

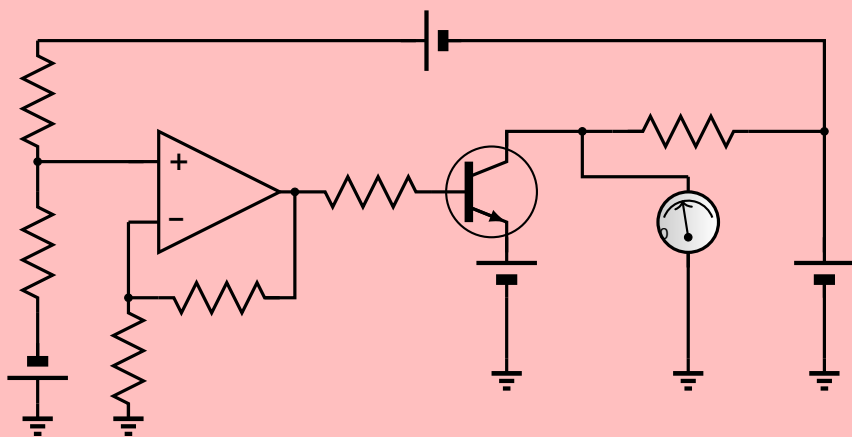


**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ**  
University of the Peloponnese

ΣΧΟΛΗ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΓΙΑΝΝΗΣ ΛΙΑΠΕΡΔΟΣ

# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ



ΣΠΑΡΤΗ 2024



# ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΓΙΑΝΝΗΣ ΛΙΑΠΕΡΔΟΣ  
Επίκουρος Καθηγητής  
Πανεπιστημίου Πελοποννήσου

ΣΠΑΡΤΗ 2024

Γιάννης Λιαπέρδος  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

Copyright © Γιάννης Λιαπέρδος, 2024



Το παρόν έργο αδειοδοτείται υπό τους όρους της άδειας Creative Commons Αναφορά Δημιουργού – Μη Εμπορική Χρήση – Όχι Παράγωγα Έργα 3.0. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής επισκεφτείτε τον ιστότοπο <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/gr/>



**Η** παρούσα σειρά εργαστηριακών ασκήσεων καλύπτει το εργαστηριακό μέρος του μαθήματος “Ηλεκτρονική” το οποίο εντάσσεται στο πρόγραμμα σπουδών του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων της Σχολής Οικονομίας και Τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου.

Δεδομένου ότι για αρκετούς φοιτητές<sup>1</sup> του Τμήματος το συγκεκριμένο εργαστήριο αποτελεί την πρώτη τους επαφή σε πρακτικό επίπεδο με τα ηλεκτρικά κυκλώματα και με το υλικό (hardware) κατ’ επέκταση, η εξάσκηση στο συγκεκριμένο εργαστήριο καλύπτει μεγάλο μέρος των βασικών δεξιοτήτων και γνώσεων που είναι απαραίτητα για την ανταπόκρισή τους στο χειρισμό και στη μελέτη σύνθετων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Η προτεινόμενη σειρά ασκήσεων επιχειρεί την παροχή ισορροπημένων γνώσεων τόσο στην πρακτική υλοποίηση ηλεκτρικών κυκλωμάτων στο εργαστήριο, όσο και στην, εξίσου σημαντική, σχεδίαση και προσομοίωση κυκλωμάτων με τη χρήση υπολογιστικών εργαλείων.

Οι εργαστηριακές ασκήσεις έχουν δομηθεί με βάση το περιεχόμενο, και όχι με βάση τον χρόνο εκτέλεσής τους. Αυτό σημαίνει πως κάποιες μπορούν να εκτελεστούν μαζί, ανάλογα με τον διαθέσιμο χρόνο και το επίπεδο των φοιτητών, ενώ άλλες, για τις οποίες απαιτείται μεγαλύτερος χρόνος εκτέλεσης, μπορεί να χρειαστεί να κατατηθούν.

Μετά από την αρχική περίοδο δοκιμής και αξιολόγησης, η παρούσα σειρά ασκήσεων θα αναθεωρηθεί στα σημεία τα οποία θα εντοπισθούν κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης με τους ασκούμενους, τους οποίους και ευχαριστώ προκαταβολικά για τη συμβολή τους στη βελτίωση του υλικού.

Το καλοκαίρι του 2024 στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής πραγματοποιήθηκε εκτεταμένη συντήρηση του εξοπλισμού. Για τη συμβολή τους θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνάδελφο Γιώργο Παπαδάκο, τεχνικό του Τμήματός μας, όπως και τους φοιτητές Δημήτρη Θεοδοσόπουλο, Μιχάλη Καλλιγιάννη, Χρήστο Σταματόπουλο και Αλέξανδρο Σχοινά, χωρίς τη βοήθεια των οποίων το αποτέλεσμα θα ήταν σαφώς υποδεέστερο από αυτό που τελικά επιτεύχθηκε.

Σπάρτη, Σεπτέμβριος 2024  
Γιάννης Λιαπέρδος

---

<sup>1</sup> στο εξής, με τον όρο “φοιτητής” θα νοείται “ο φοιτητής ή η φοιτήτρια”



## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                   | Σελ.      |
|---------------------------------------------------|-----------|
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ</b>                         | <b>13</b> |
| <b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b>                          | <b>17</b> |
| <b>1 ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ, ΑΣΦΑΛΕΙΑ</b>            | <b>19</b> |
| 1.1 Γενικά                                        | 19        |
| 1.2 Προαπαιτούμενα                                | 19        |
| 1.3 Διεξαγωγή του Εργαστηρίου                     | 19        |
| 1.4 Αξιολόγηση                                    | 20        |
| 1.5 Απουσίες                                      | 20        |
| 1.6 Συμπεριφορά                                   | 20        |
| 1.7 Ασφάλεια                                      | 20        |
| 1.8 Εκτέλεση των Ασκήσεων                         | 21        |
| 1.9 Οδηγός Υγιεινής και Ασφάλειας                 | 21        |
| 1.9.1 Είσοδος στο Εργαστήριο                      | 21        |
| 1.9.2 Κίνδυνοι                                    | 22        |
| 1.9.3 Γενικοί Κανόνες Ασφάλειας                   | 22        |
| 1.9.4 Ασφάλεια από Ηλεκτρικούς Κινδύνους          | 24        |
| 1.9.5 Ασφάλεια από την Έκθεση σε Ακτινοβολίες     | 25        |
| 1.9.6 Ασφάλεια από την Επαφή με Επιβλαβείς Ουσίες | 25        |
| 1.10 Καταστάσεις Έκτακτης Ανάγκης                 | 26        |
| 1.10.1 Φωτιά στο Εργαστήριο                       | 26        |
| 1.10.2 Σεισμός                                    | 26        |
| 1.10.3 Πρώτες Βοήθειες                            | 26        |
| 1.11 Χρήσιμα Τηλέφωνα                             | 27        |
| <b>2 ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ</b>      | <b>29</b> |
| 2.1 Σκοπός της Άσκησης                            | 29        |
| 2.2 Θεωρητικό Μέρος                               | 29        |
| 2.2.1 Τροφοδοτικά Συνεχούς                        | 29        |
| 2.2.2 Πολύμετρα                                   | 31        |
| 2.2.3 Γεννήτριες Σήματος ή Ταλαντωτές             | 32        |
| 2.3 Εργαστηριακό Μέρος                            | 32        |
| 2.3.1 Μέτρηση συνεχούς τάσης                      | 32        |
| 2.3.2 Μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης                | 33        |
| 2.3.3 Μέτρηση συνεχούς ρεύματος                   | 33        |
| 2.3.4 Μέτρηση εναλλασσόμενου ρεύματος             | 34        |

|          |                                                         |           |
|----------|---------------------------------------------------------|-----------|
| 2.3.5    | Μέτρηση αντίστασης . . . . .                            | 34        |
| 2.3.6    | Υπολογισμός αντίστασης . . . . .                        | 34        |
| 2.3.7    | Χρήση τριπλού τροφοδοτικού . . . . .                    | 34        |
| 2.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                              | 35        |
| <b>3</b> | <b>ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟΣ</b>                                      | <b>37</b> |
| 3.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                            | 37        |
| 3.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                               | 37        |
| 3.2.1    | Γενικά . . . . .                                        | 37        |
| 3.2.2    | Αρχή Λειτουργίας του Αναλογικού Παλμογράφου . . . . .   | 37        |
| 3.2.3    | Παλμογράφος HM303-6 . . . . .                           | 41        |
| 3.2.4    | Σχήματα Lissajous . . . . .                             | 43        |
| 3.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                            | 43        |
| 3.3.1    | Δημιουργία Ημιτονικού Σήματος . . . . .                 | 43        |
| 3.3.2    | Δημιουργία Ημιτονικού Σήματος με DC Συνιστώσα . . . . . | 43        |
| 3.3.3    | Δημιουργία Τετραγωνικών Παλμών . . . . .                | 44        |
| 3.3.4    | Φασματικό Περιεχόμενο Σήματος . . . . .                 | 44        |
| 3.3.5    | Σχήματα Lissajous . . . . .                             | 44        |
| 3.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                              | 44        |
| <b>4</b> | <b>ΠΛΑΚΕΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ (BREADBOARD)</b>                  | <b>45</b> |
| 4.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                            | 45        |
| 4.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                               | 45        |
| 4.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                            | 47        |
| 4.3.1    | Μέρος Α . . . . .                                       | 47        |
| 4.3.2    | Μέρος Β . . . . .                                       | 47        |
| 4.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                              | 48        |
| <b>5</b> | <b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ</b>              | <b>51</b> |
| 5.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                            | 51        |
| 5.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                               | 51        |
| 5.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                            | 56        |
| 5.3.1    | Νόμος του Ohm . . . . .                                 | 56        |
| 5.3.2    | Κανόνες του Kirchhoff . . . . .                         | 56        |
| 5.3.3    | Ισοδύναμη Αντίσταση Δικτυωμάτων Αντιστάτων . . . . .    | 57        |
| 5.3.4    | Διαιρέτες Τάσης . . . . .                               | 57        |
| 5.3.5    | Πυκνωτές . . . . .                                      | 57        |
| 5.3.6    | Πηγία . . . . .                                         | 58        |
| 5.3.7    | Μετασχηματιστές . . . . .                               | 59        |
| 5.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                              | 59        |
| <b>6</b> | <b>ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΩΝ</b>                        | <b>61</b> |
| 6.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                            | 61        |
| 6.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                               | 61        |
| 6.2.1    | Αντιστάτες σε σειρά και παράλληλα . . . . .             | 61        |
| 6.2.2    | Μεταβλητοί Αντιστάτες . . . . .                         | 62        |
| 6.2.3    | Διαιρέτες τάσης – διαιρέτες ρεύματος . . . . .          | 63        |
| 6.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                            | 64        |
| 6.3.1    | Σύνδεση Αντιστατών σε Σειρά . . . . .                   | 64        |
| 6.3.2    | Παράλληλη Σύνδεση Αντιστατών . . . . .                  | 64        |

|           |                                                   |           |
|-----------|---------------------------------------------------|-----------|
| 6.3.3     | Διαιρέτης Τάσης                                   | 64        |
| 6.4       | Περαιτέρω Μελέτη                                  | 65        |
| <b>7</b>  | <b>ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ</b>                        | <b>67</b> |
| 7.1       | Σκοπός της Άσκησης                                | 67        |
| 7.2       | Θεωρητικό Μέρος                                   | 67        |
| 7.3       | Εργαστηριακό Μέρος                                | 67        |
| 7.3.1     | Μέρος Α                                           | 67        |
| 7.3.2     | Μέρος Β                                           | 68        |
| <b>8</b>  | <b>ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΤΑΣΗΣ</b>           | <b>69</b> |
| 8.1       | Σκοπός της Άσκησης                                | 69        |
| 8.2       | Θεωρητικό Μέρος                                   | 69        |
| 8.3       | Εργαστηριακό Μέρος                                | 70        |
| 8.3.1     | Μέρος Α                                           | 70        |
| 8.3.2     | Μέρος Β                                           | 70        |
| 8.3.3     | Μέρος Γ                                           | 71        |
| 8.4       | Περαιτέρω Μελέτη                                  | 71        |
| <b>9</b>  | <b>ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ ΘΗΕΝΕΝΙΝ – NORTON</b>                | <b>73</b> |
| 9.1       | Σκοπός της Άσκησης                                | 73        |
| 9.2       | Θεωρητικό Μέρος                                   | 73        |
| 9.2.1     | Γενικά                                            | 73        |
| 9.2.2     | Θεώρημα Thévenin                                  | 73        |
| 9.2.3     | Θεώρημα Norton                                    | 74        |
| 9.2.4     | Διαικτότητα των θεωρημάτων Thévenin και Norton    | 75        |
| 9.3       | Εργαστηριακό Μέρος                                | 75        |
| 9.3.1     | Μέρος Α – Θεώρημα Thévenin                        | 75        |
| 9.3.2     | Μέρος Β – Θεώρημα Norton                          | 76        |
| 9.4       | Περαιτέρω Μελέτη                                  | 76        |
| <b>10</b> | <b>ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΓΩΝ ΤΑΣΗΣ / ΡΕΥΜΑΤΟΣ</b> | <b>77</b> |
| 10.1      | Σκοπός της Άσκησης                                | 77        |
| 10.2      | Θεωρητικό Μέρος                                   | 77        |
| 10.2.1    | Πηγές τάσης                                       | 77        |
| 10.2.2    | Πηγές ρεύματος                                    | 78        |
| 10.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                | 79        |
| 10.3.1    | Πηγή τάσης                                        | 79        |
| 10.3.2    | Πηγή ρεύματος                                     | 79        |
| 10.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                  | 79        |
| <b>11</b> | <b>ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE</b>                          | <b>81</b> |
| 11.1      | Σκοπός της Άσκησης                                | 81        |
| 11.2      | Θεωρητικό Μέρος                                   | 81        |
| 11.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                | 82        |
| 11.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                  | 83        |
| <b>12</b> | <b>ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΔΙΟΔΩΝ</b>                     | <b>85</b> |
| 12.1      | Σκοπός της Άσκησης                                | 85        |
| 12.2      | Θεωρητικό Μέρος                                   | 85        |

|           |                                                                       |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------|------------|
| 12.2.1    | Γενικά . . . . .                                                      | 85         |
| 12.2.2    | Μοντέλα λειτουργίας . . . . .                                         | 86         |
| 12.2.3    | Χαρακτηριστικά λειτουργίας . . . . .                                  | 88         |
| 12.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 89         |
| 12.3.1    | Σχεδίαση Χαρακτηριστικών I-V . . . . .                                | 89         |
| 12.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 91         |
| <b>13</b> | <b>ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ / ΣΤΑΘΕΡΟ-ΠΟΙΗΣΗ</b> | <b>93</b>  |
| 13.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 93         |
| 13.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                                             | 93         |
| 13.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 93         |
| 13.3.1    | Μελέτη ημιανόρθωσης . . . . .                                         | 93         |
| 13.3.2    | Μελέτη εξομάλυνσης . . . . .                                          | 94         |
| 13.3.3    | Μελέτη πλήρους ανόρθωσης . . . . .                                    | 95         |
| 13.3.4    | Σταθεροποίηση τάσης . . . . .                                         | 96         |
| 13.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 97         |
| <b>14</b> | <b>ΨΑΛΙΔΙΣΗ ΤΑΣΗΣ</b>                                                 | <b>99</b>  |
| 14.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 99         |
| 14.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                                             | 99         |
| 14.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 99         |
| 14.3.1    | Σχεδίαση ψαλιδιστή τάσης (voltage clipper) με διόδους Zener . . . . . | 99         |
| 14.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 99         |
| <b>15</b> | <b>ΟΘΟΝΗ ΕΠΤΑ ΤΜΗΜΑΤΩΝ</b>                                            | <b>101</b> |
| 15.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 101        |
| 15.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                                             | 101        |
| 15.2.1    | Οθόνη επτά τμημάτων . . . . .                                         | 101        |
| 15.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 102        |
| 15.3.1    | Επαλήθευση λειτουργίας οθόνης επτά τμημάτων . . . . .                 | 102        |
| 15.3.2    | Υλοποίηση αποκωδικοποιητή οθόνης επτά τμημάτων . . . . .              | 102        |
| 15.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 102        |
| <b>16</b> | <b>ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΗΣ ΒΑΣΗΣ</b>                | <b>105</b> |
| 16.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 105        |
| 16.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                                             | 105        |
| 16.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 105        |
| 16.3.1    | Χάραξη χαρακτηριστικών κοινής βάσης . . . . .                         | 105        |
| 16.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 106        |
| <b>17</b> | <b>ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ (BUFFER)</b>                  | <b>107</b> |
| 17.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 107        |
| 17.2      | Θεωρητικό Μέρος . . . . .                                             | 107        |
| 17.3      | Εργαστηριακό Μέρος . . . . .                                          | 107        |
| 17.3.1    | Μελέτη απομονωτή με διπολικό τρανζίστορ . . . . .                     | 107        |
| 17.4      | Περαιτέρω Μελέτη . . . . .                                            | 108        |
| <b>18</b> | <b>ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ</b>                            | <b>109</b> |
| 18.1      | Σκοπός της Άσκησης . . . . .                                          | 109        |

|           |                                                      |            |
|-----------|------------------------------------------------------|------------|
| 18.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 109        |
| 18.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 109        |
| 18.3.1    | Μελέτη διπολικού τρανζίστορ ως διακόπτη              | 109        |
| 18.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 109        |
| <b>19</b> | <b>ΑΚΟΛΟΥΘΟΣ ΕΚΠΟΜΠΟΥ</b>                            | <b>111</b> |
| 19.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 111        |
| 19.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 111        |
| 19.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 111        |
| 19.3.1    | Μελέτη κυκλωμάτων ακόλουθου εκπομπού                 | 111        |
| 19.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 112        |
| <b>20</b> | <b>ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ</b>       | <b>113</b> |
| 20.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 113        |
| 20.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 113        |
| 20.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 113        |
| 20.3.1    | Μελέτη πηγής ρεύματος με διπολικό τρανζίστορ         | 113        |
| 20.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 114        |
| <b>21</b> | <b>ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΟΙΝΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ</b>               | <b>115</b> |
| 21.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 115        |
| 21.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 115        |
| 21.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 115        |
| 21.3.1    | Μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού (α' περίπτωση) | 115        |
| 21.3.2    | Μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού (β' περίπτωση) | 116        |
| 21.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 116        |
| <b>22</b> | <b>ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΤΗ</b>   | <b>119</b> |
| 22.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 119        |
| 22.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 119        |
| 22.2.1    | Τελεστικός Ενισχυτής                                 | 119        |
| 22.2.2    | Ενίσχυση Τάσης με Τελεστικό Ενισχυτή                 | 121        |
| 22.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 121        |
| 22.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 123        |
| <b>23</b> | <b>ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ</b>            | <b>125</b> |
| 23.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 125        |
| 23.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 125        |
| 23.2.1    | Αναστρέφων Ενισχυτής Άθροισης με Τελεστικό Ενισχυτή  | 125        |
| 23.2.2    | Ολοκληρωτής με Τελεστικό Ενισχυτή                    | 125        |
| 23.3      | Εργαστηριακό Μέρος                                   | 126        |
| 23.3.1    | Αναγνώριση Κυκλώματος με Τελεστικό Ενισχυτή          | 126        |
| 23.3.2    | Μελέτη Κυκλώματος Ολοκληρωτή                         | 127        |
| 23.4      | Περαιτέρω Μελέτη                                     | 128        |
| <b>24</b> | <b>ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ</b>                           | <b>129</b> |
| 24.1      | Σκοπός της Άσκησης                                   | 129        |
| 24.2      | Θεωρητικό Μέρος                                      | 129        |
| 24.2.1    | Η έννοια του φίλτρου                                 | 129        |
| 24.2.2    | Παθητικά Φίλτρα Πρώτης Τάξης                         | 129        |

|                      |                                                                                       |            |
|----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 24.3                 | Εργαστηριακό Μέρος                                                                    | 131        |
| 24.3.1               | Φίλτρο RC LPF                                                                         | 131        |
| 24.3.2               | Φίλτρο RC HPF                                                                         | 132        |
| 24.3.3               | Φίλτρο RL LPF (μέσω προσομοίωσης)                                                     | 132        |
| 24.3.4               | Φίλτρο RL HPF (μέσω προσομοίωσης)                                                     | 132        |
| 24.4                 | Περαιτέρω Μελέτη                                                                      | 132        |
| <b>Παράρτημα I</b>   | <b>Θέσεις Εξοπλισμού Πυρόσβεσης και Δίοδοι Διαφυγής σε Περίπτωση Έκτακτης Ανάγκης</b> | <b>133</b> |
| <b>Παράρτημα II</b>  | <b>Υπόδειγμα Υπεύθυνης Δήλωσης</b>                                                    | <b>135</b> |
| <b>Παράρτημα III</b> | <b>Χρωματικός Κώδικας Αντιστάσεων</b>                                                 | <b>137</b> |
| <b>Παράρτημα IV</b>  | <b>Κώδικας ηλεκτρολυτικών και κεραμικών πυκνωτών</b>                                  | <b>139</b> |
| <b>Παράρτημα V</b>   | <b>Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές</b>                                                        | <b>141</b> |
| <b>Παράρτημα VI</b>  | <b>Χρήσιμοι σύνδεσμοι</b>                                                             | <b>143</b> |
| <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>  |                                                                                       | <b>145</b> |



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| ΣΧΗΜΑ                                                                                         | Σελ. |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 Τροφοδοτικό LS1130 . . . . .                                                              | 30   |
| 2.2 Τροφοδοτικό LS1330 . . . . .                                                              | 30   |
| 2.3 Αναλογικό πολύμετρο 114-B . . . . .                                                       | 31   |
| 2.4 Ψηφιακό πολύμετρο UT60A . . . . .                                                         | 32   |
| 2.5 Γεννήτρια συναρτήσεων LS300 . . . . .                                                     | 33   |
| 3.1 Απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων αναλογικού παλμογράφου . . . . .                          | 38   |
| 3.2 Διάγραμμα βαθμίδων ενισχυτή σήματος εισόδου . . . . .                                     | 39   |
| 3.3 Λειτουργία σάρωσης . . . . .                                                              | 40   |
| 3.4 Γενική όψη παλμογράφου HM303-6 . . . . .                                                  | 41   |
| 3.5 Πρόσωση παλμογράφου HM303-6 . . . . .                                                     | 42   |
| 3.6 Σχήματα Lissajous για διαφορετικές τιμές των συχνοτήτων α και b . . . . .                 | 43   |
| 4.1 Δομή πλακέτας πρωτοτύπων και διασύνδεση οπών . . . . .                                    | 46   |
| 4.2 Παραδείγματα ορθής και εσφαλμένης τοποθέτησης εξαρτημάτων σε πλακέτα πρωτοτύπων . . . . . | 47   |
| 4.3 Παράδειγμα σωστής διασύνδεσης εξαρτημάτων σε πλακέτα πρωτοτύπων . . . . .                 | 48   |
| 4.4 Υλοποίηση κυκλώματος #1 . . . . .                                                         | 48   |
| 4.5 Υλοποίηση κυκλώματος #2 . . . . .                                                         | 49   |
| 4.6 Υλοποίηση κυκλώματος #3 . . . . .                                                         | 49   |
| 4.7 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #1 . . . . .                                               | 49   |
| 4.8 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #2 . . . . .                                               | 49   |
| 4.9 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #3 . . . . .                                               | 50   |
| 4.10 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #4 . . . . .                                              | 50   |
| 4.11 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #5 . . . . .                                              | 50   |
| 5.1 Απλό κύκλωμα για προσομοίωση . . . . .                                                    | 52   |
| 5.2 Αρχείο SPICE για την ανάλυση του κυκλώματος του Σχ. 5.1 . . . . .                         | 53   |
| 5.3 Γραφήματα από την AC ανάλυση του κυκλώματος του Σχ. 5.1 . . . . .                         | 55   |
| 5.4 Γραφήματα από την ανάλυση μεταβατικής κατάστασης του κυκλώματος του Σχ. 5.1 . . . . .     | 55   |
| 6.1 Ολική αντίσταση αντιστατών σε σύνδεση σε σειρά και παράλληλα . . . . .                    | 61   |
| 6.2 Ολική αγωγιμότητα αντιστατών σε σύνδεση σε σειρά και παράλληλα . . . . .                  | 62   |
| 6.3 Κοινοί τύποι μεταβλητών αντιστατών . . . . .                                              | 62   |
| 6.4 Κυκλωματικό σύμβολο και δομή μεταβλητού αντιστάτη . . . . .                               | 62   |
| 6.5 Μεταβολή των τιμών μεταβλητών αντιστατών . . . . .                                        | 63   |
| 6.6 Διαιρέτες τάσης – ρεύματος . . . . .                                                      | 63   |

|      |                                                                                                                         |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.7  | Συνδεσμολογία τριών αντιστατών σε σειρά . . . . .                                                                       | 64  |
| 6.8  | Παράλληλη συνδεσμολογία τριών αντιστατών . . . . .                                                                      | 65  |
| 8.1  | Χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης αντιστάτη . . . . .                                                                     | 69  |
| 8.2  | Παραγωγή χαρακτηριστικής ρεύματος – τάσης στον παλμογράφο . . . . .                                                     | 70  |
| 9.1  | Θεώρημα Thévenin . . . . .                                                                                              | 74  |
| 9.2  | Τάση και αντίσταση Thévenin . . . . .                                                                                   | 74  |
| 9.3  | Θεώρημα Norton . . . . .                                                                                                | 75  |
| 9.4  | Δυσκρότητα θεωρημάτων Thévenin-Norton . . . . .                                                                         | 75  |
| 9.5  | Δικτύωμα #1 . . . . .                                                                                                   | 76  |
| 9.6  | Δικτύωμα #2 . . . . .                                                                                                   | 76  |
| 9.7  | Δικτύωμα #3 . . . . .                                                                                                   | 76  |
| 10.1 | Πραγματική πηγή τάσης . . . . .                                                                                         | 77  |
| 10.2 | Σύμβολα πηγών τάσης . . . . .                                                                                           | 78  |
| 10.3 | Σύμβολα πηγών ρεύματος . . . . .                                                                                        | 78  |
| 11.1 | Γέφυρα Wheatstone . . . . .                                                                                             | 81  |
| 11.2 | Υπολογισμός τιμής άγνωστης αντίστασης με τη βοήθεια του διαιρέτη τάσης του ενός κλάδου της γέφυρας Wheatstone . . . . . | 83  |
| 12.1 | Πραγματική διόδος (πάνω) και αντιστοιχία με το κυκλωματικό της σύμβολο . . . .                                          | 85  |
| 12.2 | Χαρακτηριστική IV ιδανικής διόδου . . . . .                                                                             | 86  |
| 12.3 | Χαρακτηριστική IV τυπικής διόδου και ισοδύναμο κύκλωμα . . . . .                                                        | 86  |
| 12.4 | Χαρακτηριστική IV τυπικής διόδου με αντίσταση και ισοδύναμο κύκλωμα . . . . .                                           | 87  |
| 12.5 | Χαρακτηριστική I-V διόδου πυριτίου . . . . .                                                                            | 87  |
| 12.6 | Γραμμή φορτίου . . . . .                                                                                                | 88  |
| 12.7 | Κύκλωμα για τη λήψη χαρακτηριστικής I-V διόδου . . . . .                                                                | 89  |
| 12.8 | Υλοποίηση κυκλώματος για τη λήψη χαρακτηριστικής I-V διόδου . . . . .                                                   | 90  |
| 13.1 | Κύκλωμα ημιανόρθωσης . . . . .                                                                                          | 94  |
| 13.2 | Κύκλωμα ημιανόρθωσης στο breadboard . . . . .                                                                           | 94  |
| 13.3 | Κύκλωμα ημιανόρθωσης και εξομάλυνσης . . . . .                                                                          | 95  |
| 13.4 | Κύκλωμα ημιανόρθωσης και εξομάλυνσης στο breadboard . . . . .                                                           | 95  |
| 13.5 | Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα διόδων . . . . .                                                                    | 96  |
| 13.6 | Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με διακριτή γέφυρα διόδων . . . . .                                                           | 96  |
| 13.7 | Κύκλωμα ημιανόρθωσης / εξομάλυνσης / σταθεροποίησης εναλλασσόμενης τάσης                                                | 97  |
| 14.1 | Κύκλωμα ψαλιδιστή τάσης (voltage clipper) με διόδους Zener . . . . .                                                    | 100 |
| 15.1 | Εσωτερική δομή οθόνης επτά τμημάτων . . . . .                                                                           | 102 |
| 16.1 | Κύκλωμα για τη μελέτη των χαρακτηριστικών κοινής βάσης . . . . .                                                        | 105 |
| 17.1 | Κύκλωμα για τη μελέτη απομονωτή με διπολικό τρανζίστορ . . . . .                                                        | 108 |
| 18.1 | Κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη . . . . .                                                           | 110 |
| 19.1 | Κύκλωμα ακόλουθου εκπομπού . . . . .                                                                                    | 112 |
| 19.2 | Τροποποιημένο κύκλωμα ακόλουθου εκπομπού . . . . .                                                                      | 112 |

|       |                                                                |     |
|-------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 20.1  | Κύκλωμα πηγής ρεύματος με διπολικό τρανζίστορ . . . . .        | 114 |
| 21.1  | Κύκλωμα για τη μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού . . . . . | 116 |
| 21.2  | Ενισχυτής τάσης με διπολικό τρανζίστορ . . . . .               | 117 |
| 22.1  | Κυκλωματικό σύμβολο τελεστικού ενισχυτή . . . . .              | 119 |
| 22.2  | Βαθμίδα διαφορικού ενισχυτή . . . . .                          | 120 |
| 22.3  | Αναίρεση τάσης ασυμμετρίας . . . . .                           | 120 |
| 22.4  | Κάτοψη του τελεστικού ενισχυτή 741 . . . . .                   | 121 |
| 22.5  | Κύκλωμα αναστρέφοντα ενισχυτή τάσης . . . . .                  | 122 |
| 22.6  | Κύκλωμα μη αναστρέφοντα ενισχυτή τάσης . . . . .               | 122 |
| 22.7  | Κύκλωμα ενισχυτή τάσης προς υλοποίηση . . . . .                | 123 |
| 23.1  | Κύκλωμα αναστρέφοντα ενισχυτή άθροισης . . . . .               | 126 |
| 23.2  | Κύκλωμα ολοκληρωτή . . . . .                                   | 126 |
| 23.3  | Κύκλωμα με τελεστικό ενισχυτή προς αναγνώριση . . . . .        | 127 |
| 23.4  | Πρακτικό κύκλωμα ολοκληρωτή με τελεστικό ενισχυτή . . . . .    | 127 |
| 24.1  | Χαμηλοπερατό φίλτρο RC πρώτης τάξης . . . . .                  | 130 |
| 24.2  | Χαμηλοπερατό φίλτρο RL πρώτης τάξης . . . . .                  | 130 |
| III.1 | Ανάγνωση χρωματικού κώδικα διακριτού αντιστάτη . . . . .       | 137 |
| V.1   | Ακροδέκτες ηλεκτρολυτικού πυκνωτή . . . . .                    | 141 |



## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

---

| ΠΙΝΑΚΑΣ                                                              | Σελ. |
|----------------------------------------------------------------------|------|
| 15.1 Πίνακας λειτουργίας οθόνης επτά τμημάτων . . . . .              | 103  |
| 24.1 Χαρακτηριστικά τυπικών παθητικών φίλτρων πρώτης τάξης . . . . . | 131  |
| III.1 Χρωματικός κώδικας αντιστατών . . . . .                        | 138  |



## ΚΑΝΟΝΕΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ, ΑΣΦΑΛΕΙΑ

---

### 1.1 Γενικά

Το Εργαστήριο Ηλεκτρονικής είναι χώρος κατάλληλα διαμορφωμένος και εξοπλισμένος για την πρακτική άσκηση των φοιτητών του Τμήματος στα αντικείμενα της Ηλεκτρονικής και των Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων.

Διαθέτει δέκα (10) πάγκους εργασίας όπου μπορούν να ασκηθούν ταυτόχρονα είκοσι (20) συνολικά φοιτητές εργαζόμενοι σε ομάδες των δύο (2) ατόμων. Σκοπός της εργαστηριακής εξάσκησης είναι η εξοικείωση με τα ηλεκτρονικά όργανα, η απόκτηση ευχέρειας στη χρήση τους, η σύνδεση και ο έλεγχος πρακτικών ηλεκτρικών / ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και η κατανόηση της λειτουργίας τους.

Το Εργαστήριο υποστηρίζει τα μαθήματα “Ηλεκτρονική” του 3ου εξαμήνου και “Σχεδίαση Αναλογικών Συστημάτων” του 6ου εξαμήνου.

### 1.2 Προαπαιτούμενα

Παρόλο που των οδηγιών κάθε εργαστηριακής άσκησης προηγείται ένα σύντομο θεωρητικό μέρος, προτείνουμε την διεξοδική μελέτη των διαλέξεων του αντίστοιχου μαθήματος ώστε η εκτέλεση των ασκήσεων να γίνεται ευκολότερη.

### 1.3 Διεξαγωγή του Εργαστηρίου

Η άσκηση των φοιτητών πραγματοποιείται σύμφωνα με το πρόγραμμα που ανακοινώνεται στο eclass, στην αρχή του εξαμήνου. Οι φοιτητές κατανέμονται σε τμήματα των είκοσι (20). Κάθε τμήμα αποτελείται από δέκα (10) ζεύγη (ομάδες) φοιτητών που σε συνεργασία εκτελούν τις εργαστηριακές ασκήσεις.

Κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης μιας άσκησης κάθε ομάδα τηρεί με ευθύνη της φύλλο δεδομένων, το οποίο περιλαμβάνει τα δεδομένα της άσκησης (τιμές μετρήσεων ανά βήμα κ.λπ.) και το οποίο υποβάλλεται στον επιβλέποντα και υπογράφεται από αυτόν μετά το πέρας της εκτέλεσης της πειραματικής διαδικασίας. Αντίγραφο

των δεδομένων αυτών οφείλουν να κρατούν και οι φοιτητές προκειμένου να ετοιμάσουν την εργαστηριακή αναφορά της ομάδας, η οποία θα πρέπει να υποβάλλεται το αργότερο εντός μιας εβδομάδας μέσω e-class. Στην αναφορά θα επισυνάπτεται και το φύλλο των απαντήσεων, το οποίο πρέπει υποχρεωτικά να φέρει την υπογραφή του επιβλέποντα.

Στην περίπτωση που παρέρχεται η προθεσμία της μιας εβδομάδας χωρίς να έχει παραδοθεί η εργαστηριακή αναφορά, η αναφορά μηδενίζεται και η ομάδα των φοιτητών θεωρείται απύσχα από τη συγκεκριμένη άσκηση. Για την αποφυγή φαινομένων αντιγραφής / λογοκλοπής, η εβδομαδιαία εργαστηριακή αναφορά υποβάλλεται στο e-class στη μορφή σαρωμένου χειρόγραφου κειμένου. Η παράλειψη υποβολής δύο (2) εβδομαδιαίων αναφορών συνεπάγεται την απόρριψη της ομάδας των φοιτητών από το εργαστήριο. Η αξιολόγηση της εργαστηριακής αναφοράς είναι δυαδική (επαρκής/ανεπαρκής). Η παράδοση τριών (3) ανεπαρκών εργαστηριακών αναφορών συνεπάγεται την απόρριψη της ομάδας των φοιτητών από το εργαστήριο.

### 1.4 Αξιολόγηση

Η παράλειψη υποβολής ή η εκπρόθεσμη παράδοση δύο (2) εβδομαδιαίων αναφορών, ή η παράδοση τριών (3) ανεπαρκών εργαστηριακών αναφορών, συνεπάγεται την απόρριψη της αντίστοιχης ομάδας φοιτητών από το εργαστήριο.

Κατά τη διάρκεια του εξαμήνου πραγματοποιούνται σύντομες προφορικές πρακτικές αξιολογήσεις και επαναληπτική πρακτική αξιολόγηση. Η επαναληπτική αξιολόγηση πραγματοποιείται την τελευταία ημέρα που διατίθεται για εργαστηριακή άσκηση και σε αυτήν εξετάζεται το ποσό αφομοίωσης των πρακτικών γνώσεων που προσφέρθηκαν στους φοιτητές καθ' όλη τη διάρκεια του εξαμήνου. Ο τελικός βαθμός του εργαστηρίου προκύπτει από τον συνυπολογισμό του μέσου όρου των σύντομων αξιολογήσεων και του βαθμού της τελικής αξιολόγησης με βαρύτητα 40% - 60%, αντίστοιχα.

