίησης

και απενεργοποίησης όλων των εξόδων του. Η κάθε έξοδος ελέγχεται ανεξάρτητα από δύο ποτενσιόμετρα, ένα με το οποίο καθορίζεται η τάση (voltage control) και ένα με το οποίο τίθεται περιορισμός για το μέγιστο ρεύμα (current **limiter**). Κάθε έξοδος αποτελείται από δυο θηλυκά βύσματα **κόκκινο (+)** και **μαύρο (-)**. Στα θηλυκά βύσματα συνδέονται τα καλώδια, μέσω των αντίστοιχων αρσενικών βυσμάτων.

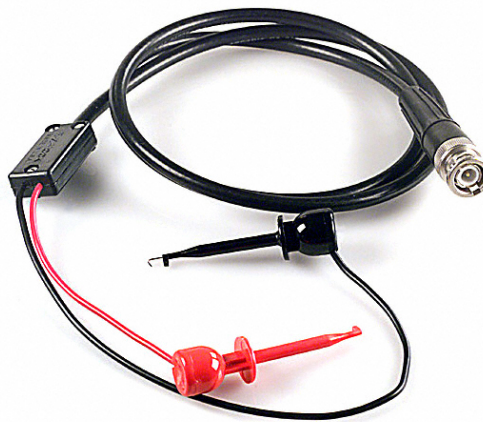
ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΩΝ

Όταν χρησιμοποιούνται τροφοδοτικά σε ένα κύκλωμα πρέπει να τηρούνται ορισμένοι κανόνες.

1. **Πριν συνδεθούν** τα τροφοδοτικά οι ρυθμιστές τάσης τοποθετούνται στο **μηδέν**. Επιπλέον εάν υπάρχει κουμπί απενεργοποίησης των εξόδων, οι έξοδοι πρέπει να είναι απενεργοποιημένες
2. **Προσοχή** στην σωστή πολικότητα +/- των εξόδων
3. Μέγιστη προσοχή πρέπει να δίνεται **σε ποια σημεία** του κυκλώματος συνδέονται τα τροφοδοτικά.
4. Εάν τα τροφοδοτικά παρέχουν **γείωση**, τότε αυτή πρέπει να συνδεθεί με την **γείωση του κυκλώματος** ή με τον κόμβο αναφοράς.
5. Εάν ένα κύκλωμα απαιτεί τη χρήση περισσοτέρων του ενός τροφοδοτικών, υποχρεωτικά πρέπει να ακολουθούνται οι επόμενοι κανόνες, διαφορετικά μπορεί να καταστραφούν τα τροφοδοτικά ή/ και το κύκλωμα.
 - Τα τροφοδοτικά HAMEG σε λειτουργία πηγής τάσης συνδέονται σε σειρά έως συνολική τάση 69,5 V.
 - Τα τροφοδοτικά HAMEG σε λειτουργία πηγής ρεύματος συνδέονται παράλληλα έως συνολικό ρεύμα 9 A.
 - **Πάντα** γίνεται επανέλεγχος του κυκλώματος πριν ενεργοποιηθούν τα τροφοδοτικά
6. Πρώτα **ορίζουμε τα όρια προστασίας** του ρεύματος ή της τάσης, ανάλογα με τις απαιτήσεις του φορτίου, και **μετά μεταβάλλουμε αργά** την τάση ή το ρεύμα έως την επιθυμητή τιμή.

2. Γεννήτριες Σημάτων

Οι γεννήτριες σημάτων (function ή signal generator) είναι όργανα που παρέχουν σήμα (πληροφορία) συνήθως με την μορφή τάσης ή ρεύματος στο κύκλωμα. Έχουν την δυνατότητα τα παράγουν σήματα με ποικίλα χαρακτηριστικά τα οποία ελέγχονται από τον χρήστη. Τα σήματα εξέρχονται από την γεννήτρια μέσω ομοαξονικού (θωρακισμένου - shielded) καλωδίου το οποίο συνδέεται στην γεννήτρια μέσω ενός BNC βύσματος. Το ομοαξονικό καλώδιο με βύσμα BNC είναι ουσιαστικά δύο καλώδια και είναι κατασκευασμένο ως εξής. Το ένα καλώδιο, το οποίο μεταφέρει το σήμα, είναι στο εσωτερικό και καταλήγει σε ένα pin στο βύσμα BNC (βλ. Εικόνα 2). Το δεύτερο καλώδιο αντιστοιχεί στη γείωση, περιβάλλει ομοαξονικά το εσωτερικό καλώδιο και όταν συνδεθεί το BNC βύσμα στη γεννήτρια, καταλήγει στο περίβλημα της γεννήτριας. Στην άλλη άκρη, το καλώδιο καταλήγει σε **δύο ξεχωριστά καλώδια εκ των οποίων η κόκκινη απόληξη αντιστοιχεί στο σήμα και η μαύρη στην γείωση**.



