

Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων  
Τμήμα Μηχανικών Η/Υ και Πληροφορικής  
Εργαστήριο Συστημάτων VLSI και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών

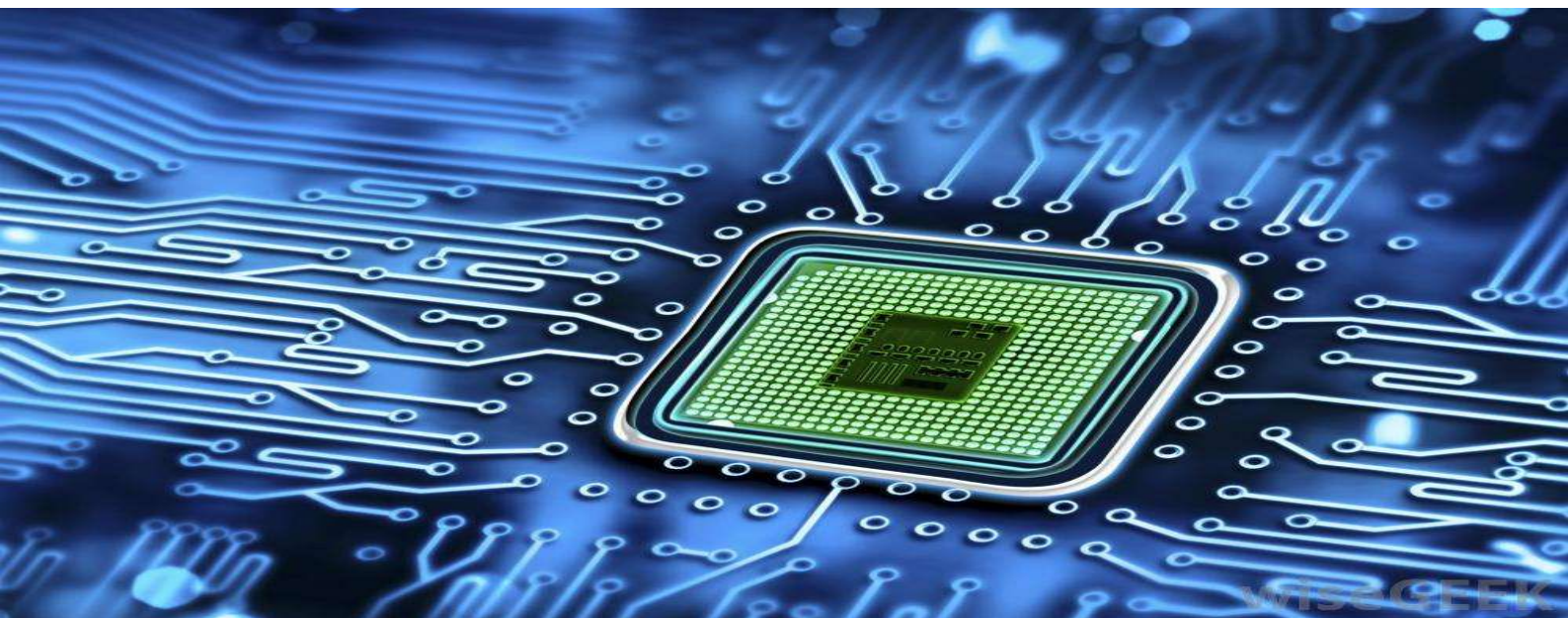


# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

Εργαστηριακές Ασκήσεις



Γεώργιος Τσιατούχας



Ιωάννινα 2024



Εργαστήριο Συστημάτων VLSI και Αρχιτεκτονικής Υπολογιστών  
VLSI Systems and Computer Architecture Lab

# ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



### ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Οργανολογία .....	1
Τελεστικός Ενισχυτής .....	21
Δίοδος .....	37
MOS Τρανζίστορ .....	49
Ενισχυτής Κοινής Πηγής .....	57
Διαφορικός Ενισχυτής MOS .....	69
Παράρτημα .....	77
Εγχειρίδια Χρήσης Κυκλωματικών Στοιχείων .....	79

Εργαστηριακή Ομάδα:  
Ονοματεπώνυμο - Α.Μ.  
\_\_\_\_\_- \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_- \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_- \_\_\_\_\_





## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΟΡΓΑΝΟΛΟΓΙΑ

#### 0.1 Το Πολύμετρο

##### 0.1.1 Περιγραφή - Λειτουργία

Το πολύμετρο είναι ένα μετρητικό όργανο με δυνατότητα πολλαπλών τύπων μετρήσεων. Βασικές του χρήσεις είναι, ως βολτόμετρο, αμπερόμετρο και ωμόμετρο για τη μέτρηση τάσεων (συνεχών και εναλλασσόμενων), ρευμάτων (συνεχών και εναλλασσόμενων) και αντιστάσεων αντίστοιχα. Στο Σχήμα 0.1 που ακολουθεί δίδεται η εικόνα των ψηφιακών πολυμέτρων χειρός του εργαστηρίου.



Ω – Περιοχή Μέτρησης Αντιστάσεων	V – Περιοχή Μέτρησης Τάσεων	A – Περιοχή Μέτρησης Ρευμάτων
1. Διακόπτης αλλαγής κλίσης οθόνης.	6. Επιλογέας λειτουργίας και κλίμακας.	
2. AC/DC επιλογέας.	7. Υποδοχή V/Ω.	
3. Διακόπτης ενεργοποίησης ON/OFF.	8. Υποδοχή γης.	
4. Οθόνη LCD.	9. Υποδοχή A μέχρι 1A.	
5. Υποδοχή τρανζίστορ.	10. Υποδοχή A μέχρι 10A.	

Σχήμα 0.1: Το πολύμετρο



Με σκοπό τη μέτρηση τάσεων ο επιλογέας λειτουργίας/κλίμακας (6) θα πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή μέτρησης τάσεων (V) όπως φαίνεται στο Σχήμα 0.1. Αντίστοιχα, για τη μέτρηση αντιστάσεων ο επιλογέας λειτουργίας θα πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή μέτρησης αντιστάσεων ( $\Omega$ ) ενώ για τη μέτρηση ρευμάτων ο επιλογέας λειτουργίας θα πρέπει να βρίσκεται στην περιοχή μέτρησης ρευμάτων (A).

Επιπρόσθετα, ο επιλογέας λειτουργίας/κλίμακας θα πρέπει να τοποθετηθεί εντός της κατάλληλης περιοχής στη σωστή ένδειξη κλίμακας για το αναμενόμενο εύρος τιμών του μετρούμενου μεγέθους. Π.χ. για τη μέτρηση τάσεων μέχρι 12V ο επιλογέας λειτουργίας/κλίμακας (6) θα πρέπει να τοποθετηθεί στην περιοχή μέτρησης τάσεων και συγκεκριμένα στην ένδειξη 20V του οργάνου, η οποία είναι η μικρότερη ένδειξη που περικλείει όλο το εύρος των προς μέτρηση τιμών.

Αν το εύρος των τιμών που θα μετρηθούν δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό, τότε τοποθετούμε τον επιλογέα λειτουργίας/κλίμακας στην μέγιστη ένδειξη της περιοχής. Στην περίπτωση που η ακρίβεια της μέτρησης δεν είναι ικανοποιητική επαναρυθμίζουμε.

Στην οθόνη εμφανίζεται πάντα και η επιλεγμένη περιοχή του τύπου μετρήσεων και η αντίστοιχη κλίμακα που χρησιμοποιείται.

Για τη μέτρηση των ζητούμενων μεγεθών χρησιμοποιούνται τους δύο σηματολήπτες (probes) που συνοδεύουν το όργανο. Από αυτά, ο μαύρος σηματολήπτης μέτρησης θα πρέπει πάντα να συνδέεται στη μαύρη υποδοχή (8).

Ακολούθως, για τη μέτρηση τάσεων ή αντιστάσεων θα πρέπει ο κόκκινος σηματολήπτης να συνδέεται στην υποδοχή (7).

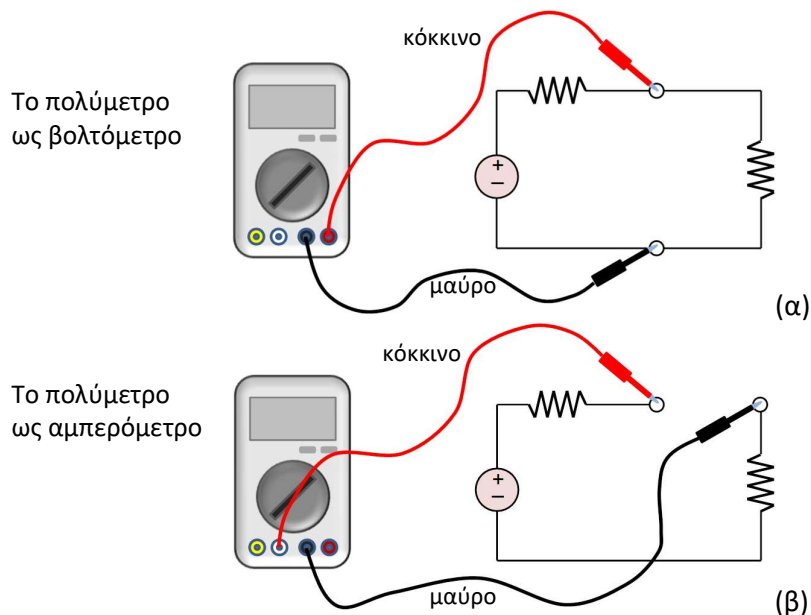
Τέλος, για τη μέτρηση ρευμάτων μέχρι 1A θα πρέπει ο κόκκινος σηματολήπτης να συνδέεται στην υποδοχή (9), ενώ για τη μέτρηση ρευμάτων μέχρι 10A θα πρέπει ο κόκκινος σηματολήπτης να συνδέεται στην υποδοχή (10).

Στην περίπτωση μέτρησης τάσεων ή ρευμάτων, με τον επιλογέα (2) επιλέξετε αν θα μετρήσετε DC ή AC (RMS) τιμές.

Προσοχή: Στην περίπτωση που ο επιλογέας λειτουργίας/κλίμακας και οι σηματολήπτες δεν είναι τοποθετημένοι σε συμβατές θέσεις (οι σηματολήπτες μέτρησης δεν είναι στις σωστές υποδοχές του πολυμέτρου), προκαλείται ένας ενδεικτικός βόμβος από το όργανο.

Ο μαύρος και ο κόκκινος σηματολήπτης μέτρησης δεν διαφοροποιούνται μεταξύ τους. Η ανωτέρω υποδείξεις για τη σύνδεσή τους είναι σε γενική χρήση, ως αποτέλεσμα σύμβασης, και αξιοποιούνται για την εύκολη αναγνώριση της πολικότητας (κόκκινο = θετικός ακροδέκτης και μαύρο = αρνητικός ακροδέκτης).

Όταν ζητούμενο είναι η μέτρηση τάσεων, τα ελεύθερα άκρα των σηματοληπτών μέτρησης τοποθετούνται παράλληλα στο προς μέτρηση κύκλωμα ενώ για τη μέτρηση ρευμάτων τα ελεύθερα άκρα των σηματοληπτών μέτρησης τοποθετούνται σε σειρά με το προς μέτρηση κύκλωμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 0.2. Κατά τη μέτρηση των αντιστάσεων τα ελεύθερα άκρα των σηματοληπτών μέτρησης τοποθετούνται στα άκρα της μετρούμενης αντίστασης. Σε αυτή την περίπτωση, αν η αντίσταση είναι μεγαλύτερη από την επιλεγμένη ένδειξη κλίμακας τότε εμφανίζεται στο αριστερό άκρο της οθόνης η ένδειξη «1.».



Σχήμα 0.2: Μέτρηση α) τάσης και β) ρεύματος

### 0.1.2 Ασφάλεια

Το όργανο είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει ασφάλεια στο χρήστη. Απαιτείται όμως προσοχή ώστε να αποφευχθεί μια κακή χρήση του οργάνου που ενδεχόμενα να επιφέρει ηλεκτρικό σοκ. Η εργασία με ηλεκτρικά κυκλώματα μπορεί να είναι επικίνδυνη ή και θανατηφόρα αν δεν ακολουθούνται οι κανόνες ασφαλείας και οι σχετικές εργασίες δεν γίνονται υπεύθυνα και με απόλυτη προσοχή!

- Πριν συνδέσετε το πολύμετρο βεβαιωθείτε ότι το υπό μέτρηση κύκλωμα δεν είναι υπό τάση.
- Πριν τροφοδοτήσετε το κύκλωμα με τάση ελέγξτε την θέση του επιλογέα λειτουργίας/κλίμακας ώστε τη θέση του να αντιστοιχεί στο εύρος των τιμών εντός του οποίου αναμένεται η τιμή της μέτρησης. Επίσης, ελέγξτε αν η σύνδεση των σηματοληπτών μέτρησης με το κύκλωμα είναι σωστή και στα ορθά επιλεγμένα σημεία.
- Πριν αλλάξετε θέση στον επιλογέα λειτουργίας/κλίμακας θέστε το κύκλωμα εκτός τάσης.
- Πριν τη μέτρηση αντιστάσεων φροντίστε το κύκλωμα στο οποίο αυτές ενσωματώνονται να μην είναι υπό τάση (επίσης απενεργοποιήστε τις πηγές σήματος).

## 0.2 Το Τροφοδοτικό

Το τροφοδοτικό χρησιμοποιείται για την παροχή τροφοδοσίας στο υπό μελέτη κύκλωμα. Λειτουργεί είτε ως πηγή σταθερής (DC) τάσης είτε ως πηγή σταθερού (DC) ρεύματος.

Τα τροφοδοτικά του εργαστηρίου (βλ. Σχήμα 0.3) έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Το αριστερό έχει τρεις εξόδους:
  - Η πρώτη (2) παρέχει μόνιμα τάση 5V και ρεύμα 1A.
  - Οι άλλες δύο (9) παρέχουν η καθεμία τάση μέχρι 20V και ρεύμα μέχρι 250mA
- Το δεξιό έχει δύο εξόδους (9) που παρέχουν η καθεμία τάση μέχρι 30V και ρεύμα μέχρι 2A.



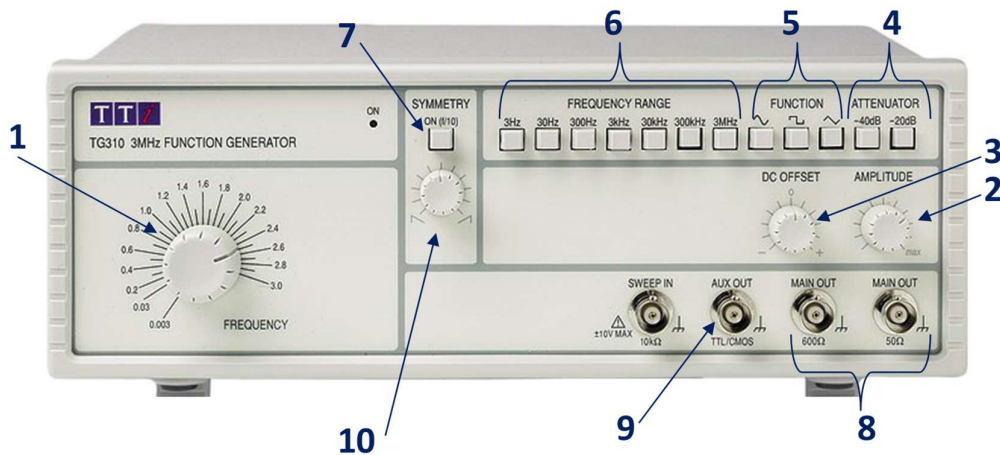
1. Διακόπτης ενεργοποίησης ON/OFF.
2. Σταθερή έξοδος A: 5V – 1A.
3. Έξοδος B: διακόπτης(ες) ρύθμισης.
4. Έξοδος C: διακόπτης(ες) ρύθμισης.
5. Οθόνη ένδειξης τάσης/ρεύματος.
6. Γείωση οργάνου.
7. Επιλογέας εξόδου B ή C στην οθόνη.
8. Επιλογέας τάσης/ρεύματος.
9. Θετικός και αρνητικός ακροδέκτης εξόδου.
10. Διακόπτης ενεργοποίησης εξόδου.

Σχήμα 0.3: Το τροφοδοτικό

## 0.3 Η Γεννήτρια Σήματος

Η γεννήτρια σήματος παράγει περιοδικά σήματα τα οποία χρησιμοποιούνται ως είσοδος στο υπό μελέτη κύκλωμα. Τρία είναι τα κύρια χαρακτηριστικά των παραγόμενων σημάτων, η συχνότητα, το πλάτος και η μετατόπιση (DC offset). Και τα τρία μεγέθη καθορίζονται πλήρως από τον χρήστη με κατάλληλη ρύθμιση της γεννήτριας.

Η γεννήτρια σήματος του εργαστηρίου παρουσιάζεται στο Σχήμα 0.4. Μπορεί να παρέχει τρία είδη σήματος, ημιτονικό, τετραγωνικό και τριγωνικό. Η μέγιστη συχνότητα που παράγει είναι 3MHz.



1. Επιλογέας συχνότητας.
2. Επιλογέας πλάτους.
3. Επιλογέας μετατόπισης (DC offset).
4. Υποβάθμιση πλάτους  $-20\text{db}$  ή  $-40\text{db}$ .
5. Επιλογή τύπου σήματος (ημίτονο, τετραγωνικός παλμός, τριγωνικός παλμός).
6. Επιλογή εύρους συχνοτήτων.
7. Υποβάθμιση συχνότητας ( $:10$ ).
8. Κύριες έξοδοι σήματος ( $50\Omega$  και  $600\Omega$ ).
9. Έξοδος TTL/CMOS (πλάτος  $5\text{V}$ ).
10. Αλλαγή συμμετρίας σήματος

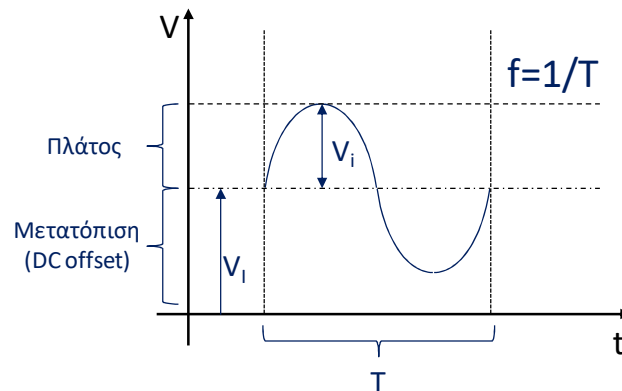
Σχήμα 0.4: Η γεννήτρια σήματος

Όπως ειπώθηκε νωρίτερα τρία είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη των σημάτων που μας ενδιαφέρουν στις εργαστηριακές μας ασκήσεις, η συχνότητα, το πλάτος και η μετατόπιση. Στο Σχήμα 0.5 παρουσιάζονται τα ανωτέρω μεγέθη για την περίπτωση ενός ημιτονικού σήματος τάσης που εξελίσσεται στο χρόνο (το ίδιο ισχύει και για τους άλλους δύο τύπους σημάτων).