### 1.5 Απουσίες

Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχή παρακολούθηση του εργαστηρίου είναι η παρουσία των φοιτητών τουλάχιστον στο 80% των εργαστηριακών ασκήσεων. Έννοια δικαιολογημένης απουσίας δεν υφίσταται.

### 1.6 Συμπεριφορά

Η συμπεριφορά των φοιτητών κατά την άσκησή τους θα πρέπει να κατατείνει πρωτίστως την προσωπική τους ασφάλεια αλλά και να εξασφαλίζει την καλή κατάσταση του εργαστηριακού εξοπλισμού. Οι ασκούμενοι οφείλουν να σέβονται τον επιβλέποντα αλλά και τους συναδέλφους τους. Οι πάγκοι θα πρέπει να παραδίδονται στην κατάσταση στην οποία βρίσκονταν πριν την έναρξη της εργαστηριακής άσκησης.

### 1.7 Ασφάλεια

Ο χώρος του Εργαστηρίου είναι, γενικά, ασφαλής. Μπορεί, όμως, να καταστεί εξαιρετικά επικίνδυνος στην περίπτωση αμέλειας ή αβλεψίας. Για το λόγο αυτό επι-



βάλλεται η προσεκτική μελέτη και κατανόηση του «Οδηγού Υγιεινής και Ασφάλειας» που ακολουθεί.

## 1.8 Εκτέλεση των Ασκήσεων

Προτείνεται, μεταξύ των άλλων για λόγους ασφάλειας, να ακολουθείται η εξής διαδικασία κατά την προετοιμασία και την εκτέλεση μιας άσκησης:

1. Πριν από κάθε άσκηση επιλέγεται η θέση όπου θα τοποθετηθούν τα όργανα και οι συσκευές στον πάγκο εργασίας, ώστε να διευκολύνεται η συνδεσμολογία και η ανάγνωση των ενδείξεων.
2. Πραγματοποιείται η συνδεσμολογία της άσκησης χωρίς να εφαρμοστεί τάση.
3. Ο επιβλέπων καλείται να ελέγξει τη συνδεσμολογία.
4. Αφού ελεγχθεί η συνδεσμολογία τροφοδοτείται το κύκλωμα με τάση και ελέγχονται οι δείκτες των οργάνων ώστε η απόκλισή τους να μην υπερβαίνει τα όρια της κλίμακας και καταστραφούν τα όργανα.
5. Λαμβάνονται μετρήσεις με προσοχή.
6. Στο τέλος της άσκησης αποσυνδέονται οι πηγές τροφοδοσίας, γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί και χαράσσονται οι σχετικές καμπύλες. Αν τα αποτελέσματα αποκλίνουν από τα αναμενόμενα οι μετρήσεις επαναλαμβάνονται πιο προσεκτικά.
7. Πριν την αποχώρηση των ασκούμενων αποσυνδέονται όλα τα όργανα και οι συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν, ενώ τα διακριτά στοιχεία και εξαρτήματα παραδίδονται στον επιβλέποντα μαζί με το απαντητικό φύλλο κάθε ομάδας.

## 1.9 Οδηγός Υγιεινής και Ασφάλειας

### 1.9.1 Είσοδος στο Εργαστήριο

Η είσοδος στο εργαστήριο επιτρέπεται μόνο στους:

1. επίσημα εγγεγραμμένους προς άσκηση φοιτητές τις μέρες και ώρες που έχουν διατεθεί για την άσκησή τους.
2. διδάσκοντες των οποίων το μάθημα προβλέπει την άσκηση των φοιτητών στο συγκεκριμένο εργαστήριο.
3. φοιτητές οι οποίοι εκπονούν την πτυχιακή τους εργασία χρησιμοποιώντας τα μέσα και τον εξοπλισμό που διαθέτει το εργαστήριο.
4. πρόσωπα που έχουν την εξουσιοδότηση του Υπεύθυνου Εργαστηρίου.

Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης η αστυνομία, η πυροσβεστική ή ιατρικό προσωπικό μπορούν να εισέλθουν στο εργαστήριο, αλλά ο Υπεύθυνος Εργαστηρίου θα πρέπει να ειδοποιείται άμεσα .

**Απαγορεύεται αυστηρά η είσοδος ανηλίκων στο εργαστήριο.**

## 1.9.2 Κίνδυνοι

### 1. Ηλεκτρομηχανικοί Κίνδυνοι:

Όλες οι συσκευές στο εργαστήριο τροφοδοτούνται με ρεύμα συνήθους τάσης (240V / 50 Hz). Δεν υπάρχουν συσκευές υψηλής τάσης ούτε και βαρύς μηχανουργικός εξοπλισμός.

### 2. Κίνδυνος Πυρκαγιάς:

Οι ηλεκτρικές παροχές και τα ξύλινα έπιπλα αποτελούν πιθανές εστίες φωτιάς. Ανάφλεξη είναι πιθανόν να σημειωθεί από αμέλεια στη χρήση των ηλεκτρονικών οργάνων ή κακό χειρισμό των εργαλείων ηλεκτρονικής συγκόλλησης που διαθέτει το εργαστήριο. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να τηρούνται σχολαστικά οι οδηγίες των διδασκόντων και οι κανόνες ασφάλειας που υπαγορεύουν τα εγχειρίδια των οργάνων<sup>1</sup>.

## 1.9.3 Γενικοί Κανόνες Ασφάλειας

Πριν επιτραπεί η είσοδος οποιουδήποτε προσώπου στο Εργαστήριο, θα πρέπει αυτό να μελετήσει και να κατανοήσει πλήρως τις οδηγίες που περιλαμβάνονται στον **Οδηγό Υγιεινής και Ασφάλειας**. Ειδικά για τους, καθ' οιονδήποτε τρόπο, ασκούμενους φοιτητές απαιτείται να λάβουν γνώση του περιεχομένου του Οδηγού Υγιεινής και Ασφάλειας και να εξασφαλισθεί η προηγούμενη συγκατάθεσή τους, η οποία επιβεβαιώνεται με την υπογραφή ειδικού **εντύπου υπεύθυνης δήλωσης**<sup>2</sup>.

Τα ερευνητικά και διδακτικά εργαστήρια εγκυμονούν πολλούς κινδύνους που μπορεί να προκαλέσουν ατυχήματα ή/και τραυματισμό. Πρέπει πάντοτε να εφαρμόζονται οι κανόνες με βάση την κοινή λογική και όταν υπάρχει αμφιβολία να ζητείται βοήθεια. **Μην αγγίζετε οτιδήποτε για τη χρήση του οποίου δεν είστε απολύτως σίγουροι.**

### 1.9.3.1 Γενικές Οδηγίες Ασφάλειας

1. Διαβάστε προσεκτικά τον Οδηγό Υγιεινής και Ασφάλειας και ακολουθείτε πιστά τις οδηγίες και τους κανόνες που περιέχει.
2. Μελετήστε προσεκτικά οποιεσδήποτε άλλες πληροφορίες ή κανόνες σας δοθούν.
3. Αν έχετε οποιεσδήποτε απορίες ζητήστε τη βοήθεια του επιβλέποντα Καθηγητή ή του Υπεύθυνου Εργαστηρίου.
4. Γνωρίζετε πού βρίσκεται ο εξοπλισμός ασφάλειας του εργαστηρίου<sup>3</sup>.
5. Ενημερώνετε άμεσα τους υπεύθυνους για οποιαδήποτε προβλήματα ασφάλειας στο εργαστήριο.
6. Αν έχετε κάποιο γνωστό ιατρικό πρόβλημα (π.χ. αλλεργία σε κάποια ουσία, καρδιολογική διαταραχή, κ.λπ.), θα πρέπει να το αναφέρετε στον Υπεύθυνο του Εργαστηρίου πριν την έναρξη των εργαστηριακών μαθημάτων.

<sup>1</sup> Τα εγχειρίδια όλων των οργάνων και συσκευών είναι διαθέσιμα σε ηλεκτρονική μορφή στο eclass: <https://eclass.uop.gr/modules/document/index.php?course=185&openDir=/6698b2e1z09J/6698b2f2fMRx>

<sup>2</sup> βλπ και Παράρτημα II

<sup>3</sup> Διάγραμμα με τα πλησιέστερα σημεία όπου υπάρχει εγκατεστημένος εξοπλισμός πυρόσβεσης παρέχεται στο τέλος του παρόντος Οδηγού (Παράρτημα I).

**1.9.3.2 Γενική και Προσωπική Ασφάλεια**

1. Απαγορεύεται η είσοδος και η κατανάλωση φαγητών ή ποτών στο χώρο του εργαστηρίου.
2. Απαγορεύεται το κάπνισμα.
3. Διατηρείτε το εργαστήριο και, ειδικότερα, το χώρο εργασίας σας καθαρό.
4. Διαβάζετε προσεκτικά τις οδηγίες και προειδοποιήσεις ασφαλείας στις συσκευές και τα υλικά που χρησιμοποιείτε.
5. Αν έχετε μακριά μαλλιά ή φοράτε χαλαρά ρούχα, φροντίστε να βρίσκονται τακτοποιημένα έτσι ώστε να μην μπορούν να πιαστούν σε οποιοδήποτε μηχανήμα ή να έρθουν σε επαφή με το πείραμά σας.
6. Φροντίζετε ώστε να υπάρχει πάντα αρκετός χώρος στο διάδρομο, προς τις εξόδους, γύρω από τους πυροσβεστήρες και κάτω από τα συστήματα κατάσβεσης πυρκαγιών.
7. Μην τοποθετείτε τα βιβλία ή άλλα προσωπικά σας αντικείμενα πάνω από οποιεσδήποτε συσκευές και ιδιαίτερα αυτές που χρειάζονται εξαερισμό.
8. Μην τοποθετείτε βαριά αντικείμενα σε ράφια πάνω από το ύψος του κεφαλιού σας. Εάν πέσουν μπορεί να προκαλέσουν σοβαρό τραυματισμό.
9. Αν παρατηρήσετε φωτιά ή οποιοδήποτε άλλο πρόβλημα ειδοποιήστε αμέσως την Πυροσβεστική (αν πρόκειται για πυρκαγιά) και τον Υπεύθυνο Εργαστηρίου.
10. Μην σηκώνετε βαριά αντικείμενα από μόνοι σας. Ζητήστε βοήθεια.

**1.9.3.3 Πειράματα - Ασκήσεις**

1. Μην εκτελείτε πειράματα τα οποία δεν είσατε εξουσιοδοτημένοι να εκτελείτε.
2. Απομακρύνετε από το χώρο εργασίας σας οτιδήποτε δεν έχει σχέση με το πείραμα.
3. Μην χρησιμοποιείτε συσκευές ή υλικά στη χρήση των οποίων δεν έχετε εκπαιδευτεί.
4. Αν διαπιστώσετε βλάβη ή ελάττωμα σε κάποιο όργανο ή συσκευή ειδοποιήστε αμέσως τον υπεύθυνο. Μην προσπαθήσετε να την επιδιορθώσετε οι ίδιοι.
5. Αν διαπιστώσετε βλάβη ή ελάττωμα σε κάποιο ηλεκτρονικό εξάρτημα (π.χ. αντιστάτης, δίοδος, ολοκληρωμένο κύκλωμα [chip], κ.λπ.) ειδοποιήστε αμέσως τον υπεύθυνο προκειμένου να ελέγξει τη βλάβη και να αποσύρει το εξάρτημα αν αυτό κριθεί σκόπιμο.
6. Μην αποπειραθείτε να γευθείτε οποιαδήποτε ουσία, όσο ακίνδυνη κι αν φαίνεται.
7. Η διαχείριση ουσιών ή υλικών που προκαλούν ερεθισμό (και φέρουν την ειδική σήμανση: ) απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Αποφύγετε την επαφή με τα μάτια και το δέρμα. Στην περίπτωση ατυχήματος ξεπλύνετε πολύ καλά με άφθονο κρύο νερό και ζητήστε αμέσως ιατρική βοήθεια.
8. Μην αφήνετε πειράματα να τρέχουν όταν δεν είστε παρόντες.
9. Αν είναι δυνατόν, μην εργάζεστε μόνος.

10. Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα της άσκησης με ηλεκτρικό ρεύμα, ειδοποιήστε τον επιβλέποντα προκειμένου να προβεί στον απαραίτητο έλεγχο.
11. Μην εργάζεστε με βρεγμένα χέρια ή ρούχα.
12. Αφήστε ομπρέλες, αδιάβροχα και οποιαδήποτε άλλα αντικείμενα τα οποία μπορεί να συγκρατούν νερό ή υγρά στον προθάλαμο, ή σε άλλο χώρο εκτός του εργαστηρίου.
13. Ο χειρισμός εργαλείων τα οποία μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό (π.χ. εργαλεία συγκόλλησης, εργαλεία κοπής, κ.λπ.) θα πρέπει να γίνεται με εξαιρετική σχολαστικότητα και προσοχή.
14. Στην περίπτωση που, κατά τη διάρκεια της άσκησης σας, διαπιστώσετε πως κάποιο ηλεκτρονικό εξάρτημα ή κάποιο όργανο έχει υπερθερμανθεί, διακόψτε αμέσως την παροχή ηλεκτρικής τάσης και ειδοποιήστε αμέσως τους επιβλέποντες.

### 1.9.3.4 Πριν φύγετε από το εργαστήριο

1. Αφήνετε το χώρο εργασίας σας καθαρό και τακτοποιημένο.
2. Κλείνετε όλα τα όργανα.

### 1.9.3.5 Αμέσως μετά την αναχώρησή σας από το εργαστήριο

1. Πλύνετε επιμελώς τα χέρια σας με άφθονο χλιαρό νερό και σαπούνι.

## 1.9.4 Ασφάλεια από Ηλεκτρικούς Κινδύνους

1. Όταν ρυθμίζετε ηλεκτρονικές συσκευές, κάνετε τις ρυθμίσεις ΜΕ ΤΟ ΕΝΑ ΧΕΡΙ. Με αυτό τον τρόπο μειώνετε τις πιθανότητες ένα ηλεκτρικό σοκ να επηρεάσει την λειτουργία της καρδιάς σας.
2. Φροντίζετε πάντα να υπάρχει πρόσβαση προς τους κεντρικούς ηλεκτρικούς διακόπτες.
3. Στην περίπτωση που διαπιστώσετε τήξη ασφάλειας ή πτώση του ηλεκτρονόμου διαφυγής διακόψτε αμέσως την τροφοδοσία όλων των συσκευών και οργάνων του πάγκου σας (κλείνοντας τους αντίστοιχους διακόπτες ON/OFF) και ειδοποιήστε αμέσως τους επιβλέποντες.
4. Προβλήματα με φθαρμένα καλώδια ή με την ηλεκτρική εγκατάσταση του κτηρίου θα πρέπει να αναφέρονται αμέσως στον Υπεύθυνο Εργαστηρίου και τις Τεχνικές Υπηρεσίες.
5. Αποφεύγετε, αν είναι δυνατό, τις ηλεκτρικές επεκτάσεις και τα πολλαπλά καλώδια. Αν είναι απαραίτητο, χρησιμοποιήστε ένα με δική του ασφάλεια και γείωση.
6. Φροντίστε ώστε κανένα καλώδιο να μην διασταυρώνει διάδρομο, πόρτα, παράθυρο ή να κρέμεται από την οροφή.
7. Φροντίζετε ώστε όλοι οι πυκνωτές να είναι αποφορτισμένοι πριν ακουμπήσετε τον πυκνωτή ή το εσωτερικό μιας συσκευής η οποία μόλις έχει κλείσει. Οι πυκνωτές μπορεί να παραμείνουν φορτισμένοι για ώρες.

8. Κατά τη συναρμολόγηση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων φροντίστε τα στοιχεία που φέρουν πολικότητα (π.χ. δίοδοι, ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, κ.λπ.) να συνδέονται με τη σωστή φορά.
9. Απαγορεύεται αυστηρά η βραχυκύκλωση των ακροδεκτών εξόδου των συσκευών του εργαστηρίου, ιδιαίτερα των τροφοδοτικών και των γεννητριών συναρτήσεων.
10. Αν κατά την εκτέλεση ενός πειράματος διαπιστώσετε σημαντική και αδικαιολόγητη πτώση τάσης στον αντίστοιχο ενδείκτη ενός τροφοδοτικού η οποία συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της ένδειξης του ρεύματος (όπως εμφανίζεται στον ενδείκτη της έντασης του ρεύματος), διακόψτε αμέσως τη λειτουργία του τροφοδοτικού, ειδοποιήστε τον επιβλέποντα, και αναζητήστε μαζί του την αιτία του βραχυκυκλώματος το οποίο προκάλεσε το συγκεκριμένο φαινόμενο.

### 1.9.5 Ασφάλεια από την Έκθεση σε Ακτινοβολίες

Κατά τη διάρκεια της εργασίας σας στο εργαστήριο ενδέχεται να χειριστείτε λυχνίες υπεριώδους ακτινοβολίας. Η έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία είναι εξαιρετικά επιβλαβής και μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμη βλάβη στους οφθαλμούς, ακόμη και τύφλωση. Οι κίνδυνοι επιτείνονται από το ότι η συγκεκριμένη μορφή ακτινοβολίας δεν είναι ορατή. Για το λόγο αυτό, φροντίστε ώστε οι λυχνίες υπεριώδους ακτινοβολίας να λειτουργούν πάντοτε εντός των ειδικών κυτίων απομόνωσης. Στην περίπτωση κατά την οποία διαπιστώσετε φθορές στα κυτία απομόνωσης, αναβάλετε την διεξαγωγή του πειράματός σας και ειδοποιήστε τους επιβλέποντες και τον Υπεύθυνο του Εργαστηρίου προκειμένου να γίνει η απαιτούμενη συντήρηση.

### 1.9.6 Ασφάλεια από την Επαφή με Επιβλαβείς Ουσίες

1. Ορισμένα ηλεκτρονικά εξαρτήματα ενδέχεται να περιέχουν μικρές ποσότητες μολύβδου, ιδιαίτερα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις ηλεκτρονικές συγκολλήσεις. Κατά τη διάρκεια των ηλεκτρονικών συγκολλήσεων, αποφεύγετε την εισπνοή των αναθυμιάσεων και εξασφαλίστε τον καλό εξαερισμό του χώρου, ιδιαίτερα κατά τη χειμερινή περίοδο.
2. Κατά τη διάρκεια της εργασίας σας στο εργαστήριο ενδέχεται να χρειαστεί να χρησιμοποιήσετε διαβρωτικές ή/και καυστικές ουσίες, ή ουσίες που προκαλούν ερεθισμό (π.χ. αραιά διαλύματα οξέων ή βάσεων). Αποφύγετε την άμεση επαφή με το δέρμα, καθώς και την εισπνοή ατμών ή αναθυμιάσεων. Προστατέψτε με επιμέλεια τους οφθαλμούς, χρησιμοποιώντας προστατευτικά γυαλιά αν αυτό κρίνεται απαραίτητο. Στην περίπτωση ατυχήματος ξεπλύνετε πολύ καλά με άφθονο κρύο νερό και ζητήστε αμέσως ιατρική βοήθεια.
3. Η διαχείριση ουσιών ή υλικών που προκαλούν ερεθισμό (και φέρουν την ειδική σήμανση: ) απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή. Αποφύγετε την άμεση επαφή με τα μάτια και το δέρμα. Στην περίπτωση ατυχήματος ξεπλύνετε πολύ καλά με άφθονο κρύο νερό και ζητήστε αμέσως ιατρική βοήθεια. φαινόμενο.

## 1.10 Καταστάσεις Έκτακτης Ανάγκης

1. Γνωρίζετε τις διαδικασίες και εξόδους διαφυγής από το κτήριο<sup>4</sup>.
2. Γνωρίζετε που βρίσκονται οι πυροσβεστήρες και πώς να τους χρησιμοποιείτε.
3. Στην περίπτωση έκτακτης ανάγκης, ειδοποιήστε αμέσως τον Υπεύθυνο Εργαστηρίου.

### 1.10.1 Φωτιά στο Εργαστήριο

Αν προκληθεί μικρής έκτασης φωτιά στο εργαστήριο, χρησιμοποιήστε τους πυροσβεστήρες για την κατάσβεσή της. Αν η πυρκαγιά φαίνεται να έχει προκληθεί από βραχυκύκλωμα ΜΗΝ χρησιμοποιήσετε νερό για την κατάσβεσή της και προσπαθήστε να διακόψετε την ηλεκτρική παροχή. Ειδοποιήστε, παράλληλα, τον Υπεύθυνο του Εργαστηρίου. Αν η φωτιά είναι μεγάλων διαστάσεων, αναζητήστε άμεσα την πιο ασφαλή δίοδο διαφυγής<sup>5</sup>. Σκύψτε χαμηλά και περπατήστε κάτω από τον καπνό. Όσο πιο χαμηλά αναπνέετε, τόσο πιο καθαρός είναι ο αέρας. Αν πρέπει να ανοίξετε κλειστή πόρτα για να διαφύγετε, ακουμπήστε πρώτα την πόρτα ή το χερούλι με την παλάμη σας. Αν είναι ζεστή, μην την ανοίγετε και διαφύγετε από αλλού.

### 1.10.2 Σεισμός

Στην περίπτωση σεισμικής δόνησης κατά τη διάρκεια της άσκησης των φοιτητών στο εργαστήριο:

1. Παραμένουμε στον χώρο που βρισκόμαστε και διατηρούμε την ψυχραιμία μας.
2. Σκύβουμε, καλυπτόμαστε κάτω από τον πάγκο μας κοιτάζοντας προς τον τοίχο και κρατάμε με τα χέρια μας οριζόντια δοκό που υπάρχει κάτω από την επιφάνεια εργασίας. Αν δεν προλαβαίνουμε, σκύβουμε στο μέσον της αίθουσας του Εργαστηρίου μειώνοντας όσο γίνεται το ύψος μας και προστατεύουμε με τα χέρια το κεφάλι και τον αυχένα μας. Απομακρυνόμαστε από τα παράθυρα και από τα βαριά εργαστηριακά όργανα τα οποία μπορεί να μας τραυματίσουν.
3. Με το πέρας της δόνησης απομακρυνόμαστε ψύχραιμα και συντεταγμένα, ακολουθώντας τη συντομότερη ελεύθερη δίοδο διαφυγής<sup>6</sup>, ανταποκρινόμενοι στις συστάσεις του υπεύθυνου του εργαστηρίου ή/και των καθηγητών μας.

Περισσότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες στην ιστοσελίδα του Οργανισμού Αντισεισμικού Σχεδιασμού και Προστασίας: <http://www.oasp.gr/>.

### 1.10.3 Πρώτες Βοήθειες

#### 1.10.3.1 Απλά Τραύματα

Καθαρίζουμε το τραύμα ρίχνοντας άφθονη ποσότητα νερού (μηχανικός καθαρισμός). Έτσι απομακρύνονται τα ξένα σώματα που τυχόν υπάρχουν. Καθαρίζουμε το τραύμα με υπεροξειδίο του υδρογόνου (οξυζενέ) και στη συνέχεια, μετά από επιμελή έκπλυση εκ νέου, χρησιμοποιούμε Betadine (χημικός καθαρισμός).

<sup>4</sup>Διάγραμμα με τα πλησιέστερα σημεία εξόδου από το κτήριο και τις κυριότερες δυνατότητες διαφυγής σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης παρέχεται στο Παράρτημα Ι.

<sup>5</sup>Δες προηγούμενη υποσημείωση.

<sup>6</sup>Δες προηγούμενη υποσημείωση.

Σκεπάζουμε το τραύμα με γάζες και απευθυνόμαστε σε γιατρό για τα περαιτέρω. Επίσης, ιδιαίτερη σημασία έχει η προφύλαξη από τον **τέτανο**.

### **1.10.3.2 Εγκαύματα**

Συμβουλευτείτε τον γιατρό για όλα τα εγκαύματα εκτός από εκείνα που είναι σε πολύ μικρή έκταση.

### **1.10.3.3 Ηλεκτροπληξία**

1. Απομόνωση του ρεύματος. Κλείνουμε την παροχή. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, πατάμε σε ένα στεγνό μονωτικό υλικό (π.χ. βιβλίο) και προσπαθούμε με ένα μακρύ ξύλο να απομακρύνουμε τα μέλη του θύματος από την πηγή (π.χ ένα φθαρμένο καλώδιο).
2. Καλούμε για βοήθεια.
3. Αν υπάρχουν εκτεταμένα εγκαύματα, αφαιρούμε τα ρούχα του θύματος και περιποιούμαστε τα εγκαύματα με κρύο νερό.
4. Μένουμε με το θύμα μέχρι να έρθει βοήθεια.

## **1.11 Χρήσιμα Τηλέφωνα**

|                        |                |
|------------------------|----------------|
| ΠΥΡΟΣΒΕΣΤΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ: | 199            |
| ΕΚΑΒ:                  | 166            |
| ΑΣΤΥΝΟΜΙΑ:             | 100            |
| ΝΟΣΟΚΟΜΕΙΟ ΣΠΑΡΤΗΣ:    | 2731 0 28671-5 |





## ΟΡΓΑΝΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΤΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

### 2.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των φοιτητών με τα βασικότερα όργανα που θα χρησιμοποιήσουν στις εργαστηριακές ασκήσεις. Η μελέτη του παλμογράφου θα γίνει διεξοδικά στην επόμενη άσκηση λόγω της εξαιρετικά μεγάλης χρησιμότητας αλλά και της πολυπλοκότητας του οργάνου αυτού.

### 2.2 Θεωρητικό Μέρος

#### 2.2.1 Τροφοδοτικά Συνεχούς

Τα τροφοδοτικά συνεχούς παρέχουν στα κυκλώματά μας την απαραίτητη συνεχή (σταθερή) τάση για την ορθή τους λειτουργία. Παρέχουν δυνατότητα ρυθμίσεων ώστε να υποστηρίζουν ποικιλία εφαρμογών. Στη συνέχεια θα περιγράψουμε συνοπτικά τους τύπους που διαθέτει το εργαστήριο.

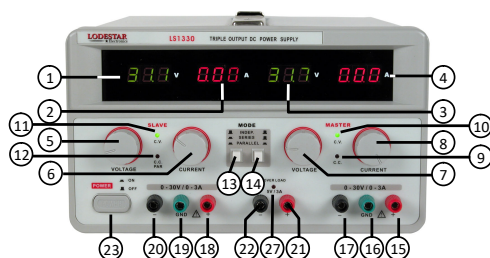
##### 2.2.1.1 Απλό τροφοδοτικού συνεχούς LS1130

Πρόκειται για σταθεροποιημένο τροφοδοτικό γενικού σκοπού με μία έξοδο (βλπ Σχήμα 2.1. Παρέχει 0-30Vdc ρυθμιζόμενα με δύο ροοστάτες διαφορετικής ευαισθησίας για ακριβή ρύθμιση της επιθυμητής τιμής. Το μέγιστο παρεχόμενο ρεύμα ανέρχεται στα 3A ρυθμιζόμενο, επίσης, με δύο ροοστάτες. Στην οθόνη του οργάνου παρέχονται διαρκώς ενδείξεις για τις τιμές της τάσης και του ρεύματος.

Το τροφοδοτικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εφαρμογές σταθερής τάσης (CV) ή σταθερού ρεύματος (CC). Τον τρόπο λειτουργίας σηματοδοτεί η αντίστοιχη ενδεικτική λυχνία (CV ή CC). Η λειτουργία σταθερού ρεύματος έχει συνοπτικά ως εξής: Η μέγιστη τιμή ρεύματος προρρυθμίζεται. Το όργανο βρίσκεται αρχικά σε λειτουργία CV. Όταν οι διακυμάνσεις του φορτίου οδηγήσουν το ρεύμα στην μέγιστη τιμή, τότε το τροφοδοτικό μεταπίπτει σε λειτουργία CC, συμπεριφερόμενο ως πηγή ρεύματος.



Σχήμα 2.1 Τροφοδοτικό LS1130

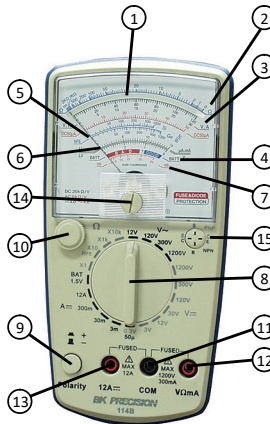


1. Ενδείκτης τάσης (SLAVE)
2. Ενδείκτης ρεύματος (SLAVE)
3. Ενδείκτης τάσης (MASTER)
4. Ενδείκτης ρεύματος (MASTER)
5. Ρύθμιση τάσης (SLAVE)
6. Ρύθμιση ρεύματος (SLAVE)
7. Ρύθμιση τάσης (MASTER)
8. Ρύθμιση ρεύματος (MASTER)
9. Ενδείκτης σταθερού ρεύματος (CC) (MASTER)
10. Ενδείκτης σταθερής τάσης (CV) (MASTER)
11. Ενδείκτης σταθερής τάσης (CV) (SLAVE)
12. Ενδείκτης σταθερού ρεύματος (CC) (SLAVE)
13. Ρύθμιση διασύνδεσης εξόδων (INDEP.- Ανεξάρτητες, SERIES – σε σειρά, PARALLEL – παράλληλα)
14. όπως 13
15. Θετικός ακροδέκτης (MASTER)
16. Γείωση (MASTER)
17. Αρνητικός ακροδέκτης (MASTER)
18. Θετικός ακροδέκτης (SLAVE)
19. Γείωση (SLAVE)
20. Αρνητικός ακροδέκτης (SLAVE)
21. Θετικός ακροδέκτης (5V/3A)
22. Αρνητικός ακροδέκτης (5V/3A)
23. Διακόπτης ON/OFF
27. Ενδείκτης υπερφόρτωσης (αναβοσβήνει όταν το ρεύμα ξεπερνά τα 3A)

Σχήμα 2.2 Τροφοδοτικό LS1330

### 2.2.1.2 Τριπλό τροφοδοτικό συνεχούς LS1330

Πρόκειται για σταθεροποιημένο τροφοδοτικό γενικού σκοπού με τρεις εξόδους (βλπ Σχήμα 2.2. Παρέχει δύο εξόδους ρυθμιζόμενης τάσης 0-30Vdc με δυνατότητα λειτουργίας CV ή CC όπως ακριβώς το απλό τροφοδοτικό της προηγούμενης παραγράφου. Οι εξοδοί αυτές μπορούν με κατάλληλη ρύθμιση να λειτουργούν ανεξάρτητα ή να διασυνδέονται σε σειρά ή παράλληλα προκειμένου το όργανο να λειτουργεί ως πηγή τάσης 60Vdc/3A ή 30Vdc/6A αντίστοιχα. Διαθέτει επίσης έξοδο 5V/3A για την τροφοδοσία λογικών κυκλωμάτων.



1. Καθρέφτης κλίμακας (Εξουδετερώνει τα σφάλματα παράλληλης κατά την ανάγνωση των ενδείξεων)
2. Κλίμακα Ω (για μετρήσεις αντίστασης)
3. Κλίμακα DCV, A και ACV (για μετρήσεις συνεχούς τάσης, συνεχούς ρεύματος, και εναλλασσόμενης τάσης)
4. Κλίμακα καθορισμού κατάστασης μπαταρίας 1.5V
5. Κλίμακα ανάγνωσης απολαβής τρανζίστορ
6. Κλίμακα ανάγνωσης παραμέτρων διαρροής τρανζίστορ
7. Κλίμακα ανάγνωσης dB
8. Επιλογέας λειτουργίας - κλίμακας
9. Επιλογέας πολικότητας συνεχούς τάσης ή ρεύματος
10. Ρύθμιση των 0Ω πριν την μέτρηση αντίστασης
11. Υποδοχή κοινού αγωγού (COM)
12. Υποδοχή θετικού αγωγού για συνήθεις μετρήσεις
13. Υποδοχή θετικού αγωγού για μετρήσεις ρεύματος έως 12A
14. Ρυθμιστής της βελόνας στο 0 της κλίμακας
15. Υποδοχή τρανζίστορ

Σχήμα 2.3 Αναλογικό πολύμετρο 114-B

## 2.2.2 Πολύμετρα

Αντί των μεμονωμένων οργάνων που χρησιμοποιούνταν παλαιότερα, σήμερα χρησιμοποιούνται τα πολύμετρα, όργανα που ενσωματώνουν λειτουργίες μέτρησης διαφόρων μεγεθών (τάσης, ρεύματος, αντίστασης, χωρητικότητας κ.λπ). Τα πολύμετρα διατίθενται πια σε φορητή μορφή και έχουν πολύ μεγάλη αξιοπιστία. Εκτός από τα ψηφιακά πολύμετρα, σε χρήση βρίσκονται ακόμα και αναλογικά.

### 2.2.2.1 Αναλογικό πολύμετρο 114-B

Πρόκειται για σύγχρονο φορητό αναλογικό πολύμετρο με πολλές δυνατότητες, όπως συνοψίζει το Σχήμα 2.3.

### 2.2.2.2 Ψηφιακό πολύμετρο UT60A

Πρόκειται για σύγχρονο φορητό ψηφιακό πολύμετρο με πολλές δυνατότητες (μεταξύ των άλλων και η διασύνδεση με ηλεκτρονικό υπολογιστή), όπως συνοψίζει το Σχήμα 2.4. Ο αναγνώστης παραπέμπεται στο εγχειρίδιο του οργάνου για περισσότερες πληροφορίες<sup>1</sup>.

<sup>1</sup><https://electronicslab.liaperdos.gr/equipment>



1. Οθόνη LCD
2. Κουμπιά λειτουργιών
3. Περιστροφικός επιλογέας
4. Υποδοχή θετικού αγωγού (για μετρήσεις τάσης, συχνότητας, αντίστασης, διόδου, χωρητικότητας και γαλβανικής συνέχειας)
5. Υποδοχή κοινού αγωγού (COM)
6. Υποδοχή θετικού αγωγού για μέτρηση ρευμάτων από 0.1mA έως 400mA
7. Υποδοχή θετικού αγωγού για μέτρηση ρευμάτων από 1mA έως 10A

Σχήμα 2.4 Ψηφιακό πολύμετρο UT60A

## 2.2.3 Γεννήτριες Σήματος ή Ταλαντωτές

Οι γεννήτριες σήματος είναι ηλεκτρονικές συσκευές που παρέχουν συνήθως τάσεις ημιτονικές (οπότε και λέγονται ταλαντωτές), αλλά μπορούν επιπλέον να παρέχουν τάσεις τετραγωνικής, τριγωνικής ή άλλης μορφής και τότε χαρακτηρίζονται ως γεννήτριες συναρτήσεων. Ανάλογα με τις τιμές των συχνοτήτων που παράγουν, οι γεννήτριες διακρίνονται σε γεννήτριες χαμηλών ή ακουστικών συχνοτήτων και σε γεννήτριες υψηλών συχνοτήτων.

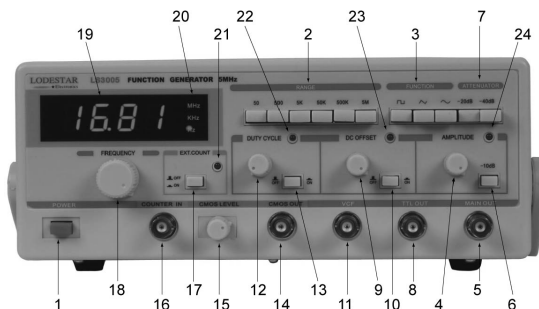
### 2.2.3.1 Γεννήτρια συναρτήσεων LS300{2/5}

Πρόκειται για γεννήτρια συναρτήσεων χαμηλών συχνοτήτων (έως 2MHz το μοντέλο LS3002 και έως 5MHz το μοντέλο LS3005). Οι βασικές της λειτουργίες συνοψίζονται στο Σχήμα 2.5.

## 2.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 2.3.1 Μέτρηση συνεχούς τάσης

1. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό LS1130 ώστε να παρέχει τάση 5V.
2. Με σύνδεση του αναλογικού πολυμέτρου απευθείας στην έξοδο του τροφοδοτικού μετρήστε την παρεχόμενη τάση.
3. Όμοια για το ψηφιακό πολύμετρο.