Εικόνα 2. Θωρακισμένο καλώδιο με βύσμα BNC στο ένα άκρο και διπλή απόληξη στο άλλο.

Τα σήματα μπορεί να είναι διαφόρων τύπων, τα πλέον συνηθισμένα είναι:

1. αρμονικά (ημιτονοειδή)
2. τετραγωνικά
3. τριγωνικά.

Οι παράμετροι που μπορούν να ρυθμιστούν είναι

1. η συχνότητα (frequency),
2. το πλάτος (V_{pp} , V_{rms} , V_p). V_{pp} είναι η διαφορά της μέγιστης από την ελάχιστη τιμή τάσης ενώ V_p είναι το πλάτος του σήματος, πχ. για ένα αρμονικό σήμα το V_{pp} είναι διπλάσιο του V_p
3. το επίπεδο συνεχούς τάσης (DC offset)
4. στην περίπτωση των τετραγωνικών σημάτων ο κύκλος εργασίας (% duty cycle). Ως κύκλος εργασίας, ορίζεται το ποσοστό του χρόνου, μέσα σε μια περίοδο, κατά τον οποίο το σήμα έχει την μέγιστη τιμή.
5. στην περίπτωση των τριγωνικών παλμών η ασυμμετρία (asymmetry). Ως ασυμμετρία ορίζεται το ποσοστό του χρόνου, μέσα σε μια περίοδο, κατά τον οποίο ο παλμός αυξάνει.

Η γεννήτριες που θα χρησιμοποιηθούν είναι της εταιρίας Agilent μοντέλα 33210A/ 33220A οι οποίες μπορούν να δώσουν σήματα με συχνότητες έως 10/ 20MHz. Επίσης, χρησιμοποιείται η γεννήτρια ISOTECH IGC2231 η οποία μπορεί να δώσει σήματα με συχνότητες έως 2MHz.



Εικόνα 3. Γεννήτρια Agilent 33210A/ 33220A.



Εικόνα 4. Γεννήτρια ISOTECH IGC2231.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΓΕΝΝΗΤΡΙΩΝ

Όταν χρησιμοποιούνται γεννήτριες σε ένα κύκλωμα, πρέπει να τηρούνται ορισμένοι κανόνες.

1. Πριν συνδεθούν οι γεννήτριες οι ρυθμιστές τάσης και ρεύματος τοποθετούνται στο μηδέν. Επιπλέον εάν υπάρχει κουμπί απενεργοποίησης των εξόδων, οι εξόδοι πρέπει να είναι

απενεργοποιημένες, στη γεννήτρια Agilent 33210A/ 33220A (Εικόνα 3) είναι το κουμπί “Output” κάτω δεξιά.