Η συχνότητα  $f$  είναι το αντίστροφο της περιόδου  $T$  του σήματος, δηλ. του χρονικού διαστήματος μέσα στο οποίο το σήμα επαναλαμβάνεται. Για τον καθορισμό της, αρχικά επιλέγουμε το εύρος συχνοτήτων με τους διακόπτες [*Frequency Range* (6)] (δηλ. τη μέγιστη συχνότητα της τρέχουσας χρήσης του οργάνου). Ακολούθως, με τον επιλογέα [*frequency* (1)] επιλέγουμε την ακριβή τιμή της συχνότητας του παραγόμενου σήματος. Με τον διακόπτη [ $f/10$  (7)] υποβαθμίζουμε την τρέχουσα συχνότητα κατά 10 φορές.

Η μετατόπιση  $V_i$  είναι η τιμή ηρεμίας (ή μέση τιμή) του σήματος και μπορεί να πάρει είτε θετικές είτε αρνητικές τιμές, είτε την τιμή μηδέν. Το σήμα εξελίσσεται συμμετρικά γύρω από αυτή την τιμή. Η μετατόπιση καθορίζεται από τον επιλογέα [*DC offset* (3)] και είναι θετική γυρίζοντας το διακόπτη δεξιόστροφα και αρνητική στην αντίθετη φορά.

Το πλάτος  $V_i$  είναι η μέγιστη απόκλιση του σήματος από την τιμή ηρεμίας και είναι το ίδιο και στις δύο πλευρές. Καθορίζεται από τον επιλογέα [*Amplitude* (2)]. Αν επιθυμούμε σήμα πολύ μικρού πλάτους μπορούμε να υποβαθμίσουμε το τρέχων πλάτος είτε κατά 10 φορές ( $-20\text{db}$ ) είτε κατά 100 φορές ( $-40\text{db}$ ) πιέζοντας εντός τους σχετικούς διακόπτες [*Attenuation* (4)].

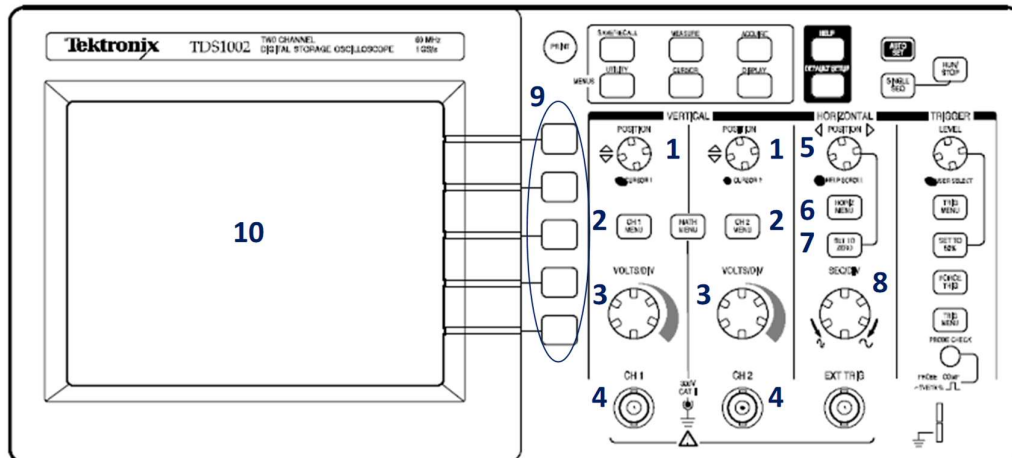


Σχήμα 0.5: Χαρακτηριστικά μεγέθη σήματος

## 0.4 Ο Παλμογράφος

### 0.4.1. Περιγραφή - Λειτουργία

Ο παλμογράφος είναι μετρητικό όργανο με ικανότητα απεικόνισης κυματομορφών τάσης. Ο παλμογράφος του εργαστηρίου και οι κύριες λειτουργίες του παρουσιάζονται στο Σχήμα 0.6, είναι ψηφιακός και έχει δύο κανάλια (4) για την είσοδο σήματος (CH1 και CH2).

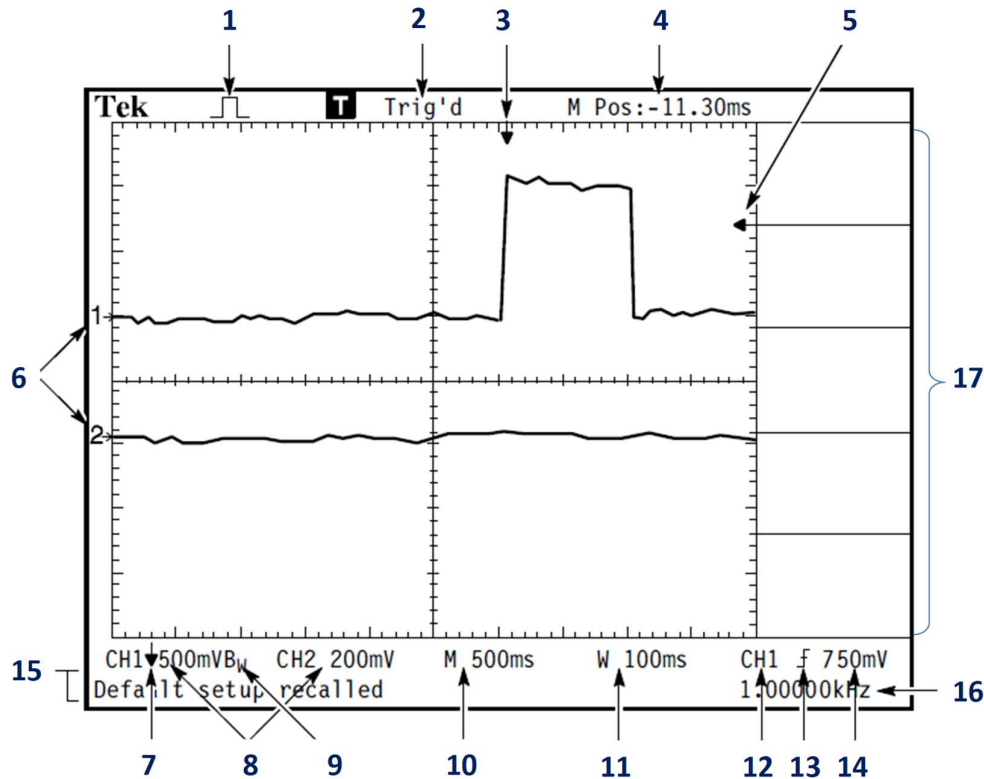


1. Κατακόρυφη τοποθέτηση κυματομορφής.
2. Μενού επιλογών κατακόρυφου άξονα.
3. Επιλογή παράγοντα κλιμάκωσης.
4. Είσοδος σήματος.
5. Οριζόντια τοποθέτηση κυματομορφής.
6. Μενού επιλογών οριζόντιου άξονα.
7. Τοποθέτηση κυματομορφής στο 0.
8. Επιλογή παράγοντα κλιμάκωσης.
9. Πλήκτρα επιλογών.
10. Οθόνη LCD.

Σχήμα 0.6: Ο παλμογράφος



Στο Σχήμα 0.7 παρουσιάζονται οι πληροφορίες που απεικονίζονται στην οθόνη του παλμογράφου.

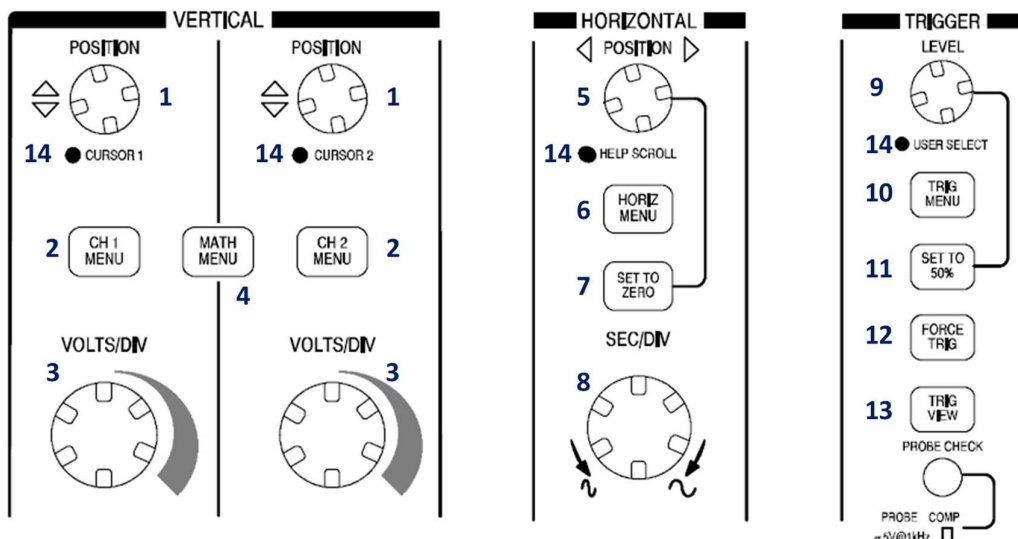


- |  |   |
|--|---|
| 1. Ένδειξη λειτουργίας ανάκτησης σήματος (sample, peak, average).              | 9. Ένδειξη περιορισμού εύρους ζώνης στο κανάλι.         |
| 2. Κατάσταση σκανδαλισμού (triggering).  | 10. Ένδειξη οριζόντιου παράγοντα κλιμάκωσης του χρόνου. |
| 3. Θέση αρχής κυματομορφής.  | 11. Βάση χρόνου παραθύρου.                              |
| 4. Ένδειξη χρόνου στο κέντρο της κλίμακας του οργάνου.                         | 12. Πηγή σκανδαλισμού.                                  |
| 5. Ένδειξη επιπέδου σκανδαλισμού.  | 13. Τύπος σκανδαλισμού.                                 |
| 6. Ενδείξεις των σημείων αναφοράς (γειώσεις) των σημάτων των καναλιών εισόδου. | 14. Επίπεδο σκανδαλισμού.                               |
| 7. Ένδειξη αντιστροφής της κυματομορφής.                                       | 15. Μηνύματα.   |
| 8. Ενδείξεις κατακόρυφου παράγοντα κλιμάκωσης των καναλιών                     | 16. Συχνότητα σκανδαλισμού.                             |
|  | 17. Επιλογές λειτουργιών.                               |

Σχήμα 0.7: Η οθόνη του παλμογράφου

Στο Σχήμα 0.8 παρουσιάζονται οι επιλογές ρύθμισης στον κατακόρυφο και οριζόντιο άξονα της οθόνης καθώς και οι ρυθμίσεις για τον σκανδαλισμό. Θα αναφερθούμε πιο αναλυτικά σε κάποιες από αυτές. Με τους επιλογείς «POSITION» γίνεται επιλογή της θέσης της κυματομορφής στον κατακόρυφο (1) και οριζόντιο (5) άξονα της οθόνης. Με τα πλήκτρα «MENU» εμφανίζεται στην δεξιά περιοχή της οθόνης [(17) στο Σχήμα 0.7] το μενού επιλογών α) για τα κανάλια CH1 και CH2 (2), β) του οριζόντιου άξονα (6) και του σκανδαλισμού (10)

- Στο μενού των καναλιών CH1 και CH2 (2) επιλέγουμε μεταξύ άλλων τη σύζευξη:
  - DC - όπου εμφανίζονται στην οθόνη και η DC και η AC συνιστώσα του σήματος εισόδου
  - AC - όπου εμφανίζεται στην οθόνη μόνο η AC συνιστώσα του σήματος εισόδου
  - GND (ground) - όπου εμφανίζεται η γείωση του καναλιού
- Στο μενού σκανδαλισμού (10) επιλέγουμε μεταξύ άλλων τον τύπο σκανδαλισμού (Edge, Video, Pulse Width) και την πηγή σκανδαλισμού (CH1, CH2, EXT, EXT/5, AC Line).



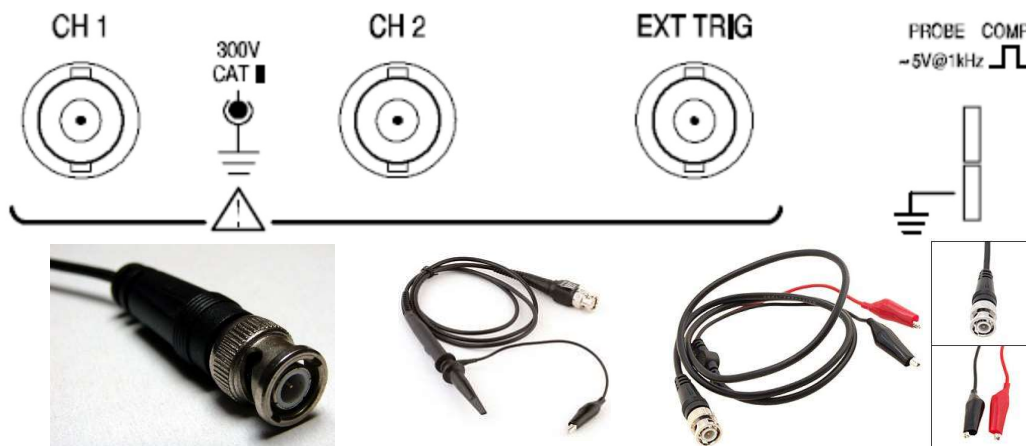
- |   |   |
|---|---|
| 1. Κατακόρυφη θέση καναλιών CH1 και CH2.                                | 9. Προσδιορισμός του επιπέδου σκανδαλισμού.                           |
| 2. Μενού επιλογών καναλιών CH1 και CH2.                                 | 10. Μενού σκανδαλισμού.   |
| 3. Κατακόρυφος παράγοντας κλιμάκωσης καναλιών CH1 και CH2 σε Volts/Div. | 11. Τοποθέτηση του επιπέδου σκανδαλισμού στο μέσο μεταξύ των κορυφών. |
| 4. Μενού πράξεων.   | 12. Επιβολή σκανδαλισμού.   |
| 5. Οριζόντια τοποθέτηση κυματομορφών.                                   | 13. Απεικόνιση κυματομορφής σκανδαλισμού.                             |
| 6. Μενού επιλογών οριζόντιου άξονα.                                     | 14. LED αλλαγής χρήσης.   |
| 7. Τοποθέτηση κυματομορφής στο 0.                                       |   |
| 8. Επιλογή παράγοντα κλιμάκωσης οριζόντιου άξονα σε Sec/Div.            |   |

Σχήμα 0.8: Έλεγχος κατακόρυφου - οριζόντιου άξονα και σκανδαλισμού



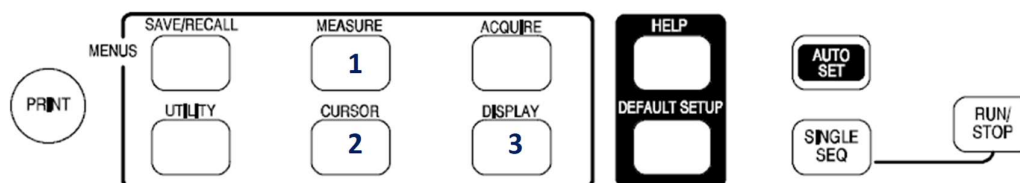
Με τους επιλογείς (3) διαμορφώνεται ο παράγοντας κλιμάκωσης στον κατακόρυφο άξονα των καναλιών CH1 και CH2 σε Volts/Div (Div=division) και με τον επιλογέα (8) διαμορφώνεται ο παράγοντας κλιμάκωσης στον οριζόντιο άξονα σε Sec/Div. Με αυτές τις επιλογές καθορίζεται πόσα Volts θα αντιστοιχούν ανά μεγάλη υποδιαίρεση (Div) του κατακόρυφου άξονα και πόσα Δευτερόλεπτα (Sec) θα αντιστοιχούν ανά μεγάλη υποδιαίρεση (Div) του οριζόντιου άξονα.

Τέλος το πλήκτρο (11) χρησιμοποιείται για την άμεση σταθεροποίηση της κυματομορφής στην οθόνη.



Σχήμα 0.9: Θύρες εισόδου και σηματολήπτες μέτρησης

Οι θύρες εισόδου σήματος του παλμογράφου εμφανίζονται στο Σχήμα 0.9. Οι θύρες είναι τύπου BNC και υπάρχει μία για κάθε κανάλι (CH1 και CH2) και μια για πιθανό εξωτερικό σήμα σκανδαλισμού (EXT TRIG). Στο Σχήμα 0.9 εμφανίζονται επίσης οι σηματολήπτες μέτρησης του παλμογράφου που συνδέονται στις θύρες BNC. Από τους ακροδέκτες των σηματοληπτών, το εκτεινόμενο κροκοδειλάκι αντιστοιχεί στη γείωση του καναλιού και θα πρέπει να συνδέεται στην γείωση του υπό μέτρηση κυκλώματος. Ο δεύτερος ακροδέκτης (άγκιστρο) συνδέεται στον κόμβο του κυκλώματος στον οποίο επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε την μέτρηση.



1. Μενού μετρήσεων.
2. Μενού δεικτών (cursors).
3. Μενού απεικόνισης.

Σχήμα 0.10: Μενού λειτουργιών



Στον παλμογράφο υπάρχουν πρόσθετες επιλογές για την απεικόνιση των σημάτων και τη μέτρηση μεγεθών. Στο Σχήμα 0.10 παρουσιάζονται τα σχετικά πλήκτρα. Τα τρία πιο ενδιαφέροντα αναλύονται στη συνέχεια.

Το πλήκτρο «*MEASURE*» (1) δίνει πρόσβαση στην αυτόματη μέτρηση μεγεθών. Υπάρχουν διαθέσιμοι 11 τύποι μετρήσεων, από τους οποίους μέχρι 5 μπορούν να απεικονιστούν ταυτόχρονα. Οι διαθέσιμοι τύποι μετρήσεων είναι: Συχνότητα (*Freq*), Περίοδος (*Period*), Μέση τιμή (*Mean*), Κορυφή με κορυφή (*Pk-Pk*), RMS πλήρους κύκλου (*Cyc RMS*), Ελάχιστη τιμή (*Min*), Μέγιστη τιμή (*Max*), Χρόνος ανόδου (*Rise time*) δηλ. ο χρόνος από το 10% στο 90% της ανερχόμενης ακμής της κυματομορφής, Χρόνος καθόδου (*Fall time*) δηλ. ο χρόνος από το 90% στο 10% της κατερχόμενης ακμής της κυματομορφής, Θετικό πλάτος (*Pos Width*) δηλ. ο χρόνος από το 50% της ανερχόμενης ακμής στο 50% της επόμενης κατερχόμενης ακμής, Αρνητικό πλάτος (*Neg Width*) δηλ. ο χρόνος από το 50% της κατερχόμενης ακμής στο 50% της επόμενης ανερχόμενης ακμής.

Το πλήκτρο «*CURSOR*» (2) εμφανίζει στην οθόνη τους δύο δείκτες (*cursors*) μετρήσεων και το σχετικό μενού. Στις επιλογές του μενού διακρίνουμε:

- *Type* – Υπάρχουν δύο τύποι δεικτών, α) *Voltage* για μέτρηση τάσεων (οριζόντιοι δείκτες) και *Time* για τη μέτρηση χρόνου / συχνότητας (κατακόρυφοι δείκτες).
- *Source* – για την επιλογή της μετρούμενης κυματομορφής (*CH1, CH2, MATH, ...*).
- *Delta* – Εμφανίζει τη διαφορά μεταξύ των δεικτών.
- *Cursor 1* – Παρουσιάζει την τιμή (θέση) του πρώτου δείκτη.
- *Cursor 2* – Παρουσιάζει την τιμή (θέση) του δεύτερου δείκτη.