1. Διακόπτης ON/OFF
2. Κουμπιά επιλογής περιοχής συχνότητων
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

Σχήμα 2.5 Γεννήτρια συναρτήσεων LS300

### 2.3.2 Μέτρηση εναλλασσόμενης τάσης

1. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων LS3002 ώστε να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 100Hz. Το πλάτος του σήματος να διατηρηθεί σχετικά μικρό (Ο ροοστάτης 4 να έχει περιστραφεί προς τα αριστερά)
2. Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό πολύμετρο να μετρήσετε τη συχνότητα του σήματος της γεννήτριας και να διορθώσετε, αν χρειάζεται, την τιμή της.
3. Με το ψηφιακό πολύμετρο μετρήστε την ενεργό (rms) τιμή της τάσης του ημιτονικού σήματος.
4. Όμοια με το αναλογικό πολύμετρο

### 2.3.3 Μέτρηση συνεχούς ρεύματος

1. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό LS1130 ώστε να παρέχει τάση 5V.

2. Διοχετεύσετε την τάση του τροφοδοτικού σε αντίσταση 100kΩ. (Η τιμή της αντίστασης να επιβεβαιωθεί με χρήση του χρωματικού κώδικα [Παράρτημα Α] ή/και με μέτρηση με πολύμετρο)
3. Συνδέστε κατάλληλα το ψηφιακό πολύμετρο προκειμένου να πάρετε μέτρηση του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση.
4. Όμοια για το αναλογικό πολύμετρο.
5. Ποια η τιμή του ρεύματος που προκύπτει με βάση τον νόμο του Ohm; Σχολιάστε.

### 2.3.4 Μέτρηση εναλλασσόμενου ρεύματος

1. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων LS3002 ώστε να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 100Hz και ενεργού τιμής 3V (μέτρηση με το πολύμετρο)
2. Χρησιμοποιώντας το ψηφιακό πολύμετρο να μετρήσετε τη συχνότητα του σήματος της γεννήτριας και να διορθώσετε, αν χρειάζεται, την τιμή της.
3. Όμοια για την ενεργό τιμή.
4. Διοχετεύσετε την τάση της γεννήτριας σε αντίσταση 10kΩ. (Η τιμή της αντίστασης να επιβεβαιωθεί με χρήση του χρωματικού κώδικα [Παράρτημα Α] ή/και με μέτρηση με πολύμετρο)
5. Συνδέστε κατάλληλα το ψηφιακό πολύμετρο προκειμένου να πάρετε μέτρηση της ενεργού (rms) τιμής του ρεύματος που διαρρέει την αντίσταση.
6. Όμοια με το αναλογικό πολύμετρο

### 2.3.5 Μέτρηση αντίστασης

1. Χρησιμοποιώντας τόσο το αναλογικό όσο και το ψηφιακό πολύμετρο να μετρήσετε την τιμή της αντίστασης που θα σας δοθεί. Πριν τη μέτρηση με το αναλογικό πολύμετρο φροντίστε να μηδενίσετε την ένδειξη της αντίστασης έχοντας βραχυκυκλωμένους τους ακροδέκτες του οργάνου.
2. Συμβουλευθείτε το χρωματικό κώδικα για να επιβεβαιώσετε το αποτέλεσμα της μέτρησής σας.

### 2.3.6 Υπολογισμός αντίστασης

1. Χρησιμοποιώντας αναλογικό και ψηφιακό πολύμετρο υπολογίστε την τιμή της αντίστασης που θα σας δοθεί κάνοντας χρήση του νόμου του Ohm (συνδέοντας κατάλληλα τα όργανα και χρησιμοποιώντας τις αντίστοιχες ενδείξεις)
2. Συμβουλευθείτε τον χρωματικό κώδικα για να επιβεβαιώσετε τη μέτρησή σας.

### 2.3.7 Χρήση τριπλού τροφοδοτικού

1. Ρυθμίστε την τάση εξόδου Master του τριπλού τροφοδοτικού ώστε να παρέχει τάση 2V.
2. Όμοια την τάση εξόδου Slave.

3. Ρυθμίστε κατάλληλα τον τρόπο διασύνδεσης Master - Slave ώστε το όργανο να λειτουργεί ως τροφοδοτικό των 4V/3A. Από ποιους ακροδέκτες θα λάβουμε το σήμα εξόδου στην περίπτωση αυτή; Μετρήστε την τάση μεταξύ των ακροδεκτών αυτών με τη βοήθεια πολυμέτρου.
4. Ρυθμίστε κατάλληλα τον τρόπο διασύνδεσης Master - Slave ώστε το όργανο να λειτουργεί ως τροφοδοτικό των 2V/6A. Από ποιους ακροδέκτες θα λάβουμε το σήμα εξόδου στην περίπτωση αυτή; Μετρήστε την τάση μεταξύ των ακροδεκτών αυτών με τη βοήθεια πολυμέτρου.
5. Θέσατε τις εξόδους του τροφοδοτικού σε ανεξάρτητη λειτουργία και διασυνδέστε κατάλληλα Master και Slave ώστε να πάρετε συμμετρική τροφοδοσία  $\pm 5V$ .

## 2.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις Τηλεπικοινωνίες" - Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Τόμος Α': Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Σπάρτη 2011 : §1.26





### 3.1 Σκοπός της Άσκησης

Ένα από τα σημαντικότερα, ίσως, όργανα του ηλεκτρονικού εργαστηρίου είναι ο παλμογράφος. Σκοπός της άσκησης είναι η παρουσίαση της αρχής λειτουργίας του και η εξοικείωση των φοιτητών στη χρήση του.

### 3.2 Θεωρητικό Μέρος

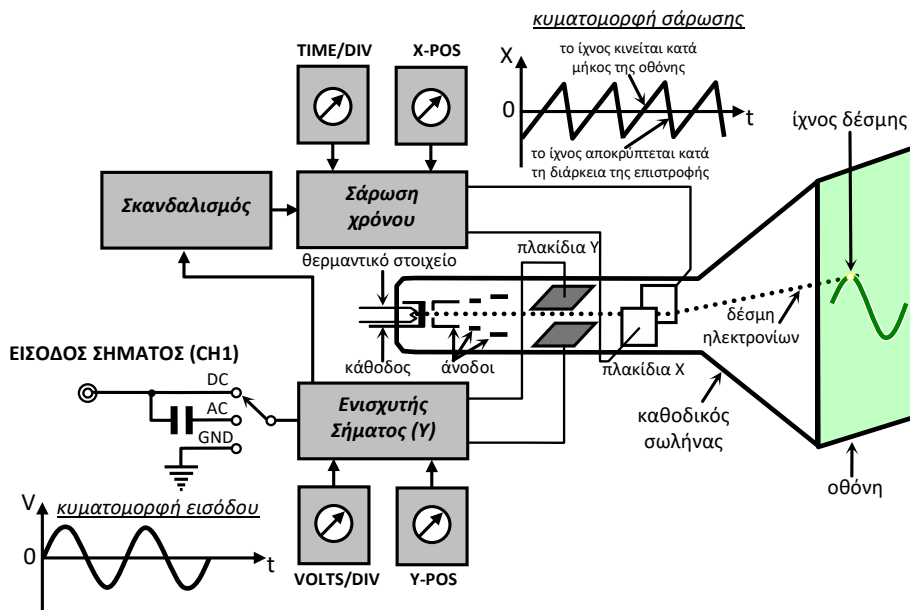
#### 3.2.1 Γενικά

Ο παλμογράφος (oscilloscope) είναι ένα από τα σημαντικότερα όργανα του εργαστηρίου. Επιτρέπει την οπτική απεικόνιση 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 του σωλήνα, ενώ ο ψηφιακός προσομοιώνει τη λειτουργία του αναλογικού παλμογράφου, χρησιμοποιώντας τεχνικές ψηφιακής επεξεργασίας σήματος, και παρέχει πολύ περισσότερες δυνατότητες, με σημαντικότερη την αποθήκευση της κυματομορφής σε μνήμη, που επιτρέπει την άνετη παρατήρησή της.

#### 3.2.2 Αρχή Λειτουργίας του Αναλογικού Παλμογράφου

Το απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων ενός αναλογικού παλμογράφου φαίνεται στο Σχήμα 3.1. Η οθόνη του αναλογικού παλμογράφου πάνω στην οποία σχηματίζονται οι κυματομορφές είναι απλώς η πρόσοψη ενός καθοδικού σωλήνα, μιας ειδικής λυχνίας που ονομάζεται και σωλήνας καθοδικών ακτίνων (Cathode Ray Tube ή 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 ηλε-



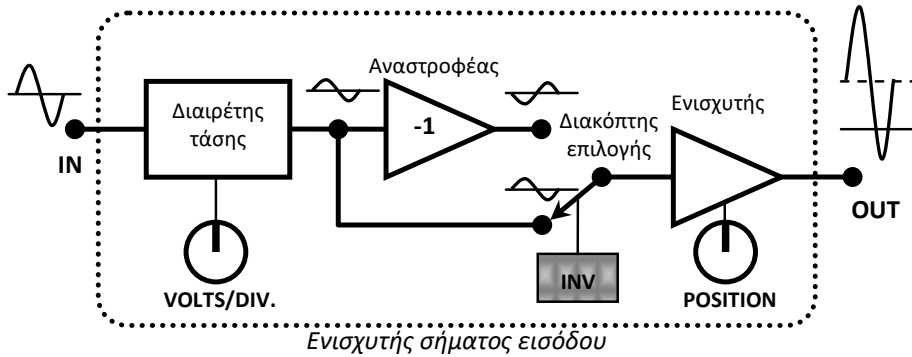
**Σχήμα 3.1** Απλοποιημένο διάγραμμα βαθμίδων αναλογικού παλμογράφου

κτρονίων, τα πλακίδια οριζόντιας απόκλισης, τα πλακίδια κατακόρυφης απόκλισης και η φθορίζουσα οθόνη. Το πυροβόλο ηλεκτρονίων είναι μια διάταξη που παράγει μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων με θερμιονική εκπομπή. Τα πλακίδια οριζόντιας και κατακόρυφης απόκλισης αλλάζουν τη διεύθυνση αυτής της δέσμης ανάλογα με το δυναμικό τους και καθορίζουν το σημείο της φθορίζουσας οθόνης στο οποίο αυτή θα προσπέσει. Η ενέργεια των ηλεκτρονίων διεισφέρει την φθορίζουσα επίστρωση, με αποτέλεσμα το συγκεκριμένο σημείο να φωτοβολεί.

Η τάση στα πλακίδια οριζόντιας και κάθετης απόκλισης καθορίζεται από την έξοδο του ενισχυτή οριζόντιας και του ενισχυτή κάθετης απόκλισης αντίστοιχα. Οι τάσεις αυτές είναι ανάλογες των τάσεων των Χ και Υ εισόδων αντίστοιχα και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό πεδίο που χρησιμοποιείται για να εκτρέψει τη δέσμη ηλεκτρονίων.

Η δέσμη των ηλεκτρονίων δημιουργεί ένα φωτεινό σημείο, στο σημείο που προσπίπτει, στην πρόσοψη του καθοδικού σωλήνα (οθόνη του παλμογράφου). Η εκτροπή της δέσμης που προκαλείται από κάποια τάση εισόδου μπορεί να μετρηθεί με τη βοήθεια των γραμμών βαθμονόμησης της οθόνης και είναι ανάλογη της τάσης εισόδου. Η απόσταση ή τάση παράλληλων συνεχών γραμμών στην οθόνη αντιστοιχεί σε μια υποδιαίρεση, ή τόσο ίση με την υποδιαίρεση που δείχνει το αντιστόχο κουμπί που καθορίζει την ενίσχυση του αντιστόχου ενισχυτή εισόδου (volts/div).

Ένα τυπικό διάγραμμα βαθμίδων του ενισχυτή εισόδου ενός καναλιού φαίνεται στο Σχήμα 3.2. Το σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο του καναλιού μέσω ενός βύσματος BNC. Η είσοδος του ενισχυτή μπορεί να συνδεθεί κατευθείαν στην είσοδο του καναλιού (DC mode), μέσω ενός πυκνωτή (AC mode) ή μπορεί να συνδεθεί κατευθείαν στα 0V (GND). Η σύνδεση μέσω πυκνωτή χρησιμοποιείται για να αφαιρεθεί

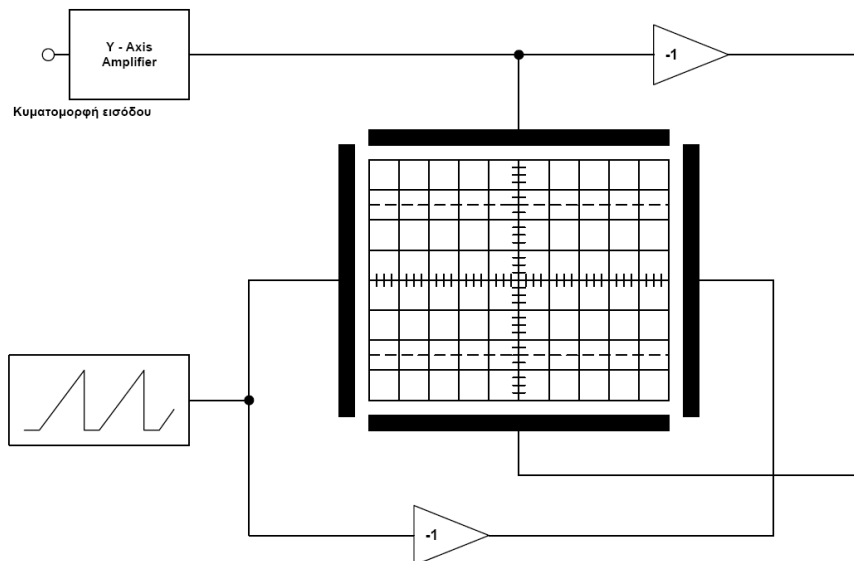


**Σχήμα 3.2** Διάγραμμα βαθμίδων ενισχυτή σήματος εισόδου

η συνεχής συνιστώσα από το σήμα και να μπορέσουμε να εξετάσουμε με ακρίβεια την εναλλασσόμενη συνιστώσα του σήματος που εφαρμόζεται στην είσοδο. Στην περίπτωση αυτή ο πυκνωτής με την εσωτερική αντίσταση του ενισχυτή (τυπική τιμή 1ΜΩ) σχηματίζει ένα υπερεπατό φίλτρο. Ο διαιρέτης τάσης ελέγχεται από το κουμπί (επιλογέα) που καθορίζει την ενίσχυση και δείχνει πόση τάση αντιστοιχεί σε μια υποδιαίρεση. Στη συνέχεια το σήμα μπορεί να περάσει από την επιλογή αντιστροφής της ένδειξης του καναλιού και τελικά οδηγεί τον ενισχυτή. Στον ενισχυτή αυτόν υπάρχει ένα ποτενσιόμετρο που μας επιτρέπει να αλλάξουμε την θέση του καναλιού στην οθόνη.

Τα χαρακτηριστικά του ενισχυτή εισόδου είναι:

- **Volts/div** Ρυθμίζει την αντιστοιχία τάσης ανά υποδιαίρεση. Υλοποιείται με έναν απλό διαιρέτη τάσης που μεταβάλλει την ευαισθησία του παλμογράφου. Υπάρχει και η μικρομετρική ρύθμιση που συνήθως βρίσκεται στο κέντρο του επιλογέα της ευαισθησίας. **Στην περίπτωση που αυτή δεν είναι κουμπωμένη στο τέρμα της ορθής φοράς υπάρχει μικρή διαφορά στην πραγματική τάση ανά υποδιαίρεση σε σχέση με αυτήν που δείχνει ο επιλογέας.**
- **INV** Αντιστροφή του καναλιού. Υπάρχει πάντα τουλάχιστον στο δεύτερο κανάλι. Χρησιμοποιείται για τη λήψη διαφορικής μέτρησης σε συνδυασμό με το πλήκτρο ADD (που προσθέτει τις εισόδους από τα δύο κανάλια και εμφανίζει το άθροισμά τους σε μια δέσμη). Στην περίπτωση της διαφορικής μέτρησης η ένδειξη του παλμογράφου αντιστοιχεί στη διαφορά δυναμικού των δύο καναλιών και μας επιτρέπει να πάρουμε μετρήσεις ανεξάρτητες από τη σύνδεση της γείωσης του παλμογράφου.
- **Position** Από το κουμπί αυτό μπορούμε να αλλάξουμε τη θέση της δέσμης στην οθόνη. Χρησιμοποιείται για να μας επιτρέψει να δούμε την κυματομορφή όσο το δυνατόν μεγαλύτερη (και να ελαχιστοποιήσουμε, επομένως, το σφάλμα ανάγνωσης) ή για να τοποθετήσουμε στο επιθυμητό σημείο την κυματομορφή προκειμένου να κάνουμε ειδικές μετρήσεις (ποσοστών ή σχετικές μετρήσεις μεταξύ των καναλιών).

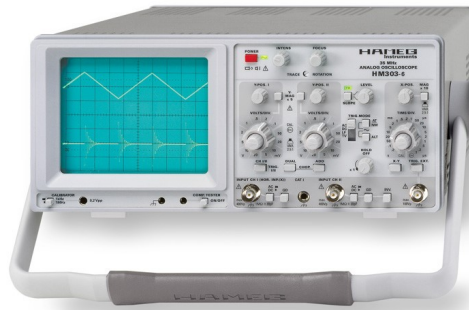


Σχήμα 3.3 Λειτουργία σάρωσης

### 3.2.2.1 Βασική λειτουργία του παλμογράφου (Τάση – Χρόνος)

Η κύρια χρήση του παλμογράφου είναι να απεικονίζει την τάση σε σχέση με τον χρόνο. Αυτό γίνεται με τη χρήση μιας προιονωτής τάσης σαν είσοδο στον ενισχυτή οριζόντιας απόκλισης που δημιουργεί μια περιοδική σάρωση της οθόνης από την κηλίδα της δέσμης. Η τάση αυτή παράγεται από τη γεννήτρια σάρωσης η οποία κατά την επιστροφή της δέσμης παράγει και έναν αμαυρωτικό παλμό που αποκόπτει την δέσμη ώστε να μην αφήνει ίχνος επιστροφής. Η λειτουργία της σάρωσης φαίνεται στο Σχήμα 3.3. Για να έχουμε μια σταθερή εικόνα στην οθόνη του παλμογράφου θα πρέπει ο προιονωτός παλμός σάρωσης να βρίσκεται σε φάση με το σήμα που δείχνει ο παλμογράφος. Αυτή την εργασία την αναλαμβάνει το κύκλωμα σκανδαλισμού (**trigger**) του παλμογράφου. Το κύκλωμα αυτό μπορεί να λειτουργεί αυτόματα χρησιμοποιώντας το επιλεγμένο κανάλι, χειροκίνητα, ή ακόμα να χρησιμοποιεί εξωτερικό σήμα συγχρονισμού στην είσοδο EXT.

Ο αναλογικός παλμογράφος έχει την δυνατότητα να εμφανίσει ταυτόχρονα δύο κυματομορφές. Αυτό μπορεί να γίνει με τη χρήση της λειτουργίας dual (**alternate mode**). Σε αυτή τη περίπτωση οι κυματομορφές που εφαρμόζονται στα δυο κανάλια εμφανίζονται η μια μετά την άλλη. Αν αυτό δεν είναι επιθυμητό μπορούμε να επιλέξουμε τη λειτουργία **chop** στην οποία εμφανίζονται πολλά εναλλασσόμενα δείγματα από κάθε κυματομορφή σε κάθε πέρασμα της δέσμης. Στην περίπτωση που επιθυμούμε να παρατηρήσουμε μια κυματομορφή με μεγάλη πληροφορία (π.χ. σήμα video) μπορούμε να κάνουμε χρήση της λειτουργίας 10X. Στην περίπτωση αυτή ο παλμογράφος μεγεθύνει την εικόνα του 10 φορές στον χρόνο και εμφανίζει στην οθόνη μόνο το ένα δέκατο της κυματομορφής. Μπορούμε να πλοηγηθούμε στην κυματομορφή κάνοντας χρήση του κουμπιού X-position.



**Σχήμα 3.4** Γενική όψη παλμογράφου HM303-6

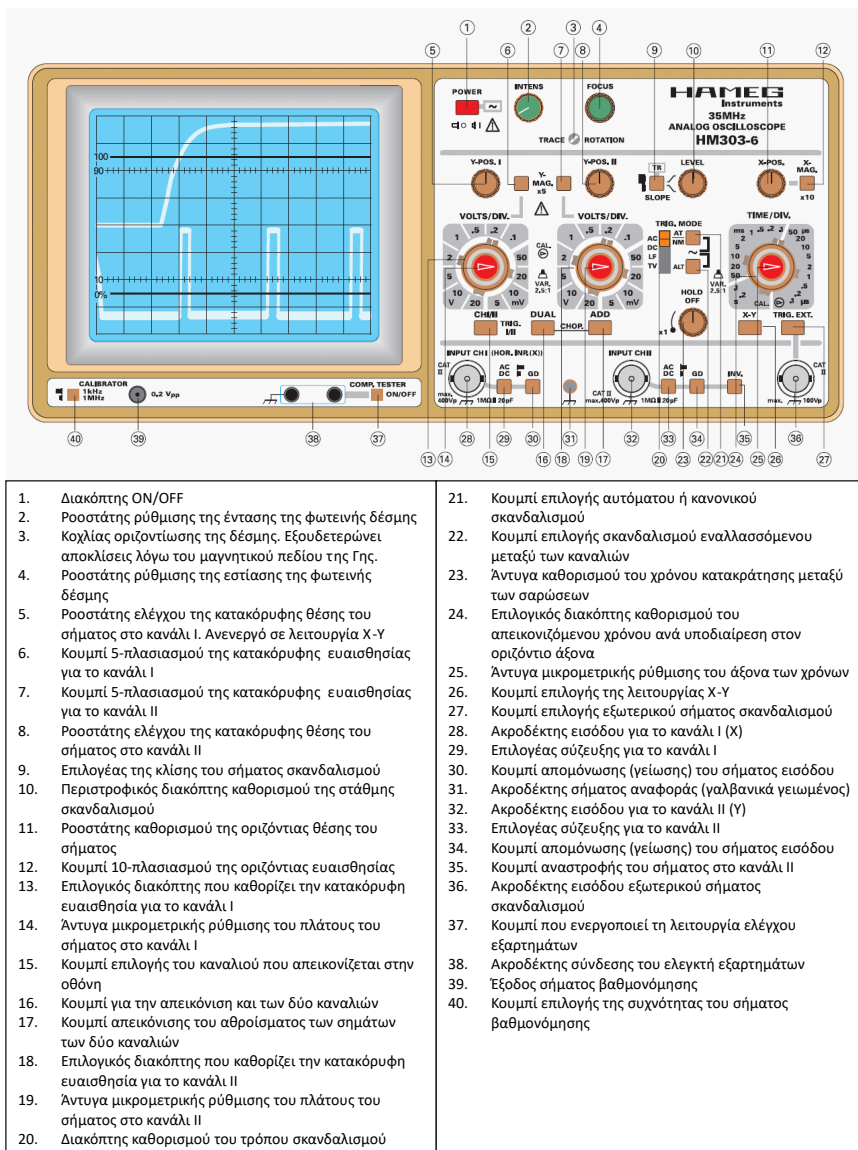
Η ικανότητα του παλμογράφου να απεικονίζει σήματα πολύ υψηλών συχνοτήτων περιορίζεται από την υψηλή συχνότητα αποκοπής του ενισχυτή κατακόρυφης απόκλισης και την απόδοση της φωτεινότητας του CRT σε μεγάλες ταχύτητες κίνησης της ηλεκτρονικής δέσμης. Στη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του παλμογράφου μια ημιτονοειδής κυματομορφή εμφανίζεται με πλάτος 0,707 (-3dB) μικρότερο του αναμενόμενου. Για να διατηρήσουμε την εικόνα των μετρούμενων κυματομορφών θα πρέπει αυτές να έχουν βασική συχνότητα πολύ μικρότερη της μέγιστης συχνότητας του παλμογράφου.

Το σήμα στον παλμογράφο έρχεται μέσω ενός ειδικού καλωδίου που ονομάζεται σηματολήπτης (probe). Το καλώδιο αυτό λειτουργεί σαν γραμμή μεταφοράς και περιέχει κύκλωμα προσαρμογής στην αντίσταση εισόδου του παλμογράφου. Η επιλογή του επηρεάζει σημαντικά την λειτουργία του παλμογράφου κοντά στη μέγιστη συχνότητά του. Συνήθως το καλώδιο αυτό περιέχει και 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 (μπλεντάζ) καλώδιο σαν σηματολήπτης 1:1.

Πριν από κάθε χρήση του παλμογράφου καλό είναι να ελέγχουμε την κατάστασή του μετρώντας το σήμα βαθμονόμησης που ο παλμογράφος μας παρέχει σε κάποιο σημείο. Το σήμα αυτό είναι ένας τετραγωνικός παλμός γνωστού πλάτους και συχνότητας που μας επιτρέπει να επιβεβαιώσουμε ότι ο παλμογράφος έχει τις ρυθμίσεις που αναμένουμε.

### 3.2.3 Παλμογράφος HM303-6

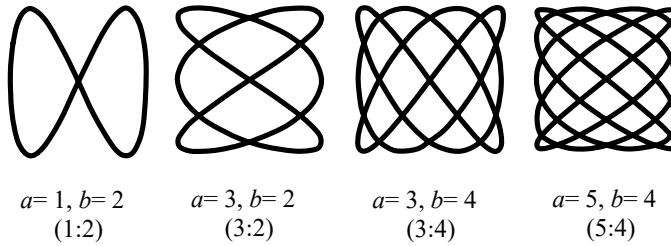
Πρόκειται για αναλογικό παλμογράφο δύο καναλιών με μέγιστη συχνότητα σήματος προς παρατήρηση ίση με 35MHz με δυνατότητες που υπερκαλύπτουν τις ανάγκες των ασκήσεων ενός εισαγωγικού εργαστηρίου αναλογικών ηλεκτρονικών. Γενική όψη του οργάνου απεικονίζεται στο Σχήμα 3.4.



- |                                                                                                  |                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Διακόπτης ON/OFF                                                                              | 21. Κουμπί επιλογής αυτόματου ή κανονικού σκανδαλισμού                                              |
| 2. Ροοστάτης ρύθμισης της έντασης της φωτεινής δέσμης                                            | 22. Κουμπί επιλογής σκανδαλισμού εναλλασσόμενου μεταξύ των καναλιών                                 |
| 3. Κοχλίας οριζόντιωσης της δέσμης. Εξουδετερώνει αποκλίσεις λόγω του μαγνητικού πεδίου της Γης. | 23. Άντγα καθορισμού του χρόνου κατακράτησης μεταξύ των σαρώσεων                                    |
| 4. Ροοστάτης ρύθμισης της εστίασης της φωτεινής δέσμης                                           | 24. Επιλογικός διακόπτης καθορισμού του απεικονιζόμενου χρόνου ανά υποδιαίρεση στον οριζόντιο άξονα |
| 5. Ροοστάτης ελέγχου της κατακόρυφης θέσης του σήματος στο κανάλι I. Ανενεργό σε λειτουργία X-Y  | 25. Άντγα μικρομετρικής ρύθμισης του άξονα των χρόνων                                               |
| 6. Κουμπί 5-πλασιασμού της κατακόρυφης ευαισθησίας για το κανάλι I                               | 26. Κουμπί επιλογής της λειτουργίας X-Y                                                             |
| 7. Κουμπί 5-πλασιασμού της κατακόρυφης ευαισθησίας για το κανάλι II                              | 27. Κουμπί επιλογής εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού                                                 |
| 8. Ροοστάτης ελέγχου της κατακόρυφης θέσης του σήματος στο κανάλι II                             | 28. Ακροδέκτης εισόδου για το κανάλι I (X)                                                          |
| 9. Επιλογέας της κλίσης του σήματος σκανδαλισμού                                                 | 29. Επιλογέας σύζευξης για το κανάλι I                                                              |
| 10. Περιστροφικός διακόπτης καθορισμού της στάθμης σκανδαλισμού                                  | 30. Κουμπί απομόνωσης (γείωσης) του σήματος εισόδου                                                 |
| 11. Ροοστάτης καθορισμού της οριζόντιας θέσης του σήματος                                        | 31. Ακροδέκτης σήματος αναφοράς (γαλβανικά γειωμένος)                                               |
| 12. Κουμπί 10-πλασιασμού της οριζόντιας ευαισθησίας                                              | 32. Ακροδέκτης εισόδου για το κανάλι II (Y)                                                         |
| 13. Επιλογικός διακόπτης που καθορίζει την κατακόρυφη ευαισθησία για το κανάλι I                 | 33. Επιλογέας σύζευξης για το κανάλι II                                                             |
| 14. Άντγα μικρομετρικής ρύθμισης του πλάτους του σήματος στο κανάλι I                            | 34. Κουμπί απομόνωσης (γείωσης) του σήματος εισόδου                                                 |
| 15. Κουμπί επιλογής του καναλιού που απεικονίζεται στην οθόνη                                    | 35. Κουμπί αναστροφής του σήματος στο κανάλι II                                                     |
| 16. Κουμπί για την απεικόνιση και των δύο καναλιών                                               | 36. Ακροδέκτης εισόδου εξωτερικού σήματος σκανδαλισμού                                              |
| 17. Κουμπί απεικόνισης του αθροίσματος των σημάτων των δύο καναλιών                              | 37. Κουμπί που ενεργοποιεί τη λειτουργία ελέγχου εξαρτημάτων                                        |
| 18. Επιλογικός διακόπτης που καθορίζει την κατακόρυφη ευαισθησία για το κανάλι II                | 38. Ακροδέκτης σύνδεσης του ελεγκτή εξαρτημάτων                                                     |
| 19. Άντγα μικρομετρικής ρύθμισης του πλάτους του σήματος στο κανάλι II                           | 39. Έξοδος σήματος βαθμονόμησης                                                                     |
| 20. Διακόπτης καθορισμού του τρόπου σκανδαλισμού                                                 | 40. Κουμπί επιλογής της συχνότητας του σήματος βαθμονόμησης                                         |

Σχήμα 3.5 Πρόσωση παλμογράφου HM303-6

Περιγραφή των στοιχείων της πρόσθιας όψης του συνοψίζεται στο διάγραμμα του Σχήματος 3.5.



**Σχήμα 3.6** Σχήματα Lissajous για διαφορετικές τιμές των συχνοτήτων  $a$  και  $b$

### 3.2.4 Σχήματα Lissajous

Από μαθηματικής άποψης ένα σχήμα Lissajous είναι το γράφημα του ακόλουθου συστήματος παραμετρικών εξισώσεων

$$x = A \sin(at + \delta), y = B \sin(bt) \quad (3.1)$$

το οποίο περιγράφει μια σύνθετη αρμονική κίνηση. Πρόκειται για οικογένεια σχημάτων η μορφή κάθε μέλους της οποίας εξαρτάται από το λόγο  $a/b$ . Αν ο λόγος ισούται με τη μονάδα, το αντίστοιχο σχήμα είναι έλλειψη με ειδικές περιπτώσεις τον κύκλο ( $A = B$  και  $\delta = \pi/2$ ) και την ευθεία ( $\delta=0$ ). Λόγοι διάφοροι της μονάδας παράγουν συνθετότερα σχήματα που είναι κλειστά αν ο λόγος  $a/b$  είναι ρητός.

Ένας συνήθης τρόπος παραγωγής των εικόνων Lissajous είναι με τη βοήθεια παλμογράφου. Δύο ημιτονικά σήματα με διαφορά φάσης εφαρμόζονται στα κανάλια του παλμογράφου ο οποίος τίθεται σε λειτουργία X-Y και η σχέση των φάσεων τους απεικονίζεται ως ένα σχήμα Lissajous. Στην περίπτωση αυτή  $A$  είναι το πλάτος του σήματος στο κανάλι I,  $B$  το αντίστοιχο πλάτος στο κανάλι II,  $a$  η συχνότητα του σήματος στο κανάλι I και  $b$  η συχνότητα του σήματος στο κανάλι II. Προφανώς  $\delta$  είναι η διαφορά φάσης των δύο σημάτων.

Στο Σχήμα 3.6 απεικονίζονται μορφές σχημάτων Lissajous για διαφορετικές τιμές των συχνοτήτων  $a$  και  $b$ .

## 3.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 3.3.1 Δημιουργία Ημιτονικού Σήματος

1. Χρησιμοποιώντας τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο να δημιουργήσετε ημιτονικό σήμα πλάτους  $2 V_{pp}$  και συχνότητας 1 kHz.
2. Ποια η ενεργός τιμή του σήματος αυτού;
3. Μετρήστε την ενεργό τιμή του σήματος κάνοντας χρήση κατάλληλου οργάνου του εργαστηρίου.

### 3.3.2 Δημιουργία Ημιτονικού Σήματος με DC Συνιστώσα

1. Χρησιμοποιώντας τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο να δημιουργήσετε ημιτονικό σήμα πλάτους  $2 V_{pp}$  με DC συνιστώσα ίση με -2 Volts και συχνότητας 1 kHz.

2. Ποια η ενεργός τιμή του σήματος αυτού;
3. Μετρήστε την ενεργό τιμή του σήματος κάνοντας χρήση κατάλληλου οργάνου του εργαστηρίου.

#### 3.3.3 Δημιουργία Τετραγωνικών Παλμών

1. Χρησιμοποιώντας τη γεννήτρια συναρτήσεων και τον παλμογράφο να δημιουργήσετε τετραγωνικούς παλμούς ρυθμού 10 kbps και πλάτους 5V, με duty cycle 50%.
2. Τροποποιήστε τους παλμούς του προηγούμενου ερωτήματος ώστε το duty cycle να γίνει 75%.

#### 3.3.4 Φασματικό Περιεχόμενο Σήματος

1. Χρησιμοποιώντας μία γεννήτρια συχνοτήτων δημιουργήστε ημιτονικό σήμα πλάτους 2 V<sub>pp</sub> και συχνότητας 1 kHz.
2. Χρησιμοποιώντας τη δεύτερη γεννήτρια συχνοτήτων που διαθέτει ο πάγκος σας δημιουργήστε ημιτονικό σήμα πλάτους 2 V<sub>pp</sub> και συχνότητας 3 kHz.
3. Χρησιμοποιώντας και τα δύο κανάλια του παλμογράφου σας παρατηρήστε το άθροισμα των δύο ημιτόνων που δημιουργήσατε πιο πάνω.
4. Αν το εργαστήριο διαθέτει φασματικό αναλυτή και διοχετεύατε σε αυτόν το σήμα του προηγούμενου ερωτήματος, τι θα παρατηρούσατε στην οθόνη του;

#### 3.3.5 Σχήματα Lissajous

1. Χρησιμοποιώντας μία γεννήτρια συχνοτήτων δημιουργήστε ημιτονικό σήμα πλάτους 2 V<sub>pp</sub> και συχνότητας 1 kHz.
2. Χρησιμοποιώντας τη δεύτερη γεννήτρια συχνοτήτων που διαθέτει ο πάγκος σας δημιουργήστε ημιτονικό σήμα πλάτους 2 V<sub>pp</sub> και συχνότητας 2 kHz.
3. Χρησιμοποιώντας και τα δύο κανάλια του παλμογράφου και σε λειτουργία x-y παρατηρήστε το παραγόμενο σχήμα Lissajous.
4. Μεταβάλλοντας τις συχνότητες των δύο ημιτονικών σημάτων παρατηρήστε σχήματα ανώτερης «τάξης».