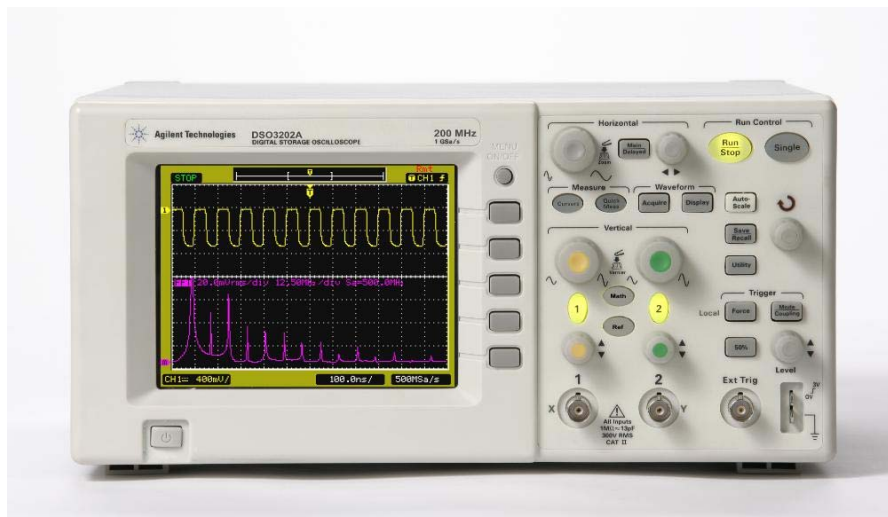
2. Μέγιστη προσοχή πρέπει να δίνεται **σε ποια σημεία** του κυκλώματος συνδέονται τα οι γεννήτριες.
3. Εάν οι γεννήτριες παρέχουν **γείωση** τότε αυτή πρέπει να συνδεθεί με την **γείωση του κυκλώματος** ή με τον κόμβο αναφοράς (0V), δηλαδή η μαύρη απόληξη του ομοαξονικού καλωδίου πρέπει να συνδεθεί στη γείωση του κυκλώματος.
4. Εάν ένα κύκλωμα απαιτεί τη χρήση περισσοτέρων της μιας γεννήτριας, υποχρεωτικά πρέπει να ακολουθούνται οι επόμενοι κανόνες, διαφορετικά μπορεί να καταστραφούν τα τροφοδοτικά ή/και το κύκλωμα.
 - a. **Ποτέ** δεν συνδέονται γεννήτριες τάσης παράλληλα.
 - b. **Ποτέ** δεν συνδέονται γεννήτριες ρεύματος σε σειρά.
5. **Πάντα** γίνεται επανέλεγχος του κυκλώματος πριν ενεργοποιηθούν οι γεννήτριες.

3. Παλμογράφοι

Ο παλμογράφος (oscilloscope) είναι ένα όργανο το οποίο, κατ' αρχήν, παρέχει την δυνατότητα να απεικονισθούν γραφικά

1. Μια **τάση** σε σχέση με το **χρόνο** (λειτουργία X/T)
2. Μια **τάση** σε σχέση με μια **τάση** (λειτουργία X/Y)

Οι τάσεις εισέρχονται στον παλμογράφο μέσω ομοαξονικών (θωρακισμένων - shielded) καλωδίων τα οποία συνδέονται στις εισόδους του παλμογράφου (channels) μέσω βυσμάτων BNC. Συνήθως οι παλμογράφοι μπορούν να απεικονίσουν δύο τάσεις, και οι αντίστοιχες εισοδοί περιγράφονται ως 1,2 ή X,Y ή I,II ή A,B. Εναλλακτικά, οι εισοδοί ονομάζονται κανάλια (κανάλι 1 – channel 1, κανάλι 2 – channel 2), και οι τάσεις ονομάζονται σήματα. Οι τέσσερις αυτές ονομασίες χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση όταν δεν υπάρχει περίπτωση παρερμηνείας. Η γείωση του καλωδίου BNC είναι συνδεδεμένη με το περίβλημα του παλμογράφου καθώς και με την γείωση από την πρίζα στην οποία έχει συνδεθεί ο παλμογράφος. Η γείωση της πρίζας καταλήγει τελικά στη γη, οπότε ο παλμογράφος έχει πραγματική γείωση στη γη (ground to earth) και όλα τα σήματα μετρώνται ως προς αυτή. (Αυτό δεν ισχύει για το πολύμετρο, το οποίο δεν είναι γειωμένο στη γη, είναι “floating”). Σε κάθε κανάλι συνδέεται ένα καλώδιο με βύσμα BNC. Στην άλλη άκρη, το καλώδιο καταλήγει σε δυο ξεχωριστά καλώδια εκ των οποίων μία είναι η μετρητική λαβή (probe) και η άλλη είναι η γείωση (κροκοδειλάκι).