Το πλήκτρο «*DISPLAY*» (3) επιλέγει τον τρόπο με τον οποίο θα εμφανιστούν οι κυματομορφές στην οθόνη. Στις επιλογές του μενού διακρίνουμε:

- *Type* – Υπάρχουν δύο τύποι απεικόνισης, α) *Vector* με πλήρωση του διαστήματος ανάμεσα σε διαδοχικά σημεία δειγματοληψίας και *Dots* όπου εμφανίζονται στην οθόνη μόνο τα σημεία δειγματοληψίας.
- *Format* – α) *YT* όπου στην οθόνη εμφανίζεται η τάση ως συνάρτηση του χρόνου και β) *XY* όπου στην οθόνη εμφανίζεται ένα σημείο κάθε φορά που έχουμε ένα δείγμα στο κανάλι 1 (*CH1*) και στο κανάλι 2 (*CH2*). Το κανάλι 1 προσδιορίζει τη Χ συντεταγμένη και το κανάλι 2 προσδιορίζει τη Y συντεταγμένη στους άξονες της οθόνης.

**Σημ.:** Σε όλα τα μενού οι επιλογές πραγματοποιούνται με τη χρήση των πέντε πλήκτρων επιλογής (9) του Σχήματος 0.6 (με διαδοχική πίεσή τους για εναλλαγή των επιλογών). Κάθε πλήκτρο αντιστοιχεί σε ένα από τα πέντε πεδία των επιλογών λειτουργίας (17) του Σχήματος 0.7 στην οθόνη του παλμογράφου.

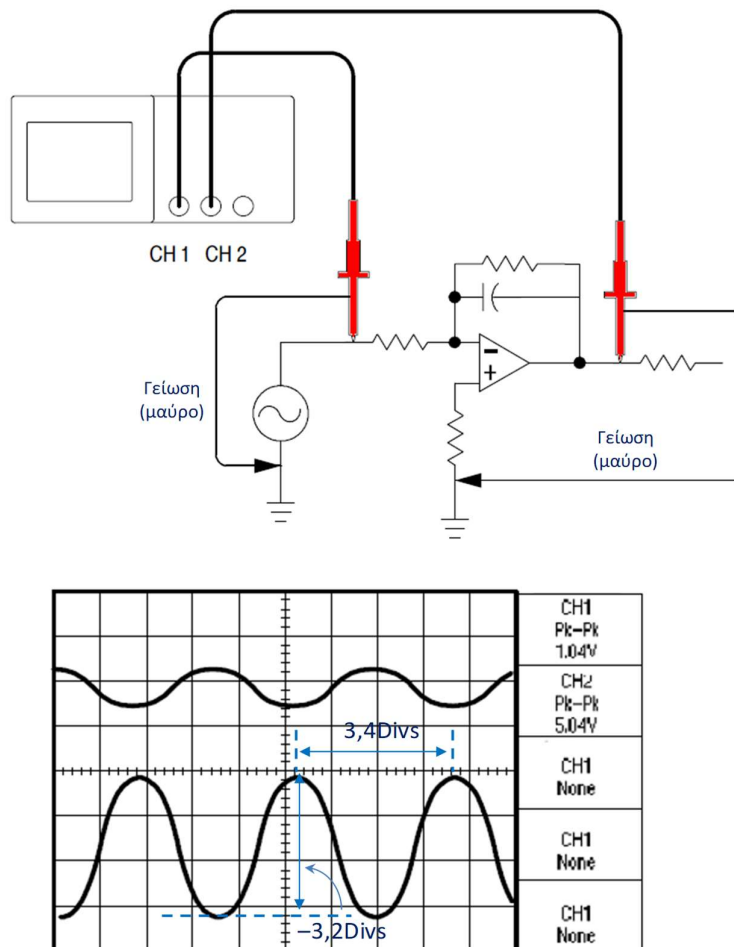
#### 0.4.2 Σκανδαλισμός

Μια έννοια που συναντήσαμε νωρίτερα στην περιγραφή του παλμογράφου είναι αυτή του σκανδαλισμού. Ο σκανδαλισμός σχετίζεται με την απεικόνιση και τη σταθερότητα του σήματος στην οθόνη. Για να είναι σταθερή η εικόνα στην οθόνη του παλμογράφου θα πρέπει η απεικόνιση του σήματος εισόδου να ξεκινά (σκανδαλίζεται) πάντα ακριβώς τις ίδιες χρονικές στιγμές σε σχέση με την περίοδο αυτού του σήματος. Ο σκανδαλισμός γίνεται με

χρήση του ίδιου του σήματος εισόδου ή κάποιου άλλου σήματος (εξωτερικό σήμα της θύρας EXT TRIG) που έχει σταθερή σχέση ως προς την περίοδο (συχνότητα) με το σήμα της εισόδου. Από αυτό το σήμα φτιάχνεται μια παλμοσειρά σκανδαλισμού η οποία συγχρονίζει την απεικόνιση. Η επιλογή της πηγής σκανδαλισμού γίνεται με το πλήκτρο (10) «TRIG MENU» του Σχήματος 0.8. Η δε ρύθμιση του επιπέδου σκανδαλισμού [επιλογέας (9) ή πλήκτρο (11) στο Σχήμα 0.8] καθορίζει την τιμή της τάσης του σήματος που χρησιμοποιείται ως πηγή σκανδαλισμού στην οποία παράγεται ο παλμός σκανδαλισμού.

### 0.4.3 Μετρήσεις

Όπως προαναφέρθηκε, ο παλμογράφος χρησιμοποιείται για την απεικόνιση σημάτων και τη μέτρηση μεγεθών σε αυτά. Η διαδικασία της απεικόνισης/μέτρησης σημάτων φαίνεται στο Σχήμα 0.11. Οι σηματολήπτες μέτρησης συνδέονται στον παλμογράφο στα κανάλια 1 και 2 (CH1, CH2). Το βύσμα BNC εισέρχεται στην υποδοχή του παλμογράφου και κλειδώνει με δεξιά στροφή (η αποσύνδεση γίνεται με αριστερή στροφή του βύσματος).



Σχήμα 0.11: Απεικόνιση και μέτρηση σημάτων

Οι σηματολήπτες μέτρησης από κάθε κανάλι συνδέονται στο κύκλωμα έτσι ώστε οι μαύροι ακροδέκτες να ακουμπούν στη γείωση του κυκλώματος ενώ ο καθένας από τους κόκκινους



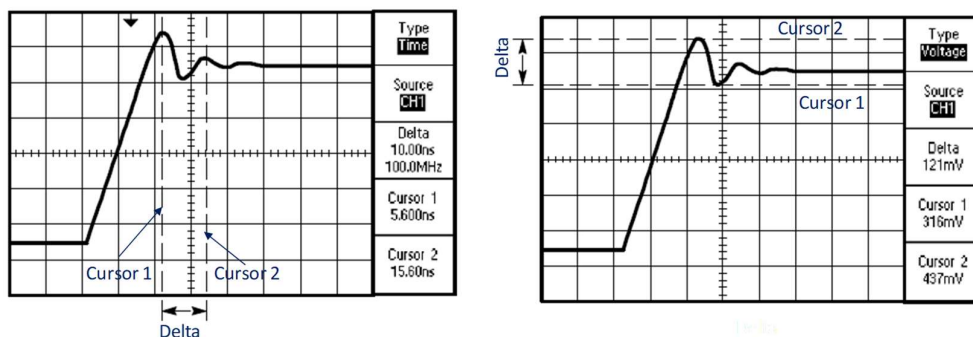
ακροδέκτες συνδέεται στα σημεία που έχουν επιλεγεί προς μέτρηση. Ο κλασικός τρόπος μέτρησης έχει ως ακολούθως:

- Σε κάθε κανάλι φροντίζουμε να τοποθετήσουμε τη στάθμη της γείωσης σε κάποια συγκεκριμένη οριζόντια γραμμή στην οθόνη (συνήθως επιδιώκουμε και τα δύο κανάλια να έχουν την ίδια στάθμη γείωσης στην οθόνη). Αν το σήμα έχει θετικές και αρνητικές τιμές τότε μια καλή επιλογή είναι να τοποθετηθεί η στάθμη στο μέσον της οθόνης, αν έχει μόνο θετικές τιμές τότε κατάλληλη επιλογή είναι στο κάτω μέρος της οθόνης ενώ αν έχει μόνο αρνητικές τιμές τότε κατάλληλη επιλογή είναι στο άνω μέρος της οθόνης. Οι ενέργειες που απαιτούνται έχουν ως ακολούθως:
  - επιλέγουμε κανάλι με το πλήκτρο (2) στο Σχήμα 0.8,
  - με το πρώτο από την κορυφή πλήκτρο δεξιά της οθόνης, στην περιοχή (9) του Σχήματος 0.6, επιλέγουμε «Ground»,
  - περιστρέφοντας το κουμπί χειρισμού (1) του Σχήματος 0.8 τοποθετούμε τη γείωση στο επιθυμητό επίπεδο,
  - πάλι, με το πρώτο από την κορυφή πλήκτρο δεξιά της οθόνης, στην περιοχή (9) του Σχήματος 0.6 επιστρέφουμε στην επιλογή «DC».
- Για τη μέτρηση τάσεων:
  - Στον κατακόρυφο άξονα μετράμε την απόσταση εκείνου του σημείου της κυματομορφής που μας ενδιαφέρει από τη στάθμη της γείωσης με στόχο να προσδιορίσουμε την τάση σε αυτό ή την απόσταση μεταξύ δύο σημείων της κυματομορφής με στόχο να προσδιορίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ τους. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση του βαθμονομημένου κατακόρυφου άξονα.
  - Πολλαπλασιάζουμε την μέτρηση με την ένδειξη του παράγοντα κλιμάκωσης στην κάτω αριστερή γωνία της οθόνης [ένδειξη (8) στο Σχήμα 0.7] για το αντίστοιχο κανάλι της υπό μελέτη κυματομορφής, ώστε να πάρουμε την ζητούμενη τιμή τάσης.
  - Π.χ. στην απεικόνιση των κυματομορφών του Σχήματος 0.11 έστω ότι για την κάτω κυματομορφή η στάθμη της γείωσης είναι στο μέσον της οθόνης και ότι ο παράγοντας κλιμάκωσης του σχετικού καναλιού είναι 2 Volts/Div. Η κάτω κορυφή της κυματομορφής απέχει από τη στάθμη της γείωσης τρεις μεγάλες υποδιαίρεσεις (Divs) συν μία μικρή υποδιαίρεση του κατακόρυφου άξονα, δηλ. η τιμή είναι  $-3,2 \text{ Divs}$  (προσοχή ανάμεσα σε δύο μεγάλες υποδιαίρεσεις υπάρχουν πέντε μικρές υποδιαίρεσεις και συνεπώς κάθε μικρή υποδιαίρεση είναι 0,2 της μεγάλης). Η τιμή της τάσης στην κάτω κορυφή της κυματομορφής είναι  $-3,2 \text{ Divs} \times 2 \text{ Volts/Div} = -6,4 \text{ Volts}$ .
- Για τη μέτρηση χρόνου:
  - Στον οριζόντιο άξονα μετράμε την απόσταση μεταξύ δύο σημείων της κυματομορφής με στόχο να προσδιορίσουμε τη χρονική διαφορά μεταξύ τους. Η μέτρηση γίνεται με τη χρήση του βαθμονομημένου οριζόντιου άξονα.

- Πολλαπλασιάζουμε την μέτρηση με την ένδειξη του παράγοντα κλιμάκωσης για τον οριζόντιο άξονα, η οποία εμφανίζεται στο μέσον του κάτω μέρους της οθόνης [ένδειξη (10) στο Σχήμα 0.7], ώστε να πάρουμε την ζητούμενη τιμή χρόνου.
- Π.χ. στην απεικόνιση των κυματομορφών του Σχήματος 0.11 έστω ότι ο παράγοντας κλιμάκωσης του οριζόντιου άξονα είναι 250  $\mu\text{Sec}/\text{Div}$ . Η πρώτη άνω κορυφή της κυματομορφής δεξιά του μεσαίου κατακόρυφου άξονα απέχει από αυτόν 0,2 Divs ενώ η αμέσως επόμενη δεξιότερα άνω κορυφή της κυματομορφής απέχει από τον μεσαίο κατακόρυφο άξονα 3,6 Divs. Η διαφορά ανάμεσα στις δύο κορυφές είναι 3,4 Divs. Η τιμή της χρονικής διαφοράς είναι  $3,4 \text{ Divs} \times 250 \mu\text{Sec}/\text{Div} = 850 \mu\text{Sec} = 850 \times 10^{-6} \text{ Sec}$ .

Στο συγκεκριμένο παλμογράφο οι μετρήσεις μπορούν να γίνουν με απλούστερο τρόπο. Με το πλήκτρο «MEASURE» μπορούμε να ενεργοποιήσουμε τη δυνατότητα αυτόματων μετρήσεων όπως περιγράφηκε νωρίτερα. Εναλλακτικά, με το πλήκτρο «CURSOR» δίδεται μια διαφορετική η δυνατότητα γρήγορων μετρήσεων χρόνου και τάσης πάνω στην (στις) κυματομορφή(ές). Η διαδικασία έχει ως ακολούθως και απεικονίζεται στο Σχήμα 0.12:

- Πιέζουμε το πλήκτρο «CURSOR» [βλ. (2) στο Σχήμα 0.10] για να εμφανιστεί το σχετικό μενού. Τα LED κάτω από τα κουμπιά χειρισμού «POSITION» ανάβουν [βλ. (14) στο Σχήμα 0.8] υποδεικνύοντας την αλλαγή χρήσης σε «CURSOR 1,2».
- Πιέζουμε διαδοχικά το πρώτο από την κορυφή πλήκτρο δεξιά της οθόνης [βλ. (9) στο Σχήμα 0.6] ώστε να εμφανίσουμε και να επιλέξουμε τον τύπο των δεικτών (TIME, VOLTAGE) [βλ. περιοχή (17) στο Σχήμα 0.7].
- Πιέζουμε διαδοχικά το δεύτερο από την κορυφή πλήκτρο δεξιά της οθόνης [βλ. (9) στο Σχήμα 0.6] ώστε να επιλέξουμε κανάλι (CH1 ή CH2).
- Περιστρέφουμε το κουμπί χειρισμού «CURSOR 1» ώστε να τοποθετηθεί ο πρώτος δείκτης (κατακόρυφη διακεκομμένη γραμμή για TIME και οριζόντια διακεκομμένη γραμμή για VOLTAGE) στην επιθυμητή θέση.
- Περιστρέφουμε το κουμπί χειρισμού «CURSOR 2» ώστε να τοποθετηθεί ο δεύτερος δείκτης στην επιθυμητή θέση.
- Διαβάζουμε την τιμή του κάθε δείκτη καθώς και τη διαφορά τους (Delta) στην περιοχή (17) του Σχήματος 0.7.

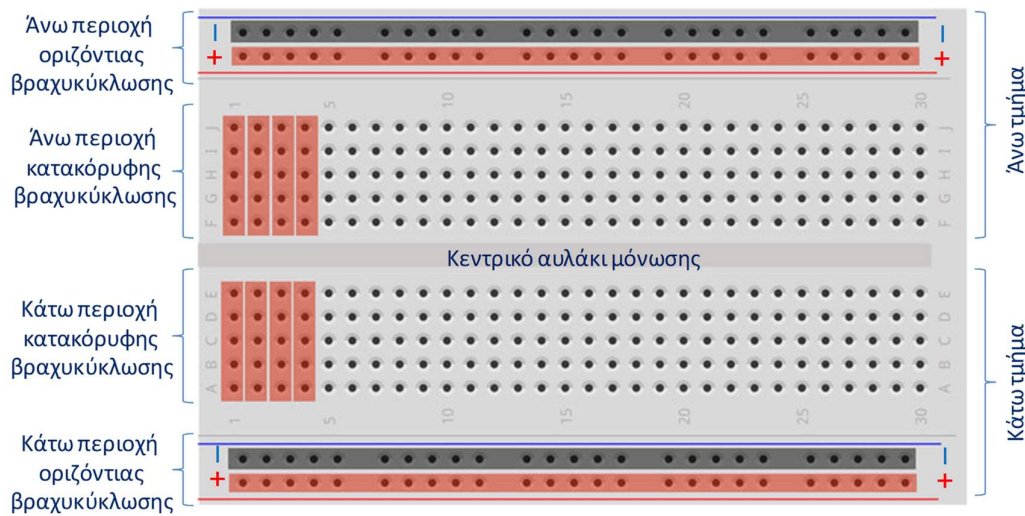


Σχήμα 0.12: Χρήση δεικτών (cursors) για τη μέτρηση σημάτων



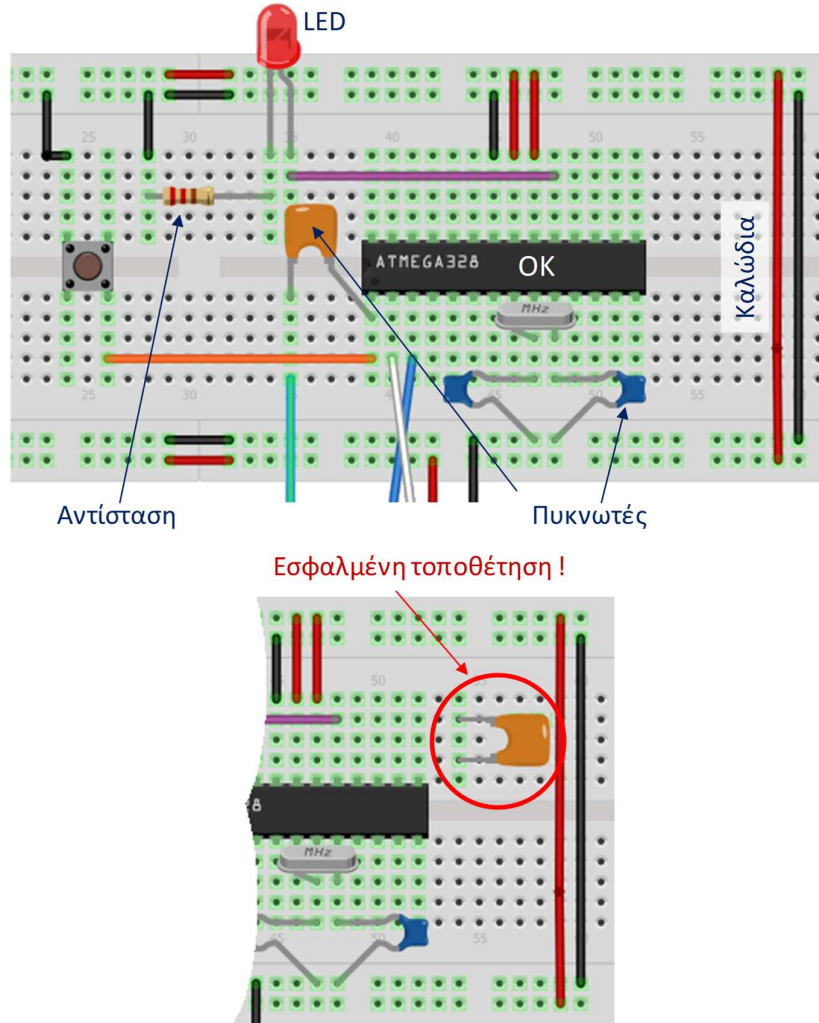
## 0.5 To Breadboard

Το breadboard είναι η βάση πάνω στην οποία υλοποιούνται τα υπό μελέτη κυκλώματα. Η γενική εικόνα ενός breadboard δίδεται στο Σχήμα 0.13. Αποτελείται από ένα πλέγμα οπών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση των κυκλωματικών στοιχείων που απαρτίζουν το υπό μελέτη κύκλωμα και τη διασύνδεσή τους. Στην εικόνα, το κεντρικό οριζόντιο αυλάκι χωρίζει το breadboard σε δύο ανεξάρτητα και ασύνδετα (μονωμένα) μεταξύ τους τμήματα (το άνω και το κάτω τμήμα). Σε καθένα από τα δύο τμήματα διακρίνουμε δύο περιοχές, α) την εξωτερική περιοχή οριζόντιας βραχυκύκλωσης, όπου οι οπές στην ίδια οριζόντια ευθεία είναι μεταξύ τους βραχυκυκλωμένες και β) την εσωτερική περιοχή κατακόρυφης βραχυκύκλωσης, όπου οι οπές στην ίδια κατακόρυφο ευθεία είναι μεταξύ τους βραχυκυκλωμένες. Συνήθως οι οριζόντιες βραχυκυκλώσεις του breadboard χρησιμοποιούνται για την παροχή των τροφοδοσιών τάσης που απαιτεί το κύκλωμα.