### 3.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις Τηλεπικοινωνίες" - Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Τόμος Α': Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Σπάρτη 2011 : §1.26.5



## ΠΛΑΚΕΤΑ ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ (BREADBOARD)

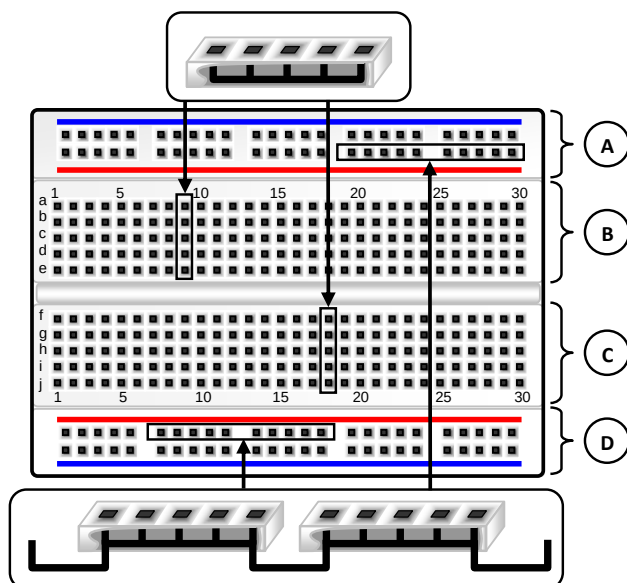
### 4.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των φοιτητών στην συνδεσμολόγηση ηλεκτρικών κυκλωμάτων σε πλακέτα πρωτοτύπων (breadboard) και ο εθισμός τους στις σχετικές καλές πρακτικές.

### 4.2 Θεωρητικό Μέρος

Ένα από τα σημαντικότερα στάδια στη σχεδίαση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος είναι η υλοποίησή του σε επίπεδο πρωτοτύπου. Το πρωτότυπο (prototype) είναι μια αρχική μορφή του κυκλώματος στο οποίο διενεργούνται εξαντλητικές δοκιμές και έλεγχοι προκειμένου να διαπιστωθεί αν ικανοποιούνται όλες οι προδιαγραφές που τέθηκαν κατά τη σχεδίαση. Κατά το στάδιο ελέγχου ενός πρωτοτύπου είναι δυνατόν να διαπιστωθούν αποκλίσεις από την επιθυμητή συμπεριφορά, είτε λόγω αστοχιών στη σχεδίαση είτε λόγω παραγόντων που δεν εκτιμήθηκαν σωστά. Προκειμένου να διορθωθούν οι αδυναμίες αυτές γίνεται επανασχεδίαση του κυκλώματος, γεγονός που επιβάλλει τροποποίηση του πρωτοτύπου και εκ νέου διενέργεια των ελέγχων. Το στάδιο αυτό είναι δυνατό να επαναληφθεί αρκετές φορές, ιδιαίτερα για κυκλώματα μεγάλης πολυπλοκότητας. Γίνεται φανερό πως για να μειωθεί ο απαιτούμενος χρόνος θα πρέπει η υλοποίηση του πρωτοτύπου να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε οι τροποποιήσεις σε αυτό να γίνονται γρήγορα και εύκολα, χωρίς αυτό να πρέπει να κατασκευαστεί από την αρχή.

Για την υλοποίηση των πρωτότυπων κυκλωμάτων χρησιμοποιούνται οι πλακέτες πρωτοτύπων (protoboards ή bread-boards). Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται μια τέτοια πλακέτα. Αποτελείται από συστοιχίες (ομάδες) οπών (υποδοχών) πάνω σε μονωτικό υλικό. Οι οπές χρησιμοποιούνται για να στερεώνονται σε αυτές οι ακροδέκτες των εξαρτημάτων του κυκλώματος και αγωγοί (καλώδια) διασύνδεσης - αν αυτό απαιτείται - είναι δε κατασκευασμένες κατά τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπουν την εύκολη αφαίρεση και επανατοποθέτηση των ακροδεκτών σε αυτές, χωρίς να απαιτείται συγκόλλησή τους. Οι οπές διασυνδέονται εσωτερικά κατά συγκεκριμένο τρόπο προ-



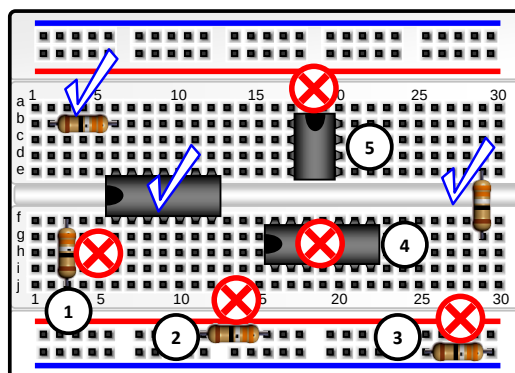
Σχήμα 4.1 Δομή πλακέτας πρωτοτύπων και διασύνδεση οπών

κειμένου ένα μεγάλο μέρος των αγωγών που απαιτεί το κύκλωμα να υλοποιούνται στο εσωτερικό της πλακέτας. Πιο συγκεκριμένα, οργανώνονται σε ομάδες των πέντε (πεντάδες), οι οποίες συνδέονται εσωτερικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.

Μια πλακέτα πρωτοτύπων αποτελείται από δύο διαφορετικούς τύπους τμημάτων: Για τον έναν από αυτούς η διασύνδεση των οπών γίνεται οριζόντια, όπως συμβαίνει στα τμήματα A και D στο Σχήμα 1.110. Για τον άλλο, οι οπές συνδέονται κατακόρυφα (βλπ. τμήματα B και C). Γενικά ισχύει πως οι οπές γειτονικών πεντάδων δεν συνδέονται μεταξύ τους. Εξάιρεση αποτελούν τα τμήματα του οριζώντιου τύπου (A ή D) και μόνο όπου αυτό υποδεικνύεται από οριζόντιες γραμμές τυπωμένες στην επιφάνεια της πλακέτας. Στην περίπτωση αυτή οι αντίστοιχες οπές χρησιμοποιούνται συνήθως για τον τερματισμό των τάσεων τροφοδοσίας του κυκλώματος και γι' αυτό το λόγο οι οριζόντιες ενδεικτικές γραμμές είναι κόκκινου (για τον θετικό πόλο της τροφοδοσίας) και μπλε (για τον αρνητικό πόλο) χρώματος. Για την ευκολότερη αναφορά σε κάθε οπή στα τμήματα του κατακόρυφου τύπου, χρησιμοποιείται σύστημα συντεταγμένων από αριθμούς και λατινικά γράμματα που χαράσσονται ή τυπώνονται στην επιφάνεια της πλακέτας. Έτσι, οι οπές της ίδιας πεντάδας συμβολίζονται με τα γράμματα a-b-c-d-e ή f-g-h-i-j, ενώ οι πεντάδες αριθμούνται από το 1 μέχρι τον μέγιστο αριθμό τους, ο οποίος εξαρτάται από το μέγεθος της πλακέτας.

Εξαιτίας της ευκολίας και της ευελιξίας που παρέχει μια πλακέτα πρωτοτύπων, αποτελεί ιδανική λύση για την υλοποίηση κυκλωμάτων εργαστηριακών ασκήσεων. Παρόλα αυτά, απαιτείται εμπειρία στη χρήση της ώστε να γίνονται σωστά οι επιθυμητές διασυνδέσεις και να αποφεύγονται τα λάθη.

Στο Σχήμα 4.2 φαίνονται παραδείγματα ορθής και εσφαλμένης τοποθέτησης εξαρ-



**Σχήμα 4.2** Παραδείγματα ορθής και εσφαλμένης τοποθέτησης εξαρτημάτων σε πλακέτα πρωτοτύπων

τημάτων σε μια πλακέτα πρωτοτύπων. Ο αντιστάτης #1 δεν έχει τοποθετηθεί σωστά για το λόγο ότι και οι δύο ακροδέκτες του έχουν στερεωθεί σε οπές της ίδιας πεντάδας (στις οπές f3 και j3). Αυτό συνεπάγεται πως ο αντιστάτης είναι βραχυκυκλωμένος και το ρεύμα που θα διέρχεται από αυτόν θα είναι μηδενικό. Ο αντιστάτης #3 είναι εσφαλμένα τοποθετημένος για τον ίδιο λόγο. Ο αντιστάτης #2, αν και έχει τους ακροδέκτες του τοποθετημένους σε οπές διαφορετικών πεντάδων, είναι επίσης βραχυκυκλωμένος επειδή όλες οι οπές των πεντάδων της αντίστοιχης σειράς διασυνδέονται μεταξύ τους, όπως υποδεικνύει η οριζόντια γραμμή. Για το ολοκληρωμένο #4 κάθε ζεύγος αντικρυνών ακροδεκτών είναι βραχυκυκλωμένο, αφού κάθε ακροδέκτης είναι τοποθετημένος στην ίδια πεντάδα με τον απέναντί του. Αυτό δεν είναι, γενικά, επιθυμητό. Για το ολοκληρωμένο #5 όλοι οι ακροδέκτες κάθε πλευράς του είναι βραχυκυκλωμένοι, αφού στερεώνονται στην ίδια πεντάδα οπών.

Μεγαλύτερη ευελιξία τροποποιήσεων και ευκολότερος εντοπισμός λαθών επιτυγχάνεται όταν οι πρόσθετοι εξωτερικοί αγωγοί διασύνδεσης τοποθετούνται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να εφάπτονται στην επιφάνεια της πλακέτας παρακάμπτοντας τα εξαρτήματα, για τα οποία και θα πρέπει να τηρείται η ίδια αρχή (κατά το δυνατόν και ανάλογα με τον τύπο τους). Σχετικό παράδειγμα φαίνεται στο Σχήμα 4.3.

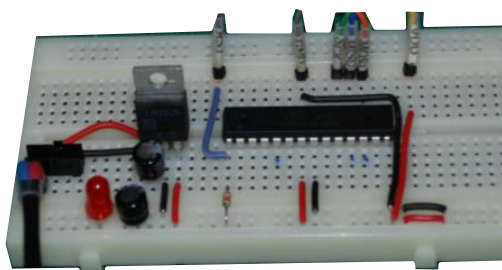
## 4.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 4.3.1 Μέρος Α

Σχεδιάστε τα σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων τα οποία παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.4, 4.5 και 4.6.

### 4.3.2 Μέρος Β

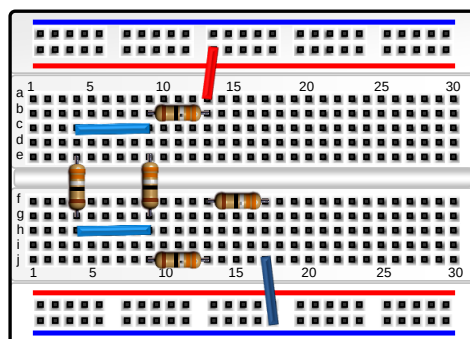
Υλοποιήστε στο breadboard τα κυκλώματα των οποίων τα σχηματικά διαγράμματα παρουσιάζονται στα Σχήματα 4.7 έως 4.11.



Σχήμα 4.3 Παράδειγμα σωστής διασύνδεσης εξαρτημάτων σε πλακέτα πρωτοτύπων

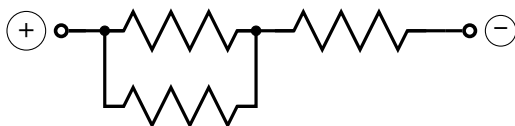
### 4.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Yannis Tsididis, "A First Lab in Circuits and Electronics", Wiley, 2001 : σελ. 1–13



Σχήμα 4.4 Υλοποίηση κυκλώματος #1

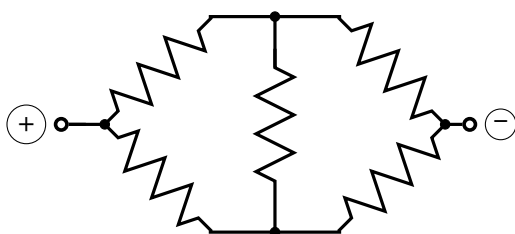




Σχήμα 4.9 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #3



Σχήμα 4.10 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #4



Σχήμα 4.11 Σχηματικό διάγραμμα κυκλώματος #5

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

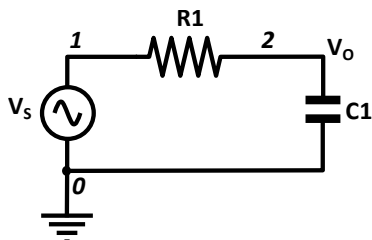
### 5.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των φοιτητών με τον προσομοιωτή αναλογικών κυκλωμάτων και η εκτέλεση απλών προσομοιώσεων διάφορων τύπων σε κυκλώματα αποτελούμενα από απλά στοιχεία, όπως πηγές τάσης, αντιστάτες, πυκνωτές, κ.λπ. Μέσω των προσομοιώσεων οι φοιτητές θα έχουν την ευκαιρία να επιβεβαιώσουν θεμελιώδεις αρχές οι οποίες διέπουν τα ηλεκτρικά κυκλώματα, όπως ο νόμος του Ohm, οι κανόνες του Kirchhoff, κ.λπ.

### 5.2 Θεωρητικό Μέρος

Η ανάλυση ενός ηλεκτρονικού κυκλώματος με μικρό αριθμό στοιχείων είναι δυνατή με τη βοήθεια του νόμου του Ohm, των νόμων του Kirchhoff και των εξισώσεων που περιγράφουν το κάθε επιμέρους στοιχείο. Η ακριβής περιγραφή της συμπεριφοράς ενός στοιχείου μπορεί να απαιτεί ένα πολύπλοκο σύνολο εξισώσεων, καθεμία από τις οποίες αντιστοιχεί σε διαφορετική περιοχή λειτουργίας του στοιχείου αυτού, όπως θα δούμε και σε επόμενα κεφάλαια. Η πολυπλοκότητα των κυκλωμάτων τα οποία σχεδιάζονται σήμερα καθιστά απαγορευτική την αναλυτική περιγραφή της συμπεριφοράς τους. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έγινε αντιληπτή από πολύ νωρίς η ανάγκη για την εκμετάλλευση των δυνατοτήτων των ηλεκτρονικών υπολογιστών προκειμένου να αναλυθούν πολύπλοκα κυκλώματα και να γίνει προσομοίωση της λειτουργίας τους. Σταθμό αποτέλεσε η εμφάνιση του SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis), στις αρχές της δεκαετίας του 1970, το οποίο έτυχε ευρύτατης διάδοσης εξαιτίας και του γεγονότος ότι ήταν το πρώτο πρόγραμμα ανοικτού κώδικα (open source). Οι περισσότεροι σύγχρονοι αναλογικοί προσομοιωτές κυκλωμάτων αποτελούν κλώνους του SPICE, πολλοί δε από αυτούς διατίθενται δωρεάν.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα που προσφέρει η χρήση προσομοιωτών είναι το γεγονός ότι πριν την υλοποίηση και τον έλεγχο του πρωτοτύπου του κυκλώματος μπορεί να προηγηθεί ένας αρκετά ακριβής έλεγχος ορθής λειτουργίας με τη χρήση του



Σχήμα 5.1 Απλό κύκλωμα για προσομοίωση

προσομοιωτή. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ο συνολικός χρόνος ελέγχου καθώς και το κόστος της διαδικασίας σχεδίασης και δοκιμής.

Οι δύο βασικοί τύποι προσομοιωτών κυκλωμάτων είναι οι αναλογικοί και οι ψηφιακοί (ή λογικοί). Οι πρώτοι επιλύουν τις εξισώσεις που συνδέουν τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά των διάφορων επιμέρους στοιχείων που αποτελούν το κύκλωμα που προσομοιώνουν. Κάθε τέτοιο στοιχείο περιγράφεται συχνά από μεγάλο αριθμό εξισώσεων που αποτελούν το μαθηματικό μοντέλο του στοιχείου αυτού. Η προσομοίωση ψηφιακών κυκλωμάτων με πολύ μεγάλο αριθμό στοιχείων είναι εξαιρετικά χρονοβόρα αν χρησιμοποιηθούν αναλογικοί προσομοιωτές, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των μοντέλων και του μεγάλου αριθμού των επιμέρους στοιχείων. Για το λόγο αυτό αναπτύχθηκαν ψηφιακοί προσομοιωτές, οι οποίοι επικεντρώνονται στην λογική συμπεριφορά του κυκλώματος (υπό την έννοια της άλγεβρας Boole) και αναλύουν το κύκλωμα σε επίπεδο λογικής πύλης. (Συνοπτική παρουσίαση των αρχών της άλγεβρας Boole και των λογικών πυλών θα δούμε σε επόμενο κεφάλαιο). Απλοποιώντας τη διαδικασία ανάλυσης – και άρα και τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούν, τα αποτελέσματα που παρέχουν αφορούν κυρίως τις χρονικές καθυστερήσεις μεταξύ των πυλών.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονίσουμε πως όσο ακριβή και αν είναι τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιεί ένας προσομοιωτής τα αποτελέσματα μιας προσομοίωσης ενδέχεται να διαφέρουν από την πραγματικότητα. Επομένως, σε καμία περίπτωση δεν είναι δυνατόν η προσομοίωση να αντικαταστήσει τον εργαστηριακό έλεγχο ορθής λειτουργίας.

Ας εξετάσουμε στη συνέχεια σε αδρές γραμμές τη φιλοσοφία που ακολουθείται κατά την αναλογική προσομοίωση κυκλωμάτων με τη χρήση προσομοιωτών τύπου SPICE. Πιο συγκεκριμένα θα παρουσιάσουμε τη δομή ενός αρχείου SPICE στο οποίο ορίζεται η τοπολογία του υπό προσομοίωση κυκλώματος, οι πηγές σήματος που αυτό περιλαμβάνει, οι τύποι των αναλύσεων που θα πραγματοποιηθούν και τα αποτελέσματα (σε αριθμητική μορφή ή σε μορφή γραφικών παραστάσεων) που θα εξαχθούν. Οι περισσότεροι προσομοιωτές τύπου SPICE διαθέτουν GUI (Graphical User Interface) το οποίο παρέχει τη δυνατότητα γραφικής εισαγωγής της τοπολογίας του κυκλώματος (στη μορφή σχηματικού διαγράμματος) και αυτόματης εξαγωγής του αντίστοιχου αρχείου SPICE.

Έστω το απλό κύκλωμα του Σχήματος 5.1 το οποίο πρόκειται να προσομοιωθεί. Με αριθμούς σημειώνονται τα σημεία στα οποία καταλήγουν οι ακροδέκτες των πηγών σήματος καθώς και των διάφορων ηλεκτρονικών στοιχείων. Η θέση καθενός από αυτά στην τοπολογία του κυκλώματος ορίζεται με βάση τους αριθμούς που αντιστοιχούν στους ακροδέκτες τους, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια. Αξίζει να



```

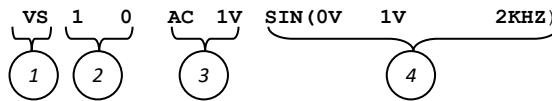
* Ορισμός πηγής σήματος:
VS 1 0 AC 1V SIN(0V 1V 2KHZ)
* Ορισμός παθητικών στοιχείων:
R1 1 2 1K
C1 2 0 0.032UF
*
* Ορισμός τύπων και στοιχείων αναλύσεων:
.AC DEC 5 10 10MEG
.TRAN 5US 500US
*
* Ορισμός αποτελεσμάτων που θα αποθηκευθούν:
.PRINT AC VM(2) VP(2)
.PRINT TRAN V(1) V(2)
*
* Ενεργοποίηση γραφικής παράστασης των αποτελεσμάτων:
.PROBE
* Δήλωση τέλους αρχείου:
.END

```

Σχήμα 5.2 Αρχείο SPICE για την ανάλυση του κυκλώματος του Σχ. 5.1

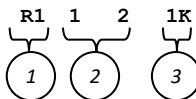
σημειωθεί πως όλοι οι ακροδέκτες που καταλήγουν στον κοινό αγωγό του κυκλώματος αντιστοιχούν στον αριθμό μηδέν (0). Το αρχείο SPICE που αντιστοιχεί στο κύκλωμά μας φαίνεται στο Σχήμα 5.2.

Με τη δήλωση



ορίζεται η πηγή σήματος (τάσης) VS. Στο τμήμα #1 ορίζεται το όνομα της πηγής, στο τμήμα #2 οι αριθμοί των σημείων στα οποία συνδέονται οι ακροδέκτες της (βλπ. και Σχήμα 5.1), στο τμήμα #3 ορίζεται ο τύπος του σήματος που παράγει (AC) και το πλάτος του (1V). Τα χαρακτηριστικά του τμήματος #3 θα χρησιμοποιηθούν κατά την AC ανάλυση του κυκλώματος, όπως θα δούμε στη συνέχεια. Τέλος, στο τμήμα #4 ορίζεται ημιτονικό σήμα εξόδου της πηγής με DC offset ίσο με 0V, πλάτος 1V και συχνότητα 2kHz.

Με τη δήλωση



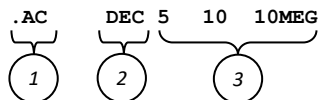
ορίζεται ο αντιστάτης R1 (τμήμα #1) με ακροδέκτες στα σημεία 1 και 2 (τμήμα #2) και τιμή 1kΩ (τμήμα #3).

Με παρόμοιο τρόπο ορίζεται ο πυκνωτής C1 μεταξύ των σημείων 2 και 0 και τιμή 0.032μF (ας προσέξει ο αναγνώστης πως για την υποδιαίρεση “μ” χρησιμοποιείται το σύμβολο “u”).

Ακολουθούν οι δηλώσεις που αφορούν τους τύπους και τα δεδομένα των αναλύσεων που θα πραγματοποιήσει ο προσομοιωτής.

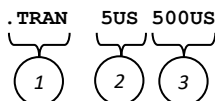
Στο σημείο αυτό καλό είναι να αναφέρουμε πως οι συνηθέστεροι τύποι αναλύσεων που μπορούν να ορισθούν είναι η DC, η οποία παρέχει ως αριθμητικές τιμές τις τάσεις και τα ρεύματα ηρεμίας στα διάφορα σημεία του κυκλώματος, η DC σάρωσης (DC sweep) η οποία εκτελεί επαναλήψεις της ανάλυσης DC για διαδοχικές τιμές των συνεχών τάσεων (ή ρευμάτων) που παρέχονται από τις πηγές τάσεων (ή ρευμάτων) του κυκλώματος και η οποία χρησιμοποιείται π.χ. για τη χάραξη χαρακτηριστικών I-V, η AC η οποία παρέχει την απόκριση κατά συχνότητα του κυκλώματος και με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να πάρουμε τα αντίστοιχα διαγράμματα Bode, και η ανάλυση μεταβατικής κατάστασης (transient) η οποία παρέχει γραφικές παραστάσεις των κυματομορφών σε διάφορα σημεία του κυκλώματος στη χρονική τους εξέλιξη.

Με τη δήλωση



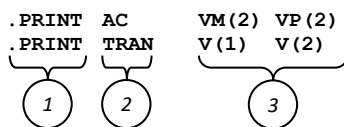
ορίζεται μια ανάλυση τύπου AC (τμήμα #1) σε λογαριθμική κλίμακα με βάση το δέκα (τμήμα #2) η οποία θα δώσει γράφημα 5 σημείων μεταξύ της συχνότητας των 10Hz και των 10MHz (τμήμα #3).

Παρόμοια, με τη δήλωση

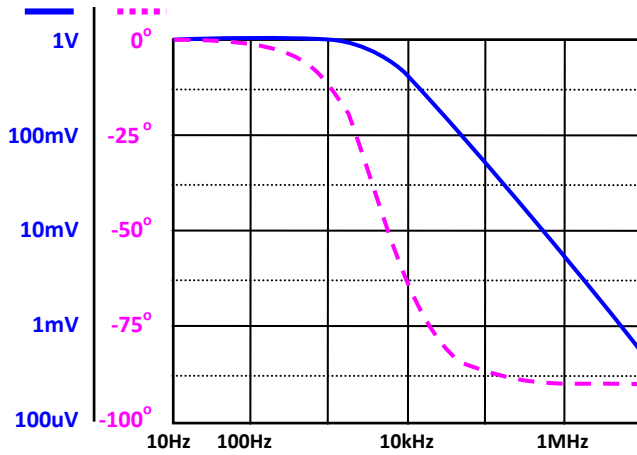


ορίζεται μια ανάλυση μεταβατικής κατάστασης (τμήμα #1) με χρονική διάρκεια 500μs (τμήμα #3) και «βήμα» μεταξύ των διαδοχικών χρονικών σημείων ίσο με 5μs (τμήμα #2).

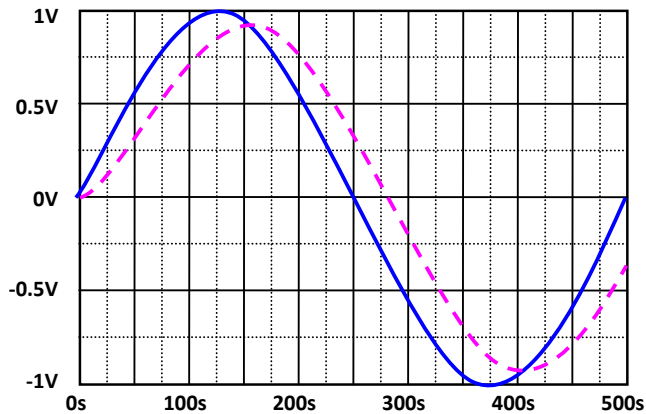
Οι αριθμητικές τιμές που αντιστοιχούν στα αποτελέσματα των αναλύσεων αποθηκεύονται σε ένα αρχείο κειμένου (text) για περαιτέρω επεξεργασία. Οι τιμές που θα αποθηκευθούν ορίζονται με τις δηλώσεις της μορφής



όπου στο τμήμα #1 η δεσμευμένη λέξη PRINT υποδηλώνει την αποθήκευση των αποτελεσμάτων, στο τμήμα #2 ορίζεται ο τύπος της ανάλυσης από την οποία προέρχονται τα αποτελέσματα και στο τμήμα #3 δηλώνονται τα σημεία της τοπολογίας και ο τύπος των αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, η δήλωση VM(2) αναφέρεται σε αποτελέσματα πλάτους (Magnitude-M) του σήματος τάσης (V) από το σημείο 2, η δήλωση VP(2) αναφέρεται σε αποτελέσματα φάσης (Phase-P) του σήματος τάσης (V) από το σημείο 2, ο συμβολισμός V(1) αφορά κυματομορφή τάσης στο σημείο 2 κ.ο.κ.



Σχήμα 5.3 Γραφήματα από την AC ανάλυση του κυκλώματος του Σχ. 5.1



Σχήμα 5.4 Γραφήματα από την ανάλυση μεταβατικής κατάστασης του κυκλώματος του Σχ. 5.1

Αν επιπλέον της αποθήκευσης των αριθμητικών τιμών των αποτελεσμάτων επιθυμούμε και την παραγωγή των σχετικών γραφημάτων χρησιμοποιούμε τη δήλωση .PROBE. Τέλος, το αρχείο τερματίζεται με τη δήλωση .END.

Στα Σχήματα 5.3 και 5.4 παρουσιάζονται τα γραφήματα που προκύπτουν από την AC και transient ανάλυση του κυκλώματος, αντίστοιχα. Για εκτενέστερη παρουσίαση και περισσότερες πληροφορίες ο αναγνώστης παραπέμπεται στη σχετική βιβλιογραφία.

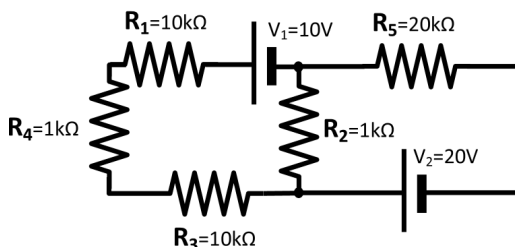
## 5.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 5.3.1 Νόμος του Ohm

1. Σχεδιάστε κύκλωμα το οποίο να περιλαμβάνει πηγής σταθερής τάσης 10V, και αντιστάτη 1kΩ. Εκτελέστε DC ανάλυση στο κύκλωμα προκειμένου να προσδιορίσετε τις τάσεις στα διάφορα σημεία του, καθώς και το ρεύμα που το διαρρέει. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης να σημειώσετε την τάση στα άκρα του αντιστάτη και το ρεύμα το οποίο τον διαρρέει, και να επιβεβαιώσετε από αυτά τον νόμο του Ohm. Γειώστε υποχρεωτικά τον αρνητικό πόλο της πηγής σταθερής τάσης. Γιατί είναι απαραίτητη η χρήση της γείωσης σε κάθε κύκλωμα το οποίο προσομοιώνεται;
2. Στο κύκλωμα του προηγούμενου βήματος τροποποιήστε την τιμή της αντίστασης στα 10kΩ, και παρεμβάλετε αμπερόμετρο σε κατάλληλη θέση του κυκλώματος ώστε να είναι δυνατή η μέτρηση του ρεύματος το οποίο διαρρέει τον αντιστάτη. Συνδέστε, επίσης, βολτόμετρο για τη μέτρηση της τάσης στα άκρα του αντιστάτη. Εκτελέστε DC ανάλυση και από τις ενδείξεις του βολτομέτρου και του αμπερομέτρου υπολογίστε την τιμή της αντίστασης και επιβεβαιώστε την ονομαστική της τιμή.
3. Στο κύκλωμα του προηγούμενου βήματος αντικαταστήστε την πηγή σταθερής τάσης με πηγή εναλλασσόμενης τάσης συχνότητας 1kHz και πλάτους 10V. Εκτελέστε DC ανάλυση και προσδιορίστε τις τιμές των τάσεων και των ρευμάτων. Τι παρατηρείτε;
4. Για το κύκλωμα του προηγούμενου βήματος εκτελέστε AC ανάλυση. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιορίστε την τιμή της αντίστασης. Ποια η διαφορά μεταξύ των αναλύσεων DC και AC;
5. Για το ίδιο κύκλωμα εκτελέστε μεταβατική ανάλυση (transient). Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης προσδιορίστε την τιμή της αντίστασης. Ποια η μορφή των αποτελεσμάτων της μεταβατικής ανάλυσης;
6. Τροποποιήστε την τιμή της συχνότητας της πηγής εναλλασσόμενης τάσης στα 100kHz, και προσδιορίστε εκ νέου την τιμή της αντίστασης. Τι παρατηρείτε;

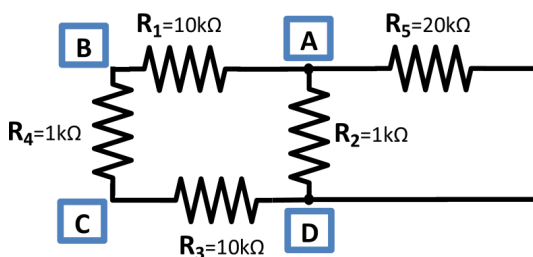
### 5.3.2 Κανόνες του Kirchhoff

1. Χρησιμοποιήστε τρεις πηγές ρεύματος των 1mA, 5mA και 10mA και διοχετεύετε το ρεύμα τους σε αντιστάτη 1kΩ. Εκτελέστε κατάλληλη ανάλυση προκειμένου να προσδιορίσετε την τάση στα άκρα του αντιστάτη και υπολογίστε το συνολικό ρεύμα το οποίο τον διαρρέει προκειμένου να επαληθεύσετε τον 1ο κανόνα του Kirchhoff.
2. Για το κύκλωμα του επόμενου σχήματος προσδιορίστε τις φορές των ρευμάτων καθώς και τις τιμές της έντασής τους, και επιβεβαιώστε τους υπολογισμούς σας μέσω προσομοίωσης.



### 5.3.3 Ισοδύναμη Αντίσταση Δικτυωμάτων Αντιστατών

1. Για το δικτύωμα των αντιστατών του επόμενου σχήματος συνδέστε μεταξύ των σημείων A και B πηγή σταθερής τάσης 10V και εκτελέστε κατάλληλη προσομοίωση ώστε να προσδιορίσετε την ένταση του ρεύματος το οποίο εισέρχεται στο σημείο A. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να υπολογίσετε την ισοδύναμη αντίσταση μεταξύ των σημείων A και B. Επιβεβαιώστε θεωρητικά τον υπολογισμό σας.



2. Επαναλάβετε τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος για τα σημεία A και C.
3. Επαναλάβετε τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος για τα σημεία A και D.

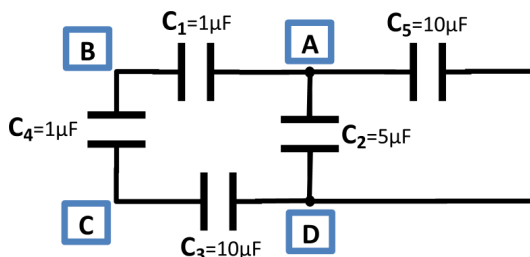
### 5.3.4 Διαιρέτες Τάσης

1. Διαθέτετε πηγή σταθερής τάσης 9V και τρεις αντιστάτες του 1kΩ. Να σχεδιάσετε κύκλωμα το οποίο να παράγει τάση 3V και να προσομοιώσετε τη λειτουργία του.

### 5.3.5 Πυκνωτές

1. Εκτελέστε κατάλληλη προσομοίωση ώστε, εφαρμόζοντας στα άκρα πυκνωτή εναλλασσόμενη τάση, να παίρνετε την κυματομορφή του ρεύματος το οποίο τον διαρρέει. Τι παρατηρείτε;

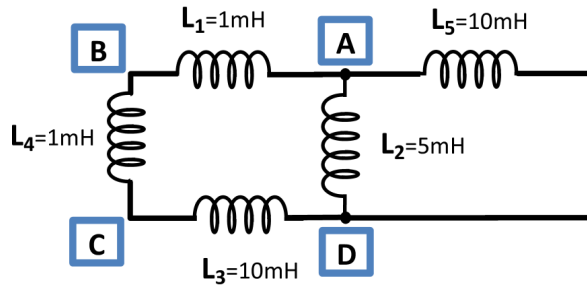
- Εφαρμόστε στα άκρα πυκνωτή σταθερή τάση και εκτελέστε προσομοίωση προκειμένου να μετρήσετε το ρεύμα το οποίο τον διαρρέει. Τι παρατηρείτε;
- Εφαρμόστε στα άκρα πυκνωτή εναλλασσόμενη τάση και εκτελέστε προσομοίωση προκειμένου να μετρήσετε το πλάτος του ρεύματος το οποίο τον διαρρέει. Από τα πλάτη της τάσης και του ρεύματος υπολογίστε τη σύνθετη αντίσταση του πυκνωτή. Επαναλάβετε για διαφορετικές τιμές της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης. Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγετε;
- Για το δικτύωμα των πυκνωτών του επόμενου σχήματος συνδέστε μεταξύ των σημείων A και B πηγή εναλλασσόμενης τάσης πλάτους 10V και συχνότητας 1kHz και εκτελέστε κατάλληλη προσομοίωση ώστε να προσδιορίσετε το πλάτος της έντασης του ρεύματος το οποίο εισέρχεται στο σημείο A. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να υπολογίσετε την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση μεταξύ των σημείων A και B. Επιβεβαιώστε θεωρητικά τον υπολογισμό σας.



- Επαναλάβετε τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος για τα σημεία A και C. Όμοια για τα σημεία A και D.

### 5.3.6 Πηνία

- Εκτελέστε κατάλληλη προσομοίωση ώστε, εφαρμόζοντας στα άκρα πηνίου εναλλασσόμενη τάση, να παίρνετε την κυματομορφή του ρεύματος το οποίο το διαρρέει. Τι παρατηρείτε;
- Εφαρμόστε στα άκρα πηνίου εναλλασσόμενη τάση και εκτελέστε προσομοίωση προκειμένου να μετρήσετε το πλάτος του ρεύματος το οποίο το διαρρέει. Από τα πλάτη της τάσης και του ρεύματος υπολογίστε τη σύνθετη αντίσταση του πηνίου. Επαναλάβετε για διαφορετικές τιμές της συχνότητας της εναλλασσόμενης τάσης. Σε ποιο συμπέρασμα καταλήγετε;
- Για το δικτύωμα των πηνίων του επόμενου σχήματος συνδέστε μεταξύ των σημείων A και B πηγή εναλλασσόμενης τάσης πλάτους 10V και συχνότητας 1kHz και εκτελέστε κατάλληλη προσομοίωση ώστε να προσδιορίσετε το πλάτος της έντασης του ρεύματος το οποίο εισέρχεται στο σημείο A. Με βάση τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να υπολογίσετε την ισοδύναμη σύνθετη αντίσταση μεταξύ των σημείων A και B. Επιβεβαιώστε θεωρητικά τον υπολογισμό σας.



4. Επαναλάβετε τη διαδικασία του προηγούμενου βήματος για τα σημεία A και C. Όμοια για τα σημεία A και D.