(α)



(β)

Εικόνα 5. (α) Ψηφιακός παλμογράφος DSO3202A της Agilent, (β) καλώδιο με ακροδέκτη BNC.

Κύριο τμήμα του παλμογράφου αποτελεί η οθόνη, πάνω στην οποία είναι χαραγμένο σύστημα ορθοκανονικών αξόνων. Κάθε άξονας είναι διαιρεμένος σε τμήματα (divisions), συνήθως δέκα, και κάθε τμήμα διαιρείται σε πέντε υποτμήματα. Έτσι πάνω στην οθόνη σχηματίζεται ένα πλέγμα δέκα επί δέκα το οποίο χρησιμοποιείται ως αναφορά για την λήψη των μετρήσεων. Το μέγεθος (ή κανάλι) που απεικονίζεται σε κάθε άξονα, ανάλογα με την λειτουργία που ο χρήστης έχει επιλέξει, φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

	Κατακόρυφος άξονας	Οριζόντιος άξονας
Λειτουργία X/T	X ή/και Y ή X+Y ή X-Y	Tα
Λειτουργία X/Y	X	Y

1. Στη λειτουργία X/T, απεικονίζονται τα σήματα σε σχέση με τον χρόνο. Υπάρχει επιπλέον η δυνατότητα να γίνουν και πράξεις μεταξύ των σημάτων και να απεικονισθεί το ολικό σήμα.
2. Στη λειτουργία X/Y, απεικονίζονται τα σήματα το ένα σε σχέση με το άλλο.

Ένας παλμογράφος πρέπει να μπορεί να απεικονίσει τάσεις από 100V έως 1μV και σε χρονικά διαστήματα από 1s έως 10ns. Είναι απαραίτητο λοιπόν ο χειριστής να μπορεί να καθορίζει την κλίμακα του οριζοντίου και του καθέτου άξονα έτσι ώστε μέσα στην οθόνη να υπάρχει αρκετό τμήμα του σήματος, για να μπορούν να γίνουν σωστές μετρήσεις και να εξαχθούν πληροφορίες με την μικρότερη δυνατή αβεβαιότητα. Για τον σκοπό αυτό υπάρχουν οι εξής βασικές ρυθμίσεις.

1. Επιλογείς **κέρδους** (Gain) για τα κανάλια **X** και **Y** σε [τάση/div]
Οι επιλογείς αυτοί, ένας για κάθε κανάλι, καθορίζουν την κλίμακα με την οποία απεικονίζονται τα σήματα. Παράδειγμα, η ρύθμιση 10 mV/div σημαίνει πως κάθε ένα τμήμα (div) του άξονα αντιστοιχεί σε τάση 10 mV.
2. Ποτενσιόμετρα **απόκλισης** (offset) για τα κανάλια **X** και **Y**.
Τα ποτενσιόμετρα αυτά, ένα για κάθε κανάλι, επιτρέπουν την μετατόπιση του μηδέν των αξόνων, σε βολικό σημείο, έτσι ώστε να διευκολύνονται οι μετρήσεις
3. Επιλογέας **βάσης χρόνου** [χρόνος/div]
Ο επιλογέας αυτός καθορίζει την κλίμακα με την οποία απεικονίζεται ο χρόνος. Παράδειγμα, η ρύθμιση 10 ms/div σημαίνει πως κάθε ένα τμήμα (div) του άξονα αντιστοιχεί σε χρονικό διάστημα 10 ms.
4. Ποτενσιόμετρα **απόκλισης** (offset) για τον άξονα του **χρόνου**
Το ποτενσιόμετρο αυτό επιτρέπει την μετατόπιση του άξονα των χρόνων σε βολικό σημείο ώστε να διευκολύνονται οι μετρήσεις.
5. Ποτενσιόμετρο **ρύθμισης του επιπέδου του σήματος** (trigger level) και Διακόπτης **επιλογής της κλίσης του σήματος** (trigger slope)
Το ποτενσιόμετρο αυτό καθορίζει το επίπεδο το οποίο πρέπει να υπερβεί το σήμα ώστε να αρχίσει η απεικόνιση. Ο διακόπτης καθορίζει την κλίση (αρνητική ή θετική) που το σήμα πρέπει να έχει εκείνη την στιγμή. Οι ρυθμίσεις αυτές είναι πολύ χρήσιμες, ειδικά σε **αναλογικού τύπου παλμογράφους** όπου στη οθόνη απεικονίζονται πολλοί κύκλοι (περίοδοι) του σήματος, οπότε για να είναι εφικτή η γραφική αναπαράσταση, η απεικόνιση κάθε κύκλου πρέπει να ξεκινά την σωστή στιγμή.
6. Διακόπτες DC/GND/AC (ένας για κάθε κανάλι)
Οι διακόπτες αυτοί καθορίζουν το είδος της σύζευξης των καναλιών με τον παλμογράφο. Στην θέση **DC** το σήμα εισέρχεται αυτούσιο. Στη θέση **AC** παρεμβάλλεται βαθυπερατό φίλτρο που κόβει την συνεχή (DC) συνιστώσα. Στην θέση **GND** το κανάλι γειώνεται και μπορεί να ρυθμιστεί το επίπεδο του μηδενός.