Σχήμα 0.13: Το breadboard

Η τοποθέτηση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ΟΚ) με διπλή σειρά ακροδεκτών γίνεται στο μέσον του breadboard και κατά τρόπο ώστε κάθε σειρά ακροδεκτών να συνδεθεί σε διαφορετικό τμήμα όπως φαίνεται στο Σχήμα 0.14. Γενικά, ένα κυκλωματικό στοιχείο με δύο ή περισσότερους ακροδέκτες τοποθετείται κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι ακροδέκτες του να μην είναι βραχυκυκλωμένοι μεταξύ τους. Οι διασυνδέσεις μεταξύ των κυκλωματικών στοιχείων ενός κυκλώματος γίνονται με απλά μονόκλινα καλώδια.



Σχήμα 0.14: Τοποθέτηση και διασύνδεση κυκλωματικών στοιχείων στο breadboard

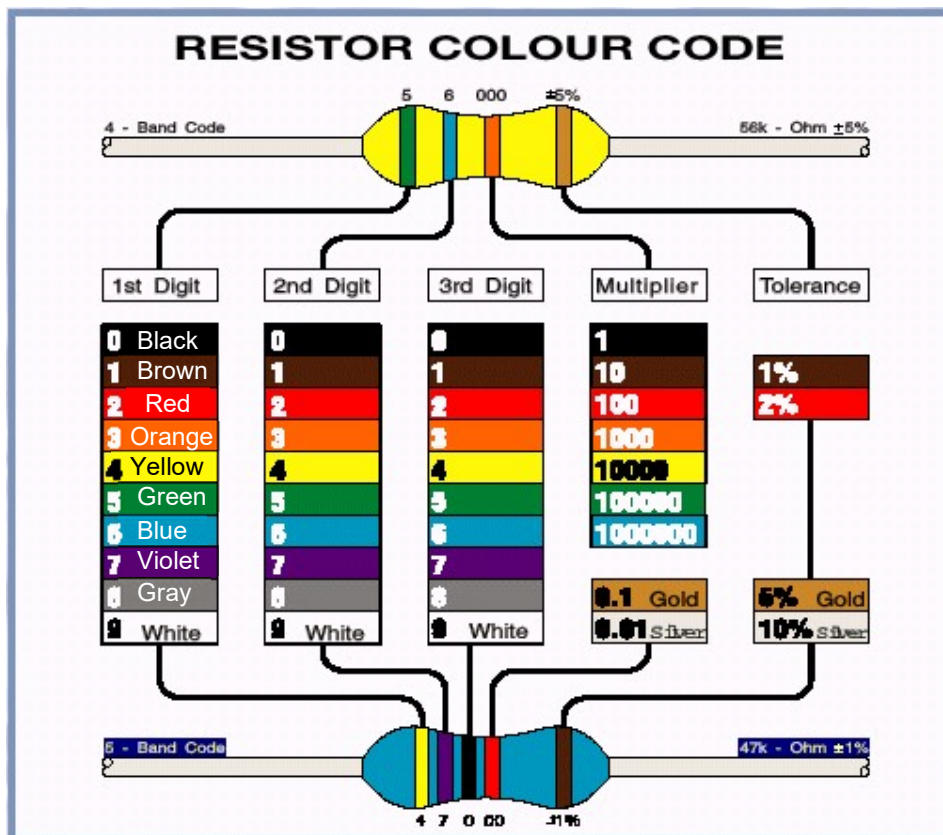
## 0.6 Κυκλωματικά Στοιχεία

Οι αντιστάσεις και οι πυκνωτές είναι δύο κυκλωματικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις εργαστηριακές ασκήσεις.

### 0.6.1. Ωμικές αντιστάσεις

Οι αντιστάσεις είναι κυκλωματικά στοιχεία δύο ακροδεκτών και χαρακτηρίζονται από την τιμή τους, μετρημένη σε Ohms ( $\Omega$ ), η οποία εκφράζει την δυσχέρεια διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτές. Για μία γραμμική αντίσταση με διαφορά δυναμικού  $V$  ανάμεσα στους ακροδέκτες της, η οποία διαρρέεται από ρεύμα  $I$ , η τιμή της  $R$  ορίζεται ως ακολούθως με βάση το νόμο του Ohm:

$$R = \frac{V}{I}$$



Σχήμα 0.15: Αντίσταση και χρωματικός κώδικας τιμών

Στο Σχήμα 0.15 παρουσιάζεται η εικόνα μιας αντίστασης. Οι χρωματισμένοι δακτύλιοι στην επιφάνειά της καθορίζουν με βάση το χρωματικό κώδικα του σχήματος τα χαρακτηριστικά της (τιμή, ακρίβεια). Τα χαρακτηριστικά μιας αντίστασης εγγράφονται σε αυτήν είτε με τέσσερα είτε με πέντε χρωματικούς δακτύλιους.

Στην περίπτωση των τεσσάρων δακτυλίων οι δύο πρώτοι εκφράζουν απλά ψηφία με βάση το χρωματικό κώδικα του Σχήματος 0.15, ο τρίτος τον πολλαπλασιαστικό παράγοντα (multiplier) και ο τέταρτος την ανοχή (tolerance) στην τιμή. Η ανοχή εκφράζει τη μέγιστη απόκλιση της πραγματικής τιμής της αντίστασης από την ονομαστική της τιμή. Ο δακτύλιος της ανοχής είναι απομακρυσμένος από τους υπόλοιπους δακτύλιους.

Π.χ. μια αντίσταση με χρωματικούς δακτύλιους πράσινο (5), μπλέ (6), πορτοκαλί (1000) και χρυσό (5%), έχει τιμή  $56 \times 1000 \Omega \pm 5\% = 56\text{K}\Omega \pm 5\%$ .

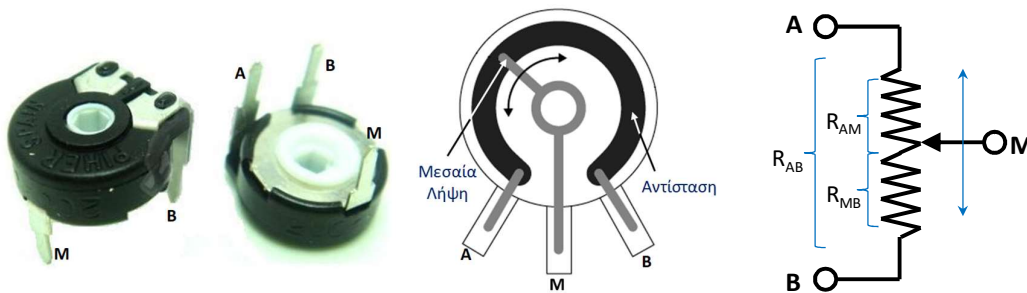


Στην περίπτωση των πέντε δακτυλίων οι τρεις πρώτοι εκφράζουν απλά ψηφία με βάση το χρωματικό κώδικα του Σχήματος 0.15, ο τέταρτος τον πολλαπλασιαστικό παράγοντα (multiplier) και ο πέμπτος την ανοχή (tolerance) στην τιμή.

Π.χ. μια αντίσταση με χρωματικούς δακτύλιους κίτρινο (4), βιολετί (7), μαύρο (0), κόκκινο (100) και καφέ (1%), έχει τιμή  $470 \times 100 \Omega \pm 1\% = 47\text{K}\Omega \pm 1\%$ .

### 0.6.2. Μεταβλητή Αντίσταση (Τρίμερ)

Μεγάλη χρησιμότητα σε διάφορες διατάξεις έχουν οι μεταβλητές αντιστάσεις, δηλ. αντιστάσεις των οποίων η τιμή μπορεί να κυμανθεί μεταξύ δύο ορίων. Στο Σχήμα 0.16 που ακολουθεί παρουσιάζεται η εικόνα, η αρχή λειτουργίας και το ισοδύναμο κύκλωμα μιας μεταβλητής αντίστασης που χρησιμοποιείται και ως διαιρέτης τάσης. Το κυκλωματικό στοιχείο έχει τρεις ακροδέκτες: A, B και M. Η τιμή της αντίστασης ανάμεσα στους ακροδέκτες A και B είναι η μέγιστη δυνατή  $R_{MAX}$ . Ο ακροδέκτης μεσαίας λήψης M συνδέεται σε μια περιστρεφόμενη μεταλλική κεφαλή η οποία ακουμπά επάνω στην αντίσταση. Περιστρέφοντας την κεφαλή η τιμή της αντίστασης  $R_{AM}$  μεταξύ των ακροδεκτών AM και η τιμή της αντίστασης  $R_{MB}$  μεταξύ των ακροδεκτών MB, μεταβάλλεται έτσι ώστε να ισχύει πάντα:  $R_{MAX} = R_{AM} + R_{MB}$ , όπου  $0 \leq R_{AM} \leq R_{MAX}$ .



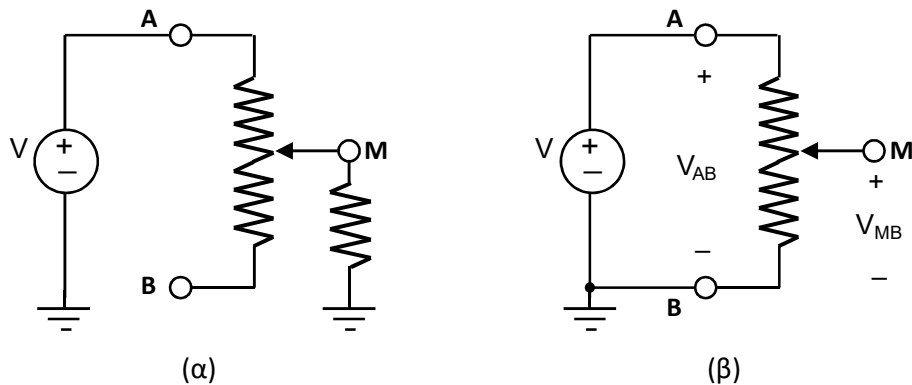
Σχήμα 0.16: Μεταβλητή αντίσταση (τρίμερ)

Η μεταβλητή αντίσταση του Σχήματος 0.16 μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τους ακόλουθους δύο τρόπους: α) ως απλή μεταβλητή αντίσταση (βλ. Σχήμα 0.17(α)) και β) ως μεταβλητός διαιρέτης τάσης (βλ. Σχήμα 0.17(β)).

Στο Σχήμα 0.17(α) ο ακροδέκτης B είναι ανοικτοκυκλωμένος (“στον αέρα”) και ρεύμα περνάει ανάμεσα στους ακροδέκτες A και M. Ανάλογα με τη θέση της περιστρεφόμενης κεφαλής αλλάζει η τιμή της αντίστασης  $R_{AM}$ .

Στο Σχήμα 0.17(β) ο ακροδέκτης B είναι γειωμένος και το κυκλωματικό στοιχείο λειτουργεί ως ένας διαιρέτης τάσης όπου για τις τάσεις μεταξύ των ακροδεκτών MB ( $V_{MB}$ ) και AB ( $V_{AB}$ ) ισχύει:

$$V_{MB} = \frac{R_{MB}}{R_{AB}} V_{AB}$$



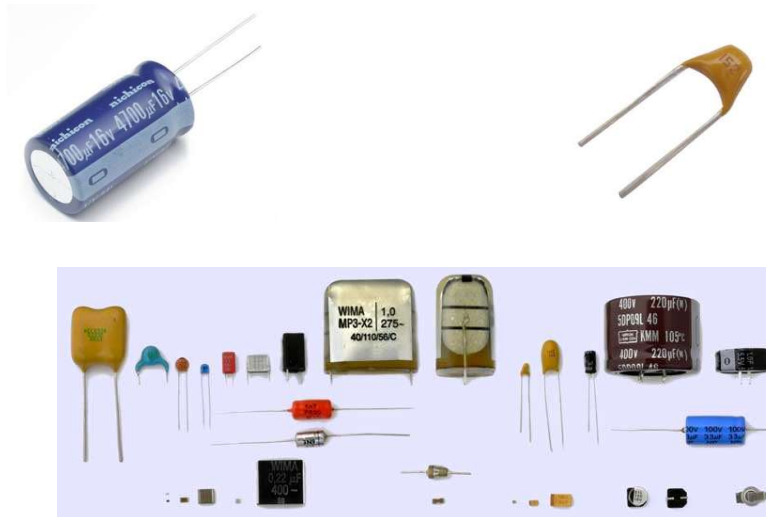
Σχήμα 0.17: Το τρίμερ ως α) μεταβλητή αντίσταση και β) διαιρέτης τάσης

### 0.6.3. Πυκνωτές

Οι πυκνωτές είναι κυκλωματικά στοιχεία, δύο ακροδεκτών, που αποθηκεύουν ηλεκτρικό φορτίο ή ισοδύναμα ηλεκτρική ενέργεια. Ένας πυκνωτής χαρακτηρίζεται από την χωρητικότητά του η οποία μετριέται σε farad (F). Αν ένας γραμμικός πυκνωτής αποθηκεύει φορτίο  $Q$  και η τάση στα άκρα του είναι  $V$ , τότε η χωρητικότητά του  $C$  δίδεται από τη σχέση:

$$C = \frac{Q}{V}$$

Στο Σχήμα 0.18 παρουσιάζονται εικόνες για διάφορους πυκνωτές. Συνήθως η τιμή της χωρητικότητας αναγράφεται επάνω στον πυκνωτή. Στο Σχήμα 0.19 δίδεται πίνακας για τον καθορισμό της τιμής της χωρητικότητας ενός πυκνωτή από τις αναγραφόμενες ενδείξεις.



Σχήμα 0.18: Πυκνωτές

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΙΜΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΟΛΥΕΣΤΕΡΙΚΩΝ ΠΥΚΝΩΤΩΝ**

ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ	ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ	ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ	ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ		
1 1p0	1	10 10p	10	100 101	n10	100	102 1n	.001	1
1.2 1p2	1.2	12 12p	12	120 121	n12	120	122 1n2	.0012	1.2
1.5 1p5	1.5	15 15p	15	150 151	n15	150	152 1n5	.0015	1.5
1.8 1p8	1.8	18 18p	18	180 181	n18	180	182 1n8	.0018	1.8
2.2 2p2	2.2	22 22p	22	220 221	n22	220	222 2n2	.0022	2.2
2.7 2p7	2.7	27 27p	27	270 271	n27	270	272 2n7	.0027	2.7
3.3 3p3	3.3	33 33p	33	330 331	n33	330	332 3n3	.0033	3.3
3.9 3p9	3.9	39 39p	39	390 391	n39	390	392 3n9	.0039	3.9
4.7 4p7	4.7	47 47p	47	470 471	n47	470	472 4n7	.0047	4.7
5.6 5p6	5.6	56 56p	56	560 561	n56	560	562 5n6	.0056	5.6
6.8 6p8	6.8	68 68p	68	680 681	n68	680	682 6n8	.0068	6.8
8.2 8p2	8.2	82 82p	82	820 821	n82	820	822 8n2	.0082	8.2

pF      pico Farad      pF      pico Farad      pF      pico Farad      nF      nano Farad

ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ	ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ	ΑΝ ΓΡΑΦΕΙ...	ΕΙΝΑΙ						
1000 103	10n	.01	10	104 104	100n	0.1	100	105 1	1μ0	1μF	1
1200 123	12n	.012	12	.12 124	120n	0.12	120	125 1.2	1μ2	1.2μF	1.2
1500 153	15n	.015	15	.15 154	150n	0.15	150	155 1.5	1μ5	1.5μF	1.5
1800 183	18n	.018	18	.18 184	180n	0.18	180	185 1.8	1μ8	1.8μF	1.8
2200 223	22n	.022	22	.22 224	220n	0.22	220	225 2.2	2μ2	2.2μF	2.2
2700 273	27n	.027	27	.27 274	270n	0.27	270	275 2.7	2μ7	2.7μF	2.7
3300 333	33n	.033	33	.33 334	330n	0.33	330	335 3.3	3μ3	3.3μF	3.3
3900 393	39n	.039	39	.39 394	390n	0.39	390	395 3.9	3μ9	3.9μF	3.9
4700 473	47n	.047	47	.47 474	470n	0.47	470	475 4.7	4μ7	4.7μF	4.7
5600 563	56n	.056	56	.56 564	560n	0.56	560	565 5.6	5μ6	5.6μF	5.6
6800 683	68n	.068	68	.68 684	680n	0.68	680	685 6.8	6μ8	6.8μF	6.8
8200 823	82n	.082	82	.82 824	820n	0.82	820	825 8.2	8μ2	8.2μF	8.2

nF      nano Farad      nF      nano Farad      μF      micro Farad

**ΠΟΛΥΕΣΤΕΡ**  
**ΚΕΡΑΜΙΚΟΙ**  
**ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ**  
 ΚΤ, ΜΚΤ  
 POLYETHYLENE-  
 THEREPHTHALATE  
 ΠΟΛΥΕΣΤΕΡ ΚΟΙΝΟΣ  
 ΚΣ, ΜΚΣ  
 POLYCARBONATE  
 ΠΟΛΥΑΝΘΡΑΚΙΚΟΣ  
 ΚΡ, ΜΚΡ  
 POLYPROPYLENE  
 ΠΟΛΥΠΡΟΠΥΛΕΝΙΟ  
 ΚΣ, ΜΚΣ  
 ΠΟΛΥΣΤΕΡΙΝΗΣ

ΑΦΟΡΑ ΠΥΚΝΩΤΕΣ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥΣ ΑΠΛΟΥΣ, MULTILAYER, ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ, ΚΑΙ ΠΛΑΣΤΙΚΟΥΣ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΟΠΩΣ ΚΣ, ΚΡ, ΚΣ, ΚΤ, ΜΚΣ, ΜΚΡ, ΜΚΣ, ΜΚΤ, ΜΜΚΡ, ΜΚΤ-Ρ ΚΑΘΩΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΕΝΟΥΣ ΤΑΝΤΑΛΙΟΥ

Σχήμα 0.19: Πίνακας καθορισμού τιμών χωρητικότητας πυκνωτών

## 0.7 Ασφάλεια στο Εργαστήριο

### 0.7.1. Εισαγωγή

Στο εργαστήριο γίνεται χρήση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και οργάνων. Θα πρέπει συνεπώς οι σχετικές εργασίες να εκτελούνται με ασφάλεια ώστε να αποφευχθεί ο κίνδυνος ηλεκτρικού σοκ ή ηλεκτροπληξίας. Ο κίνδυνος αυτός οφείλεται στη διέλευση ρεύματος μέσα από το ανθρώπινο σώμα. Το μέγεθος της έντασης του ρεύματος και ο χρόνος διέλευσης μέσα από το σώμα είναι καθοριστικοί παράγοντες για τις επιπτώσεις που αυτό θα επιφέρει. Το εναλλασσόμενο ρεύμα είναι πιο επικίνδυνο από το συνεχές.