### 5.3.7 Μετασχηματιστές

- Υπολογίστε τον λόγο μετασχηματισμού ο οποίος απαιτείται για τον υποβιβασμό τάσης 220VAC σε 110VAC, και προσομοιώστε την αντίστοιχη διαδικασία χρησιμοποιώντας ιδανικό μετασχηματιστή.
- Χρησιμοποιώντας κατάλληλο μετασχηματιστή μεσαίας λήψης και πηγή ημιτονοειδούς σήματος πλάτους 10V και συχνότητας 1kHz να προσομοιώσετε κύκλωμα παραγωγής δύο ημιτονοειδών σημάτων πλάτους 5V με διαφορά φάσης  $180^\circ$ .

## 5.4 Περαιτέρω Μελέτη

- P. Tuinenga, SPICE: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using Pspice, Prentice-Hall, 1995.





## ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΤΩΝ

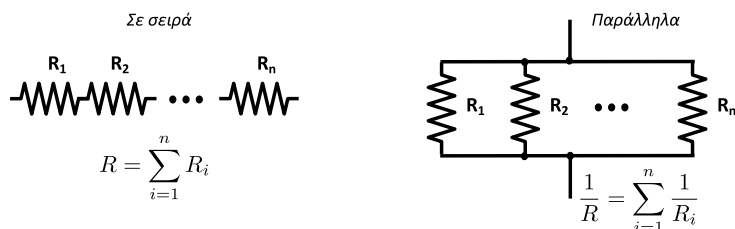
## 6.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη συνδεσμολογιών αντιστατών (σε σειρά, παράλληλα, κ.λπ.) καθώς και πρακτικών εφαρμογών τους, όπως είναι οι διαιρέτες τάσης και οι διαιρέτες ρεύματος.

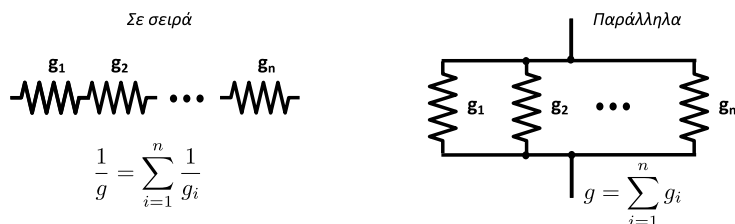
## 6.2 Θεωρητικό Μέρος

## 6.2.1 Αντιστάτες σε σειρά και παράλληλα

Με απλή εφαρμογή των κανόνων του Kirchhoff και του νόμου του Ohm προκύπτουν οι χρήσιμες σχέσεις για την ολική αντίσταση συστημάτων αντιστατών που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά και παράλληλα, όπως φαίνονται στο Σχήμα 6.1. Πολλές φορές, η ολική αντίσταση συστήματος παράλληλα συνδεδεμένων αντιστατών συμβολίζεται και ως  $R_1 // R_2 // \dots // R_n$ . Είναι φανερό πως για σύνδεση σε σειρά η ολική αντίσταση είναι μεγαλύτερη της μέγιστης τιμής των επιμέρους αντιστάσεων, ενώ για παράλληλη σύνδεση η ολική αντίσταση είναι μικρότερη της ελάχιστης τιμής των επιμέρους.



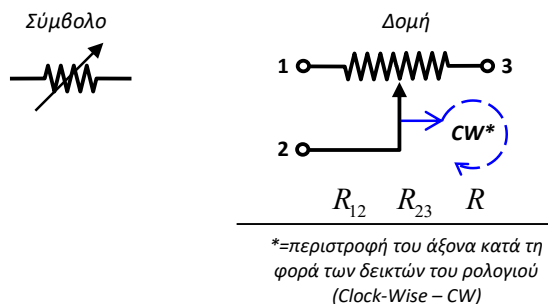
Σχήμα 6.1 Ολική αντίσταση αντιστατών σε σύνδεση σε σειρά και παράλληλα



Σχήμα 6.2 Ολική αγωγιμότητα αντιστατών σε σύνδεση σε σειρά και παράλληλα



Σχήμα 6.3 Κοινός τύποι μεταβλητών αντιστατών



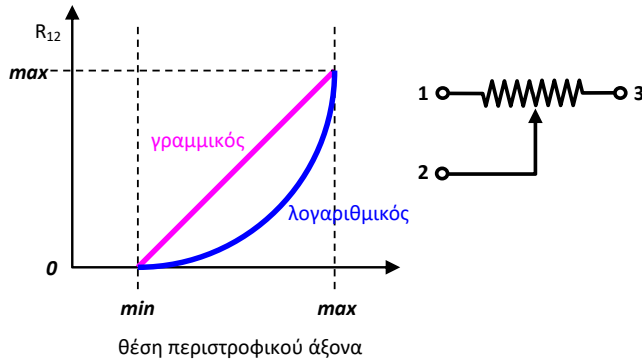
Σχήμα 6.4 Κυκλωματικό σύμβολο και δομή μεταβλητού αντιστάτη

Για τις τιμές της ολικής αγωγιμότητας ισχύουν οι σχέσεις του Σχήματος 6.2. Αξίζει να παρατηρήσουμε την εναλλαγή στις μορφές των μαθηματικών εκφράσεων, εξαιτίας της αντίστροφης σχέσης μεταξύ αντίστασης και αγωγιμότητας.

Παρόμοιοι κανόνες ισχύουν για τον υπολογισμό της συνολικής χωρητικότητας συστημάτων πυκνωτών και του συνολικού συντελεστή αυτεπαγωγής συστημάτων πηνίων.

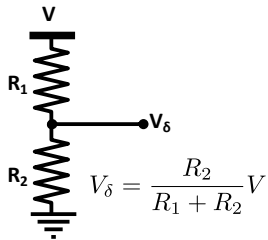
## 6.2.2 Μεταβλητοί Αντιστάτες

Εκτός από τους αντιστάτες σταθερής τιμής, εξαιρετικά χρήσιμοι είναι και οι μεταβλητοί αντιστάτες (trimmers) που χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση της τιμής του ρεύματος (ροοστάτες) ή για το σχηματισμό διαιρετών τάσης (ποτενσιόμετρα). Στο Σχήμα 6.3 απεικονίζονται δύο από τις πιο τυπικές μορφές μεταβλητών αντιστατών του εμπορίου. Πρόκειται για στοιχεία τριών ακροδεκτών που διαθέτουν ειδική εγκοπή μέσω της οποίας ρυθμίζεται η θέση του κινητού τους άξονα, ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή τιμή της αντίστασης μεταξύ των ακροδεκτών 2 και 1 ή 3, όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.4. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται και το κυκλωματικό σύμβολο του μεταβλητού αντιστάτη.

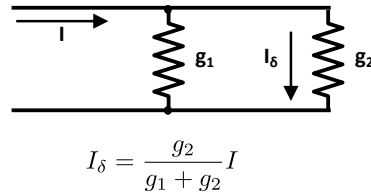


Σχήμα 6.5 Μεταβολή των τιμών μεταβλητών αντιστάτων

Διαιρέτης τάσης



Διαιρέτης ρεύματος



Σχήμα 6.6 Διαιρέτες τάσης – ρεύματος

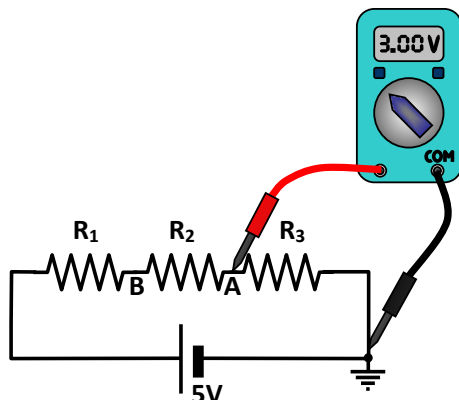
Η μέγιστη τιμή της αντίστασης ενός μεταβλητού αντιστάτη αναγράφεται συνήθως πάνω στο ίδιο το εξάρτημα.

Ανάλογα με τον τρόπο μεταβολής της τιμής τους οι μεταβλητοί αντιστάτες διακρίνονται σε γραμμικούς και σε λογαριθμικούς. Η σχέση μεταξύ της τιμής ενός μεταβλητού αντιστάτη και της θέσης του περιστροφικού του άξονα φαίνεται στο Σχήμα 6.5, για τους δύο προαναφερθέντες τύπους. Η επιλογή μεταξύ των δύο τύπων γίνεται με βάση τις σχεδιαστικές ανάγκες της εκάστοτε εφαρμογής.

### 6.2.3 Διαιρέτες τάσης – διαιρέτες ρεύματος

Έστω ότι διαθέτουμε μία τάση  $V$ , της οποίας θέλουμε να πάρουμε ένα κλάσμα. Το Σχήμα 6.6 δείχνει μια πολύ απλή υλοποίηση με τη χρήση *διαιρέτη τάσης*, η οποία βασίζεται στο γεγονός ότι η τάση κατανέμεται ομοιόμορφα ανά μονάδα αντίστασης.

Αντίστοιχα, επειδή η ένταση του ρεύματος κατανέμεται ομοιόμορφα ανά μονάδα αγωγιμότητας, ένα κλάσμα ενός ρεύματος  $I$  μπορεί να προκύψει με έναν απλό *διαιρέτη ρεύματος* (Σχήμα 6.6).



Σχήμα 6.7 Συνδεσμολογία τριών αντιστατών σε σειρά

## 6.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 6.3.1 Σύνδεση Αντιστατών σε Σειρά

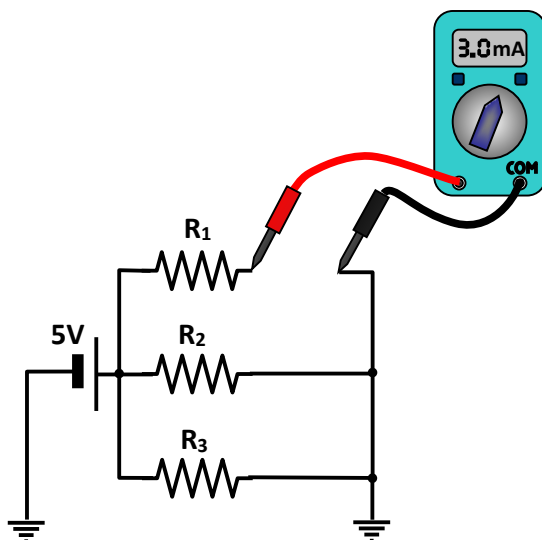
1. Συνδέστε τρεις αντιστάτες σε σειρά, πάνω στο breadboard. Η αντίσταση καθενός να είναι τουλάχιστον  $1\text{k}\Omega$ .
2. Τροφοδοτήστε τη συνδεσμολογία με σταθερή τάση  $5\text{V}$ .
3. Μετρήστε το δυναμικό στα σημεία A και B, σύμφωνα με το Σχήμα 6.7.
4. Με βάση τις μετρήσεις που λάβατε κατά το προηγούμενο βήμα υπολογίστε τις τάσεις στα άκρα των αντιστατών  $R_1$ ,  $R_2$  και  $R_3$ .
5. Ποια σχέση συνδέει τις τάσεις του προηγούμενου βήματος και γιατί;
6. Μετρήστε το ρεύμα που παρέχει η πηγή τάσης. Ποιο το ρεύμα που διαρρέει τους αντιστάτες  $R_1$ ,  $R_2$  και  $R_3$  και ποια η σχέση τους;

### 6.3.2 Παράλληλη Σύνδεση Αντιστατών

1. Συνδέστε τρεις αντιστάτες παράλληλα, πάνω στο breadboard. Η αντίσταση καθενός να είναι τουλάχιστον  $10\text{k}\Omega$ .
2. Τροφοδοτήστε τη συνδεσμολογία με σταθερή τάση  $5\text{V}$ .
3. Μετρήστε τα ρεύματα που διαρρέουν κάθε αντιστάτη, σύμφωνα με το Σχήμα 6.8.
4. Μετρήστε το ρεύμα που παρέχει η πηγή τάσης.
5. Ποιες οι τιμές των τάσεων στα άκρα των αντιστατών και γιατί;
6. Μετρήστε το ρεύμα που παρέχει η πηγή τάσης. Ποια η σχέση των ρευμάτων που διαρρέουν κάθε αντιστάτη χωριστά;

### 6.3.3 Διαιρέτης Τάσης

1. Υλοποιήστε τον διαιρέτη τάσης του Σχήματος 6.6 όπου  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ,  $R_2 = 10\text{k}\Omega$  και  $V = 5\text{V}$ . Μετρώντας την τάση  $V_\delta$  επιβεβαιώστε τον τύπο του διαιρέτη τάσης.



Σχήμα 6.8 Παράλληλη συνδεσμολογία τριών αντιστάτων

- Υλοποιήστε τον διαιρέτη τάσης του Σχήματος 6.6 όπου  $R_1 = 10\text{k}\Omega$ ,  $V = 5\text{V}$  και  $R_2$  μεταβλητός αντιστάτης των  $10\text{k}\Omega$ . Συνδέστε κατάλληλα πολύμετρο ώστε να λαμβάνει μετρήσεις του ρεύματος που διαρρέει τον διαιρέτη. Με ένα δεύτερο πολύμετρο (ή με τον παλμογράφο) διαβάζουμε την τιμή της τάσης  $V_\delta$ . Μεταβάλλοντας την τιμή του μεταβλητού αντιστάτη, σημειώστε την ένδειξη των οργάνων για την τάση  $V_\delta$  και για το ρεύμα  $I_\delta$ . Από τις μετρήσεις αυτές σχεδιάστε διάγραμμα με το οποίο θα απεικονίζεται γραφικά η σχέση μεταξύ της αντίστασης  $R_2$  του μεταβλητού αντιστάτη και της τάσης  $V_\delta$  του διαιρέτη.
- Διαθέτετε πολύμετρο, μεταβλητό αντιστάτη των  $10\text{k}\Omega$  και πηγή σταθερής τάσης 5V. Προτείνετε και υλοποιήστε μέθοδο προσδιορισμού της τιμής άγνωστου ωμικού αντιστάτη.

## 6.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις Τηλεπικοινωνίες" - Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Τόμος Α': Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Σπάρτη 2011 : §1.8, 1.26.3



## ΑΡΧΗ ΤΗΣ ΕΠΑΛΛΗΛΙΑΣ

---

### 7.1 Σκοπός της Άσκησης

Με την εκτέλεση της άσκησης οι φοιτητές θα επιβεβαιώσουν την αρχή της επαλληλίας, με την οποία απλοποιείται η μελέτη πολύπλοκων ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Για το πειραματικό μέρος της άσκησης προτείνεται η χρήση προσομοίωσης.

### 7.2 Θεωρητικό Μέρος

Η αρχή της επαλληλίας (ή υπέρθεσης – superposition) αποτελεί μια γενική αρχή η οποία ισχύει στη φύση και αφορά, συγκεκριμένα, τα γραμμικά συστήματα. Η εφαρμογή της απλουστεύει σημαντικά τη μελέτη ενός μεγάλου φάσματος φυσικών φαινομένων, όπως φαινόμενα δυναμικής και κίνησης, τη συμβολή κυμάτων, κ.λπ.

Για την περίπτωση των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, η αρχή της επαλληλίας μπορεί να διατυπωθεί γενικά ως εξής:

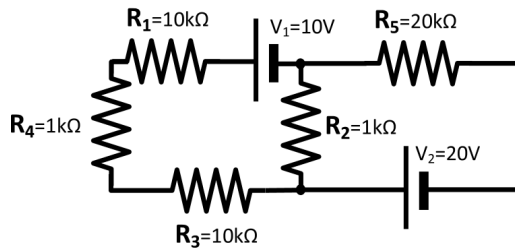
*“Σε κάθε γραμμικό ηλεκτρικό κύκλωμα με πολλές πηγές τάσης ή/και ρεύματος, τα επιμέρους ηλεκτρικά μεγέθη (τάσεις και ρεύματα) που αφορούν τα γραμμικά στοιχεία του κυκλώματος αποτελούν το αλγεβρικό άθροισμα των αντίστοιχων μεγεθών που αντιστοιχούν στην αυτόνομη συνεισφορά κάθε πηγής τάσης ή/και ρεύματος, ξεχωριστά”.*

Η μεθοδολογία εφαρμογής της αρχής της επαλληλίας θα εξειδικευθεί κατά την πειραματική διαδικασία.

### 7.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 7.3.1 Μέρος Α

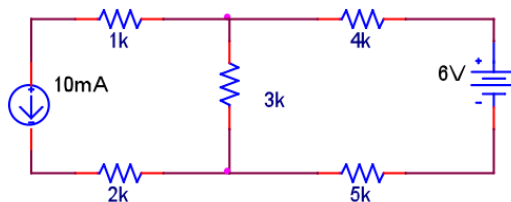
Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος.



1. Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος και καταγράψτε τις τιμές των τάσεων στα άκρα κάθε αντιστάτη, όπως και την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει.
2. Μηδενίστε την πηγή τάσης  $V_1$  και επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα.
3. Μηδενίστε την πηγή τάσης  $V_2$  και επαναλάβετε.
4. Αξιοποιώντας τα δεδομένα των μετρήσεων των προηγούμενων βημάτων, επαληθεύσατε την αρχή της επαλληλίας.

### 7.3.2 Μέρος Β

Δίνεται το κύκλωμα του πιο κάτω σχήματος.



1. Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος και καταγράψτε τις τιμές των τάσεων στα άκρα κάθε αντιστάτη, όπως και την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει.
2. Μηδενίστε την πηγή τάσης των 6V και επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα.
3. Μηδενίστε την πηγή ρεύματος των 10mA και επαναλάβετε.
4. Αξιοποιώντας τα δεδομένα των μετρήσεων των προηγούμενων βημάτων, επαληθεύσατε την αρχή της επαλληλίας.



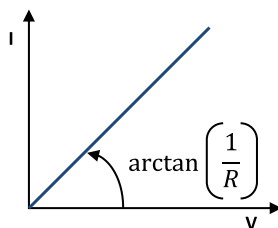
## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ – ΤΑΣΗΣ

### 8.1 Σκοπός της Άσκησης

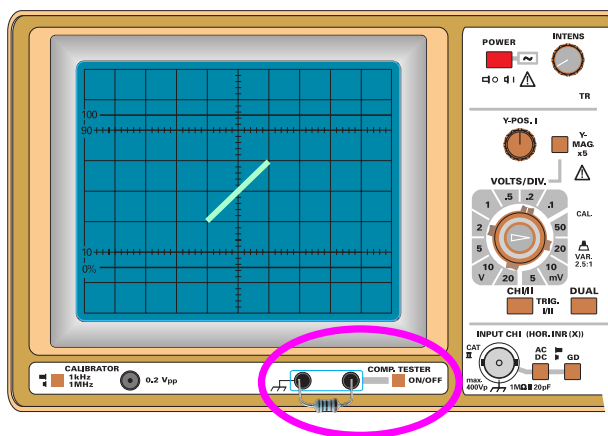
Σκοπός της άσκησης είναι η πειραματική παραγωγή των χαρακτηριστικών ρεύματος – τάσης (IV) ωμικών στοιχείων και η εξαγωγή χρήσιμων στοιχείων από τις χαρακτηριστικές αυτές.

### 8.2 Θεωρητικό Μέρος

Ένα διάγραμμα που είναι χρήσιμο για τη μελέτη πολλών ηλεκτρονικών διατάξεων είναι η *χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης*. Πρόκειται για τη γραφική παράσταση της έντασης του ρεύματος που διαρρέει τη διάταξη ως προς την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της (ή μεταξύ δύο ακροδεκτών αν αυτοί είναι περισσότεροι των δύο). Για την περίπτωση ωμικού αντιστάτη (ενός δηλαδή αγώγιμου υλικού που υπακούει στον νόμο του Ohm) είναι φανερό πως η χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης αντιστοιχεί στην ευθεία γραμμή του Σχήματος 8.1, η κλίση της οποίας είναι αντίστροφη της τιμής της αντίστασης  $R$  του αντιστάτη (ή ίση με την αγωγιμότητά του).



Σχήμα 8.1 Χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης αντιστάτη



Σχήμα 8.2 Παραγωγή χαρακτηριστικής ρεύματος – τάσης στον παλμογράφο

## 8.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 8.3.1 Μέρος Α

1. Χρησιμοποιώντας αντιστάτη του 1kΩ, πολύμετρο σε λειτουργία αμπερομέτρου και τροφοδοτικό συνεχούς τάσης, λάβετε μετρήσεις του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη σαρώνοντας την τάση που παρέχει το τροφοδοτικό από 0 έως 10V, σε βήματα του 1V.
2. Χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις του προηγούμενου βήματος, χαράξτε τη χαρακτηριστική ρεύματος – τάσης του αντιστάτη.
3. Επαναλάβετε για αντιστάτες 2kΩ και 10kΩ, χαράσσοντας τις χαρακτηριστικές I-V στο ίδιο διάγραμμα με την χαρακτηριστική του αντιστάτη του 1kΩ.
4. Σχολιάστε ομοιότητες και διαφορές στις χαρακτηριστικές.

### 8.3.2 Μέρος Β

1. Θέτοντας τον παλμογράφο σε λειτουργία “component tester” (βλπ. Σχήμα 8.2), παρατηρήστε την εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη για καθεμιά από τις αντιστάσεις του προηγούμενου μέρους. Σχολιάστε.
2. Διατηρήστε τον παλμογράφο σε λειτουργία “component tester” και παρατηρήστε την εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη αν οι υποδοχές σύνδεσης του υπό έλεγχο εξαρτήματος παραμένουν κενές. Εξηγήστε τη μορφή της γραμμής που εμφανίζεται στην οθόνη.
3. Διατηρήστε τον παλμογράφο σε λειτουργία “component tester” και παρατηρήστε την εικόνα που εμφανίζεται στην οθόνη αν οι υποδοχές σύνδεσης του υπό έλεγχο εξαρτήματος βραχυκυκλωθούν. Εξηγήστε τη μορφή της γραμμής που εμφανίζεται στην οθόνη.

### 8.3.3 Μέρος Γ

Επαναλάβετε τη διαδικασία του Α μέρους, χρησιμοποιώντας λογισμικό προσομοίωσης ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

## 8.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Εγχειρίδιο παλμογράφου HM303-6, σελ. 17–19 (component tester)



## ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ ΘΗΕΝΕΝΙΝ – NORTON

### 9.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση των φοιτητών με τους μετασχηματισμούς ηλεκτρικών κυκλωμάτων κάνοντας χρήση των θεωρημάτων Thévenin και Norton.

### 9.2 Θεωρητικό Μέρος

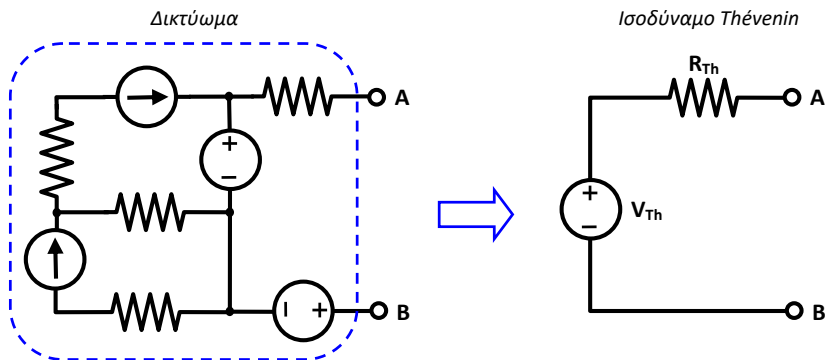
#### 9.2.1 Γενικά

Οι συνδυασμοί διασυνδεδεμένων ηλεκτρικών στοιχείων ονομάζονται δικτυώματα, ειδικές περιπτώσεις των οποίων αποτελούν τα κυκλώματα, τα οποία είναι «κλειστά» δικτυώματα στα οποία έχουμε ροή ηλεκτρικού ρεύματος. Ένα δικτύωμα με πολλούς κλάδους και μεγάλο αριθμό στοιχείων συνδεδεμένων κατά πολύπλοκο τρόπο είναι γενικά δύσκολο να αναλυθεί. Τα θεωρήματα Thévenin και Norton βοηθούν στην απλοποίηση πολύπλοκων δικτυωμάτων. Στην παρουσίαση που ακολουθεί θα αναφερθούμε σε δικτυώματα με αντιστάτες και πηγές συνεχούς. Παρόλα αυτά, τα θεωρήματα Thévenin και Norton ισχύουν για κάθε γραμμικό δίκτυωμα<sup>1</sup>.

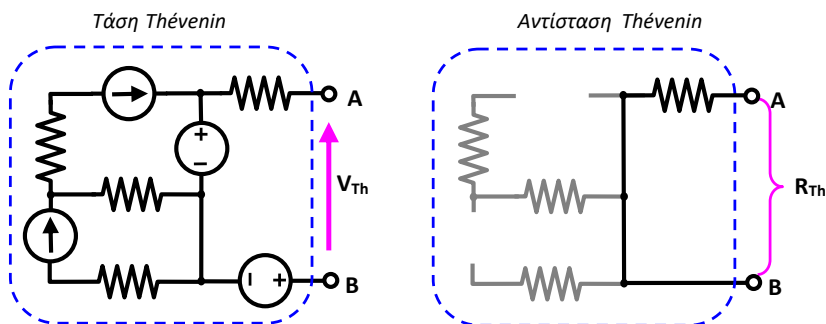
#### 9.2.2 Θεώρημα Thévenin

Κάθε δίκτυωμα δύο ακροδεκτών που περιλαμβάνει ανεξάρτητες πηγές τάσης ή/και ρεύματος και αντιστάτες μπορεί να γραφεί ισοδύναμα ως ένα απλό δίκτυωμα αποτελούμενο από μια πηγή τάσης και έναν αντιστάτη σε σειρά, κατά τον τρόπο που υποδεικνύει το Σχήμα 9.1. Η τιμή της πηγής τάσης ονομάζεται τάση Thévenin ( $V_{Th}$ ) και ταυτίζεται με την τάση ανοικτού κυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών A και B.

<sup>1</sup>Ένα δίκτυωμα ονομάζεται γραμμικό όταν τα στοιχεία που το αποτελούν είναι γραμμικά. Ένα στοιχείο ονομάζεται γραμμικό όταν η χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης του είναι ευθεία γραμμή.



Σχήμα 9.1 Θεώρημα Thévenin



Σχήμα 9.2 Τάση και αντίσταση Thévenin

Η τιμή της αντίστασης ονομάζεται αντίσταση Thévenin ( $R_{Th}$ ) και υπολογίζεται ως εξής:

- Βραχυκυκλώνουμε<sup>2</sup> όλες τις πηγές τάσης, ανοικτοκυκλώνουμε<sup>3</sup> όλες τις πηγές ρεύματος, και υπολογίζουμε την αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών A και B. Η αντίσταση που θα προκύψει είναι η αντίσταση Thévenin.

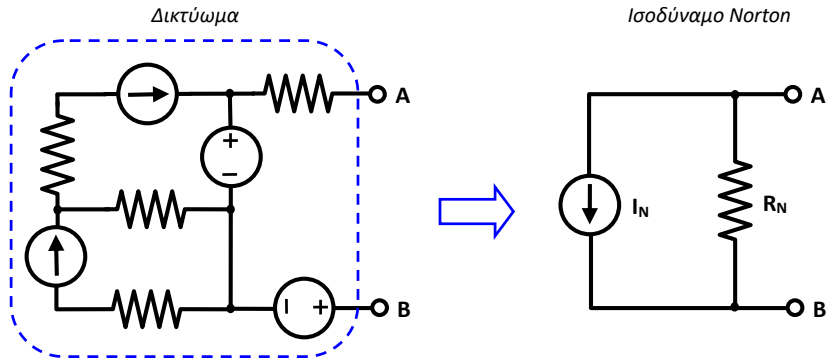
Η διαδικασία που περιγράψαμε πιο πάνω απεικονίζεται στο Σχήμα 9.2.

### 9.2.3 Θεώρημα Norton

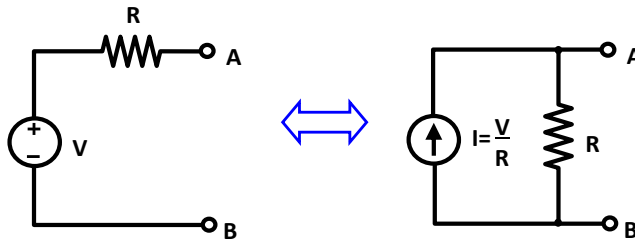
Κάθε δικτύωμα δύο ακροδεκτών που περιλαμβάνει ανεξάρτητες πηγές τάσης ή/και ρεύματος και αντιστάτες μπορεί να γραφεί ισοδύναμο ως ένα απλό δικτύωμα αποτελούμενο από μια πηγή ρεύματος και έναν αντιστάτη σε παράλληλη σύνδεση, κατά τον τρόπο που υποδεικνύει το Σχήμα 9.3. Η τιμή της πηγής ρεύματος ονομάζεται ρεύμα Norton ( $I_N$ ) και ταυτίζεται με το ρεύμα βραχυκυκλώματος μεταξύ των ακροδεκτών A και B.

<sup>2</sup>Βραχυκυκλώνοντας δύο σημεία τα αναγκάζουμε να βρεθούν στο ίδιο δυναμικό. Αυτό μπορεί να γίνει διασυνδέοντάς τα μέσω αγωγού μηδενικής αντίστασης.

<sup>3</sup>Ανοικτοκυκλώνοντας ένα στοιχείο αναγκάζουμε το ρεύμα που το διαρρέει να μηδενισθεί.



Σχήμα 9.3 Θεώρημα Norton



Σχήμα 9.4 Διαικότητα θεωρημάτων Thévenin-Norton

Η τιμή της αντίστασης ονομάζεται αντίσταση Norton ( $R_N$ ) και ταυτίζεται με την αντίσταση Thévenin.

#### 9.2.4 Διαικότητα των θεωρημάτων Thévenin και Norton

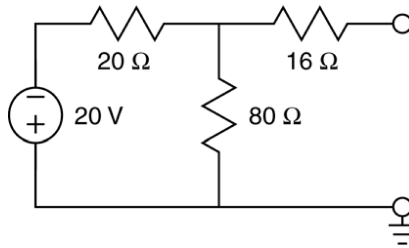
Είναι εύκολο να αποδείξουμε ότι τα δικτυώματα του Σχήματος 9.4 είναι ισοδύναμα<sup>4</sup>. Στην ισοδυναμία αυτή οφείλεται η διαικότητα, δηλαδή η συγγένεια μεταξύ των θεωρημάτων Thévenin και Norton.

### 9.3 Εργαστηριακό Μέρος

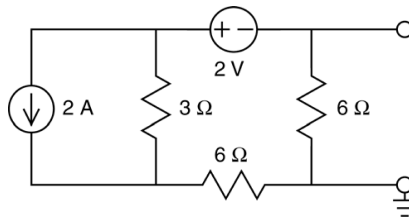
#### 9.3.1 Μέρος Α – Θεώρημα Thévenin

Για τα δικτυώματα τα οποία εμφανίζονται στα Σχήματα 9.5, 9.6 και 9.7 να βρείτε τα ισοδύναμα δικτυώματα κατά Thévenin και να αποδείξετε πειραματικά την ισοδυναμία των δύο δικτυωμάτων.

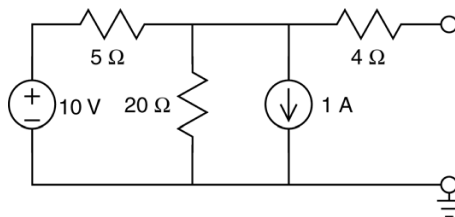
<sup>4</sup> Δύο δικτυώματα ονομάζονται ισοδύναμα αν για κάθε τιμή φόρτου το ρεύμα που τον διαρρέει και η τάση στα άκρα του φόρτου ταυτίζονται, αντίστοιχα, και για τις δύο περιπτώσεις.



Σχήμα 9.5 Δικτύωμα #1



Σχήμα 9.6 Δικτύωμα #2



Σχήμα 9.7 Δικτύωμα #3

### 9.3.2 Μέρος Β – Θεώρημα Norton

Για τα δικτύωμα τα οποία εμφανίζονται στα Σχήματα 9.5, 9.6 και 9.7 να βρείτε τα ισοδύναμα δικτύωμα κατά Norton και να αποδείξετε πειραματικά την ισοδυναμία των δύο δικτυωμάτων.

### 9.4 Περαιτέρω Μελέτη

- C. Alexander, M. Sadiku, Ηλεκτρικά Κυκλώματα, εκδ. Τζιόλα, 2020, κεφ. 4



## ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ ΠΗΓΩΝ ΤΑΣΗΣ / ΡΕΥΜΑΤΟΣ

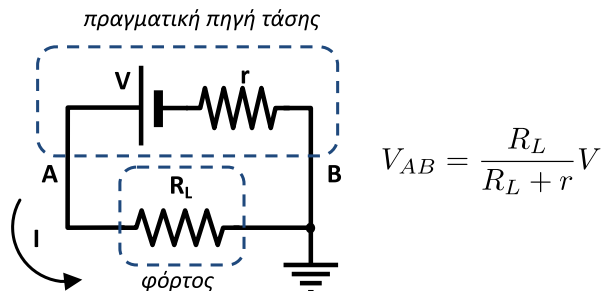
## 10.1 Σκοπός της Άσκησης

Σκοπός της άσκησης είναι η κατανόηση της έννοιας της εσωτερικής αντίστασης πηγής τάσης ή ρεύματος και η εξάσκηση των φοιτητών στην πειραματική μέτρηση της τιμής της.

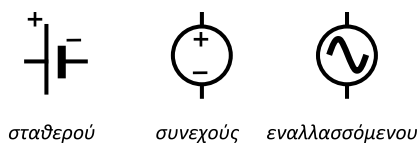
## 10.2 Θεωρητικό Μέρος

## 10.2.1 Πηγές τάσης

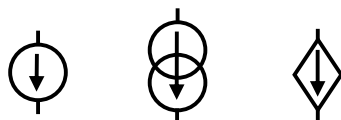
Ο ρόλος μιας πηγής τάσης είναι να τροφοδοτεί ένα εξάρτημα ή ένα κύκλωμα ή μια συσκευή, με άλλα λόγια έναν *φόρτο* (load). Κάθε πραγματική πηγή τάσης έχει μια *εσωτερική αντίσταση*  $r$  που οφείλεται στην αντίσταση των υλικών από τα οποία είναι κατασκευασμένη η ίδια η πηγή. Έστω η πραγματική πηγή τάσης του Σχήματος 10.1 με ωμικό φόρτο  $R_L$ . Εξαιτίας της πτώσης τάσης που προκαλεί η εσωτερική αντίσταση της πηγής, η τάση μεταξύ των πόλων της A, B θα είναι διαφορετική από την



Σχήμα 10.1 Πραγματική πηγή τάσης



Σχήμα 10.2 Σύμβολα πηγών τάσης



Σχήμα 10.3 Σύμβολα πηγών ρεύματος

ονομαστική της τάση  $V$  (ή αλλιώς τάση ανοιχτού κυκλώματος ή και ηλεκτρεγερτική δύναμη), Ηλεκτρεγερτική δύναμη όπως φαίνεται στο Σχήμα 10.1.

Είναι φανερό πως όσο μικρότερη είναι η τιμή της εσωτερικής αντίστασης  $r$ , τόσο μικρότερη είναι η απόκλιση μεταξύ της ονομαστικής τάσης και της πραγματικής τάσης στα άκρα των πόλων της πηγής. Για συγκεκριμένη τιμή φόρτου  $R_L$ , η συνθήκη  $r \ll R_L$  εξασφαλίζει πως η πραγματική τιμή της τάσης θα προσεγγίζει αρκετά καλά την ονομαστική τιμή. Στην περίπτωση που επιθυμούμε το τελευταίο να συμβαίνει για οποιαδήποτε τιμή του φόρτου, θα πρέπει  $r \rightarrow 0$ . Αν αυτό συμβαίνει, τότε έχουμε μια ιδανική πηγή τάσης. Στην πράξη, όσο προσεκτική σχεδίαση και αν ακολουθήσουμε, η εσωτερική αντίσταση μιας πηγής τάσης είναι αδύνατο να μηδενιστεί πλήρως.

Τα συνηθέστερα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για πηγές τάσης φαίνονται στο Σχήμα 10.2.