Επιπλέον αυτών των ρυθμίσεων υπάρχουν οι διακόπτες

1. add
Επιτρέπει την άθροιση των καναλιών A και B και την παραγωγή του σήματος A+B. Προσοχή τόσο τα κέρδη (Gain) όσο και οι αποκλίσεις (offset) επηρεάζουν το αποτέλεσμα.
2. Invert
Επιτρέπει την αντιστροφή του καναλιού B και την παραγωγή του σήματος -B
3. Εάν θέλουμε να αφαιρέσουμε δύο σήματα, αυτό μπορεί να γίνει και απ' ευθείας ως A-B.

Επίσης υπάρχουν τα ποτενσιόμετρα (ειδικά σε αναλογικούς παλμογράφους)

1. Intensity

Επιτρέπει την ρύθμιση της έντασης του ίχνους πάνω στην οθόνη

2. Focus

Επιτρέπει την εστίαση του ίχνους πάνω στην οθόνη

Όσο η τεχνολογία βελτιώνεται, νέες δυνατότητες προστίθενται. Έτσι, πλέον υπάρχουν ψηφιακοί παλμογράφοι που έχουν την δυνατότητα να εκτελέσουν πολύπλοκες μαθηματικές πράξεις, να εκτελούν μετασχηματισμό Fourier σε πραγματικό χρόνο (real time), να μετρούν αυτόματα συχνότητα, περίοδο, διάφορους χρόνους πάνω στο σήμα, πλάτος, ενεργό τιμή και άλλα χρήσιμα μεγέθη.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΥ

1. Κάθε ένα από τα ομοαξονικά καλώδια που χρησιμεύουν στην μεταφορά του σήματος έχει δύο απολήξεις. Μια είναι η μετρητική λαβή (probe) και η άλλη είναι η γείωση. Η μετρητική λαβή τοποθετείται στο θετικό του σήματος το οποίο θέλουμε να μετρήσουμε. **ΠΡΟΣΟΧΗ** οι γειώσεις και των δυο καναλιών πρέπει να είναι στη γείωση του κυκλώματος (που πρέπει να είναι και η γείωση του παλμογράφου) ή στον κόμβο αναφοράς (σε περίπτωση που το κύκλωμα τροφοδοτείται από μπαταρία και η τροφοδοσία του είναι "floating"). **Σε αντίθετη περίπτωση μπορεί να καταστραφεί ο παλμογράφος.** Τα δύο κανάλια έχουν κοινή γείωση, οπότε αρκεί να συνδεθεί η μία από τις δύο γειώσεις από τα καλώδια.
2. Όταν ξεκινάει ένα πείραμα,
 - a. Τα κανάλια τοποθετούνται στο GND και ρυθμίζεται το επίπεδο του μηδενός.
 - b. Οι ρυθμίσεις των κερδών και του χρόνου τοποθετούνται σε μεγάλες τιμές και σταδιακά χαμηλώνουν μέχρις ότου το σήμα να φαίνεται καλά στην οθόνη.
3. Ρυθμίζεται το επίπεδο σκανδαλισμού (triggering) έτσι ώστε το σήμα να είναι σταθερό.