- Ρεύματα 5mA με 10mA προκαλούν συσπάσεις μυών ή και εκτίναξη του σώματος.
- Ρεύματα 10mA με 100mA προκαλούν έντονο πόνο, αναπνευστική δυσχέρεια, ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και ελαφρά εγκαύματα.
- Ρεύματα πάνω από 100mA προκαλούν σοβαρά εγκαύματα και ανάλογα με το χρόνο επίδρασης μπορούν να είναι θανατηφόρα.



### 0.7.2. Κανόνες ασφαλείας

Στο εργαστήριο θα πρέπει να ακολουθούνται οι επόμενοι κανόνες ασφαλείας:

1. Κανείς δεν δουλεύει μόνος του στο εργαστήριο. Καλό είναι να βρίσκονται στους χώρους του εργαστηρίου τουλάχιστον τρία άτομα ώστε αν συμβεί ατύχημα ο ένας να βοηθήσει το θύμα και ο άλλος να καλέσει σε βοήθεια.
2. Δεν κάνουμε βιαστικές και απότομες κινήσεις και δεν χρησιμοποιούμε το υλικό του εργαστηρίου με διαφορετικό τρόπο από αυτόν που έχει υποδειχθεί και για σκοπούς διαφορετικούς από αυτούς που προβλέπει η εκτέλεση της κάθε άσκησης.
3. Πριν από κάθε πείραμα ελέγχουμε τη συνδεσμολογία και αν είναι απαραίτητο καλούμε τον εργαστηριακό υπεύθυνο.
4. Δεν χρησιμοποιούμε γυμνά καλώδια και δεν χειριζόμαστε τα κυκλώματα, τα όργανα και γενικά τις ηλεκτρικές συσκευές με βρεγμένα χέρια. Αποφεύγουμε να στεκόμαστε σε μεταλλικές επιφάνειες ή σε βρεγμένο δάπεδο.
5. Σε περίπτωση βλάβης στο κύκλωμα, στα όργανα ή στις ηλεκτρικές συσκευές διακόπτουμε την τροφοδοσία και καλούμε τον εργαστηριακό υπεύθυνο. Μετά το πέρας της άσκησης διακόπτουμε την παροχή τροφοδοσίας και αποσυνδέουμε τα κυκλώματα.

### 0.7.3. Αντιμετώπιση συμβάντος ηλεκτροπληξίας

Σε περίπτωση ηλεκτροπληξίας διακόψτε άμεσα την παροχή τροφοδοσίας ώστε να διασφαλισθεί η διακοπή του ρεύματος και εν συνεχεία απομακρύνετε προσεκτικά το θύμα χωρίς να διακινδυνεύσετε οι ίδιοι.

Στην περίπτωση που ο διακόπτης της τροφοδοσίας δεν είναι εύκολα προσιτός χρησιμοποιήστε κάποιο υλικό που σας παρέχει μόνωση για να απομακρύνετε το θύμα.

Αν το θύμα δεν έχει αυτόματη αναπνοή αρχίστε αμέσως τεχνητή αναπνοή. Μην σταματήσετε την προσπάθεια (ακόμη και αν δεν υπάρχει σφυγμός) μέχρι να έλθει ιατρική βοήθεια.

Ζητήστε από κάποιον παριστάμενο να καλέσει ιατρική βοήθεια (τηλ. ΕΚΑΒ **166**).

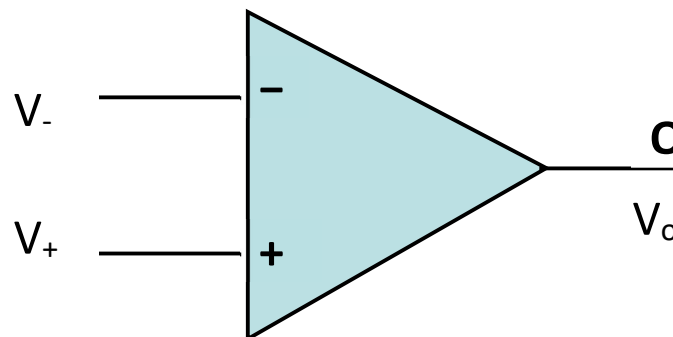
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ Ι Ο ΤΕΛΕΣΤΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ

#### 1.1 Τελεστικοί ενισχυτές

**1.1.1 Εισαγωγή:** Αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η επαφή με ένα από τα πιο χρήσιμα κυκλώματα, αυτό του **τελεστικού ενισχυτή** (*operational amplifier – OpAmp*). Σε αυτή την άσκηση ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με τις έννοιες της ενίσχυσης σήματος, της αντιστροφής σήματος και θα γνωρίσει κάποια βασικά εργαλεία ανάλυσης κυκλωμάτων.

Ο τελεστικός ενισχυτής είναι ένας πολύ υψηλός κέρδους διαφορικός ενισχυτής στον οποίο χρησιμοποιούνται τεχνικές ανάδρασης για να επιτευχθεί ο έλεγχος της χαρακτηριστικής απόκρισής του. Το κυκλωματικό του σύμβολο δίδεται στο Σχήμα 1.1 που ακολουθεί.



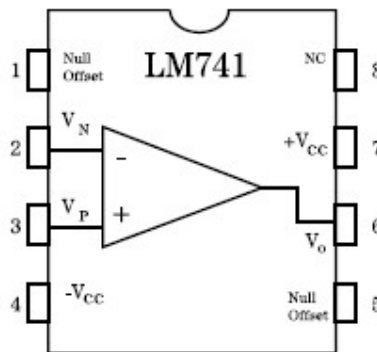
Σχήμα 1.1: Κυκλωματικό σύμβολο τελεστικού ενισχυτή

Οι ακροδέκτες + και - αποτελούν εισόδους σήματος του ενισχυτή ενώ ο ακροδέκτης O είναι η έξοδος σήματος. Η τάση εξόδου ενός τελεστικού ενισχυτή είναι ίση με τη διαφορά των τάσεων οι οποίες εφαρμόζονται στους ακροδέκτες εισόδου πολλαπλασιασμένη με το κέρδος ανοικτού βρόχου (A). Η τάση εξόδου  $V_o$  είναι θετική όταν η τάση που εφαρμόζεται στον θετικό ακροδέκτη (μη αναστρέφουσα είσοδος -  $V_+$ ) είναι μεγαλύτερη εκείνης που εφαρμόζεται στον αρνητικό ακροδέκτη (αναστρέφουσα είσοδος -  $V_-$ ). Ένας ιδανικός τελεστικός ενισχυτής έχει ένα άπειρο κέρδος ανοικτού βρόχου, με αποτέλεσμα να απαιτείται η διαφορά δυναμικού μεταξύ των εισόδων  $V_+$  και  $V_-$  να είναι ακραία μικρή ώστε η τάση εξόδου  $V_o$  να είναι πεπερασμένη. Επιπλέον, ο ιδανικός τελεστικός ενισχυτής έχει άπειρη αντίσταση εισόδου και μηδενική αντίσταση εξόδου. Έτσι, στην ανάλυση κυκλωμάτων με τελεστικούς ενισχυτές θεωρούμε ότι το ρεύμα στους ακροδέκτες εισόδου είναι μηδενικό, ενώ η τάση εξόδου, όταν ο τελεστικός οδηγεί κάποιο φορτίο, είναι ίση με την τάση του

ανοικτού κυκλώματος. Η τάση εξόδου ενός τελεστικού ενισχυτή δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$V_o = A(V_+ - V_-)$$

Οι τελεστικοί ενισχυτές χαίρουν ευρύτατης χρήσης σε πολλές εφαρμογές. Μπορούν να διασυνδεθούν με κατάλληλους τρόπους ώστε να επιτελέσουν διάφορες λειτουργίες όπως: αναστροφή, ενίσχυση, υποβιβασμό, άθροιση, ολοκλήρωση, διαφόριση, φιλτράρισμα καθώς και τη γένεση σημάτων (ταλαντωτές). Στην παρούσα εργαστηριακή άσκηση θα εξετασθούν η αναστρέφουσα και η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία ενισχυτή τάσης καθώς και η συνδεσμολογία του ακόλουθου τάσης.

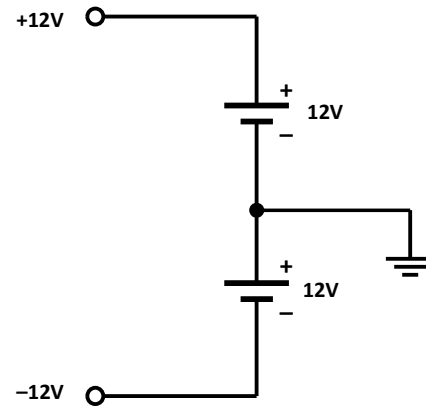
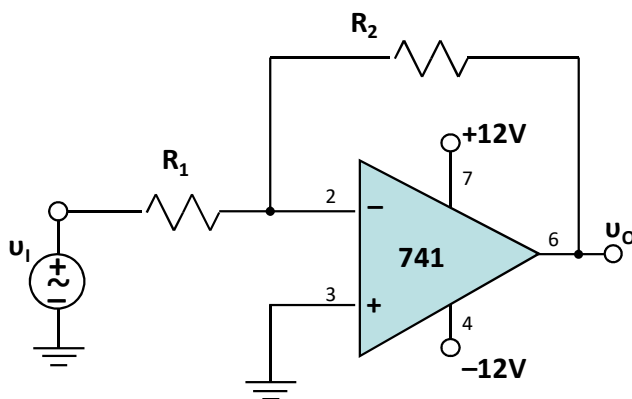


Σχήμα 1.2: Η τοπολογία των ακροδεκτών του τελεστικού ενισχυτή στο chip 741

**1.1.2 Το ολοκληρωμένο κύκλωμα 741:** Στο Σχήμα 1.2 δίδεται η τοπολογία των ακροδεκτών του ολοκληρωμένου τελεστικού ενισχυτή 741. Οι ακροδέκτες του είναι σε διάταξη DIP (dual in-line package) όπου ο ακροδέκτης υπ' αριθμόν 1 προσδιορίζεται με βάση την εγκοπή η οποία υπάρχει στην μία πλευρά του ολοκληρωμένου. Προς τη μεριά αυτής της εγκοπής βρίσκονται, αριστερά ο πρώτος ακροδέκτης και δεξιά ο τελευταίος. Ο ακροδέκτης νούμερο 2 είναι η αναστρέφουσα είσοδος  $V_-$ , ο νούμερο 3 είναι η μη αναστρέφουσα είσοδος  $V_+$ , ενώ ο ακροδέκτης 6 είναι η έξοδος  $V_o$ . Συνήθως οι ακροδέκτες τροφοδοσίας  $-V_{CC}$  και  $+V_{CC}$ , 4 και 7 αντίστοιχα, δεν περιγράφονται στο κυκλωματικό σύμβολο του ενισχυτή για λόγους μεγαλύτερης ευκρίνειας του σχηματικού, αλλά στην πράξη θα πρέπει πάντα να συνδέονται στις κατάλληλες τάσεις τροφοδοσίας ώστε το κύκλωμα να λειτουργήσει. Οι ακροδέκτες 1 και 5 χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της τάσης εκτροπής (offset voltage) του τελεστικού δηλ. της τάσης που εμφανίζει στην έξοδό του όταν και οι δύο είσοδοι είναι γειωμένες. Σε πολλές εφαρμογές οι ακροδέκτες αυτοί δεν χρησιμοποιούνται και αφήνονται ανοικτοκυκλωμένοι («στον αέρα»). Ο ακροδέκτης 8 δεν παρέχει καμία λειτουργία και δεν χρησιμοποιείται. Πρόσθετα χαρακτηριστικά του κυκλώματος θα βρείτε στα εγχειρίδια χρήσης κυκλωματικών στοιχείων στο τέλος του φυλλαδίου.

## 1.2 Σχεδίαση και προσομίωση στο PSPICE.

**1.2.1 Αναστρέφουσα συνδεσμολογία:** Σχεδιάστε στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD την αναστρέφουσα συνδεσμολογία του ενισχυτή στο Σχήμα 1.3. Χρησιμοποιήστε τη βιβλιοθήκη “**opamp.olb**” και τον τελεστικό ενισχυτή **LM741**. Επιλέξτε **R2=10KΩ**. Χρησιμοποιήστε σαν πηγή σήματος εισόδου  $u_i$  την ημιτονική πηγή VSIN. Η τροφοδοσία του τελεστικού να πραγματοποιηθεί με βάση το Σχήμα 1.4 και με τη χρήση DC πηγών τροφοδοσίας (VDC).



Σχήμα 1.3: Η αναστρέφουσα συνδεσμολογία      Σχήμα 1.4: Τροφοδοσία του κυκλώματος

Α) Δώστε την έκφραση του κέρδους κλειστού βρόχου  $A_u$  της συνδεσμολογίας και υπολογίστε την  $R_1$  έτσι ώστε να πετύχετε κέρδος α)  $-10$  και β)  $-100$ . Υπογραφή:

$A_u =$	(έκφραση-τύπος)
$A_u = -10$	$A_u = -100$
$R_{1a} =$	$R_{1b} =$

*Να τοποθετηθεί εικόνα του σχεδίου από το OrCAD*

**Εικόνα 1.1:** Σχέδιο από το OrCAD της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας





Β) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα μία σταθερή τάση 50mV (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε FREQ=1KHz, VAMPL=0 και VOFF=50mV). Αντικαταστήστε στο κύκλωμα σας τις τιμές της R1 που βρήκατε νωρίτερα και εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “**opamp.lib**”. Καταγράψτε τις DC τιμές του σήματος εξόδου  $V_o$  σε κάθε περίπτωση.

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{OFF} = 50mV$ ( $u_i = 0$ )	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
(DC τιμή) $V_o =$	(DC τιμή) $V_o =$

Γ) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1KHz και πλάτους 50mV (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή FREQ=1KHz, VAMPL=50mV και VOFF=0). Με τις ίδιες τιμές για την R1 εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Καταγράψτε τις τιμές της  $u_o$  ( $u_{o1}$  και  $u_{o2}$ ) για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές του ημιτόνου εισόδου ( $u_{i1}$  και  $u_{i2}$ ), για κάθε τιμή της R1, καθώς και τη φάση της  $u_o$  σε σχέση με τη  $u_i$ .

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{AMPL} = 50mV$ και $V_i = 0$ [ $u_i \equiv u_i = V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
$u_{i1} = 50mV \Rightarrow u_{o1} =$	$u_{i1} = 50mV \Rightarrow u_{o1} =$
$u_{i2} = -50mV \Rightarrow u_{o2} =$	$u_{i2} = -50mV \Rightarrow u_{o2} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :

Δ) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1KHz και πλάτους 50mV με DC συνιστώσα ίση με 50mV (με παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN FREQ=1KHz, VAMPL=50mV και VOFF=50mV). Με τις προηγούμενες τιμές για την R1 εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Καταγράψτε για κάθε τιμή της R1:

1. Τις τιμές της  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές του ημιτόνου εισόδου, και
2. Τη φάση της εξόδου  $u_o$  ως προς την είσοδο  $u_i$ .
3. Από τις τιμές των κορυφών που καταγράψατε, υπολογίστε το πλάτος  $V_o$  και την DC τιμή  $V_o$  του σήματος εξόδου (καταχωρήστε τους σχετικούς τύπους).

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{AMPL} = 50mV$ και $V_i \equiv V_{OFF} = 50mV$ [ $u_i = V_i + u_i = V_i + V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
$u_{i1} = 100mV \Rightarrow u_{o1} =$	$u_{i1} = 100mV \Rightarrow u_{o1} =$
$u_{i2} = 0mV \Rightarrow u_{o2} =$	$u_{i2} = 0mV \Rightarrow u_{o2} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :
(πλάτος) $V_o =$	(πλάτος) $V_o =$
(DC τιμή) $V_o =$	(DC τιμή) $V_o =$





Ε) Για τη μεγαλύτερη τιμή της  $R_1$ , εκτελέστε DC ανάλυση σαρώνοντας την είσοδο  $V_1$  από  $-12V$  έως  $+12V$  με βήμα  $10mV$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος  $V_{SIN}$  δώστε την τιμή  $DC=0$ ). Στο γραφικό περιβάλλον του PSpice παρουσιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος  $V_o=f(V_i)$ .

1. Ποια είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τάση εξόδου  $V_o$  που μπορεί να δώσει το συγκεκριμένο κύκλωμα; Συγκρίνεται αυτές τις τιμές με τις αντίστοιχες τιμές των τάσεων τροφοδοσίας του τελεστικού. Υπάρχει διαφορά και αν ναι γιατί;
2. Τοποθετήστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς (εισόδου-εξόδου) στο πλαίσιο που ακολουθεί για τάσεις της εισόδου από  $-2,5V$  έως  $2,5V$  και προσδιορίστε τη γραμμική της περιοχή.
3. Από τη γραφική παράσταση και τις ανωτέρω μετρήσεις προσδιορίστε το κέρδος τάσης του ενισχυτή (με παράθεση του σχετικού τύπου).

Υπογραφή:

<b>Εικόνα 1.2:</b> Χαρακτηριστική μεταφοράς (ή Χαρακτηριστική Εισόδου-Εξόδου)	
R1 =	
<i>Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSpice</i>	
Ελάχιστη τάση εξόδου $V_{Omin} =$	Μέγιστη τάση εξόδου $V_{Omax} =$
Σύγκριση:	
Εύρος γραμμικής περιοχής: από $(V_{11}, V_{O1}) = (\dots, \dots)$ έως $(V_{12}, V_{O2}) = (\dots, \dots)$	
Κέρδος τάσης του ενισχυτή $A_v =$	



ΣΤ) Για τη μεγαλύτερη τιμή της R1, εκτελέστε AC ανάλυση σαρώνοντας τη συχνότητα της εισόδου από τα 10Hz έως τα 10MEGHZ με βήμα 10 σημεία/δεκάδα (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή AC=1V). Στο γραφικό περιβάλλον του PSPICE παρουσιάστε τα διαγράμματα για το κέρδος του κυκλώματος (σε db) και την φάση ως προς τη συχνότητα. Τοποθετήστε τα διαγράμματα στα πλαίσια που ακολουθούν.