### 10.2.2 Πηγές ρεύματος

Για το κύκλωμα του Σχήματος 10.1 παρατηρούμε πως η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον φόρτο εξαρτάται από τον ίδιο τον φόρτο. Ωστόσο, σε πολλές εφαρμογές είναι επιθυμητό η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον φόρτο να είναι σταθερή και ανεξάρτητη από αυτόν. Εάν αυτό είναι το ζητούμενο, τότε η πραγματική πηγή τάσης του Σχήματος 10.1 αποτελεί μια «κακή» πηγή ρεύματος. Αν, ωστόσο, τα στοιχεία του κυκλώματος επιλεγούν κατά τρόπο ώστε η τιμή της εσωτερικής αντίστασης της πραγματικής πηγής τάσης να είναι πολύ μεγαλύτερη της τιμής της αντίστασης του φόρτου, τότε η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον φόρτο γίνεται πρακτικά ανεξάρτητη από αυτόν. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μια απλή πηγή ρεύματος.

Τα συνηθέστερα σύμβολα που χρησιμοποιούνται για τις πηγές ρεύματος φαίνονται στο Σχήμα 10.3, όπου το βέλος δείχνει τη φορά του παρεχόμενου ρεύματος.

Σε αντιστοιχία με την πραγματική πηγή τάσης, μια πραγματική πηγή ρεύματος μπορεί να περιγραφεί ως μια ιδανική πηγή ρεύματος με μια εσωτερική αντίσταση συνδεδεμένη παράλληλα προς αυτήν.

## 10.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 10.3.1 Πηγή τάσης

1. Ρυθμίστε γεννήτρια συναρτήσεων ώστε να παράγει **σταθερή** τάση 6V.
2. Με την γεννήτρια συναρτήσεων τροφοδοτήστε αντιστάτη των 100Ω και μετρήστε το ρεύμα που διαρρέει τον αντιστάτη, όπως και την πολική τάση την οποία παρέχει η γεννήτρια.
3. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα των προηγούμενων βημάτων, υπολογίστε την εσωτερική αντίσταση  $r$  της γεννήτριας συναρτήσεων.
4. Αντικαταστήστε τον αντιστάτη των 100Ω με αντιστάτη των 300Ω και λάβετε μία ακόμα μέτρηση του ρεύματος και της αντίστοιχης πολικής τάσης.
5. Χρησιμοποιώντας τα δεδομένα τα οποία έχετε στη διάθεσή σας, απεικονίστε γραφικά τη σχέση που συνδέει το ρεύμα με την πολική τάση και περιγράψτε τα χαρακτηριστικά της γραφικής παράστασης (σημεία τομής με τους άξονες, κλίση).
6. Από τη γραφική παράσταση του προηγούμενου βήματος, εκτιμήστε την τιμή του ρεύματος βραχυκύκλωσης της γεννήτριας συναρτήσεων.

### 10.3.2 Πηγή ρεύματος

Προτείνετε μεθοδολογία για τον πειραματικό προσδιορισμό της εσωτερικής αντίστασης μη ιδανικής πηγής ρεύματος και προσομοιώστε την σε προσομοιωτή ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

## 10.4 Περαιτέρω Μελέτη

- C. Alexander, M. Sadiku, Ηλεκτρικά Κυκλώματα, εκδ. Τζιόλα, 2020, §4.10.1
- Γιάννης Λιαπέρδος, "Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις Τηλεπικοινωνίες" - Θεωρία και Εργαστηριακές Ασκήσεις, Τόμος Α': Αναλογικά Ηλεκτρονικά, Σπάρτη 2011 : §1.16
- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015 : διαδραστικό στοιχείο 1.2



## ΓΕΦΥΡΑ WHEATSTONE

## 11.1 Σκοπός της Άσκησης

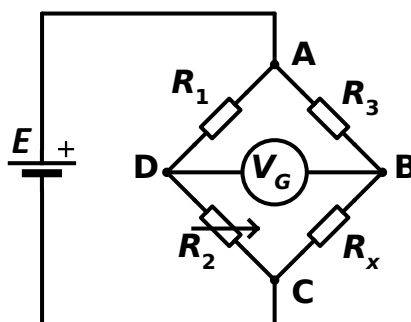
Σκοπός της άσκησης είναι η μελέτη της γέφυρας Wheatstone και η κατανόηση της χρησιμότητάς της στον ακριβή προσδιορισμό της τιμής άγνωστου ηλεκτρικού αντιστάτη.

## 11.2 Θεωρητικό Μέρος

Παρά το γεγονός ότι ο απλούστερος τρόπος μέτρησης της αντίστασης είναι με τη βοήθεια ενός σύγχρονου πολυμέτρου, η μέθοδος της γέφυρας Wheatstone μπορεί να εξασφαλίσει μεγαλύτερη ακρίβεια στη μέτρηση.

Στο Σχήμα 11.1 φαίνεται μια τυπική τοπολογία γέφυρας Wheatstone (ή γέφυρας αντιστάσεων), όπου  $V_G$  βολτόμετρο<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>ή, ιστορικά, γαλβανόμετρο



Σχήμα 11.1 Γέφυρα Wheatstone

Η διαδικασία προσδιορισμού της τιμής της άγνωστης αντίστασης  $R_x$  έχει ως εξής:

1. Μεταβάλλουμε την τιμή της μεταβλητής αντίστασης  $R_2$  μέχρι να μηδενιστεί η ένδειξη του βολτομέτρου (λέμε τότε ότι η γέφυρα βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας).
2. Υπολογίζουμε την τιμή της άγνωστης αντίστασης  $R_x$  με τη βοήθεια της σχέσης

$$R_x = \frac{R_3}{R_1} R_2 \quad (11.1)$$

Η πιο πάνω διαδικασία προϋποθέτει πως διαθέτουμε τρόπο ακριβούς προσδιορισμού της μεταβλητής αντίστασης  $R_3$ , πράγμα που είναι δυνατό αν η μεταβλητή αντίσταση είναι βαθμονομημένη επακριβώς εκ των προτέρων.

Αν κάτι τέτοιο δεν είναι εφικτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί, εναλλακτικά, η πιο κάτω σχέση, η οποία ισχύει γενικά και δεν απαιτεί η γέφυρα να βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας.

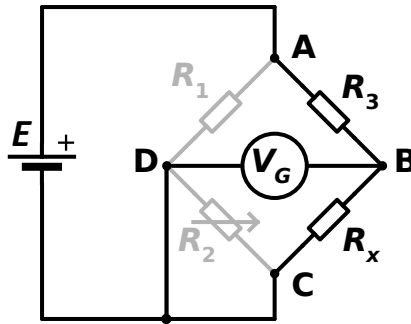
$$R_x = \left( \frac{\frac{R_2}{R_1 + R_2} + \frac{V_G}{E}}{1 - \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{V_G}{E}} \right) R_3 \quad (11.2)$$

### 11.3 Εργαστηριακό Μέρος

1. Υλοποιήστε στο breadboard τη γέφυρα Wheatstone του Σχήματος 11.1, με τις ακόλουθες τιμές εξαρτημάτων:  $R_1 = R_2 = R_3 = 33\text{k}\Omega$  (ως  $R_2$  επιλέγεται αντιστάτης σταθερής τιμής) και  $R_x = 10\text{k}\Omega$ . Η πηγή σταθερής τάσης να ρυθμιστεί στα  $E=10\text{V}$ .
2. Από την εξίσωση (11.2) να προσδιοριστεί η τιμή της  $R_x$ .
3. Χρησιμοποιώντας την ίδια ρύθμιση για την πηγή σταθερής τάσης, προσδιορίστε την τιμή της  $R_x$  με τη βοήθεια του νόμου του Ohm, υποθέτοντας πως η τάση στα άκρα της άγνωστης αντίστασης είναι ίση με την ηλεκτρεγερτική δύναμη  $E$  της πηγής τάσης.
4. Παρόμοια, προσδιορίστε την τιμή της  $R_x$  με τη βοήθεια του νόμου του Ohm, χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά αντί της  $E$  την τάση στα άκρα της άγνωστης αντίστασης, όπως προκύπτει από κατάλληλη μέτρηση με τη χρήση πολυμέτρου (σε λειτουργία βολτομέτρου).
5. Συγκρίνετε τα αποτελέσματα των μετρήσεων τις οποίες λάβατε στα προηγούμενα βήματα, λαμβάνοντας υπόψη την ονομαστική τιμή των  $10\text{k}\Omega$  για την  $R_x$ , σε συνδυασμό με την ανοχή που προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή.
6. Χρησιμοποιώντας μόνο τον διαιρέτη τάσης του δεξιού κλάδου της γέφυρας Wheatstone (Σχήμα 11.2), υπολογίστε την τιμή της άγνωστης αντίστασης με τη βοήθεια της σχέσης

$$R_x = \frac{V_G}{E - V_G} R_3 \quad (11.3)$$

7. Επαναλάβετε όλα τα προηγούμενα βήματα για  $R_x = 100\Omega$  και  $R_x = 100\text{k}\Omega$ .



**Σχήμα 11.2** Υπολογισμός τιμής άγνωστης αντίστασης με τη βοήθεια του διαιρέτη τάσης του ενός κλάδου της γέφυρας Wheatstone

8. Σχολιάστε τα πειραματικά σας δεδομένα, ιδιαίτερα ως προς την ακρίβεια των μετρήσεων ανά διαφορετική μέθοδο μέτρησης.
9. Αποδείξτε τις σχέσεις (11.1), (11.2) και (11.3).

## 11.4 Περαιτέρω Μελέτη

- C. Alexander, M. Sadiku, Ηλεκτρικά Κυκλώματα, εκδ. Τζιόλα, 2020, §4.10.2
- "Circuits in Practice: The Wheatstone Bridge, What It Does, and Why It Matters", video για το μάθημα ES.333 του MIT





## ΜΕΛΕΤΗ ΚΡΥΣΤΑΛΛΟΔΙΟΔΩΝ

## 12.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά διαφόρων τύπων (κρυσταλλο-)диодων και θα χαράξουμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες ρεύματος- τάσης.

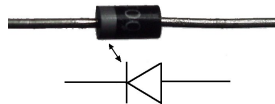
## 12.2 Θεωρητικό Μέρος

### 12.2.1 Γενικά

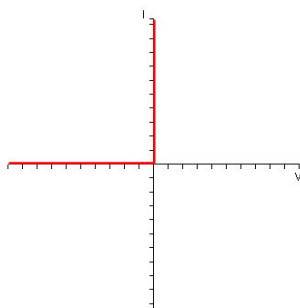
Οι κρυσταλλοдиодοι (ή απλά διόδοι) είναι ασύμμετρες ηλεκτρονικές διατάξεις. Αγουν καλύτερα όταν το ένα τους άκρο που ονομάζεται άνοδος βρίσκεται σε δυναμικό μεγαλύτερο από το άλλο άκρο που καλείται κάθοδος.

Η κάθοδος σε μια πραγματική διόδο σημειώνεται με μια γραμμή (που παριστά το σημείο « - ») στο αντίστοιχο άκρο (βλπ. Σχήμα 12.1).

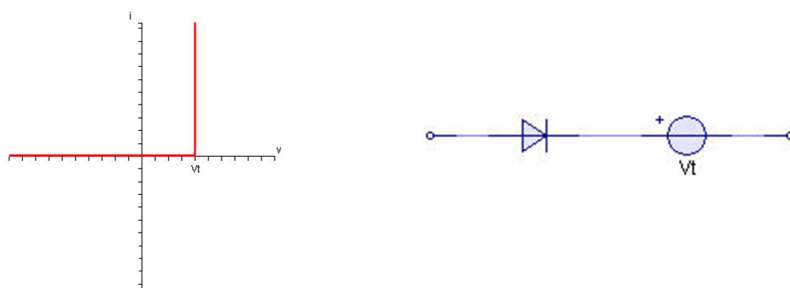
Το ηλεκτρονικό σύμβολο μιας διόδου αποτελείται από ένα βέλος που δείχνει την επιτρεπτή φορά του ρεύματος και μια κάθετη γραμμή που συμβολίζει την κάθοδο.



**Σχήμα 12.1** Πραγματική διόδος (πάνω) και αντιστοιχία με το κυκλωματικό της σύμβολο



Σχήμα 12.2 Χαρακτηριστική IV ιδανικής διόδου



Σχήμα 12.3 Χαρακτηριστική IV τυπικής διόδου και ισοδύναμο κύκλωμα

## 12.2.2 Μοντέλα λειτουργίας

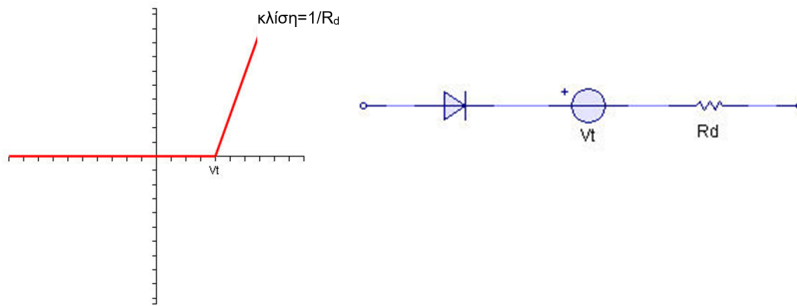
Υπάρχουν πολλές προσεγγίσεις για τη λειτουργία μιας διόδου. Η επιλογή μιας από τις προσεγγίσεις αυτές εξαρτάται από την ακρίβεια της περιγραφής που απαιτούμε. Ας δούμε μερικά μοντέλα διόδου:

### 12.2.2.1 Ιδανική διάδος

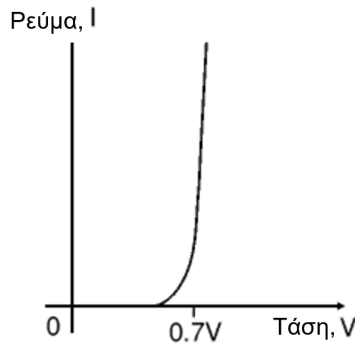
Στο μοντέλο αυτό (Σχήμα 12.2) η διάδος θεωρείται ως βραχυκύκλωμα όταν η εφαρμοζόμενη τάση είναι ορθής φοράς και ως ανοικτό κύκλωμα στην ανάστροφη πόλωση.

### 12.2.2.2 Τυπική διάδος

Κατά την ορθή πόλωση η διάδος θεωρείται ιδανική πηγή τάσης, με τιμή που αντιστοιχεί στην τάση κατωφλίου της διόδου ( $V_T$ ), ενώ κατά την ανάστροφη πόλωση θεωρείται ανοικτό κύκλωμα. Κυκλωματικά μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια ιδανική διάδος συνδεδεμένη σε σειρά με μια ιδανική πηγή τάσης κατά τον τρόπο που υποδεικνύει το Σχήμα 12.3.



**Σχήμα 12.4** Χαarakterιστική IV τυπικής διόδου με αντίσταση και ισοδύναμο κύκλωμα



**Σχήμα 12.5** Χαarakterιστική I-V διόδου πυριτίου

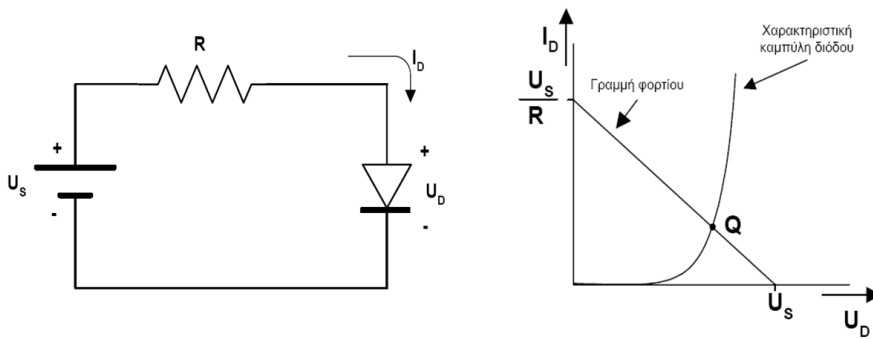
### 12.2.2.3 Τυπική δίοδος με αντίσταση

Αποτελεί τροποποίηση του προηγούμενου μοντέλου ώστε να ληφθεί υπόψη και η πτώση τάσης στη δίοδο λόγω της αντίστασής της. Η αντίσταση αυτή, εδώ, θεωρείται σταθερή και αντιπροσωπεύεται από την αντίσταση  $R_d$  που φαίνεται στο Σχήμα 12.4.

### 12.2.2.4 Θεωρητικό μοντέλο διόδου

Ενώ μια αντίσταση είναι γραμμικό στοιχείο, η τάση δηλαδή στα άκρα της είναι ανάλογη του ρεύματος ανεξάρτητα από την κατεύθυνση του, η δίοδος επαφής p-n είναι στοιχείο μη γραμμικό, γιατί η τάση στους ακροδέκτες της δεν είναι ανάλογη του ρεύματος. Επιπλέον, η δίοδος άγει μόνον όταν είναι ορθά πολωμένη, ενώ σε ανάστροφη πόλωση το ρεύμα είναι πολύ μικρό, ειδικά για διόδους πυριτίου. Για τέτοιες διόδους, ο λόγος της αντίστασης στην ανάστροφη πόλωση προς την αντίσταση στην ορθή είναι πολύ μεγαλύτερος από  $1000 \div 1$ .

Η χαρακτηριστική IV μιας διόδου πυριτίου απεικονίζεται στο Σχήμα 12.5.



Σχήμα 12.6 Γραμμή φορτίου

Η χαρακτηριστική εξίσωση μιας διόδου είναι:

$$I_D = I_S \left( e^{\frac{V_D}{nV_\theta}} - 1 \right)$$

όπου:

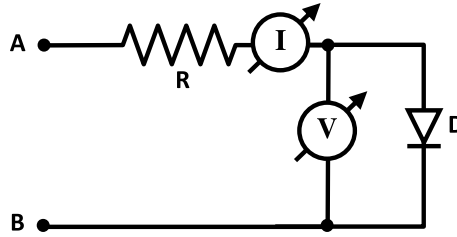
- $V_D$  η τάση στα άκρα της διόδου
- $I_D$  το ρεύμα που διαρρέει τη διόδο
- $I_S$  το ρεύμα κόρου
- $V_\theta$  η θερμική τάση που ισούται περίπου με 25mV στους 25°C
- $n$  ο συντελεστής ιδανικότητας που εξαρτάται από το υλικό της διόδου και τυπικά βρίσκεται μεταξύ 1 και 2

Στην περίπτωση που  $V_D \gg nV_\theta$  η χαρακτηριστική της διόδου απλοποιείται στη μορφή  $I_D \approx I_S \cdot e^{\frac{V_D}{nV_\theta}}$ .

### 12.2.3 Χαρακτηριστικά λειτουργίας

Όταν η διόδος βρίσκεται σε ορθή πόλωση τότε η τάση αγωγής ( $V_D$ ) στα άκρα της διόδου είναι σχετικά ανεξάρτητη από το ρεύμα ( $I_D$ ) που διαρρέει τη διόδο. Η τάση αυτή είναι περίπου 0.7V για μια διόδο πυριτίου και 0.3V για μια διόδο γερμανίου. Η γραμμή φορτίου (Σχήμα 12.6) είναι η ευθεία που συσχετίζει το ρεύμα και την τάση στα σημεία του κυκλώματος που είναι συνδεδεμένη η διόδος. Το σημείο τομής της γραμμής φορτίου και της χαρακτηριστικής καμπύλης της διόδου καθορίζει το σημείο λειτουργίας. Η στατική (ή DC) αντίσταση μιας διόδου σε οποιοδήποτε σημείο στη χαρακτηριστική της προσδιορίζεται από τον λόγο της τάσης διόδου  $V_D$  σε αυτό το σημείο και του ρεύματος της διόδου  $I_D$ , δηλ.  $R_{DC} = \frac{V_D}{I_D}$ .

Η δυναμική (ή AC) αντίσταση σ' ένα συγκεκριμένο ρεύμα διόδου μπορεί να προσδιοριστεί από την εφαπτομένη σ' αυτό το σημείο της χαρακτηριστικής καμπύλης. Η



Σχήμα 12.7 Κύκλωμα για τη λήψη χαρακτηριστικής I-V διόδου

εφαπτομένη αυτή μπορεί να προσεγγιστεί λαμβάνοντας μικρές αποκλίσεις γύρω από το σημείο λειτουργίας:  $r_{AC} = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D}$

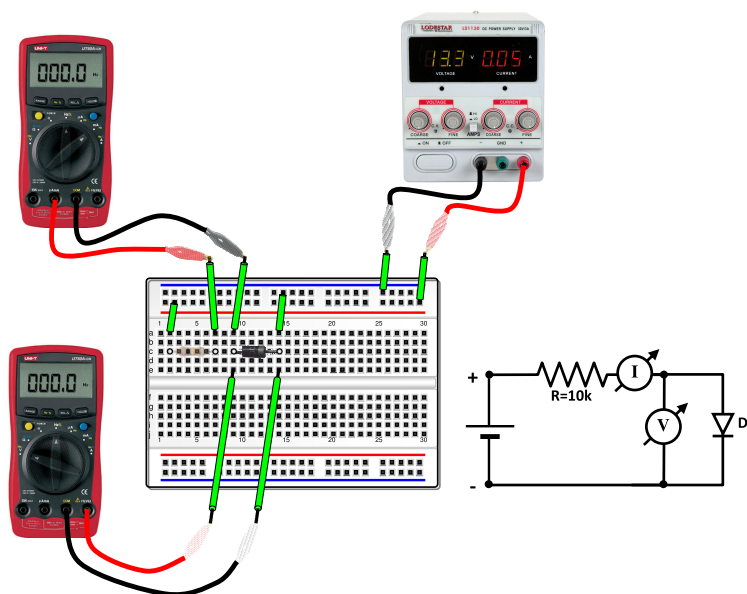
Παραγωγίζοντας την απλοποιημένη (για μεγάλα ρεύματα) εξίσωση της διόδου ( $I_D \approx I_S \cdot e^{\frac{V_D}{nV_\theta}}$ ) μπορούμε να βρούμε την εξής προσεγγιστική σχέση για την δυναμική αντίσταση μιας διόδου:  $r_{AC} = nV_\theta / I_D = 25mV \cdot n / I_D$  στους 25°C.

## 12.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 12.3.1 Σχεδίαση Χαρακτηριστικών I-V

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 12.7 με τιμές εξαρτημάτων τις εξής:  $R = 10k\Omega$ ,  $D = 1N4006$  (πυριτίου). Η υλοποίησή σας θα πρέπει να ανταποκρίνεται στο Σχήμα 12.8.
2. Μετρήστε με τη χρήση πολυμέτρου την αντίσταση της διόδου τόσο κατά την ορθή όσο και κατά την ανάστροφη φορά.
3. Συνδέστε τροφοδοτικό συνεχούς τάσης μεταξύ των σημείων A και B κατά τέτοιο τρόπο ώστε η διόδος να είναι πολωμένη ορθά.
4. Μεταβάλλοντας κατάλληλα την τάση του τροφοδοτικού συμπληρώστε τον ακόλουθο πίνακα με τις ενδείξεις του βολτομέτρου και του αμπερομέτρου.

| $I_D (mA)$ | $V_D$ |
|------------|-------|
| 0.02       |       |
| 0.04       |       |
| 0.06       |       |
| 0.08       |       |
| 0.10       |       |
| 0.30       |       |
| 0.50       |       |
| 0.70       |       |
| 0.90       |       |
| 1.00       |       |
| 2.00       |       |
| 3.00       |       |
| 4.00       |       |



Σχήμα 12.8 Υλοποίηση κυκλώματος για τη λήψη χαρακτηριστικής  $I$ - $V$  διόδου

5. Αφού μηδενίσετε την τάση του τροφοδοτικού, τροποποιήστε τη σύνδεσή του ώστε η πόλωση της διόδου να είναι ανάστροφη, φροντίζοντας να τροποποιήσετε - αν αυτό απαιτείται - τη σύνδεση των υπόλοιπων οργάνων του κυκλώματος (πολύμετρα) ώστε να έχουν τη σωστή πολικότητα.
6. Μεταβάλλοντας κατάλληλα την τάση του τροφοδοτικού ώστε να λαμβάνει τις τιμές του παρακάτω πίνακα, λάβετε μετρήσεις ώστε να χαράξετε στη συνέχεια τη χαρακτηριστική της διόδου συμπληρώνοντας τις στήλες  $I_D$  και  $V_D$ .

| $V_{\text{τροφ}} (V)$ | $I_D$ | $V_D$ |
|-----------------------|-------|-------|
| 1                     |       |       |
| 2                     |       |       |
| 4                     |       |       |
| 6                     |       |       |
| 8                     |       |       |
| 10                    |       |       |
| 12                    |       |       |
| 16                    |       |       |
| 20                    |       |       |

7. Από τα στοιχεία των προηγούμενων μετρήσεων σχεδιάστε τη χαρακτηριστική καμπύλη της διόδου.
8. Αντικαταστήστε τη δίοδο D με μια δίοδο γερμανίου (π.χ. την OA90) και επαναλάβετε τα προηγούμενα βήματα προκειμένου να λάβετε τη χαρακτηριστική

I-V της διόδου αυτής.

9. Σχεδιάστε σε κοινό διάγραμμα τις χαρακτηριστικές των δύο και σχολιάστε.
10. Να σχολιαστεί το αποτέλεσμα των ωμομετρήσεων του 2ου βήματος σε σχέση με τις χαρακτηριστικές των διόδων.
11. Υπολογίστε μια μέση τιμή για τους συντελεστές ιδανικότητας των διόδων που χρησιμοποιήσατε υποθέτοντας πως η θερμοκρασία τους είναι  $27^{\circ}\text{C}$ .
12. Να υπολογιστεί η δυναμική αντίσταση καθεμιάς διόδου από την κλίση της χαρακτηριστικής I-V.
13. Χρησιμοποιώντας τη λειτουργία component tester του παλμογράφου, απεικονίστε τις χαρακτηριστικές I-V των διόδων που χρησιμοποιήσατε πιο πάνω.

## 12.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, κεφ. 2.





## ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ / ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ

### 13.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε μερικές τυπικές εφαρμογές των διόδων όπως είναι η ανόρθωση και η σταθεροποίηση. Σε συνδυασμό με ένα φίλτρο εξομάλυνσης οι δύο προηγούμενες εφαρμογές αποτελούν τις βασικές λειτουργίες πάνω στις οποίες βασίζεται ένα απλό τροφοδοτικό DC.

### 13.2 Θεωρητικό Μέρος

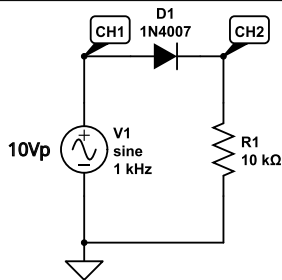
Η ενότητα 2.6 από το [14].

### 13.3 Εργαστηριακό Μέρος

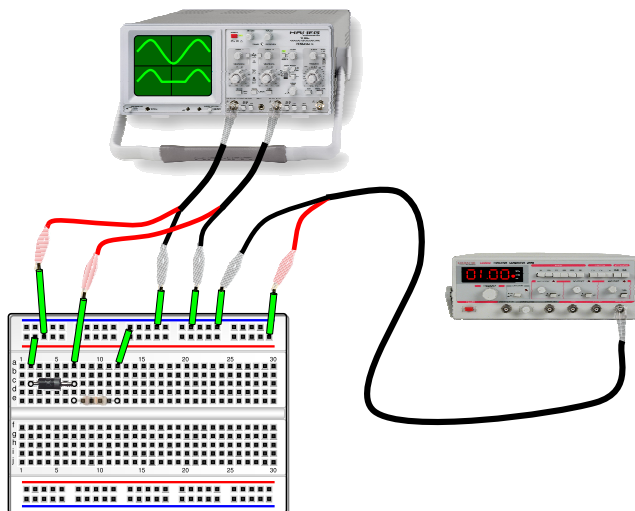
#### 13.3.1 Μελέτη ημιανόρθωσης

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 23.1 (βλπ, ενδεικτικά, το Σχήμα 13.2).
2. Αφού τροφοδοτήσετε το κύκλωμα, καταγράψτε την τάση στα άκρα της αντίστασης.
3. Συνδέστε τον παλμογράφο στην έξοδο του κυκλώματος (στα άκρα, δηλαδή, της αντίστασης). Μετρήστε και σημειώστε την τιμή της τάσης  $V_{pp}$  και σχεδιάστε την αντίστοιχη κυματομορφή. Ποια η τιμή της DC συνιστώσας του σήματος; Να γίνει μέτρηση της ενεργού τιμής της AC συνιστώσας του σήματος εξόδου. Χρησιμοποιώντας τα δύο προηγούμενα μεγέθη να γίνει εκτίμηση του βαθμού κυμάτωσης του ανορθωμένου σήματος. Σχολιάστε την ακρίβεια της εκτίμησής σας.

### ΑΣΚΗΣΗ 13. ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ / ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ



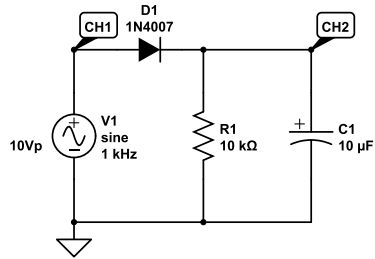
Σχήμα 13.1 Κύκλωμα ημιανόρθωσης



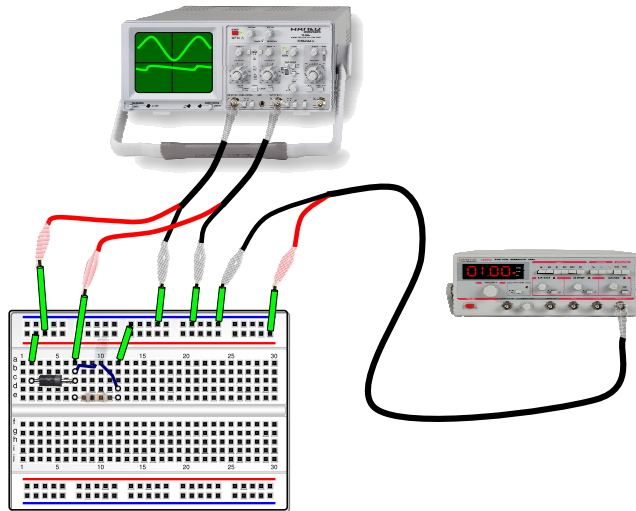
Σχήμα 13.2 Κύκλωμα ημιανόρθωσης στο breadboard

#### 13.3.2 Μελέτη εξομάλυνσης

1. Παράλληλα στην αντίσταση  $R_1$  του κυκλώματος ημιανόρθωσης συνδέστε πυκνωτή χωρητικότητας  $C_1 = 10\mu F/16V$  σύμφωνα με το Σχήμα 23.2 (βλπ, ενδεικτικά, το Σχήμα 13.4) και επαναλάβετε τη διαδικασία της προηγούμενης ενότητας.
2. Αντικαταστήστε την αντίσταση  $R_1$  με άλλη, τιμής 2.2 kΩ.
3. Μετρήστε ξανά την τάση  $V_{pp}$  στα άκρα της αντίστασης και σχεδιάστε την κυματομορφή του σήματος εξόδου. Προβείτε, επίσης, σε εκτίμηση του βαθμού κυμάτωσης.
4. Επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα αντικαθιστώντας τον πυκνωτή  $C_1$  με άλλον, χωρητικότητας 100  $\mu F/16V$ .
5. Η πιο πάνω διαδικασία να επαναληφθεί για  $R_1 = 1k\Omega$  και  $C_1 = 100\mu F/16V$
6. Σχολιάστε την μορφή του σήματος εξόδου για τους διάφορους συνδυασμούς αντιστάσεων φόρτου και πυκνωτών εξομάλυνσης.



Σχήμα 13.3 Κύκλωμα ημιανόρθωσης και εξομάλυνσης



Σχήμα 13.4 Κύκλωμα ημιανόρθωσης και εξομάλυνσης στο breadboard

### 13.3.3 Μελέτη πλήρους ανόρθωσης

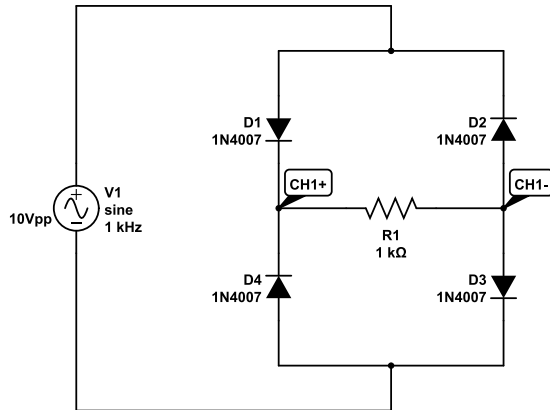
#### 13.3.3.1 Πλήρης ανόρθωση με γέφυρα διόδων

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 23.3.
2. Παρατηρήστε στον παλμογράφο την τάση στα άκρα της αντίστασης  $R_1$ .
3. Συνδέστε παράλληλα με την αντίσταση  $R_1$  ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές διαφόρων χωρητικοτήτων (προσοχή στην πολικότητα!) και παρατηρήστε την εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσης.

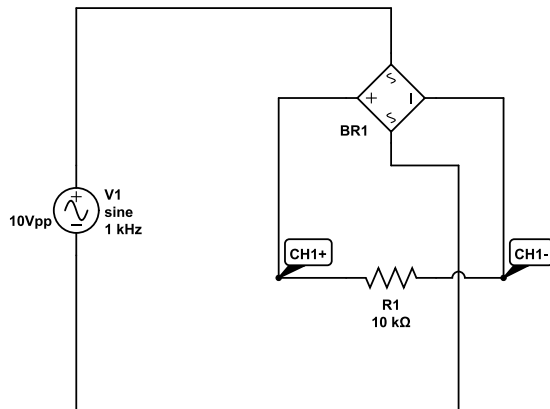
#### 13.3.3.2 Πλήρης ανόρθωση με διακριτή γέφυρα διόδων

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 23.4.
2. Παρατηρήστε στον παλμογράφο την τάση στα άκρα της αντίστασης  $R_1$ .

### ΑΣΚΗΣΗ 13. ΑΝΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗ ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ / ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ



Σχήμα 13.5 Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με γέφυρα διόδων

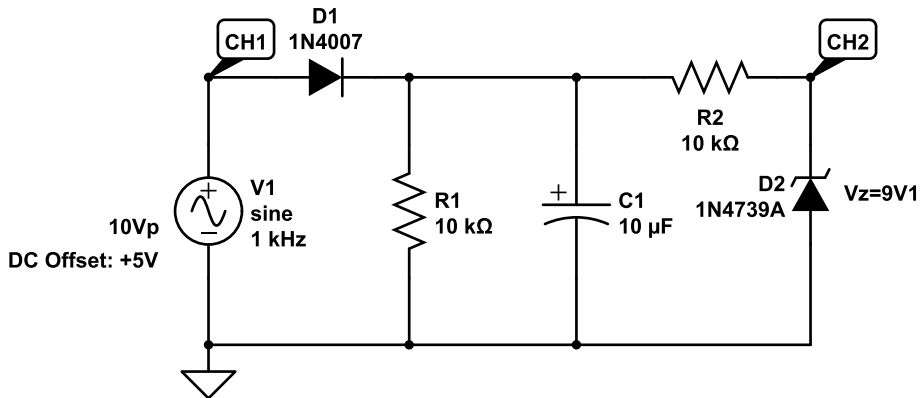


Σχήμα 13.6 Κύκλωμα πλήρους ανόρθωσης με διακριτή γέφυρα διόδων

3. Συνδέστε παράλληλα με την αντίσταση  $R_1$  ηλεκτρολυτικούς πυκνωτές διαφόρων χωρητικοτήτων (προσοχή στην πολικότητα!) και παρατηρήστε την εξομάλυνση της ανορθωμένης τάσης.

#### 13.3.4 Σταθεροποίηση τάσης

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 23.4.
2. Παρατηρήστε στον παλμογράφο την τάση μεταξύ του δεξιού άκρου της αντίστασης  $R_2$  και της γης, με και χωρίς τη δίοδο Zener.
3. Σχολιάστε τις κυματομορφές που παρατηρείτε.



**Σχήμα 13.7** Κύκλωμα ημιανόρθωσης / εξομάλυνσης / σταθεροποίησης εναλλασσόμενης τάσης

### 13.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, ενότητα 2.6., διαδραστικό στοιχείο 2.2, διαδραστικό στοιχείο 2.1



### 14.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε την ψαλίδιση τάσης με τη βοήθεια διόδων Zener.

### 14.2 Θεωρητικό Μέρος

Η ενότητα 2.5.1 από το [14].