4. Πολύμετρα

Τα πολύμετρα (multimeter ή multimeter) είναι όργανα που ανάλογα με την περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως,

1. Βολτόμετρα, για την μέτρηση τάσης (RMS)
2. Αμπερόμετρα, για την μέτρηση ρεύματος (RMS)
3. Ωμόμετρα, για την μέτρηση αντιστάσεων
4. Συχνόμετρα, για την μέτρηση συχνότητας
5. Μέτρηση χωρητικότητας πυκνωτή



Εικόνα 6. Πολύμετρο της Agilent.

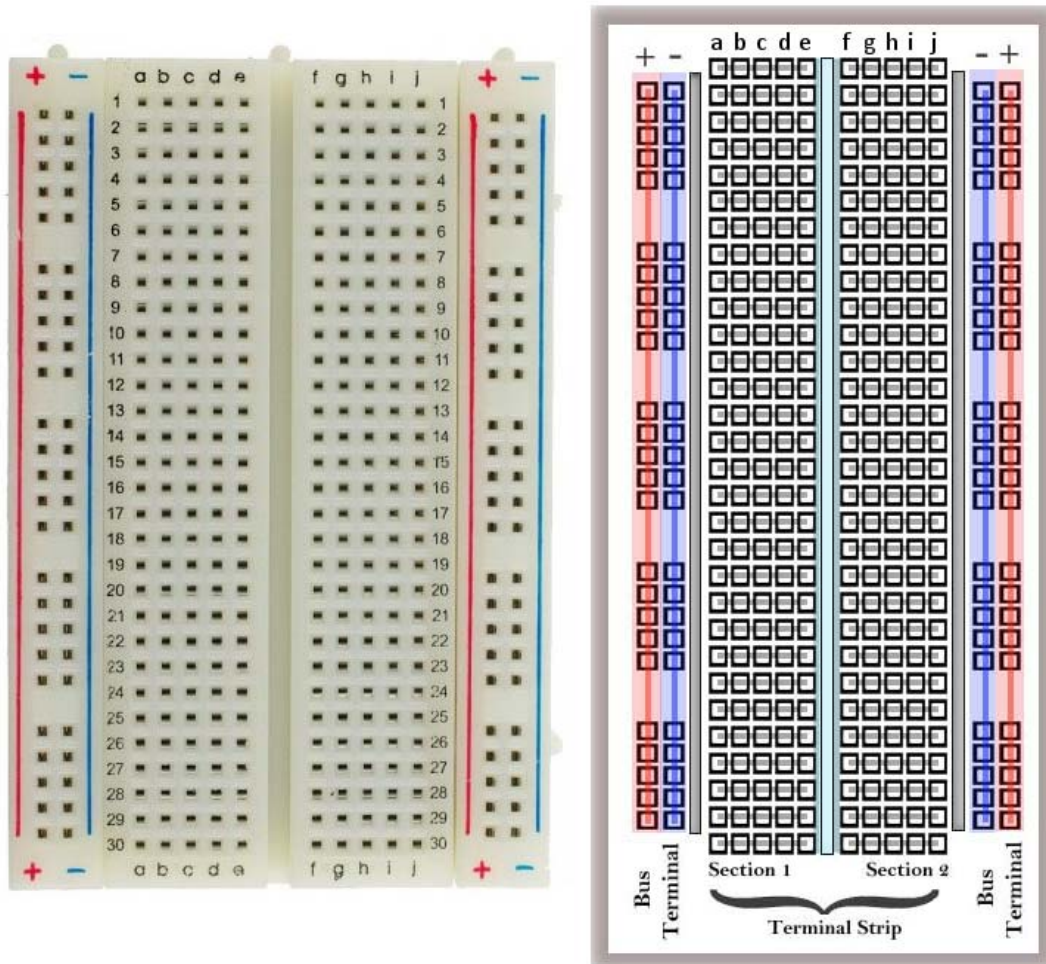
Τα πολύμετρα γενικά δεν είναι τόσο ταχείας απόκρισης όσο είναι ένας παλμογράφος και δεν μπορούν να αποτυπώσουν στιγμιαία σήματα που αλλάζουν γρήγορα, παρά μόνο ως μέση τιμή. Η επιλογή του τρόπου λειτουργίας γίνεται από τον χρήστη μέσω ενός κεντρικού στροφικού επιλογέα και βοηθητικών πλήκτρων, αν και από όργανο σε όργανο υπάρχουν διαφορές. Με το στροφικό επιλογέα συνήθως επιλέγουμε τον τρόπο λειτουργίας π.χ. βολτόμετρο, αμπερόμετρο και την περιοχή μέτρησης του οργάνου, ενώ τα πλήκτρα μας δίνουν επιπλέον επιλογές. Το αποτέλεσμα της μέτρησης εμφανίζεται σε ψηφιακή οθόνη.