1. Προσδιορίστε τη συχνότητα γονάτου -3db ( $f_{(-3db)}$ );
2. Προσδιορίστε το εύρος ζώνης του κυκλώματος.
3. Ποιο το κέρδος  $A_v$  μέσα στο εύρος ζώνης; Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα της ανάλυσης για το κέρδος με το αντίστοιχο της περίπτωσης (E);
4. Ποια η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους ( $f_{(0db)}$ );
5. Ποια η κλίση της χαρακτηριστικής του κέρδους στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων;

Υπογραφή:

**Εικόνα 1.3:** Διαγράμματα για το κέρδος (σε db) και τη φάση του κυκλώματος ως προς τη συχνότητα

*Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSPICE (κέρδος)*

*Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSPICE (φάση)*

R1 =

Συχνότητα γονάτου  $f_{(-3db)}$  =

Εύρος ζώνης =

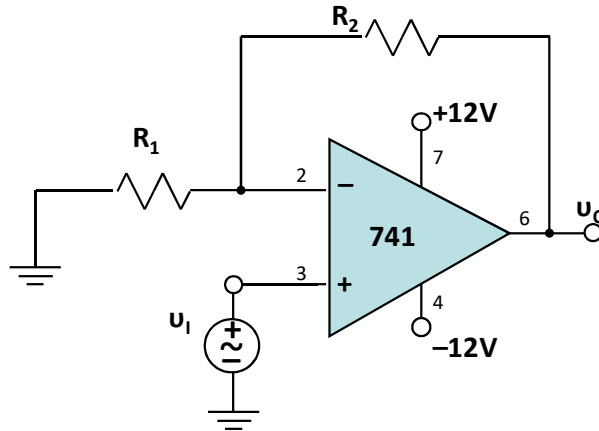
Κέρδος  $A_{v(db)}$  = εντός του εύρους ζώνης

Σύγκριση κέρδους: (% απόκλιση)

Συχνότητα μοναδιαίου κέρδους  $f_{(0db)}$  =

Κλίση χαρακτηριστικής (υψηλές συχνότητες) =

**1.2.2 Μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία:** Σχεδιάστε στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD τη μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία του ενισχυτή στο Σχήμα 1.5. Επιλέξτε  $R_2=10K\Omega$ . Χρησιμοποιήστε σαν πηγή σήματος εισόδου  $u_i$  την ημιτονική πηγή VSIN. Η τροφοδοσία του τελεστικού να πραγματοποιηθεί και πάλι με βάση το Σχήμα 1.4 και με τη χρήση DC πηγών τροφοδοσίας (VDC).



Σχήμα 1.5: Η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία

Α) Δώστε την έκφραση του κέρδους κλειστού βρόχου  $A_v$  της συνδεσμολογίας και υπολογίστε την  $R_1$  έτσι ώστε να πάρετε κέρδος α) 11 και β) 101.

Υπογραφή:

$A_v =$	(έκφραση-τύπος)
$A_v = 11$	$A_v = 101$
$R_{1a} =$	$R_{1b} =$

*Να τοποθετηθεί εικόνα του σχεδίου από το OrCAD*

Εικόνα 1.4: Σχέδιο από το OrCAD της μη αναστρέφουσας συνδεσμολογίας



Β) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα μία σταθερή τάση 50mV (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε FREQ=1KHz, VAMPL=0 και VOFF=50mV). Αντικαταστήστε στο κύκλωμα σας τις τιμές της R1 που βρήκατε νωρίτερα και εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της βιβλιοθήκης “opamp.lib”. Καταγράψτε τις DC τιμές της εξόδου  $V_o$  σε κάθε περίπτωση.

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{OFF} = 50mV$ ( $u_i = 0$ )	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
(DC τιμή) $V_o =$	(DC τιμή) $V_o =$

Γ) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1KHz και πλάτους 50mV (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή FREQ=1KHz, VAMPL=50mV και VOFF=0). Με τις ίδιες τιμές για την R1 εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Καταγράψτε τις τιμές της  $u_o$  ( $u_{o1}$  και  $u_{o2}$ ) για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές του ημιτόνου εισόδου ( $u_{i1}$  και  $u_{i2}$ ), για κάθε τιμή της R1, καθώς και τη φάση της  $u_o$  σε σχέση με τη  $u_i$ .

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{AMPL} = 50mV$ και $V_i \equiv V_{OFF} = 0$ [ $u_i \equiv u_i = V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
$u_{i1} = 50mV \Rightarrow u_{o1} =$	$u_{i1} = 50mV \Rightarrow u_{o1} =$
$u_{i2} = -50mV \Rightarrow u_{o2} =$	$u_{i2} = -50mV \Rightarrow u_{o2} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :

Δ) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1KHz και πλάτους 50mV με DC συνιστώσα ίση με 50mV (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή FREQ=1KHz, VAMPL=50mV και VOFF=50mV). Με τις προηγούμενες τιμές για την R1 εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Καταγράψτε για κάθε τιμή της R1:

1. Τις τιμές της  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές του ημιτόνου εισόδου, και
2. Τη φάση της εξόδου  $u_o$  ως προς την είσοδο  $u_i$ .
3. Από τις τιμές των κορυφών που καταγράψατε υπολογίστε το πλάτος  $V_o$  και την DC τιμή  $V_o$  του σήματος εξόδου (καταχωρήστε τους σχετικούς τύπους).

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{AMPL} = 50mV$ και $V_i \equiv V_{OFF} = 50mV$ [ $u_i = V_i + u_i = V_i + V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
R1 <sub>a</sub> =	R1 <sub>b</sub> =
$u_{i1} = 100mV \Rightarrow u_{o1} =$	$u_{i1} = 100mV \Rightarrow u_{o1} =$
$u_{i2} = 0mV \Rightarrow u_{o2} =$	$u_{i2} = 0mV \Rightarrow u_{o2} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :
(πλάτος) $V_o =$	(πλάτος) $V_o =$
(DC τιμή) $V_o =$	(DC τιμή) $V_o =$



Ε) Για τη μεγαλύτερη τιμή της  $R1$ , εκτελέστε DC ανάλυση σαρώνοντας την είσοδο  $V_1$  από  $-12V$  έως  $+12V$  με βήμα  $10mV$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος  $V_{SIN}$  δώστε την τιμή  $DC=0$ ). Στο γραφικό περιβάλλον του PSpice παρουσιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς του κυκλώματος  $V_o = f(V_1)$ .

1. Ποια είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τάση  $V_o$  που μπορεί να δώσει το συγκεκριμένο κύκλωμα; Συγκρίνεται αυτές τις τιμές με τις αντίστοιχες τιμές των τάσεων τροφοδοσίας του τελεστικού. Υπάρχει διαφορά και αν ναι γιατί;
2. Τοποθετήστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς (εισόδου-εξόδου) στο πλαίσιο που ακολουθεί για τάσεις της εισόδου από  $-2,5V$  έως  $2,5V$  και προσδιορίστε τη γραμμική της περιοχή.
3. Από τη γραφική παράσταση και τις ανωτέρω μετρήσεις προσδιορίστε το κέρδος τάσης του ενισχυτή (με παράθεση του σχετικού τύπου).

Υπογραφή:

<b>Εικόνα 1.5:</b> Χαρακτηριστική μεταφοράς (ή Χαρακτηριστική Εισόδου-Εξόδου)	
R1 =	
<i>Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSpice</i>	
Ελάχιστη τάση εξόδου $V_{Omin} =$	Μέγιστη τάση εξόδου $V_{Omax} =$
Σύγκριση:	
Εύρος γραμμικής περιοχής: από $(V_{11}, V_{O1}) = (\dots, \dots)$ έως $(V_{12}, V_{O2}) = (\dots, \dots)$	
Κέρδος τάσης $A_v =$	



ΣΤ) Για τη μεγαλύτερη τιμή της R1, εκτελέστε AC ανάλυση σαρώνοντας τη συχνότητα της εισόδου από τα 10Hz έως τα 10MEGhz με βήμα 10 σημεία/δεκάδα (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή AC=1V). Στο γραφικό περιβάλλον του PSPICE παρουσιάστε τα διαγράμματα για το κέρδος του κυκλώματος (σε db) και την φάση ως προς τη συχνότητα. Τοποθετήστε τα διαγράμματα στα πλαίσια που ακολουθούν.

1. Προσδιορίστε τη συχνότητα γονάτου -3db ( $f_{(-3db)}$ );
2. Προσδιορίστε το εύρος ζώνης του κυκλώματος.
3. Ποιο το κέρδος  $A_v$  μέσα στο εύρος ζώνης; Να συγκρίνετε το αποτέλεσμα της ανάλυσης για το κέρδος με το αντίστοιχο της περίπτωσης (E);
4. Ποια η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους ( $f_{(0db)}$ );
5. Ποια η κλίση της χαρακτηριστικής του κέρδους στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων;

Υπογραφή:

**Εικόνα 1.6:** Διαγράμματα για το κέρδος (σε db) και τη φάση του κυκλώματος ως προς τη συχνότητα

*Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSPICE (κέρδος)*

*Να τοποθετηθεί εικόνα από τα διαγράμματα των προσομοιώσεων στο PSPICE (φάση)*

R1 =

Συχνότητα γονάτου  $f_{(-3db)}$  =

Εύρος ζώνης =

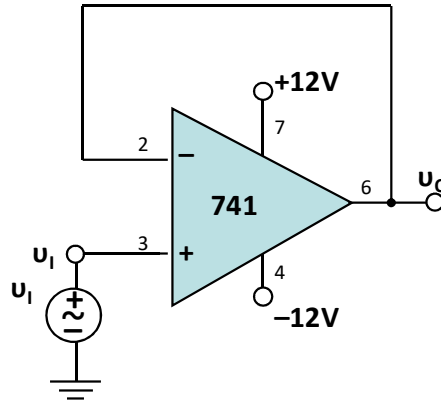
Κέρδος  $A_{v(db)}$  = εντός του εύρους ζώνης

Σύγκριση κέρδους: (% απόκλιση)

Συχνότητα μοναδιαίου κέρδους  $f_{(0db)}$  =

Κλίση χαρακτηριστικής (υψηλές συχνότητες) =

**1.2.3 Ακόλουθος τάσης:** Σχεδιάστε την συνδεσμολογία του ακόλουθου τάσης του Σχήματος 1.6 στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD. Χρησιμοποιήστε σαν πηγή σήματος εισόδου  $u_i$  την ημιτονική πηγή VSIN. Η τροφοδοσία του τελεστικού να πραγματοποιηθεί και πάλι με βάση το Σχήμα 1.4 και με τη χρήση DC πηγών τροφοδοσίας (VDC).



Σχήμα 1.6: Ο ακόλουθος τάσης

A) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα μία σταθερή τάση 5V (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε  $V_{AMPL}=0V$  και  $V_{OFF}=5V$ ). Εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “**opamp.lib**”. Καταγράψτε την τιμή της τάσης  $V_o$  στην έξοδο.

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{OFF} = 5V \ (u_i = 0)$	$\Rightarrow V_o =$
---------------------------------------	---------------------

B) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα συχνότητας 1KHz και πλάτους 2V με DC συνιστώσα ίση με 5V (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή  $FREQ=1KHz$ ,  $V_{AMPL}=2V$  και  $V_{OFF}=5V$ ). Εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 2ms – βήμα 1μs). Καταγράψτε τις τιμές της  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές του ημιτόνου εισόδου καθώς και τη φάση της  $u_o$  σε σχέση με τη  $u_i$ . Από τις τιμές των κορυφών που καταγράψατε, υπολογίστε την DC τιμή  $V_o$  του σήματος εξόδου (δείξτε το σχετικό τύπο);

Υπογραφή:

$V_i \equiv V_{AMPL} = 2V$ και $V_i \equiv V_{OFF} = 5V \ [ u_i = V_i + u_i = V_i + V_i \times \sin(\omega t) ]$	
$u_{i1} = 7V$	$\Rightarrow u_{o1} =$
$u_{i2} = 3V$	$\Rightarrow u_{o2} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	
(DC τιμή) $V_o =$	



Γ) Εκτελέστε DC ανάλυση σαρώνοντας την είσοδο  $V_i$  από τα  $-12V$  έως τα  $+12V$  με βήμα  $10mV$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος  $VSIN$  δώστε την τιμή  $DC=0$ ). Στο γραφικό περιβάλλον του PSpice παρουσιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς (εισόδου-εξόδου) του κυκλώματος  $V_o = f(V_i)$ .

1. Ποια είναι η μέγιστη και η ελάχιστη τάση εξόδου  $V_o$  που μπορεί να δώσει το συγκεκριμένο κύκλωμα και για ποιες τιμές του σήματος εισόδου;
2. Προσδιορίστε τη γραμμική περιοχή της χαρακτηριστικής.
3. Από τη γραφική παράσταση και τις ανωτέρω μετρήσεις προσδιορίστε το κέρδος τάσης του κυκλώματος (με παράθεση του σχετικού τύπου).
4. Ποια η τιμή της εξόδου  $V_o$  για τιμή της εισόδου  $V_i=5V$ ;

Υπογραφή:

Ελάχιστη τάση εξόδου $V_{Omin} =$	Μέγιστη τάση εξόδου $V_{Omax} =$
Εύρος γραμμικής περιοχής: από $(V_{i1}, V_{o1}) = (\dots\dots\dots, \dots\dots\dots)$ έως $(V_{i2}, V_{o2}) = (\dots\dots\dots, \dots\dots\dots)$	
Κέρδος τάσης $A_v =$	
$V_i = 5V$	$\Rightarrow V_o =$

Δ) Εκτελέστε AC ανάλυση σαρώνοντας τη συχνότητα της εισόδου από τα  $10Hz$  έως τα  $10MEGHZ$  με βήμα  $10$  σημεία/δεκάδα (στις παραμέτρους της πηγής σήματος  $VSIN$  δώστε την τιμή  $AC=1$ ). Στο γραφικό περιβάλλον του PSpice παρουσιάστε τα διαγράμματα για το κέρδος του κυκλώματος (σε db) και την φάση ως προς τη συχνότητα.

1. Προσδιορίστε τη συχνότητα γονάτου  $-3db$  ( $f_{(-3db)}$ );
2. Προσδιορίστε το εύρος ζώνης του κυκλώματος.
3. Ποιο το κέρδος  $A_v$  μέσα στο εύρος ζώνης;
4. Ποια η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους ( $f_{(0db)}$ );
5. Ποια η κλίση της χαρακτηριστικής του κέρδους στην περιοχή των υψηλών συχνοτήτων;

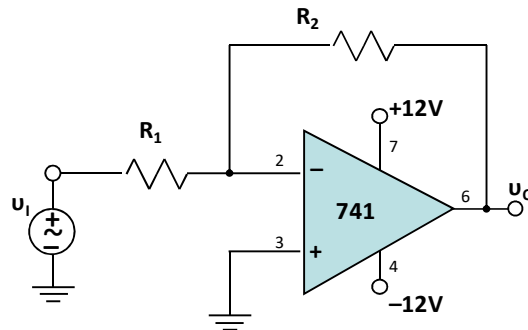
Υπογραφή:

Συχνότητα γονάτου $f_{(-3db)} =$	Εύρος ζώνης =
Κέρδος $A_{v(db)} =$	εντός του εύρους ζώνης
Συχνότητα μοναδιαίου κέρδους $f_{(0db)} =$	
Κλίση χαρακτηριστικής (υψηλές συχνότητες) =	

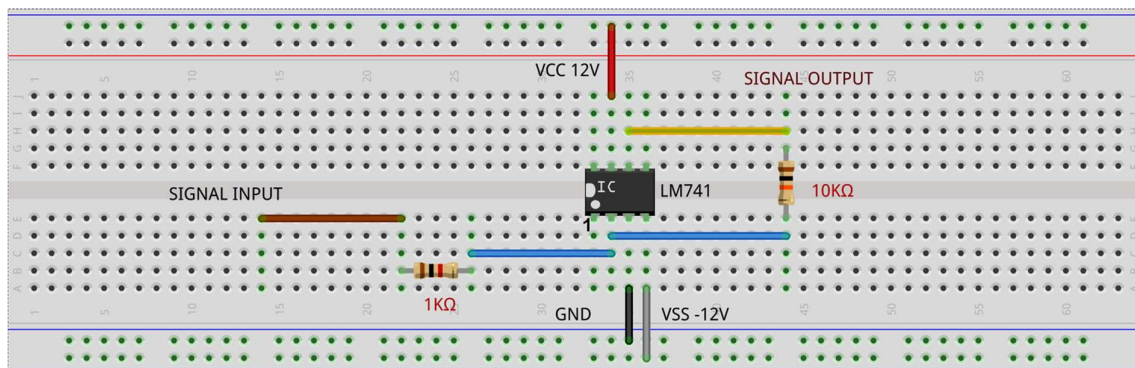


### 1.3 Υλοποίηση στο εργαστήριο.

**1.3.1 Αναστρέφουσα συνδεσμολογία:** Υλοποιήστε την αναστρέφουσα συνδεσμολογία του ενισχυτή του Σχήματος 1.7 στο breadboard του εργαστηρίου (βλ. Σχήμα 1.8). Χρησιμοποιήστε αντιστάσεις με τιμές  $R_1=1K\Omega$  και  $R_2=10K\Omega$ . Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήστε DC τροφοδοσίες των +12V και -12V για την τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή (βλ. Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.7: Η αναστρέφουσα συνδεσμολογία



Σχήμα 1.8: Υλοποίηση στο breadboard της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας

A) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα, από τη γεννήτρια συχνοτήτων, συχνότητας 1KHz και πλάτους 500mV (DC συνιστώσα ίση με 0). Καταγράψτε:

1. Τις τιμές της εξόδου  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές (άνω/κάτω) του ημιτόνου εισόδου, και
2. Τη φάση του σήματος της εξόδου  $u_o$  σε σχέση με το σήμα της εισόδου  $u_i$ .
3. Με βάση τις ανωτέρω μετρήσεις, υπολογίστε:
  - α) το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου της συνδεσμολογίας, παραθέτοντας τον τύπο υπολογισμού, και
  - β) συγκρίνετέ το με το θεωρητικά αναμενόμενο της ενότητας 2.1.A.



$V_i = 500\text{mV}$ και $V_I = 0$ [ $u_i \equiv u_i = V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
$U_{O(\text{άνω κορυφή})} =$	$U_{O(\text{κάτω κορυφή})} =$
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	
Κέρδος τάσης κλειστού βρόχου $A_u =$ <span style="float: right;">(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)</span>	

Β) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα, από τη γεννήτρια συχνοτήτων, συχνότητας 1KHz και πλάτους 500mV με DC συνιστώσα ίση με 500mV. Καταγράψτε:

- τις τιμές της εξόδου  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές (άνω/κάτω) του ημιτόνου εισόδου, και
- τη φάση του σήματος της εξόδου  $u_o$  σε σχέση με το σήμα της εισόδου  $u_i$ .

Με βάση τις μετρήσεις, υπολογίστε (παραθέτοντας τους τύπους υπολογισμού):

- το πλάτος  $V_o$  και την DC τιμή  $V_o$  του σήματος εξόδου, και
- το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου της συνδεσμολογίας.