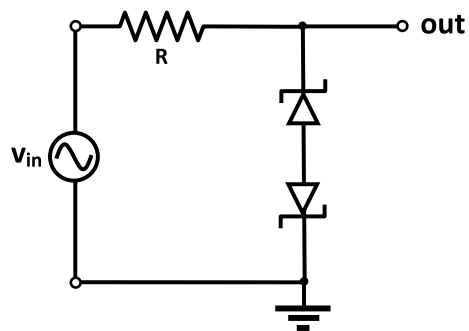
### 14.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 14.3.1 Σχεδίαση ψαλιδιστή τάσης (voltage clipper) με διόδους Zener

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 24.1, όπως περιγράφεται αναλυτικά στο βίντεο 2.1 από το [14].
2. Παρατηρήστε στον παλμογράφο τις κυματομορφές των τάσεων εισόδου και εξόδου.
3. Χρησιμοποιήστε διάφορους συνδυασμούς διόδων Zener με διαφορετικές τιμές τάσεων Zener και σχολιάστε.

### 14.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, κεφ. 2.



Σχήμα 14.1 Κύκλωμα ψαλιδιστή τάσης (voltage clipper) με διόδους Zener



## 15.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε μερικές τυπικές εφαρμογές των διόδων όπως είναι η ανόρθωση και η σταθεροποίηση. Σε συνδυασμό με ένα φίλτρο εξομάλυνσης οι δύο προηγούμενες εφαρμογές αποτελούν τις βασικές λειτουργίες πάνω στις οποίες βασίζεται ένα απλό τροφοδοτικό DC.

## 15.2 Θεωρητικό Μέρος

### 15.2.1 Οθόνη επτά τμημάτων

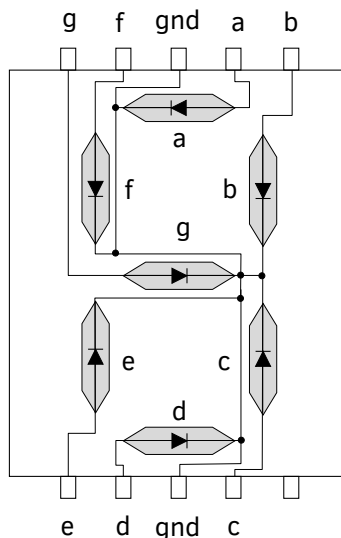
Η οθόνη επτά τμημάτων (seven-segment display) αποτελείται από ισάριθμες φωτοεκπέμπουσες διόδους (LEDs)  $a - g$ , οι οποίες ελέγχονται από ομώνυμα ψηφιακά σήματα. Όταν τα σήματα ελέγχου τίθενται στη λογική μονάδα, η αντίστοιχη LED φωτοβολεί<sup>1</sup>. Στο Σχήμα 15.1 παρουσιάζεται η εσωτερική δομή μιας οθόνης επτά τμημάτων και η συνδεσμολογία των φωτοεκπεμπουσών διόδων. Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε πως όταν στον ακροδέκτη ελέγχου μιας LED εφαρμόζεται τάση μεγαλύτερη από την τάση κατωφλίου της<sup>2</sup>, τότε η LED θα είναι πολωμένη ορθά και θα φωτοβολεί. Αντίθετα, αν ο αντίστοιχος ακροδέκτης είναι γειωμένος, τότε η δίοδος θα είναι πολωμένη ανάστροφα και θα παραμένει σβηστή.

Το πλήθος αλλά και η διάταξη των LEDs είναι τέτοια ώστε να επιτρέπουν την εμφάνιση όλων των δεκαδικών αριθμητικών ψηφίων (0 έως και 9)<sup>3</sup>, αρκεί να τεθούν κατάλληλες τιμές στα σήματα ελέγχου της οθόνης, όπως υποδεικνύει ο Πίνακας 15.1.

<sup>1</sup>Υπάρχουν και οθόνες επτά τμημάτων με την αντίθετη συμπεριφορά.

<sup>2</sup>Η τάση αυτή αντιστοιχεί στη λογική μονάδα.

<sup>3</sup>Αλλά και ορισμένων χαρακτήρων όπως A, E, F, C.



Σχήμα 15.1 Εσωτερική δομή οθόνης επτά τμημάτων

## 15.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 15.3.1 Επαλήθευση λειτουργίας οθόνης επτά τμημάτων

1. Στην οθόνη επτά τμημάτων που θα σας διατεθεί απεικονίστε όλα τα δυνατά αριθμητικά ψηφία. Χρησιμοποιήστε τάση τροφοδοσίας 5V και αντιστάσεις περιορισμού του ρεύματος μεταξύ 180 και 390Ω.

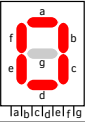
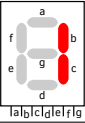
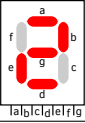
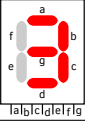
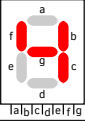
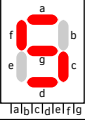
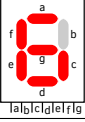
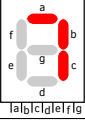
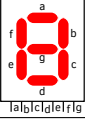
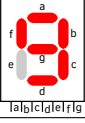
### 15.3.2 Υλοποίηση αποκωδικοποιητή οθόνης επτά τμημάτων

1. Χρησιμοποιώντας λογικές πύλες της σειράς 7400, υλοποιήστε αποκωδικοποιητή οθόνης επτά τμημάτων και επαληθεύσατε τη λειτουργία του. Σκοπός του αποκωδικοποιητή είναι να δέχεται δυαδικές απεικονίσεις των αριθμών που αντιστοιχούν στα ψηφία που απεικονίζει η οθόνη και να παρέχει τις κατάλληλες τάσεις οι οποίες θα εφαρμόζονται στους ακροδέκτες της οθόνης.

## 15.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: διαδραστικό στοιχείο 3.
- Γιάννης Λιαπέρδος, "Μαθήματα Ψηφιακών Ηλεκτρονικών" ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2016: ενότητα 7.3.2.

Πίνακας 15.1 Πίνακας λειτουργίας οθόνης επτά τμημάτων

|                                                                                     | ψηφίο | a | b | c | d | e | f | g |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
|    | 0     | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
|    | 1     | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|    | 2     | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
|    | 3     | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
|    | 4     | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
|   | 5     | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
|  | 6     | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|  | 7     | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|  | 8     | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
|  | 9     | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |



## ΜΕΛΕΤΗ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΣΕ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΚΟΙΝΗΣ ΒΑΣΗΣ

### 16.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τη συνδεσμολογία τρανζίστορ κοινής βάσης αν και η συνηθέστερη συνδεσμολογία είναι εκείνη του κοινού εκπομπού. Η μελέτη του ενισχυτή κοινού εκπομπού θα γίνει σε επόμενη άσκηση.

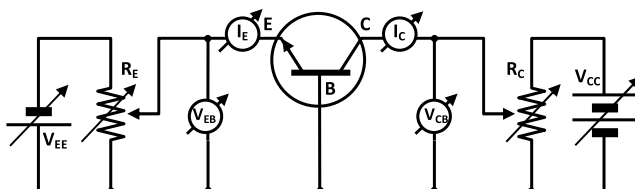
### 16.2 Θεωρητικό Μέρος

- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: ενότητα 3.3.

### 16.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 16.3.1 Χάραξη χαρακτηριστικών κοινής βάσης

- Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του σχήματος 16.1.



Σχήμα 16.1 Κύκλωμα για τη μελέτη των χαρακτηριστικών κοινής βάσης

2. Χρησιμοποιήστε το τρανζίστορ 2N2222, ενώ οι μεταβλητές αντιστάσεις  $R_C$  και  $R_E$  να είναι των 10 kΩ. Ως τροφοδοτικό  $V_{EE}$  να χρησιμοποιηθεί ένα απλό τροφοδοτικό DC, ενώ ως τροφοδοτικό  $V_{BB}$  να χρησιμοποιηθεί τριπλό τροφοδοτικό DC ρυθμισμένο κατάλληλα ώστε να μπορεί να αποδώσει 50V (σε σειρά σύνδεση Master και Slave). Ως αμπερόμετρα – βολτόμετρα να χρησιμοποιηθούν πολύμετρα. Στην περίπτωση που τα πολύμετρα του πάγκου σας δεν επαρκούν χρησιμοποιήστε τον παλμογράφο για αντίστοιχες μετρήσεις.
3. Ρυθμίστε το τροφοδοτικό  $V_{EE}$  στα 5Vdc και το τροφοδοτικό  $V_{CC}$  στα 50Vdc.
4. Συνδέστε αμπερόμετρα και βολτόμετρα όπως στο Σχήμα 16.1.
5. Ανοίξτε τα τροφοδοτικά και ρυθμίστε με τη μεταβλητή αντίσταση  $R_C$  την τάση  $V_{CB}$  στην τιμή 2V (μέτρηση στο βολτόμετρο). Μεταβάλλοντας την τάση  $V_{EB}$  με τη μεταβλητή αντίσταση  $R_E$  για τιμές από 0.1V έως 0.9V με βήμα 0.1V λάβετε μετρήσεις για το ρεύμα  $I_E$ .
6. Επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα αφού προηγουμένως ρυθμίσετε την τάση  $V_{CB}$  στην τιμή 18V (μέτρηση στο βολτόμετρο).
7. Από τις μετρήσεις που πήρατε στα βήματα 4 και 5 χαράξτε τις χαρακτηριστικές του κυκλώματος εισόδου.
8. Ρυθμίστε με τη μεταβλητή αντίσταση  $R_E$  το ρεύμα  $I_E$  στην μηδενική τιμή και κρατώντας το σταθερό μεταβάλετε την τάση  $V_{CB}$  για τιμές μεταξύ 0 και 18V με βήμα 2V και λάβετε μετρήσεις του ρεύματος  $I_C$ .
9. Επαναλάβετε το προηγούμενο βήμα για τιμές ρεύματος  $I_E$  στην περιοχή μεταξύ 1mA και 5mA με βήμα 1 mA, φροντίζοντας αυτό να παραμένει σταθερό σε κάθε σειρά μετρήσεων.
10. Από τις μετρήσεις που πήρατε στα βήματα 7 και 8 χαράξτε τις χαρακτηριστικές του κυκλώματος εξόδου.
11. Σχολιάστε.

## 16.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: ενότητα 3.3.

## ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΑΠΟΜΟΝΩΤΗΣ (BUFFER)

### 17.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τη συνδεσμολογία τρανζίστορ κοινής βάσης αν και η συνηθέστερη συνδεσμολογία είναι εκείνη του κοινού εκπομπού. Η μελέτη του ενισχυτή κοινού εκπομπού θα γίνει σε επόμενη άσκηση.

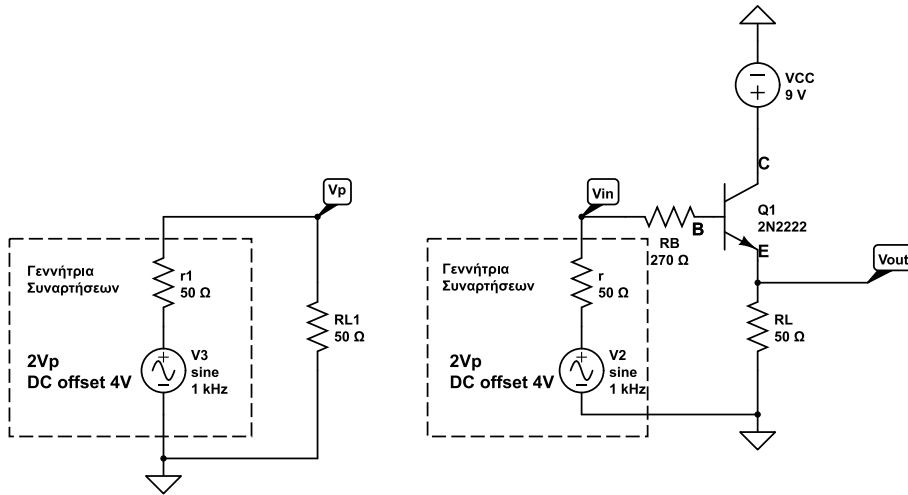
### 17.2 Θεωρητικό Μέρος

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.

### 17.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 17.3.1 Μελέτη απομονωτή με διπολικό τρανζίστορ

1. Ρυθμίστε γεννήτρια συναρτήσεων εσωτερικής αντίστασης  $50\Omega$  ώστε να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 1kHz, με πλάτος 2Vp και DC offset 4V. Σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της κυματομορφής που παράγει η γεννήτρια.
2. Συνδέστε στους ακροδέκτες της γεννήτριας αντιστάτη  $50\Omega$ , όπως φαίνεται στο αριστερό μέρος του Σχήματος 17.1 και σχεδιάστε τη γραφική παράσταση της κυματομορφής που παράγει η γεννήτρια.
3. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα στο δεξιό μέρος του Σχήματος 17.1 και σχεδιάστε τις κυματομορφές (α) ανάμεσα στους πόλους της γεννήτριας ( $V_{in}$ ) και (β) στα άκρα της αντίστασης  $R_L=50\Omega$ .
4. Συγκρίνετε τις κυματομορφές στα σημεία  $V_p$  και  $V_{out}$  του Σχήματος 17.1 και σχολιάστε.



Σχήμα 17.1 Κύκλωμα για τη μελέτη απομονωτή με διπολικό τρανζίστορ

## 17.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: ενότητα 1.4.10.
- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: ενότητα 3.10.1.



## ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ

### 18.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε τη λειτουργία του τρανζίστορ ως διακόπτη, η οποία βρίσκει εφαρμογή στη σχεδίαση ψηφιακών κυκλωμάτων.

### 18.2 Θεωρητικό Μέρος

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.

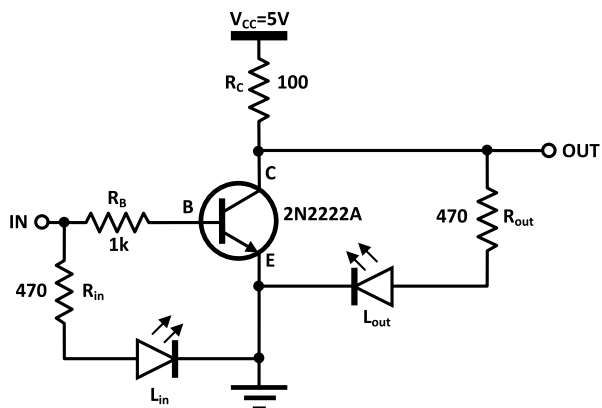
### 18.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 18.3.1 Μελέτη διπολικού τρανζίστορ ως διακόπτη

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 18.1 και ακολουθήστε τη διαδικασία η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο [βίντεο](#) προκειμένου να επιβεβαιώσετε πως το κύκλωμα λειτουργεί ως αναστροφέας (πύλη NOT).
2. Σε ποιες περιοχές λειτουργίας βρίσκεται το τρανζίστορ στο συγκεκριμένο κύκλωμα και γιατί;

### 18.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.



Σχήμα 18.1 Κύκλωμα διπολικού τρανζίστορ σε λειτουργία διακόπτη

- Πάννης Λιαπέρδος, "Μαθήματα Ψηφιακών Ηλεκτρονικών" ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2016.

## ΑΚΟΛΟΥΘΟΣ ΕΚΠΟΜΠΟΥ

## 19.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε κυκλώματα ακόλουθου εκπομπού, που αποτελούν συνδεσμολογίες κοινού συλλέκτη.

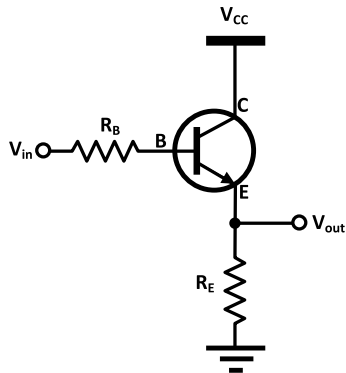
## 19.2 Θεωρητικό Μέρος

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.

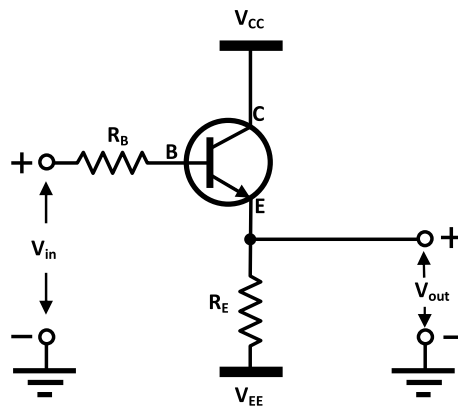
## 19.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 19.3.1 Μελέτη κυκλωμάτων ακόλουθου εκπομπού

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 19.1, με τιμές στοιχείων τις εξής:  $R_B = 270\Omega$ ,  $R_E = 3.3k\Omega$ . Να χρησιμοποιηθεί το τρανζίστορ 2N2222A.
2. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με συνεχή τάση  $V_{CC} = +15V$  με τη βοήθεια τριπλού τροφοδοτικού συνεχούς (Master).
3. Χρησιμοποιώντας γεννήτρια συναρτήσεων τροφοδοτήστε την είσοδο του κυκλώματος με ημιτονικό σήμα συχνότητας 1kHz και πλάτους 5V.
4. Καταγράψτε την κυματομορφή στην έξοδο και σχολιάστε. Ποια η τιμή της απολαβής τάσης;
5. Τροποποιήστε το κύκλωμα κατά τον τρόπο που υποδεικνύει το Σχήμα 19.2.
6. Πολώστε τον εκπομπό με συνεχή τάση  $V_{EE} = -15V$  με τη βοήθεια του τριπλού τροφοδοτικού συνεχούς (Slave).
7. Επαναλάβετε τα βήματα 3 και 4.



Σχήμα 19.1 Κύκλωμα ακόλουθου εκπομπού



Σχήμα 19.2 Τροποποιημένο κύκλωμα ακόλουθου εκπομπού

8. Σχολιάστε τις κυματομορφές που προσδιορίσατε και εξηγήστε τη λειτουργία και τη χρησιμότητα του κυκλώματος.

## 19.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.

## ΤΟ ΔΙΠΟΛΙΚΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΩΣ ΠΗΓΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

### 20.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε ένα απλό κύκλωμα πηγής ρεύματος, βασισμένο σε διπολικό τρανζίστορ.

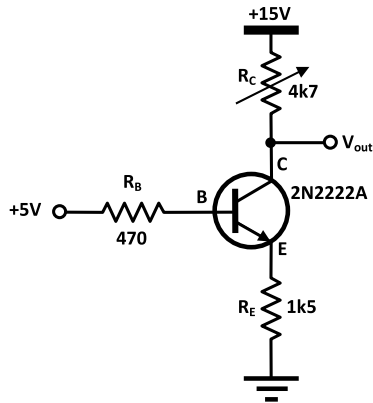
### 20.2 Θεωρητικό Μέρος

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.

### 20.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 20.3.1 Μελέτη πηγής ρεύματος με διπολικό τρανζίστορ

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 20.1.
2. Παρεμβάλετε μεταξύ της αντίστασης συλλέκτη και του τροφοδοτικού των 15Vdc πολύμετρο για τη μέτρηση των τιμών του ρεύματος.
3. Μεταβάλετε αργά την μεταβλητή αντίσταση των 4.7K ξεκινώντας από την ελάχιστη τιμή της και αυξάνοντάς την.
4. Παρατηρήστε την ένδειξη ρεύματος του πολυμέτρου. Μεταβάλλεται καθώς αλλάζει η αντίσταση του ποτενσιόμετρου;
5. Ποιο είναι το εύρος τιμών που παίρνει το ρεύμα; Ποιο είναι το εύρος της τάσης ανάμεσα στους ακροδέκτες της μεταβλητής αντίστασης στην περιοχή όπου το ρεύμα παραμένει σταθερό;
6. Όταν το ρεύμα πάψει να είναι σταθερό, ποια είναι η τάση του συλλέκτη του τρανζίστορ; Για ποιο λόγο το ρεύμα παύει να είναι σταθερό όταν η τιμή της μεταβλητής αντίστασης ξεπεράσει το συγκεκριμένο όριο;



Σχήμα 20.1 Κύκλωμα πηγής ρεύματος με διπολικό τρανζίστορ

7. Με βάση το απλό μοντέλο λειτουργίας του τρανζίστορ να υπολογίσετε το ρεύμα που παρέχει η πηγή.

## 20.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 3.
- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: διαδραστικό στοιχείο 3.2.

## ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΤΑΣΗΣ ΚΟΙΝΟΥ ΕΚΠΟΜΠΟΥ

### 21.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθεί η ευρύτητα χρησιμοποιούμενη τοπολογία ενισχυτή τάσης με διπολικό τρανζίστορ σε συνδεσμολογία κοινού εκπομπού με απλή τροφοδοσία.

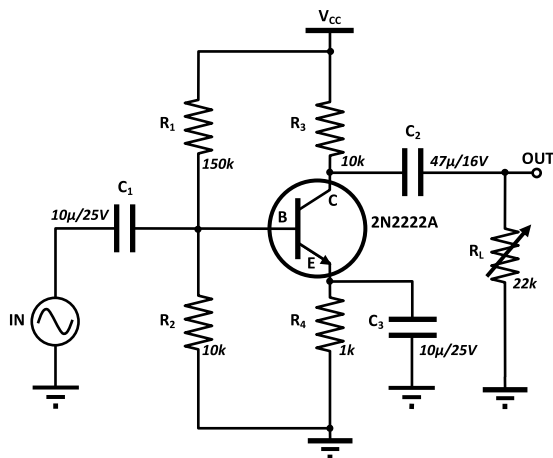
### 21.2 Θεωρητικό Μέρος

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 6.

### 21.3 Εργαστηριακό Μέρος

#### 21.3.1 Μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού (α' περίπτωση)

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 21.1 με τις αντίστοιχες τιμές εξαρτημάτων, χωρίς να συνδέσετε την αντίσταση φόρτου  $R_L$ .
2. Τροφοδοτήστε το κύκλωμα με τάση 18 Vdc.
3. Μετρήστε τις τάσεις βάσης, συλλέκτη και εκπομπού ( $V_B$ ,  $V_C$  και  $V_E$ , αντίστοιχα).
4. Με βάση τα αποτελέσματα του προηγούμενου βήματος σχολιάστε την πόλωση του τρανζίστορ.
5. Ρυθμίστε γεννήτρια κυματομορφών ώστε να παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 1 kHz και πλάτους 100 mVpp και συνδέστε την στην είσοδο IN του ενισχυτή.
6. Συνδέστε τον παλμογράφο στη βάση του τρανζίστορ και μετρήστε την τάση εισόδου σε Vpp (Vεισ).



Σχήμα 21.1 Κύκλωμα για τη μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού

7. Όμοια για την τάση εξόδου του ενισχυτή ( $V_{E\bar{X}}$ ).
8. Σημειώστε αν υπάρχει παραμόρφωση στην έξοδο.
9. Από τις μετρήσεις των εργασιών #6 και #7 υπολογίστε την απολαβή τάσης  $A_V$  του κυκλώματος.
10. Συνδέστε την αντίσταση φόρτου  $R_L$  του ενισχυτή και επαναλάβετε τα βήματα #7 και #9.
11. Μεταβάλλοντας την τιμή της αντίστασης φόρτου  $R_L$  παρατηρήστε και σχολιάστε τη μεταβολή της κυματομορφής εξόδου.
12. Θέστε την  $R_L$  εκτός κυκλώματος και συνδέστε τον παλμογράφο στην έξοδο του ενισχυτή.
13. Αυξάνοντας το πλάτος του σήματος εισόδου ( $>100\text{mV}_{pp}$ ) βρείτε την τιμή της τάσης εισόδου (σε  $V_{pp}$ ) πάνω από την οποία η έξοδος του ενισχυτή παραμορφώνεται. Που οφείλεται αυτή η παραμόρφωση;

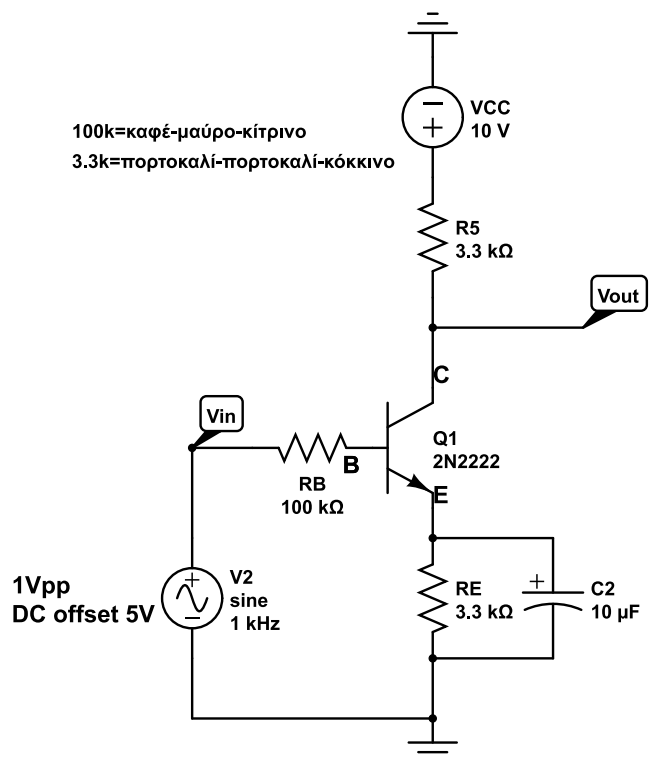
### 21.3.2 Μελέτη ενισχυτή τάσης κοινού εκπομπού (β' περίπτωση)

1. Υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα ενισχυτή του Σχήματος 21.2 και ακολουθήστε τη διαδικασία η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο [βίντεο](#) προκειμένου να επιβεβαιώσετε πως το κύκλωμα λειτουργεί ως ενισχυτής τάσης.

## 21.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: κεφάλαιο 6.
- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015: οπτικοακουστικό υλικό 6.1.





Σχήμα 21.2 Ενισχυτής τάσης με διπολικό τρανζίστορ



## ΜΕΛΕΤΗ ΕΝΙΣΧΥΤΗ ΤΑΣΗΣ ΜΕ ΤΕΛΕΣΤΙΚΟ ΕΝΙΣΧΥΤΗ

### 22.1 Σκοπός της Άσκησης

Στην άσκηση αυτή θα μελετηθεί κύκλωμα ενισχυτή τάσης με τελεστικό ενισχυτή.

### 22.2 Θεωρητικό Μέρος

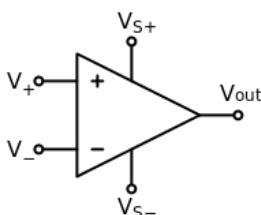
#### 22.2.1 Τελεστικός Ενισχυτής

Οι τελεστικοί ενισχυτές (Operational Amplifiers – OpAmps) αποτελούν το σημαντικότερο, ίσως, κομμάτι των γραμμικών κυκλωμάτων. Χαρακτηρίζονται από πολύ μεγάλη απολαβή και αντίσταση εισόδου, πολύ μικρή αντίσταση εξόδου και πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων.

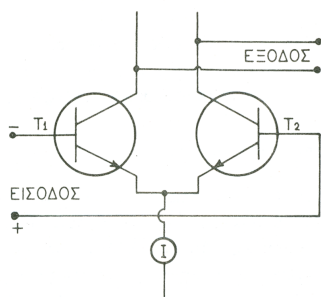
Στις μέρες μας οι τελεστικοί ενισχυτές κυκλοφορούν στη μορφή ολοκληρωμένου κυκλώματος πολύ μικρού όγκου και κόστους.

Στο Σχήμα 22.1 φαίνεται το σύμβολο ενός τελεστικού ενισχυτή.

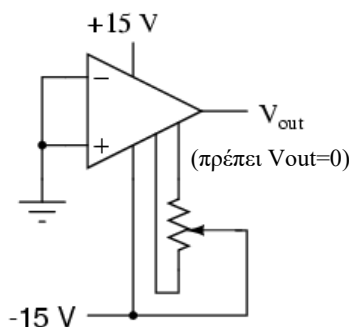
Πρόκειται για έναν υψηλής απολαβής ενισχυτή τάσης με διαφορική είσοδο και, συνήθως, μια έξοδο. Τυπικά η έξοδος ενός τελεστικού ενισχυτή ελέγχεται είτε με



Σχήμα 22.1 Κυκλωματικό σύμβολο τελεστικού ενισχυτή



Σχήμα 22.2 Βαθμίδα διαφορικού ενισχυτή



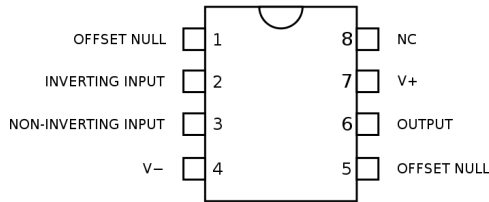
Σχήμα 22.3 Αναίρεση τάσης ασυμμετρίας

αρνητική ανάδραση η οποία καθορίζει σε μεγάλο βαθμό την απολαβή τάσης, είτε με θετική ανάδραση η οποία και προκαλεί ταλαντώσεις.

Το κύκλωμα ενός τελεστικού ενισχυτή αποτελείται από τρία μέρη (βαθμίδες): τη βαθμίδα εισόδου, την ενδιάμεση βαθμίδα και τη βαθμίδα εξόδου.

Η βαθμίδα εισόδου αποτελείται συνήθως από έναν διαφορικό ενισχυτή (Σχήμα 22.2) εφοδιασμένο με μια πηγή σταθερού ρεύματος στους εκπομπούς των τρανζίστορ. Οι βάσεις των δύο τρανζίστορ του διαφορικού ενισχυτή αποτελούν τις εισόδους του τελεστικού ενισχυτή. Η μία, που σημειώνεται με «-» ονομάζεται αναστρέφουσα επειδή σήμα που διοχετεύεται στην είσοδο αυτή εμφανίζεται αντεστραμμένο στην έξοδο. Η άλλη, σημειώνεται με «+» και καλείται μη αναστρέφουσα. Όταν και στις δύο εισόδους εφαρμοστεί το ίδιο σήμα, τότε η έξοδος θα είναι, θεωρητικά, μηδέν. Οι κατασκευαστικές αποκλίσεις, ωστόσο, μεταξύ των δύο κλάδων του διαφορικού ενισχυτή έχουν σαν αποτέλεσμα τα ρεύματα βάσης των τρανζίστορ να μην είναι ίσα με αποτέλεσμα στην έξοδο να εμφανίζεται μια ανεπιθύμητη τάση παρόλο που στις εισόδους του τελεστικού ενισχυτή δεν υπάρχει τάση. Αυτή η τάση λέγεται τάση ασυμμετρίας εξόδου (offset).

Σε πολλούς ολοκληρωμένους τελεστικούς ενισχυτές υπάρχει η δυνατότητα αναίρεσης της τάσης ασυμμετρίας. Αυτό γίνεται με την σύνδεση, εξωτερικά, ενός ποτενσιομέτρου κατά τον τρόπο που υποδεικνύει το Σχήμα 22.3. Τα δύο άκρα του ποτενσιομέτρου συνδέονται στους ακροδέκτες του ολοκληρωμένου που σημειώνονται



Σχήμα 22.4 Κάτοψη του τελεστικού ενισχυτή 741

σαν OFFSET NULL και το μεσαίο άκρο στο αρνητικό ή στο θετικό της τάσης τροφοδοσίας.

Η ενδιάμεση βαθμίδα αποτελείται από συνδυασμούς διαφορικών και άλλων ενισχυτών, ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε ο τελεστικός ενισχυτής. Το στάδιο αυτό προσδίδει μια επιπλέον απολαβή τάσης και ρεύματος.

Η έξοδος είναι συνήθως συνδεσμολογία ακόλουθου εκπομπού. Προσαρμόζει την υψηλή αντίσταση της ενδιάμεσης βαθμίδας με την χαμηλή του φορτίου και δρα ως απομονωτής μεταξύ του φορτίου και του τελεστικού ενισχυτή.

Οι τελεστικοί ενισχυτές χρησιμοποιούνται σαν ενισχυτές, ενεργά φίλτρα, συγκριτές, σε αναλογικούς υπολογιστές, σε κυκλώματα διαφόρισης και ολοκλήρωσης και αλλού. Κυκλοφορούν σε ολοκληρωμένα των 8 ή των 14 ακροδεκτών. Ένας από τους πιο δημοφιλείς είναι ο 741, του οποίου η κάτοψη παρουσιάζεται στο Σχήμα 22.4. Η τάση τροφοδοσίας τους κυμαίνεται ανάλογα με το ολοκληρωμένο από  $\pm 18\text{V}$  έως  $\pm 22\text{V}$ , χρησιμοποιούμε δε, συνήθως, τροφοδοσία διπλής πολικότητας (συμμετρική).

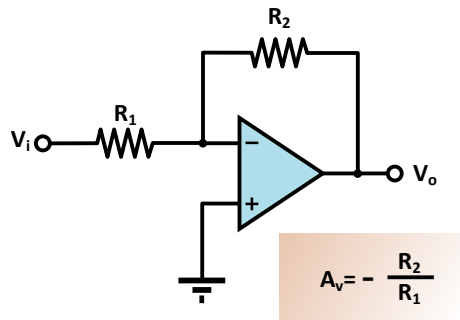
### 22.2.2 Ενίσχυση Τάσης με Τελεστικό Ενισχυτή

Σαν ενισχυτές, οι τελεστικοί χρησιμοποιούνται σε συνδεσμολογία κλειστού βρόχου, δηλαδή με μια αντίσταση συνδεδεμένη μεταξύ εξόδου και μιας από τις εισόδους. Ανάλογα με το αν το σήμα εισόδου εφαρμόζεται στην αναστρέφουσα ή στη μη αναστρέφουσα είσοδο έχουμε τις δύο βασικές συνδεσμολογίες ενισχυτή τάσης με τελεστικό ενισχυτή, οι οποίες απεικονίζονται στα Σχήματα 22.5 και 22.6, αντίστοιχα.

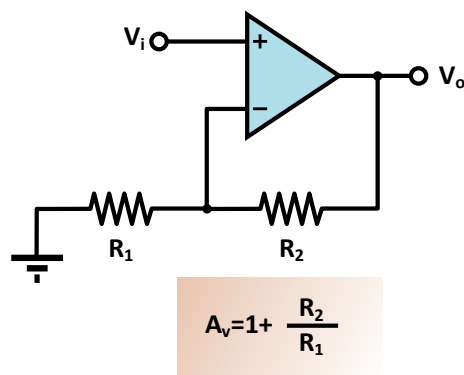
## 22.3 Εργαστηριακό Μέρος

1. Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 22.7 με τιμές εξαρτημάτων τις εξής:  $R_1 = R_2 = 1\text{k}$ ,  $R_3 = R_4 = 10\text{k}$ ,  $R_5 = 100\text{k}$ ,  $R_6 = 2\text{k}$ <sup>1</sup>, τελεστικός ο 741. Συμβουλευθείτε το Σχήμα 22.4 για τη σωστή σύνδεση των ακροδεκτών. (Οι ακροδέκτες με την ένδειξη "O.N." στο Σχήμα 22.7 αντιστοιχούν στους ακροδέκτες Offset Null).
2. Τροφοδοτήστε συμμετρικά το κύκλωμα με τάση +12V και -12V Συνδέστε στο κύκλωμα την αντίσταση  $R_3$ .

<sup>1</sup>Ο συμβολισμός 2k2 αναφέρεται σε 2.2kΩ.