Το σήμα εισέρχεται στο πολύμετρο μέσω δυο θηλυκών βυσμάτων (μπανάνες), ενός **κόκκινου** (+) και ενός **μαύρου** (-). Το μαύρο βύσμα είναι κοινό για όλες τις λειτουργίες ενώ το κόκκινο είναι διαφορετικό ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας. Το πολύμετρο δεν είναι γειωμένο, όπως είναι ένας παλμογράφος.

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η μέτρηση ρευμάτων ή μεγάλων τάσεων προϋποθέτει χρήση των κατάλληλων υποδοχών και συνεργασία με την κατάλληλη θέση του στροφικού επιλογέα.

5. Breadboard

Ένα breadboard (πλακέτα προτυποποίησης) χρησιμοποιείται για την εύκολη και γρήγορη υλοποίηση κυκλωμάτων χωρίς να χρειάζεται να γίνουν κολλήσεις (soldering). Για το λόγο αυτό ονομάζεται εναλλακτικά και solderless breadboard. Επειδή δεν χρειάζονται κολλήσεις, είναι εύκολο να γίνουν επιτόπου αλλαγές στις συνδέσεις των στοιχείων του κυκλώματος και στα ίδια τα στοιχεία, π.χ. αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία, ολοκληρωμένα κυκλώματα (IC – integrated circuits). Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι τα στοιχεία του κυκλώματος μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν όταν τελειώσουν οι δοκιμές.



(α)

(β)

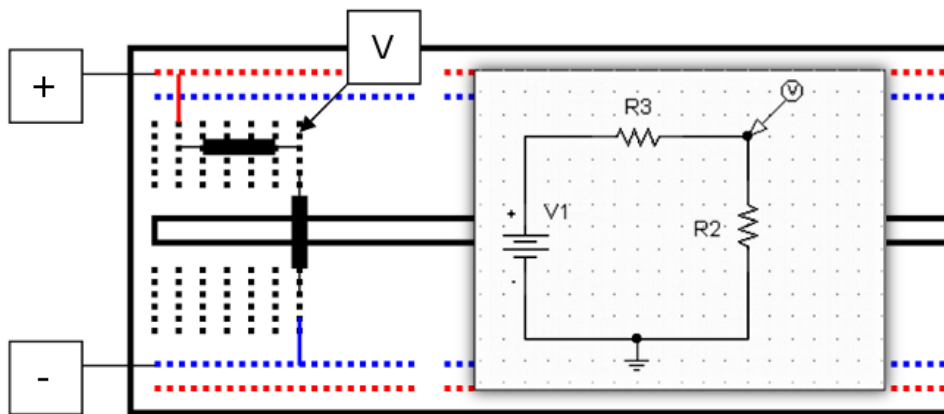
Εικόνα 7. (α) Breadboard, (β) διάγραμμα.

Σε ένα breadboard διακρίνουμε δύο βασικές περιοχές, το Bus Terminal και το Terminal Strip, το οποίο χωρίζεται σε δύο τμήματα (Section 1, Section 2). Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό ενός breadboard είναι οι γραμμές ίσου δυναμικού. Στο **Bus Terminal** κάθε στήλη έχει το ίδιο δυναμικό (κόκκινη (+) και μπλε (-) γραμμή, Εικόνα 7β). Στο **Terminal Strip** κάθε οριζόντια γραμμή έχει το ίδιο δυναμικό (γκρι γραμμές, Εικόνα 7β), δηλαδή παράλληλες οριζόντιες γραμμές έχουν καταρχάς διαφορετικό δυναμικό. Εσωτερικά, οι γραμμές ίσου δυναμικού ενώνονται με λεπτά ευθύγραμμα τμήματα χαλκού. Οι διαφορετικές περιοχές του breadboard (Bus Terminal αριστερά, Section 1, Section 2, Bus Terminal δεξιά) είναι απομονωμένες μεταξύ τους και για να δημιουργήσουμε συνεχείς συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών περιοχών χρησιμοποιούμε μονωμένα καλώδια (σχεδόν) μηδενικής αντίστασης (jumper wire ή jumper).