Υπογραφή:

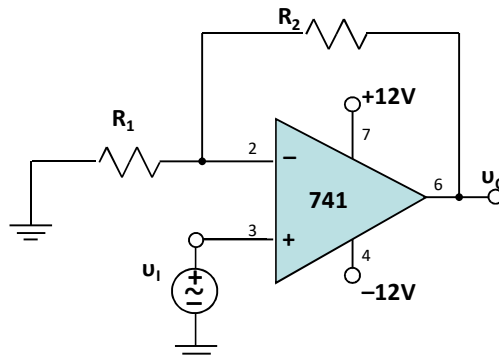
$V_i = 500\text{mV}$ και $V_I = 500\text{mV}$ [ $u_i = V_I + u_i = V_I + V_i \times \sin(\omega t)$ ]		
$U_{O(\text{άνω κορυφή})} =$	$U_{O(\text{κάτω κορυφή})} =$	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :
(πλάτος) $V_o =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)
(DC) $V_o =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)
Κέρδος τάσης κλειστού βρόχου $A_u =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)

Γ) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα, από τη γεννήτρια συχνοτήτων, συχνότητας 1MHz και πλάτους 500mV (DC συνιστώσα ίση με 0). Καταγράψτε:

- Τις τιμές της εξόδου  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές (άνω/κάτω) του ημιτόνου εισόδου.
- Με βάση τις ανωτέρω μετρήσεις, υπολογίστε:
  - το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου της συνδεσμολογίας, παραθέτοντας τον τύπο υπολογισμού, και
  - συγκρίνετέ το με κέρδος της περίπτωσης 1.3.1.A. Αιτιολογήστε τη διαφορά.

$V_i = 500\text{mV}$ και $V_I = 0\text{V}$ [ $u_i = V_I + u_i = V_i \times \sin(\omega t)$ ]	$f = 1\text{MHz}$
$U_{O(\text{άνω κορυφή})} =$	$U_{O(\text{κάτω κορυφή})} =$
Κέρδος τάσης κλειστού βρόχου $A_u =$ <span style="float: right;">(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)</span>	
Σύγκριση – Αιτιολόγηση:	

**1.3.2 Μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία:** Υλοποιήστε τη μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία του Σχήματος 1.9 στο breadboard του εργαστηρίου. Χρησιμοποιήστε αντιστάσεις με τιμές  $R_1=1K\Omega$  και  $R_2=10K\Omega$ . Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήστε DC τροφοδοσίες των +12V και -12V για την τροφοδοσία του τελεστικού ενισχυτή (βλ. Σχήμα 1.4).



Σχήμα 1.9: Η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία

A) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα, από τη γεννήτρια συχνοτήτων, συχνότητας 1KHz και πλάτους 500mV (DC συνιστώσα ίση με 0). Καταγράψτε:

1. Τις τιμές της εξόδου  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές (άνω/κάτω) του ημιτόνου εισόδου, και
2. Τη φάση του σήματος της εξόδου  $u_o$  σε σχέση με το σήμα της εισόδου  $u_i$ .
3. Με βάση τις ανωτέρω μετρήσεις, υπολογίστε:
  - α) το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου της συνδεσμολογίας, παραθέτοντας τον τύπο υπολογισμού, και
  - β) συγκρίνετέ το με το θεωρητικά αναμενόμενο της ενότητας 2.2.A.

Υπογραφή:

$V_i = 500mV$ και $V_l = 0$ [ $u_i \equiv u_i = V_i \times \sin(\omega t)$ ]	
$U_o$ (άνω κορυφή) =	$U_o$ (κάτω κορυφή) =
Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :	
Κέρδος τάσης κλειστού βρόχου $A_v =$ <span style="float: right;">(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)</span>	

B) Χρησιμοποιήστε για είσοδο στο κύκλωμα ημιτονοειδές σήμα, από τη γεννήτρια συχνοτήτων, συχνότητας 1KHz και πλάτους 500mV με DC συνιστώσα ίση με 500mV. Καταγράψτε:

1. τις τιμές της εξόδου  $u_o$  για τις τιμές της  $u_i$  στις δύο κορυφές (άνω/κάτω) του ημιτόνου εισόδου, και
  2. τη φάση του σήματος της εξόδου  $u_o$  σε σχέση με το σήμα της εισόδου  $u_i$ .
- Με βάση τις μετρήσεις, υπολογίστε (παραθέτοντας τους αντίστοιχους τύπους υπολογισμού):
3. το πλάτος  $V_o$  και την DC τιμή  $V_o$  του σήματος εξόδου, και
  4. το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου της συνδεσμολογίας.



Υπογραφή:

$V_i = 500\text{mV}$ και $V_l = 500\text{mV}$ [ $u_i = V_l + u_i = V_l + V_i \times \sin(\omega t)$ ]		
$U_{O(\text{άνω κορυφή})} =$	$U_{O(\text{κάτω κορυφή})} =$	Φάση $u_o$ ως προς $u_i$ :
(πλάτος) $V_o =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)
(DC) $V_o =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)
Κέρδος τάσης κλειστού βρόχου $A_v =$		(παραθέστε τον τύπο υπολογισμού)

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ II Η ΔΙΟΔΟΣ

#### 2.1 Δίοδοι επαφής

**2.1.1 Εισαγωγή:** Αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η επαφή με το κυκλωματικό στοιχείο της **διόδου** και ο πειραματισμός με τα κυκλώματα που κάνουν χρήση της στην υλοποίηση διαφόρων λειτουργιών. Σε αυτή την άσκηση ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με τις έννοιες της ανόρθωσης και του ψαλιδισμού.

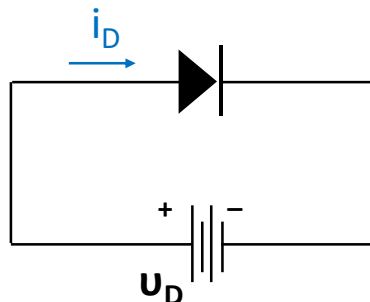
Η δίοδος είναι το απλούστερο και το πιο θεμελιώδες μη γραμμικό κυκλωματικό στοιχείο. Τη δομή της συνθέτουν μια επαφή p-n και κατάλληλοι μεταλλικοί ακροδέκτες. Στο Σχήμα 2.1 δίδεται η δομή και το κυκλωματικό σύμβολο της διόδου και οι συνδεσμολογίες ορθής και ανάστροφης πόλωσης. Στην ορθή πόλωση ένα μεγάλο ρεύμα  $I_D$  διαρρέει τη δίοδο η τιμή του οποίου δίδεται από το νόμο επαφής, ενώ στην ανάστροφη πόλωση η δίοδος διαρρέεται από ένα πολύ μικρό ρεύμα κόρου  $I_S$ , το οποίο σε πολλές εφαρμογές μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο. Υπό αυτό το πρίσμα η δίοδος μπορεί να ιδωθεί ως μία βαλβίδα ρεύματος με ροή μονής φοράς.

$$i_D = I_S \left( e^{\frac{u_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

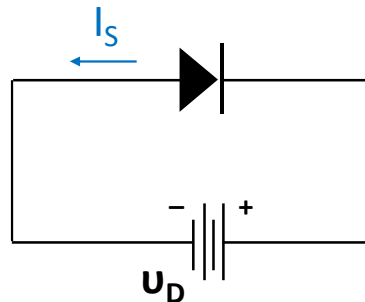
Νόμος Επαφής p-n



(α)



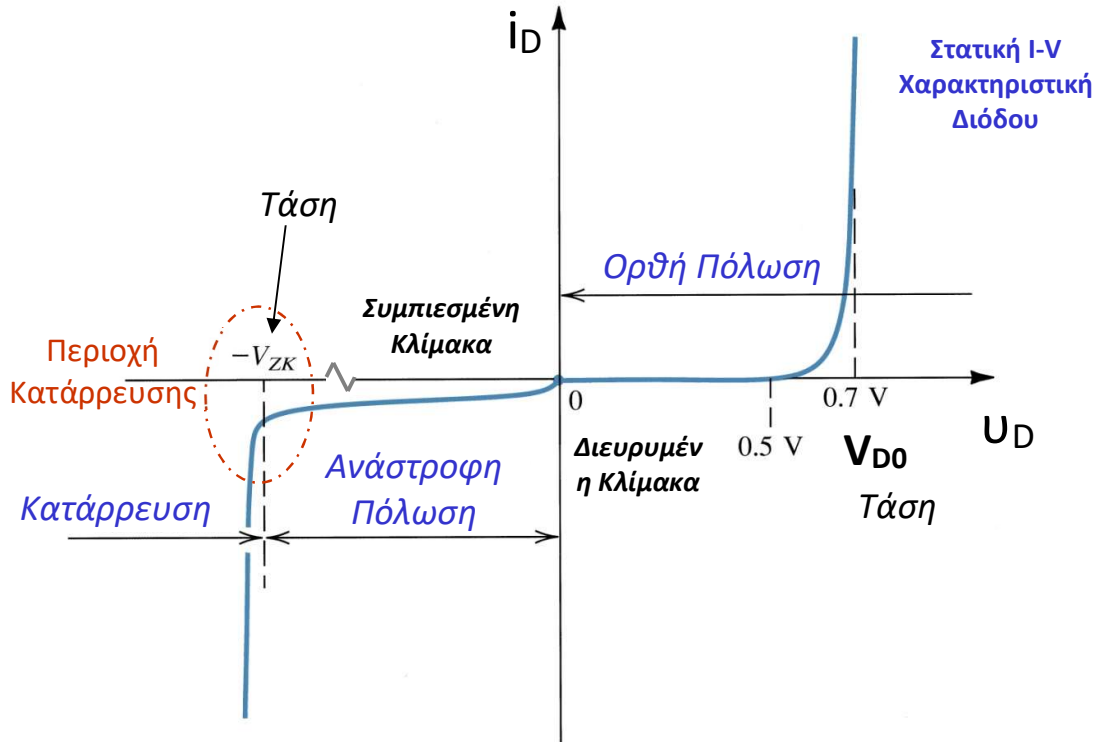
(β)



(γ)

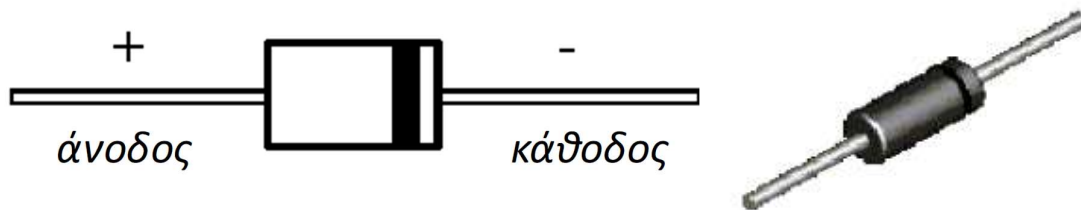
Σχήμα 2.1: α) Κυκλωματικό σύμβολο διόδου, β) ορθή πόλωση και γ) ανάστροφη πόλωση

Ο θετικός ακροδέκτης της διόδου ονομάζεται άνοδος και ο αρνητικός κάθοδος. Στο Σχήμα 2.2 δίδεται η χαρακτηριστική καμπύλη ρεύματος-τάσης της διόδου (στατική χαρακτηριστική διόδου). Διακρίνονται οι περιοχές ορθής ( $V_D > 0$ ) και ανάστροφης ( $V_D < 0$ ) πόλωσης καθώς και η περιοχή κατάρρευσης ( $V_D < -V_Z$ ). Επίσης στο σχήμα διακρίνεται η τάση αποκοπής  $V_{D0}$  της διόδου για την οποία η δίοδος “παύει” να άγει όταν ( $V_D < V_{D0}$ ) στην ορθή πόλωση.



Σχήμα 2.2: Στατική χαρακτηριστική διόδου

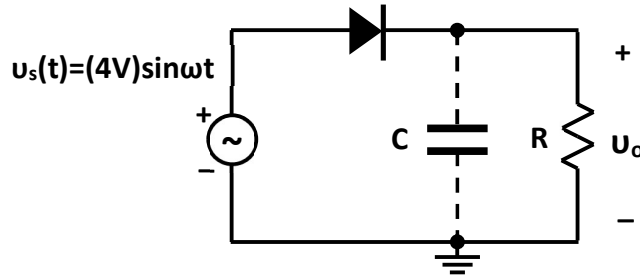
**2.1.2 Η δίοδος D1N4148:** Στο Σχήμα 2.3 δίδεται η εικόνα της διόδου D1N4148 που θα χρησιμοποιηθεί στην άσκηση. Η πλευρά της καθόδου της διόδου σημειώνεται με τη χαρακτηριστική μαύρη λωρίδα. Πρόσθετα χαρακτηριστικά της διόδου θα βρείτε στα εγχειρίδια χρήσης κυκλωματικών στοιχείων στο τέλος του φυλλαδίου.



Σχήμα 2.3: Η δίοδος D1N4148

## 2.2 Σχεδίαση και προσομοίωση στο PSPICE.

**2.2.1 Ανορθωτής Ημίσεως Κύματος (χωρίς ή με φίλτρο πυκνωτή):** Σχεδιάστε στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD τη συνδεσμολογία του ανορθωτή ημίσεως κύματος του Σχήματος 2.4, **χωρίς αρχικά τη χρήση του πυκνωτή C**. Χρησιμοποιήστε αντίσταση  $R=10K\Omega$  και πηγή ημιτονικού σήματος  $u_s$  μεγέθους  $8V_{p-p}$  και συχνότητας  $1KHz$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε  $FREQ=1KHz$ ,  $VAMPL=4V$  και  $VOFF=0V$ ). Το σύμβολο της διόδου **D1N4148** υπάρχει στην βιβλιοθήκη “diode.olb”.



Σχήμα 2.4: Ανορθωτής ημίσεως κύματος

*Να τοποθετηθεί εικόνα του σχεδίου από το OrCAD*

**Εικόνα 2.1:** Σχέδιο από το OrCAD του ανορθωτή ημίσεως κύματος με φίλτρο πυκνωτή





A) Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 4ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “**diode.lib**”.

Απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $v_s$  και του σήματος εξόδου  $v_o$ .

1. Μετρήστε το χρόνο  $\Delta t_{\text{αγ}}$ , που άγει η διόδος.
2. Μετρήστε το πλάτος  $V_o$  του σήματος στην έξοδο.
3. Με βάση τις μετρήσεις, εκτιμήστε την τάση αποκοπής  $V_{D0}$  της διόδου (παραθέστε τύπο).

Υπογραφή:

$\Delta t_{\text{αγ}} =$	
$V_o =$	$V_{D0} =$

*Να τοποθετηθεί εικόνα των κυματομορφών ανορθωτή χωρίς φίλτρο πυκνωτή*

**Εικόνα 2.2:** Κυματομορφές ανορθωτή ημίσεως κύματος χωρίς φίλτρο πυκνωτή

B) Τοποθετήστε πυκνωτή C παράλληλα με την αντίσταση R όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Εκτελέστε “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” όπως νωρίτερα με τιμές αρχικά  $C=100\text{nF}$  και ακολούθως  $C=300\text{nF}$ . Απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $v_s$  και του σήματος εξόδου  $v_o$  σε κάθε περίπτωση καθώς και των ρευμάτων που διαρρέουν τη διόδο  $I(D)$  και την αντίσταση  $I(R)$ .

1. Ποια η τάση κυματισμού  $V_r$  του κυκλώματος;
2. Ποιος ο χρόνος αγωγής  $\Delta t_{\text{αγ}}$  της διόδου;



Υπογραφή:

$C = 100\text{nF}$	$C = 300\text{nF}$
$V_r =$	$V_r =$
$\Delta t_{\text{αγ.}} =$	$\Delta t_{\text{αγ.}} =$

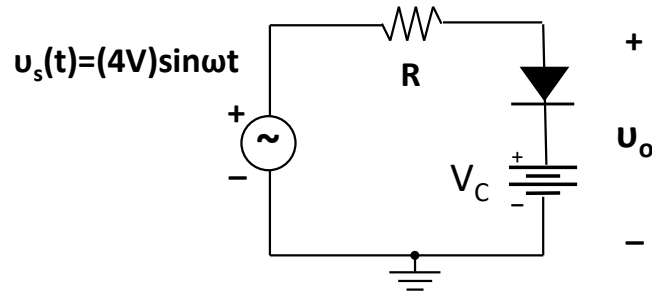
Να τοποθετηθεί εικόνα των κυματομορφών **τάσης** του ανορθωτή με φίλτρο πυκνωτή

**Εικόνα 2.3:** Κυματομορφές **τάσης** ανορθωτή ημίσεως κύματος με φίλτρο πυκνωτή

Να τοποθετηθεί εικόνα των κυματομορφών **ρεύματος** του ανορθωτή με φίλτρο πυκνωτή

**Εικόνα 2.4:** Κυματομορφές **ρεύματος** ανορθωτή ημίσεως κύματος με φίλτρο πυκνωτή

**2.2.2 Ψαλιδιστής (clipper) ή περιοριστής (limiter) άνω κορυφής:** Σχεδιάστε στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD τη συνδεσμολογία του ψαλιδιστή του Σχήματος 2.5. Χρησιμοποιήστε αντίσταση  $R=10K\Omega$ , πηγή DC τάσης  $V_C=1V$  και πηγή ημιτονικού σήματος  $u_s$  μεγέθους  $8V_{p-p}$  και συχνότητας  $1KHz$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε  $FREQ=1KHz$ ,  $VAMPL=4V$  και  $VOFF=0V$ ). Το σύμβολο της διόδου **D1N4148** υπάρχει στην βιβλιοθήκη "diode.olb".



Σχήμα 2.5: Ψαλιδιστής άνω κορυφής

*Να τοποθετηθεί εικόνα του σχεδίου από το OrCAD*

**Εικόνα 2.5:** Σχέδιο από το OrCAD του ψαλιδιστή άνω κορυφής



Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 4ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “diode.lib” ή “ediode.lib”.

Απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ .

1. Μετρήστε τη μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου  $u_{Omax}$ .
2. Η μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου  $u_{Omax}$  είναι μεγαλύτερη από 1V; Εξηγήστε γιατί.
3. Επαναλάβετε τη μέτρηση της  $u_{Omax}$  για  $V_C=3V$ .
4. Η διαφορά παραμένει σταθερή στις δύο περιπτώσεις; Σχολιάστε την παρατήρησή σας.

Υπογραφή:

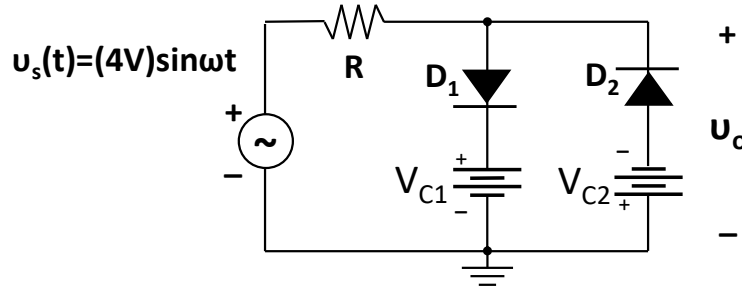
V <sub>C</sub> =1V	
U <sub>Omax</sub> =	U <sub>Omax</sub> > V <sub>C</sub> ; Ναι <input type="checkbox"/> Όχι <input type="checkbox"/>
Επεξήγηση:	
V <sub>C</sub> =3V	
U <sub>Omax</sub> =	U <sub>Omax</sub> – V <sub>C</sub> σταθερή; Ναι <input type="checkbox"/> Όχι <input type="checkbox"/>
Σχολιασμός:	

*Να τοποθετηθεί εικόνα των κυματομορφών ψαλιδιστή άνω κορυφής*

**Εικόνα 2.6:** Κυματομορφές ψαλιδιστή άνω κορυφής



**2.2.3 Ψαλιδιστής διπλής κορυφής:** Σχεδιάστε στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD τη συνδεσμολογία του ψαλιδιστή του Σχήματος 2.6. Χρησιμοποιήστε αντίσταση  $R=10K\Omega$ , πηγές DC τάσης  $V_{C1}=V_{C2}=1V$  και πηγή ημιτονικού σήματος  $u_s$  μεγέθους  $8V_{p-p}$  και συχνότητας  $1KHz$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε  $FREQ=1KHz$ ,  $VAMPL=4V$  και  $VOFF=0V$ ). Το σύμβολο της διόδου **D1N4148** υπάρχει στην βιβλιοθήκη “diode.olb”.