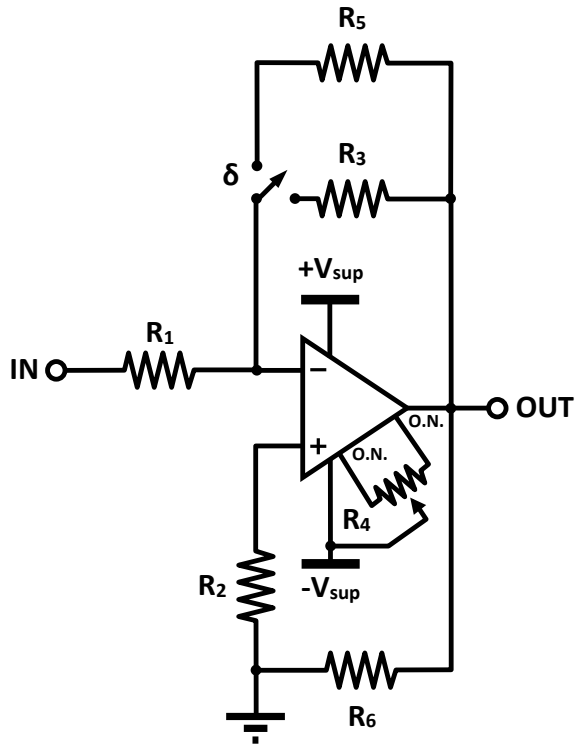


Σχήμα 22.5 Κύκλωμα αναστρέφοντα ενισχυτή τάσης



Σχήμα 22.6 Κύκλωμα μη αναστρέφοντα ενισχυτή τάσης

3. Γειώστε προσωρινά την είσοδο και συνδέστε στην έξοδο ηλεκτρονικό βολτόμετρο.
4. Ρυθμίστε το ποτενσιόμετρο  $R_4$  για ακριβώς μηδενική έξοδο.
5. Καταργήστε τη γείωση της εισόδου και συνδέστε σε αυτήν γεννήτρια συναρτήσεων που παράγει ημιτονικό σήμα συχνότητας 1 kHz και πλάτους 0.1 V<sub>pp</sub>.
6. Συνδέστε παλμογράφο στην έξοδο του κυκλώματος και μετρήστε την τάση εξόδου.
7. Υπολογίστε την απολαβή τάσης  $A_v$  του ενισχυτή μετατρέποντάς την και σε dB. Συγκρίνετε με την θεωρητικά υπολογιζόμενη απολαβή τάσης.
8. Μεταβάλλετε το πλάτος της γεννήτριας συναρτήσεων ώστε να πάρει την τιμή 10 mV<sub>pp</sub> και μετρήστε την έξοδο του τελεστικού για τις συχνότητες 50 Hz, 100 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz, 20 kHz, 25 kHz, 30 kHz, 50 kHz, 80 kHz, 100 kHz και 200 kHz.
9. Με τη βοήθεια του διακόπτη  $\delta$  θέστε εκτός κυκλώματος την αντίσταση  $R_3$  και επιλέξτε αντ' αυτής την  $R_5$ .
10. Με την αντίσταση  $R_5$  τώρα στο κύκλωμα επαναλάβετε τα βήματα #4 έως #7.



Σχήμα 22.7 Κύκλωμα ενισχυτή τάσης προς υλοποίηση

11. Χαράξτε την καμπύλη μεταβολής της τάσης εξόδου σε συνάρτηση με τη συχνότητα με βάση τα αποτελέσματα του βήματος #8.
12. Συγκρίνετε τις μετρήσεις σας για την αντίσταση  $R_3$  και  $R_5$  και σχολιάστε.

## 22.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Πάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, §6.3





## ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΤΕΛΕΣΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

## 23.1 Σκοπός της Άσκησης

Οι εφαρμογές των τελεστικών ενισχυτών είναι πολλές και εκτείνονται σε πολύ μεγάλο εύρος. Στην άσκηση αυτή θα μελετήσουμε χαρακτηριστικά κυκλώματα με τελεστικό ενισχυτή.

## 23.2 Θεωρητικό Μέρος

## 23.2.1 Αναστρέφων Ενισχυτής Άθροισης με Τελεστικό Ενισχυτή

Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί κάνοντας χρήση των ιδιοτήτων του ιδανικού τελεστικού ενισχυτή ότι η έξοδος του κυκλώματος του Σχήματος 23.1 δίνεται από τη σχέση

$$V_{out} = -R_f \left( \frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \dots + \frac{V_n}{R_n} \right) \quad (23.1)$$

Στην ειδική περίπτωση όπου  $R_1 = R_2 = \dots = R_n = R_f$  η σχέση που δίνει την τάση εξόδου γίνεται

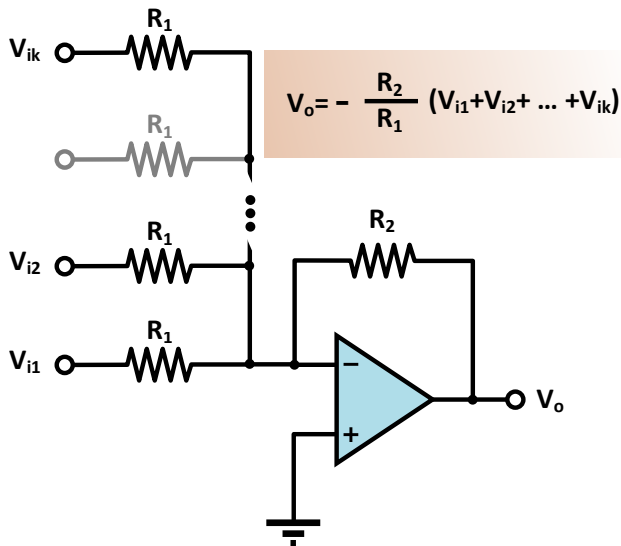
$$V_{out} = -(V_1 + V_2 + \dots + V_n) \quad (23.2)$$

άρα έχουμε ένα κύκλωμα που δίνει στην έξοδό του το άθροισμα των εισόδων του (αντεστραμμένο).

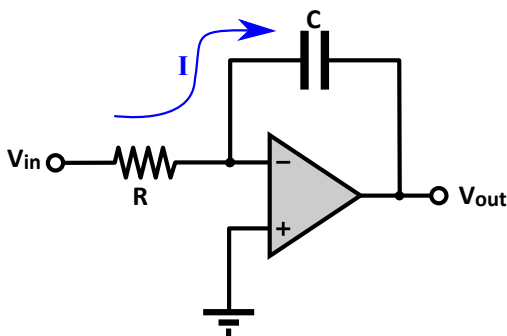
## 23.2.2 Ολοκληρωτής με Τελεστικό Ενισχυτή

Θα αποδείξουμε ότι η έξοδος ( $V_{out}$ ) του κυκλώματος του Σχήματος 23.1 είναι ανάλογη του ολοκληρώματος του σήματος εισόδου ( $V_{in}$ ).

$$C = \frac{dq}{dV} \Rightarrow CdV = dq \Rightarrow C \frac{dV}{dt} = \frac{dq}{dt} \Rightarrow$$



Σχήμα 23.1 Κύκλωμα αναστρέφοντα ενισχυτή άθροισης



Σχήμα 23.2 Κύκλωμα ολοκληρωτή

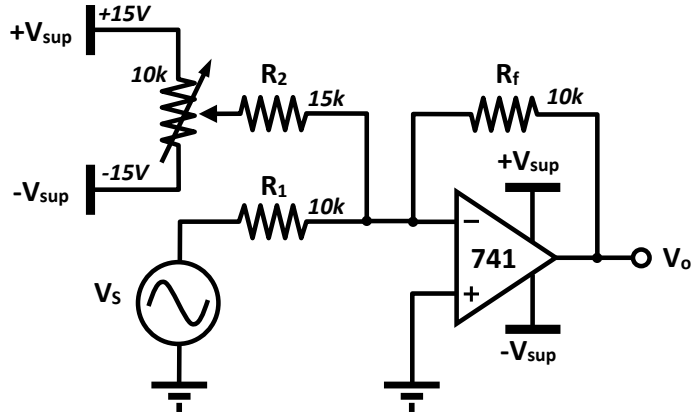
$$\Rightarrow C \frac{dV_{out}}{dt} = -1 \Rightarrow C \frac{dV_{out}}{dt} = -\frac{V_{in}}{R} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{in} dt = -RC dV_{out} \Rightarrow \int V_{in} dt = -RC V_{out} \Rightarrow V_{out} = -\frac{1}{RC} \int V_{in} dt$$

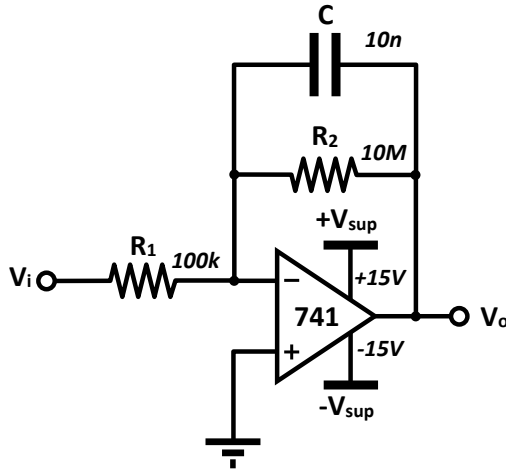
## 23.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 23.3.1 Αναγνώριση Κυκλώματος με Τελεστικό Ενισχυτή

1. Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 23.3.
2. Ρυθμίστε την πηγή σήματος (γεννήτρια συναρτήσεων) στα 10V<sub>pp</sub>/1kHz.



Σχήμα 23.3 Κύκλωμα με τελεστικό ενισχυτή προς αναγνώριση



Σχήμα 23.4 Πρακτικό κύκλωμα ολοκληρωτή με τελεστικό ενισχυτή

3. Παρατηρήστε τη λειτουργία του κυκλώματος καθώς στρέφεται το ποτενσιόμετρο. Εξηγήστε θεωρητικά την παρατήρησή σας.

### 23.3.2 Μελέτη Κυκλώματος Ολοκληρωτή

1. Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 23.4.
2. Ρυθμίστε τη γεννήτρια συναρτήσεων ώστε να παράγει τετραγωνικό σήμα συχνότητας 1 kHz, πλάτους 2V και με μηδενικό DC offset. Ποιο είναι το κέρδος με το οποίο πολλαπλασιάζεται το οποιοδήποτε offset του σήματος εισόδου;
3. Καταγράψτε την κυματομορφή εξόδου και εξηγήστε την τιμή του πλάτους της.

4. Ποια η χρησιμότητα της αντίστασης των 10M; Αποσυνδέστε την, καταγράψτε το αποτέλεσμα και εξηγήστε το.

### 23.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, §6.3, διαδραστικό αντικείμενα 6.1, 6.2 και 6.3.

**ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΩΤΗΣ ΤΑΞΗΣ****24.1 Σκοπός της Άσκησης**

Η άσκηση αποσκοπεί στην εισαγωγή στην έννοια των φίλτρων και στη μελέτη απλών φίλτρων πρώτης τάξης.

**24.2 Θεωρητικό Μέρος****24.2.1 Η έννοια του φίλτρου**

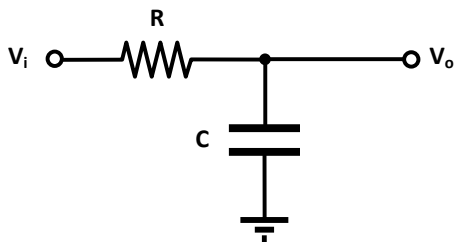
Τα φίλτρα είναι ηλεκτρικά κυκλώματα τα οποία δρουν επιλεκτικά στο συχνοτικό περιεχόμενο του σήματος εισόδου τους. Πιο συγκεκριμένα, σκοπός των φίλτρων είναι η διοχέτευση προς την έξοδό τους ενός συγκεκριμένου μέρους του φάσματος συχνοτήτων του σήματος εισόδου και η πλήρης εξάλειψη των υπόλοιπων συχνοτήτων.

Τα φίλτρα, ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων της οποίας τη διέλευση επιτρέπουν ή απαγορεύουν, διακρίνονται στις εξής γενικές κατηγορίες:

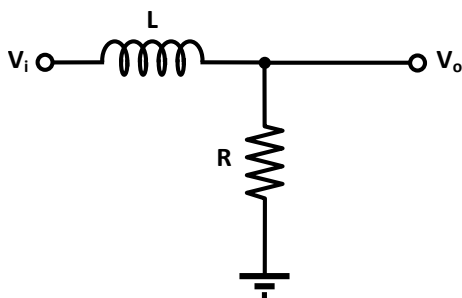
- τα βαθυπερατά φίλτρα (ή φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων – Low Pass Filters , LPF)
- τα υψιπερατά φίλτρα (ή φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων – High Pass Filters , HPF)
- τα φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων (Band Pass Filters, BPF)

**24.2.2 Παθητικά Φίλτρα Πρώτης Τάξης**

Ας εξετάσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 24.1. Πρόκειται για μια τοπολογία διαιρέτη τάσης, από την οποία εύκολα μπορούμε να βρούμε, λαμβάνοντας υπόψη μας πως η σύνθεση αντίσταση του πυκνωτή δίνεται από τη σχέση  $\frac{1}{C\omega j}$ , τη σχέση μεταξύ



Σχήμα 24.1 Χαμηλοπερατό φίλτρο RC πρώτης τάξης



Σχήμα 24.2 Χαμηλοπερατό φίλτρο RL πρώτης τάξης

της τάσης εξόδου και της τάσης εισόδου:

$$V_o = \frac{1}{R + \frac{1}{C\omega j}} V_i \quad (24.1)$$

η οποία υποδηλώνει πως η τιμή της τάσης εξόδου εξαρτάται από τη συχνότητα.

Πράγματι, μπορούμε ποιοτικά να δούμε πως στις χαμηλές συχνότητες η αντίσταση του πυκνωτή είναι μεγάλη, ώστε η τάση στην είσοδο να μεταβιβάζεται σχεδόν αναλλοίωτη στην έξοδο. Αντίθετα, στις υψηλές συχνότητες ο πυκνωτής συμπεριφέρεται ως βραχυκύκλωμα, γειώνοντας πρακτικά την έξοδο. Είναι, επομένως, κατανοητό πως το κύκλωμα αντιστοιχεί σε ένα βαθυπερατό φίλτρο (LPF).

Από τη σχέση (24.1) είναι εύκολο να βρούμε πως η συχνότητα για την οποία η ισχύς στην έξοδο αντιστοιχεί στο μισό της ισχύος του σήματος στην είσοδο δίνεται από τη σχέση

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (24.2)$$

Η συχνότητα αυτή, που ονομάζεται συχνότητα μισής ισχύος ή συχνότητα αποκοπής (cut-off frequency –  $f_c$ ), αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος του φίλτρου.

Με παρόμοιους συλλογισμούς, και λαμβάνοντας υπόψη πως η αντίσταση ενός πηνίου δίνεται από τη σχέση  $L\omega j$ , μπορούμε να συμπεράνουμε πως το κύκλωμα του Σχήματος 24.2 αποτελεί, επίσης, ένα φίλτρο LPF, η συχνότητα αποκοπής του οποίου

Πίνακας 24.1 Χαρακτηριστικά τυπικών παθητικών φίλτρων πρώτης τάξης

| Παθητικά στοιχεία | Τύπος (επιλεκτικότητα) | Συνάρτηση Μεταφοράς                 | Συχνότητα Αποκοπής        |
|-------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| R-L               | LPF                    | $H(s) = \frac{1}{1 + \frac{L}{R}s}$ | $f_c = \frac{R}{2\pi L}$  |
| R-L               | HPF                    | $H(s) = \frac{s}{s + \frac{R}{L}}$  | $f_c = \frac{R}{2\pi L}$  |
| R-C               | LPF                    | $H(s) = \frac{1}{1 + RCs}$          | $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ |
| R-C               | HPF                    | $H(s) = \frac{s}{s + \frac{1}{RC}}$ | $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$ |

δίνεται από τη σχέση

$$f_c = \frac{R}{2\pi L} \quad (24.3)$$

Είναι εύκολο να διαπιστώσουμε πως με την εναλλαγή των παθητικών στοιχείων των προηγούμενων κυκλωμάτων, ο τύπος των αντίστοιχων φίλτρων μεταβάλλεται σε HPF, χωρίς μεταβολή της συχνότητας αποκοπής, όπως θα έχουμε την ευκαιρία να διαπιστώσουμε και πειραματικά.

Στο Πίνακα 24.1 συνοψίζονται τα χαρακτηριστικά των φίλτρων τα οποία ήδη εξετάσαμε.

## 24.3 Εργαστηριακό Μέρος

### 24.3.1 Φίλτρο RC LPF

- Υλοποιήστε το κύκλωμα του Σχήματος 24.1 με τιμές εξαρτημάτων τις εξής:  $R=10\text{k}\Omega$  και  $C=0.1\mu\text{F}$ , φροντίζοντας για την σωστή σύνδεση του ηλεκτρολυτικού πυκνωτή προκειμένου να μην καταστραφεί<sup>1</sup>.
- Τροφοδοτήστε την είσοδο του κυκλώματος με ημιτονικό σήμα πλάτους 5V και συχνότητας 10Hz, 30Hz, 50Hz, 100Hz, 150Hz, 200Hz, 500Hz, 700Hz και 1kHz. Για κάθε τιμή της συχνότητας καταγράψτε την αντίστοιχη τιμή του πλάτους του σήματος εξόδου, παρατηρώντας την αντίστοιχη κυματομορφή στην οθόνη του παλμογράφου.
- Σχεδιάστε διάγραμμα στο οποίο θα απεικονίζονται γραφικά οι προηγούμενες μετρήσεις. Πώς προκύπτει, από το συγκεκριμένο διάγραμμα, πως το φίλτρο είναι LPF;
- Από το προηγούμενο διάγραμμα προσδιορίστε κατά προσέγγιση την τιμή της συχνότητας για την οποία το πλάτος εξόδου γίνεται ίσο με  $5/\sqrt{2}\text{V}$ .

<sup>1</sup>Δες το Παράρτημα IV.

5. Σε τι αντιστοιχεί η συχνότητα την οποία προσδιορίσατε στο προηγούμενο βήμα;

### 24.3.2 Φίλτρο RC HPF

Στο προηγούμενο κύκλωμα, εναλλάξτε τη θέση της αντίστασης και του πυκνωτή και επαναλάβετε την πειραματική διαδικασία της προηγούμενης ενότητας.

### 24.3.3 Φίλτρο RL LPF (μέσω προσομοίωσης)

1. Σχεδιάστε το κύκλωμα του Σχήματος 24.2 με τιμές εξαρτημάτων τις εξής:  $R=1\text{k}\Omega$  και  $L=1\text{mH}$ .
2. Στην είσοδο του κυκλώματος συνδέστε πηγή ημιτονικού σήματος πλάτους 5V και συχνότητας η οποία θα σαρώνει την περιοχή από 10kHz έως 200kHz.
3. Λάβετε διάγραμμα στο οποίο θα απεικονίζεται γραφικά η σχέση της τιμής του πλάτους του σήματος εξόδου με τη συχνότητα. Πώς προκύπτει, από το συγκεκριμένο διάγραμμα, πως το φίλτρο είναι LPF;
4. Από το προηγούμενο διάγραμμα προσδιορίστε κατά προσέγγιση την τιμή της συχνότητας για την οποία το πλάτος εξόδου γίνεται ίσο με  $5/\sqrt{2}\text{V}$ .
5. Σε τι αντιστοιχεί η συχνότητα την οποία προσδιορίσατε στο προηγούμενο βήμα;

### 24.3.4 Φίλτρο RL HPF (μέσω προσομοίωσης)

Στο προηγούμενο κύκλωμα, εναλλάξτε τη θέση της αντίστασης και του πηνίου και επαναλάβετε τη διαδικασία της προηγούμενης ενότητας.

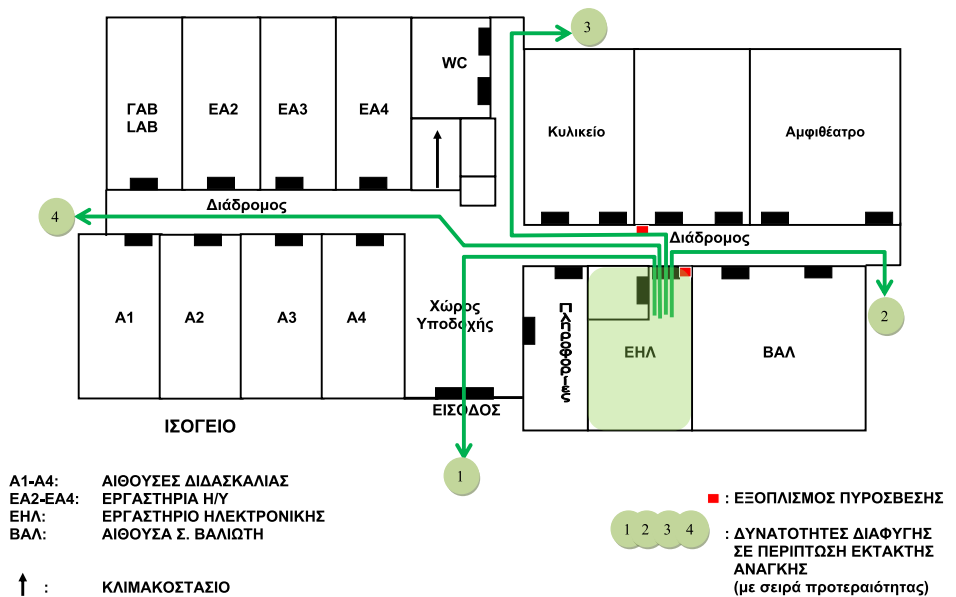
## 24.4 Περαιτέρω Μελέτη

- Γιάννης Λιαπέρδος, "Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική" διαδραστικό ηλεκτρονικό βιβλίο, εκδ. "Κάλλιπος" (Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών), Σπάρτη 2015, κεφ. 7





## Θέσεις Εξοπλισμού Πυρόσβεσης και Δίοδοι Διαφυγής σε Περίπτωση Έκτακτης Ανάγκης







## Υπόδειγμα Υπεύθυνης Δήλωσης

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------|--|-----|--|--|--|
| <br><b>ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ</b><br><small>(άρθρο 8 Ν. 1599/1986)</small>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Η ακρίβεια των στοιχείων που υποβάλλονται με αυτή τη δήλωση μπορεί να ελεγχθεί με βάση το αρχείο άλλων υπηρεσιών (άρθρο 8 παρ. 4 Ν. 1599/1986)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| ΠΡΟΣ <sup>(1)</sup> :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  | <b>ΠΑΝΕΠ. ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ / ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ / ΕΡΓ. ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ</b> |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Ο – Η Όνομα:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  | Επώνυμο:                                                                   |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Όνομα και Επώνυμο Πατέρα:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Όνομα και Επώνυμο Μητρός:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Ημερομηνία γέννησης <sup>(2)</sup> :                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Τόπος Γέννησης:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Αριθμός Δελτίου Ταυτότητας:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  | Τηλ:                                                                       |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Τόπος Κατοικίας:                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  | Οδός:                                                                      |  | Αριθ:                               |  | ΤΚ: |  |  |  |
| Αρ. Τηλεμοστίπου (Fax):                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |                                                                            |  | Δίωξη Ηλεκτρ. Ταχυδρομείου (Email): |  |     |  |  |  |
| <p>Με στοιχεία μου ευθύνω και γνωρίζοντας τις κυρώσεις <sup>(3)</sup>, που προβλέπονται από τις διατάξεις της παρ. 6 του άρθρου 22 του Ν. 1599/1986, δηλώνω ότι:</p> <p><b>1.</b> Έχω μελετήσει και κατανοώ τους κανόνες υγιεινής και ασφάλειας του Εργαστηρίου Ηλεκτρονικής του Τμήματος Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πελοποννήσου, και βεβαιώνω πως θα τους τηρώ πιστά. Κατά την περίπτωση οποιουδήποτε ατυχήματος το οποίο θα προκληθεί από τη μη εφαρμογή εκ μέρους μου των Κανόνων Ασφαλείας θα είμαι ο αποκλειστικός υπεύθυνος/η για την οποιαδήποτε σωματική ή άλλη βλάβη προκληθεί είτε σε εμένα είτε σε τρίτους καθώς και για τυχόν υλικές ζημιές.</p> <p><b>2.</b> Δεν πάσχω από κάποιο διαγνωσμένο ιατρικό πρόβλημα το οποίο να καθιστά την άσκησή μου στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής επικίνδυνη για την υγεία μου.</p> |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| (4)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| Ημερομηνία: .....<br>Ο Δηλών/ Η Δηλώσα                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| (Υπογραφή)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |
| <p>(1) Αναγράφεται από τον ενδιαφερόμενο πολίτη ή Αρχή ή η Υπηρεσία του δημόσιου τομέα, που απευθύνεται η αίτηση.</p> <p>(2) Αναγράφεται ολογράφως.</p> <p>(3) «Όποιος εν γνώσει του δηλώνει ψευδή γεγονότα ή αρνείται ή αποκρύπτει τα αληθινά με έγγραφη υπεύθυνη δήλωση του άρθρου 8 τιμωρείται με φυλάκιση τουλάχιστον τριών μηνών. Εάν ο υπαίτιος αυτών των πράξεων σκόπευε να προσπορίσει στον εαυτόν του ή σε άλλον πνευματικό όφελος βλάπτοντας τρίτον ή σκόπευε να βλάψει άλλον, τιμωρείται με κάθειρξη μέχρι 10 ετών.</p> <p>(4) Σε περίπτωση ανεπάρκειας χώρου η δήλωση συνεχίζεται στην πίσω όψη της και υπογράφεται από τον δηλούντα ή την δηλώσα.</p>                                                                                                                                                                       |  |                                                                            |  |                                     |  |     |  |  |  |

Το έντυπο της υπεύθυνης δήλωσης σε μορφή pdf είναι διαθέσιμο **εδώ**.



## Χρωματικός Κώδικας Αντιστάσεων

Οι ωμικοί αντιστάτες είναι στοιχεία με δύο αντιστρέψιμους (ισοδύναμους) ακροδέκτες τα οποία προβάλλουν αντίσταση στο ηλεκτρικό ρεύμα, υπακούοντας στον νόμο του Ohm.

Στη διακριτή τους μορφή η ανάγνωση της τιμής τους σε Ohm γίνεται συνήθως με τη βοήθεια του λεγόμενου χρωματικού κώδικα. Είναι ευκολότερο να κατανοήσουμε τη χρήση του χρωματικού κώδικα μέσω ενός παραδείγματος:

Έστω ο αντιστάτης του Σχήματος III.1. Η λωρίδα με χρυσαφί ή ασημί χρώμα θεωρείται ως η 4η κατά σειρά (για την ακρίβεια των αντιστατών που θα χρησιμοποιούμε στη συγκεκριμένη σειρά εργαστηριακών ασκήσεων).

- Διαβάζουμε τα χρώματα των λωρίδων:

καφέ – μαύρο – κόκκινο – χρυσαφί

- Από τον Πίνακα III.1 βρίσκουμε τα ψηφία που αντιστοιχούν στις δύο πρώτες λωρίδες:

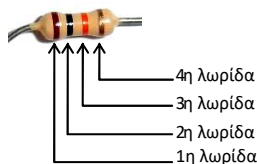
καφέ → 1  
μαύρο → 0

και τα γράφουμε διαδοχικά:

10

- Από τον Πίνακα III.1 βρίσκουμε τον πολλαπλασιαστή που αντιστοιχεί στο χρώμα της τρίτης λωρίδας:

καφέ – μαύρο – κόκκινο – χρυσαφί



Σχήμα III.1 Ανάγνωση χρωματικού κώδικα διακριτού αντιστάτη

Πίνακας ΙΙΙ.1 Χρωματικός κώδικας αντιστατών

| ΧΡΩΜΑ     | 1η, 2η λωρίδα | 3η λωρίδα<br>(πολλαπλασιαστής) | 4η λωρίδα<br>(ανοχή) |
|-----------|---------------|--------------------------------|----------------------|
| Μαύρο     | 0             | $10^0$                         |                      |
| Καφέ      | 1             | $10^1$                         | $\pm 1\%$            |
| Κόκκινο   | 2             | $10^2$                         | $\pm 2\%$            |
| Πορτοκαλί | 3             | $10^3$                         |                      |
| Κίτρινο   | 4             | $10^4$                         |                      |
| Πράσινο   | 5             | $10^5$                         | $\pm 0.5\%$          |
| Μπλε      | 6             | $10^6$                         | $\pm 0.25\%$         |
| Μοβ       | 7             | $10^7$                         | $\pm 0.1\%$          |
| Γκρι      | 8             | $10^8$                         | $\pm 0.05\%$         |
| Λευκό     | 9             | $10^9$                         |                      |
| Χρυσάφι   |               | 0.1                            | $\pm 5\%$            |
| Ασημί     |               | 0.01                           | $\pm 10\%$           |
| Κανένα    |               |                                | $\pm 20\%$           |

$$\text{κόκκινο} \rightarrow 10^2$$

και πολλαπλασιάζουμε με τον αριθμό που βρήκαμε στο προηγούμενο βήμα:

$$10 \times 10^2 = 1000$$

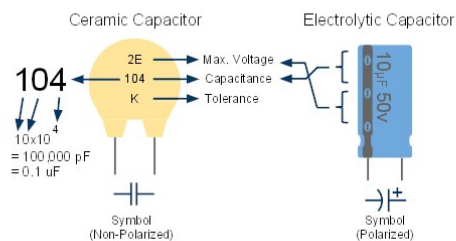
- Ο αριθμός που προκύπτει αντιστοιχεί στην ονομαστική τιμή της αντίστασης σε  $\Omega$ , άρα για το συγκεκριμένο παράδειγμα έχουμε  $1000\Omega$  ή  $1\text{k}\Omega$ .
- Με βάση τον Πίνακα 1.1 βρίσκουμε την ανοχή από το χρώμα της 4ης λωρίδας:

$$\text{χρυσάφι} \rightarrow \pm 5\%$$

Η ανοχή στην τιμή ενός εξαρτήματος αντιστοιχεί στην μέγιστη απόκλιση της πραγματικής από την ονομαστική της τιμή και οφείλεται στις στατιστικές διακυμάνσεις που υπεισέρχονται στις διαδικασίες κατασκευής του εξαρτήματος. Για την περίπτωση του προηγούμενου παραδείγματος, ανοχή  $\pm 5\%$  σημαίνει πως η πραγματική τιμή της αντίστασης θα βρίσκεται στην περιοχή από  $950\Omega$  έως  $1050\Omega$ .

## Κώδικας ηλεκτρολυτικών και κεραμικών πυκνωτών

### Capacitors



| Max. Operating Voltage |              |
|------------------------|--------------|
| Code                   | Max. Voltage |
| 1H                     | 50V          |
| 2A                     | 100V         |
| 2T                     | 150V         |
| 2D                     | 200V         |
| 2E                     | 250V         |
| 2G                     | 400V         |
| 2J                     | 630V         |

| Tolerance |                       |
|-----------|-----------------------|
| Code      | Percentage            |
| B         | $\pm 0.1 \text{ pF}$  |
| C         | $\pm 0.25 \text{ pF}$ |
| D         | $\pm 0.5 \text{ pF}$  |
| F         | $\pm 1\%$             |
| G         | $\pm 2\%$             |
| H         | $\pm 3\%$             |
| J         | $\pm 5\%$             |
| K         | $\pm 10\%$            |
| M         | $\pm 20\%$            |
| Z         | +80%, -20%            |

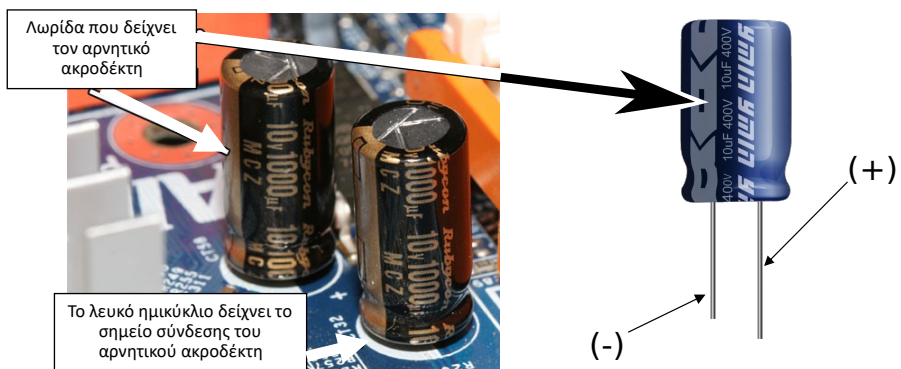




## Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές

Ο ηλεκτρολυτικός πυκνωτής είναι τύπος πυκνωτή που χρησιμοποιεί αγώγιμο ιοντικό υγρό ως έναν από τους οπλισμούς του. Έχοντας τη μεγαλύτερη χωρητικότητα ανά μονάδα όγκου απ' όλους τους άλλους τύπους πυκνωτών, οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε κυκλώματα χαμηλών συχνοτήτων και μεγάλων τιμών ρεύματος.

Το ηλεκτρολυτικό υλικό (συνήθως διάλυμα βορικού οξέος με διάφορα πρόσθετα) μπορεί να είναι τοξικό ή διαβρωτικό. Σε περιπτώσεις λειτουργίας σε τάσεις πάνω από την μέγιστη, ή όταν η πόλωση είναι ανάστροφη τότε ο πυκνωτής καταστρέφεται και ο ηλεκτρολύτης μπορεί να διαρρεύσει εκτός του προστατευτικού περιβλήματος. Για το λόγο αυτό η πόλωση των ηλεκτρολυτικών πυκνωτών θα πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή, προσέχοντας την πολικότητα όπως υποδεικνύουν το Σχήμα V.1.



Σχήμα V.1 Ακροδέκτες ηλεκτρολυτικού πυκνωτή



## Χρήσιμοι σύνδεσμοι

---

1. manuals εργαστηριακών οργάνων
2. φύλλα δεδομένων (datasheets) ηλεκτρονικών στοιχείων



- [1] C. Alexander and M. Sadiku, *Ηλεκτρικά Κυκλώματα*, εκδ. Τζιόλα, 2013. κωδικός στον Εύδοξο: 18548946.
- [2] A. Barna and D. I. Porat, *Operational Amplifiers*, John Wiley and sons, 1989.
- [3] W. Hayt and J. Kemmerly, *Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων*, εκδ. Τζιόλα, 2016. κωδικός στον Εύδοξο: 33094735.
- [4] P. Horowitz and H. W., *The Art of Electronics*, Cambridge University Press, 1980.
- [5] J. Huijsing, *Operational Amplifiers: Theory and Design*, Springer, 2011.
- [6] A. P. Malvino, *Βασική Ηλεκτρονική*, εκδ. Τζιόλα, 1990.
- [7] J. W. Nilsson and S. Riedel, *Electric Circuits*, Prentice-Hall, 2004.
- [8] P. P. L. Regtien, *Electronic Instrumentation*, VSSD, 2006.
- [9] Y. v. Tsividis, *A First Lab in Circuits and Electronics*, John Wiley and sons, 2001.
- [10] P. Tuinenga, *SPICE: A Guide to Circuit Simulation and Analysis Using Pspice*, Prentice-Hall, 1995.
- [11] Κ. Δ. Αλεξόπουλος, *Γενική Φυσική τόμος Β': Ηλεκτρισμός*, εκδ. Παπαζήση, 1973.
- [12] Κ. Καρούμπalos και Γ. Φιλοκύπρου, *Μαθήματα Ηλεκτρονικής*, εκδ. Βασδέκη, 1986.
- [13] Ι. Λιαπέρδος, *Ηλεκτρονική για την Πληροφορική και τις Τηλεπικοινωνίες, Τόμος Α': Αναλογικά Ηλεκτρονικά*, 2011.
- [14] Ι. Λιαπέρδος, *Εισαγωγή στην Ηλεκτρονική*, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, 2015, <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-873>.
- [15] Ι. Λιαπέρδος, *Μαθήματα Ψηφιακών Ηλεκτρονικών*, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, 2016, <http://dx.doi.org/10.57713/kallipos-699>.
- [16] Β. Κ. Μπρακατσούλας, *Τεχνολογία των Ηλεκτρονικών Εξαρτημάτων*, 1993.
- [17] Κ. Παπαδόπουλος, *Ανάλυση Ηλεκτρικών Κυκλωμάτων*, αυτοέκδοση, 2015. κωδικός στον Εύδοξο: 50657177.
- [18] Σ. Φωτόπουλος, *Συνοπτική Θεωρία Κυκλωμάτων*, εκδ. Ολ. Α. Φωτοπούλου, 2016. κωδικός στον Εύδοξο: 59364832.
- [19] Ι. Χαριτάντης, *Ηλεκτρικά Κυκλώματα*, εκδ. Δερμεντζής, 2015. κωδικός στον Εύδοξο: 50658175.