Το Bus Terminal χρησιμοποιείται για τη σύνδεση της παροχής στο breadboard, στο (+) συνδέεται ο θετικός πόλος (π.χ. από ένα τροφοδοτικό ή μία μπαταρία) και στο (-) η γείωση. Ένα breadboard έχει συνήθως πάνω από ένα Bus Terminal, το οποίο επιτρέπει τη σύνδεση διαφορετικών πηγών, μία σε κάθε Bus Terminal.

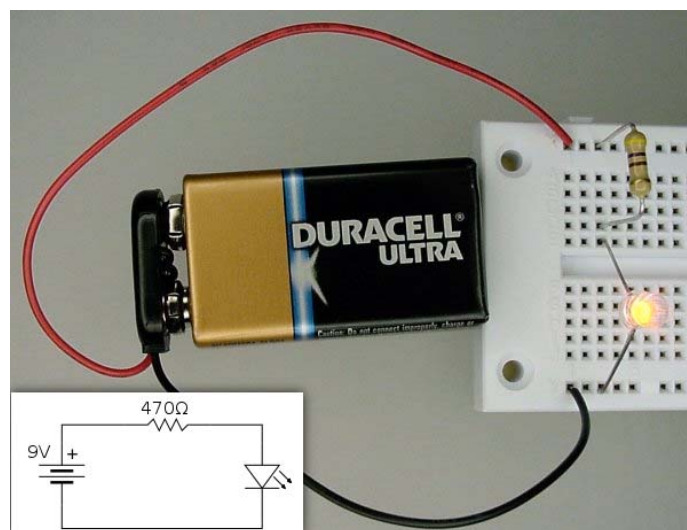
Στο Terminal Strip, το οποίο συνήθως είναι χωρισμένο σε παραπάνω από ένα τμήματα τα οποία διαχωρίζονται από μία κάθετη γραμμή, υλοποιείται το κύκλωμα. Τα γράμματα και οι αριθμοί επάνω στο breadboard χρησιμοποιούνται για την αναφορά σε ένα σημείο της πλακέτας.

Στην Εικόνα 8 δείχνεται σχηματικά πώς ένα απλό κύκλωμα διαίρεσης τάσης υλοποιείται πάνω σε ένα breadboard. Το (+) του Bus Terminal συνδέεται στο (+) της παροχής V_1 και το (-) στην γείωσή της. Η αντίσταση R_3 συνδέεται με ένα καλώδιο στο (+) και η R_2 με ένα καλώδιο στο (-). Το κοινό άκρο των αντιστάσεων R_3 και R_2 έχει ίδιο δυναμικό V , άρα τα άκρα αυτά θα είναι στην ίδια σειρά.



Εικόνα 8. Κύκλωμα διαίρεσης τάσης.

Στην Εικόνα 9 υλοποιείται ένα κύκλωμα μίας πηγής, μίας αντίστασης και ενός LED. Το (+) της πηγής συνδέεται στο ένα άκρο της αντίστασης, το άλλο άκρο της αντίστασης συνδέεται στην άνοδο (anode) του LED και η κάθοδος (cathode) του LED συνδέεται στο (-) της πηγής. Χρησιμοποιήθηκε μία μπαταρία 9 V, μία αντίσταση 470 Ω και ένα LED. Η αντίσταση και η πηγή επιλέχθηκαν έτσι ώστε η τάση και το ρεύμα στο LED να είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές του. Επειδή η αντίσταση και το LED είναι σε σειρά, η αντίσταση θα μπορούσε να είναι και μετά το LED.



Εικόνα 9. Κύκλωμα LED σε breadboard.