**Σχήμα 2.6:** Ψαλιδιστής διπλής κορυφής

Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας “ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis” (χρόνος εκτέλεσης 4ms – βήμα 1μs). Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “diode.lib” ή “ediode.lib”.

Απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ .

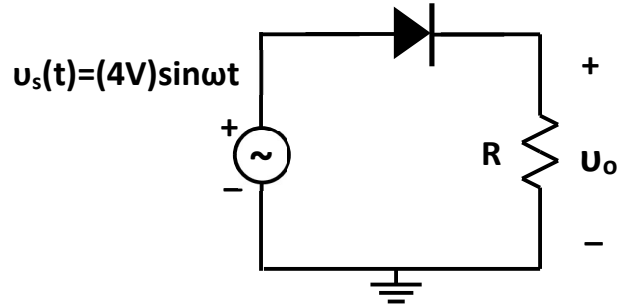
1. Μετρήστε τη μέγιστη τιμή  $u_{Omax}$  και την ελάχιστη τιμή  $u_{Omin}$  της τάσης εξόδου  $u_o$ .
2. Για ποιες τιμές του σήματος εισόδου  $u_s$  και οι δύο διόδοι είναι σε ανάστροφη πόλωση; Εξηγήστε γιατί.
3. Ποιες πρέπει να είναι οι τιμές των  $V_{C1}$  και  $V_{C2}$  ώστε η τάση εξόδου να κυμαίνεται μεταξύ  $-2V$  και  $+2V$ ; Εξηγήστε γιατί.

Υπογραφή:

$u_{Omax} =$	$u_{Omin} =$
Εύρος τιμών $u_s$ ώστε $D_1$ και $D_2$ σε ανάστροφη πόλωση: (....., .....	
Επεξήγηση:	
$u_o \in [-2V, 2V]$	$V_{C1} =$
	$V_{C2} =$
Επεξήγηση:	

## 2.3 Υλοποίηση στο εργαστήριο.

**2.3.1 Ανορθωτής Ημίσεως Κύματος:** Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του ανορθωτή ημίσεως κύματος του Σχήματος 2.7 στο breadboard του εργαστηρίου. Χρησιμοποιήστε πηγή ημιτονικού σήματος πλάτους 4V (8V από κορυφή σε κορυφή (peak-to-peak) -  $8V_{p-p}$ ) και συχνότητας 1KHz. Η αντίσταση θα είναι  $R=10K\Omega$ .



Σχήμα 2.7: Ανορθωτής ημίσεως κύματος

Στον παλμογράφο απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ . Σχεδιάστε τις κυματομορφές στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί, ύστερα από βαθμονόμηση των αξόνων.

1. Μετρήστε τη μέγιστη τιμή  $V_o$  του σήματος στην έξοδο και
2. Υπολογίστε την τάση αποκοπής  $V_{D0}$  της διόδου (παραθέστε τύπο).

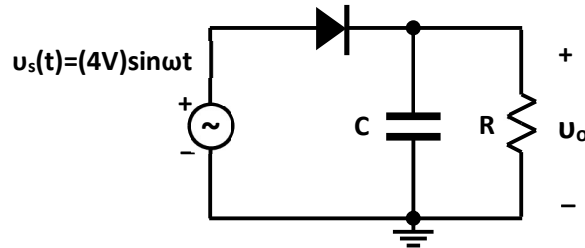
Υπογραφή:

t															
$u_s$															
$u_o$															

V															
	$V_o =$														
$V_{D0} =$															

Υπογραφή:

**2.3.2 Ανορθωτής με Φίλτρο Πυκνωτή:** Υλοποιήστε στο breadboard του εργαστηρίου την συνδεσμολογία του ανορθωτή ημίσεως κύματος με φίλτρο πυκνωτή του Σχήματος 2.8. Χρησιμοποιήστε πηγή ημιτονικού σήματος πλάτους 4V (8V<sub>p-p</sub>) και συχνότητας 1KHz, αντίσταση R=10KΩ και πυκνωτή με τιμή C=300nF.



Σχήμα 2.8: Ανορθωτής με φίλτρο πυκνωτή

Στον παλμογράφο απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ . Καταγράψτε τις τιμές των  $u_s$  και  $u_o$  σε μια περίοδο για τουλάχιστον δώδεκα κατάλληλες χρονικές στιγμές. Με βάση αυτές τις μετρήσεις σχεδιάστε τις κυματομορφές στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί.

1. Μετρήστε το διάστημα αγωγής της διόδου  $\Delta t_{αγ}$ .
2. Μετρήστε την τάση κυματισμού  $V_r$  του σήματος στην έξοδο.
3. Επαναλάβετε τις μετρήσεις των  $\Delta t$  και  $V_r$  για χωρητικότητα C=100nF.

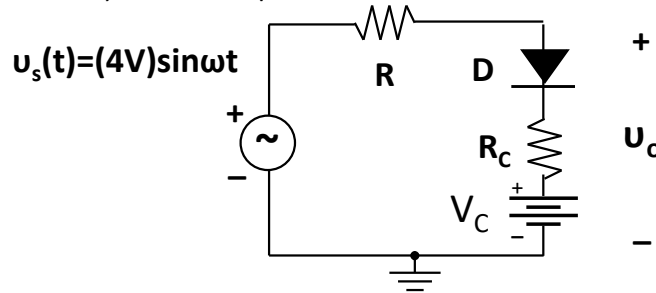
Υπογραφή:

C=300nF												
t												
u <sub>s</sub>												
u <sub>o</sub>												
V												
	t											
Δt <sub>αγ</sub> =						V <sub>r</sub> =						
C=100nF												
Δt <sub>αγ</sub> =						V <sub>r</sub> =						

Υπογραφή:



**2.3.3 Ψαλιδιστής Άνω Κορυφής:** Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του ψαλιδιστή άνω κορυφής του Σχήματος 2.9 στο breadboard του εργαστηρίου. Χρησιμοποιήστε πηγή ημιτονικού σήματος πλάτους 4V ( $8V_{p-p}$ ) και συχνότητας 1KHz. Χρησιμοποιήστε αντιστάσεις  $R=10K\Omega$  και  $R_C=100\Omega$  καθώς και DC τάση  $V_C=1V$ .



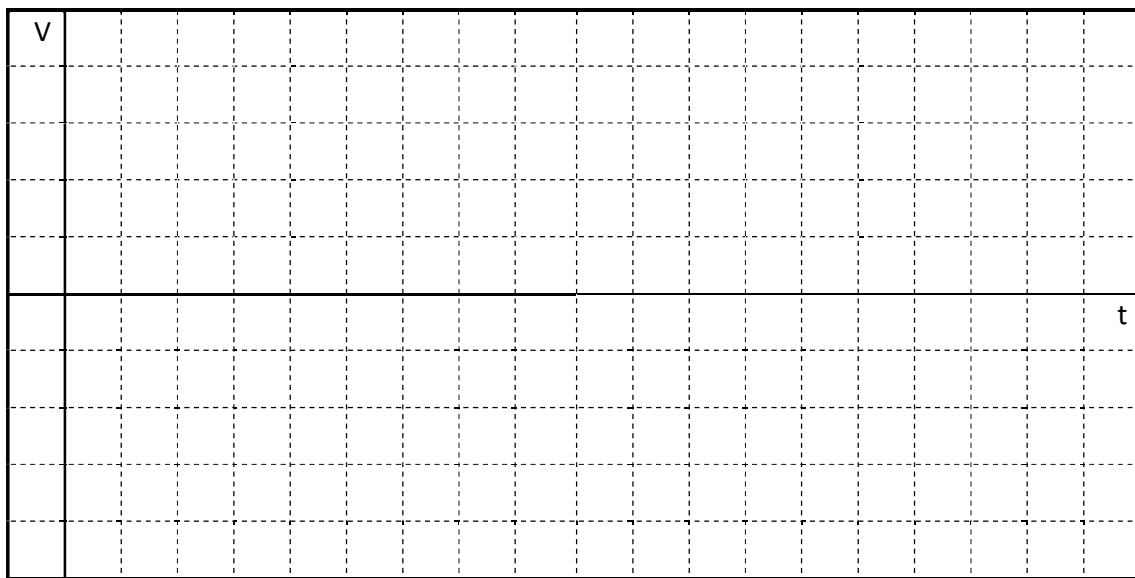
Σχήμα 2.9: Ψαλιδιστής άνω κορυφής

Στον παλμογράφο απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ . Καταγράψτε τις τιμές των  $u_s$  και  $u_o$  σε μια περίοδο του σήματος για τουλάχιστον δώδεκα κατάλληλες χρονικές στιγμές. Με βάση αυτές τις μετρήσεις σχεδιάστε τις κυματομορφές στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί.

1. Μετρήστε τη μέγιστη τιμή της τάσης εξόδου  $u_{o_{max}}$ .
2. Αφαιρέστε από την  $u_{o_{max}}$  την DC τιμή  $V_C$  και σχολιάστε το αποτέλεσμα σε σχέση και με την τιμή της τάσης αποκοπής  $V_{D0}$  της διόδου στο βιβλίο του κατασκευαστή (βλ. παράρτημα).

Υπογραφή:

t																	
$u_s$																	
$u_o$																	

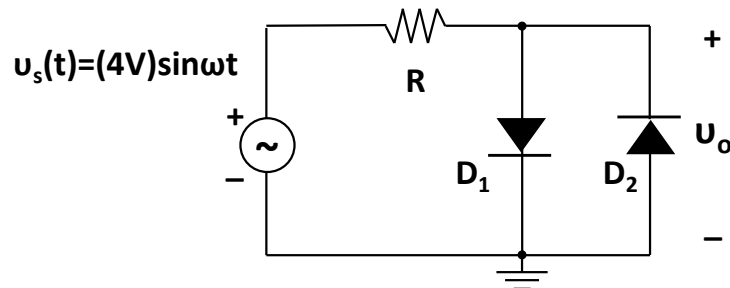


$u_{o_{max}} =$

Σχόλιο:

Υπογραφή:

**2.3.4 Ψαλιδιστής Διπλής Κορυφής:** Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του ψαλιδιστή διπλής κορυφής του Σχήματος 2.10 στο breadboard του εργαστηρίου. Χρησιμοποιήστε πηγή ημιτονικού σήματος πλάτους 4V ( $8V_{p-p}$ ) και συχνότητας 1KHz. Η αντίσταση θα είναι  $R=10K\Omega$ .



Σχήμα 2.10: Ψαλιδιστής διπλής κορυφής

Στον παλμογράφο απεικονίστε της κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_s$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ . Μετρήστε τη μέγιστη τιμή και την ελάχιστη τιμή της τάσης εξόδου.

Υπογραφή:

$V_{o\max} =$	$V_{o\min} =$
---------------	---------------

Τα προηγούμενα όρια αλλάζουν με την αύξηση του πλάτους του σήματος εισόδου; Σχολιάστε γιατί.

Υπογραφή:

Ναι: <input type="checkbox"/>	Όχι: <input type="checkbox"/>
Σχόλιο:	

Ποιο είναι το μέγιστο πλάτος του σήματος εισόδου για το οποίο η έξοδος δεν παραμορφώνεται (δηλ. δεν ψαλιδίζεται);

Υπογραφή:

$V_{i\max} =$
---------------

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ ΙΙΙ ΤΟ MOS ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ

#### 3.1 MOS Τρανζίστορ

**3.1.1 Εισαγωγή:** Αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η γνωριμία με το **MOS τρανζίστορ** και η αναπαραγωγή των σχετικών χαρακτηριστικών ρεύματος-τάσης.

Το MOS τρανζίστορ είναι ένα κυκλωματικό στοιχείο τριών βασικών ακροδεκτών που δομείτε από δύο περιοχές διάχυσης (υποδοχή-απαγωγός και πηγή) τύπου p(n) σε υπόστρωμα Si τύπου n(p). Στην επιφάνεια του ημιαγωγού, μεταξύ των δύο περιοχών διάχυσης, υπάρχει ηλεκτρόδιο (πύλη) το οποίο μονώνεται από το υπόστρωμα με μονωτή και το οποίο ελέγχει τη δημιουργία καναλιού μεταξύ υποδοχής και πηγής. Το τρανζίστορ με διάχυση (και συνεπώς κανάλι) τύπου p ονομάζεται pMOS ενώ αυτό με διάχυση (κανάλι) τύπου n ονομάζεται nMOS. Τα κυκλωματικά σύμβολα των δύο τύπων του MOS τρανζίστορ δίδονται στο Σχήμα 3.1, όπου σημειώνονται και τα ονόματα των τριών ακροδεκτών: πύλη-gate (G), υποδοχή-απαγωγός-drain (D) και πηγή-source (S). Στο MOS τρανζίστορ υπάρχει και ένας τέταρτος ακροδέκτης για το υπόστρωμα-bulk (B). Ο ακροδέκτης του υποστρώματος φέρει βέλος η φορά του οποίου προσδιορίζει και τον τύπο του τρανζίστορ.



Σχήμα 3.1: Κυκλωματικό σύμβολο α) pMOS τρανζίστορ και β) nMOS τρανζίστορ

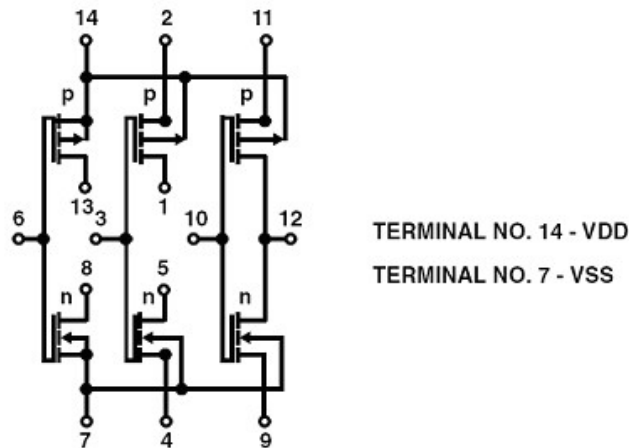
Υπάρχουν τρεις περιοχές λειτουργίας του MOS τρανζίστορ, η περιοχή του κόρου, η γραμμική ή τριόδος περιοχή, και η περιοχή της αποκοπής.

α) **Περιοχή Κόρου:** Για να λειτουργεί το τρανζίστορ στην περιοχή του κόρου θα πρέπει να ισχύει  $|V_{GS}-V_t|>0$  και  $|V_{DS}|\geq|V_{GS}-V_t|$  (όπου  $V_t$  η τάση κατωφλίου του τρανζίστορ). Σε αυτή την περίπτωση το ρεύμα στην υποδοχή δίδεται από τη σχέση  $I_D=k(V_{GS}-V_t)^2$ , όπου  $K$  ο συντελεστής απολαβής ρεύματος του τρανζίστορ. Η περιοχή του κόρου είναι εκείνη που χρησιμοποιείται κατά την λειτουργία του τρανζίστορ σε ενισχυτικές διατάξεις.

β) **Γραμμική-Τριόδος Περιοχή:** Το τρανζίστορ λειτουργεί στην τριόδο περιοχή όταν:  $|V_{GS}-V_t|>0$  και  $|V_{DS}|<|V_{GS}-V_t|$ . Σε αυτή την περιοχή  $I_D=k[2(V_{GS}-V_t)V_{DS}-V_{DS}^2]$ .

γ) **Περιοχή Αποκοπής:** Το τρανζίστορ βρίσκεται στην περιοχή της αποκοπής όταν  $|V_{GS}|\leq|V_t|$ , όπου και ισχύει  $I_D\approx 0$ .

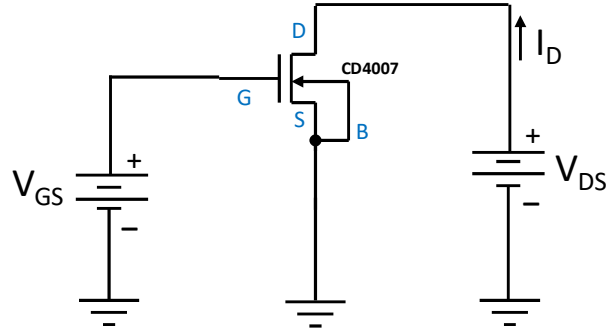
**3.1.2 Το ολοκληρωμένο CD4007:** Το ολοκληρωμένο CD4007 αποτελείται από 3 pMOS και 3 nMOS τρανζίστορ. Η τοπολογία των ακροδεκτών του παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.2. Όλα τα pMOS τρανζίστορ μεταξύ τους και όλα τα nMOS τρανζίστορ μεταξύ τους έχουν κοινή πόλωση υποστρώματος, στον ακροδέκτη 14 της τροφοδοσίας  $V_{DD}$  για τα pMOS και στον ακροδέκτη 7 της τροφοδοσίας  $V_{SS}$  (Gnd) για τα nMOS. **Συνεπώς, ανεξαρτήτως ποιο nMOS τρανζίστορ χρησιμοποιείται, ο ακροδέκτης 7 θα πρέπει να είναι στην τροφοδοσία  $V_{SS}$  (δηλ. στη γείωση για τα κυκλώματα που θα υλοποιηθούν στο εργαστήριο).** Επίσης, στις διατάξεις που θα υλοποιηθούν, ο ακροδέκτης 14 **δεν** θα χρησιμοποιηθεί και θα παραμείνει στον «αέρα».  
Ανά ζεύγος pMOS και nMOS τρανζίστορ ο ακροδέκτης της πύλης είναι κοινός. Δύο τρανζίστορ (ένα pMOS και ένα nMOS) έχουν κοινό ακροδέκτη υποδοχής τον ακροδέκτη 12. Τα μεγέθη των τρανζίστορ είναι: pMOS  $W_p/L_p=60\mu\text{m}/10\mu\text{m}$  και nMOS  $W_n/L_n=30\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ . Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στο εγχειρίδιο χρήσης/λειτουργίας του ολοκληρωμένου, το οποίο επισυνάπτεται στο τέλος του φυλλαδίου.



Σχήμα 3.2: Το ολοκληρωμένο CD4007

## 3.2 Σχεδίαση και προσομοίωση στο OrCAD.

**3.2.1 Χαρακτηριστικές MOS τρανζίστορ:** Στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD, σχεδιάστε τη συνδεσμολογία που δίδεται στο Σχήμα 3.3. Το σύμβολο του MOS τρανζίστορ (**MbreakN4D**) υπάρχει στη βιβλιοθήκη “**breakout.olb**”.



Σχήμα 3.3: Τοπολογία χαρακτηρισμού MOS τρανζίστορ

*Να τοποθετηθεί εικόνα το σχηματικό από το OrCAD*

**Εικόνα 3.1:** Σχηματικό από το OrCAD της τοπολογίας χαρακτηρισμού του MOS τρανζίστορ



A) Στο περιβάλλον προσομοίωσης PSPICE, πραγματοποιήστε, DC ανάλυση σάρωσης (DC sweep) με μεταβλητή την τάση  $V_{GS}$ . Το εύρος των τιμών σάρωσης να είναι από 0 ως 12V και το βήμα 200mV. Στην τάση  $V_{DS}$  να δοθεί η DC τιμή 12V. Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “CD4007.lib” (όχι της *breakout.lib*). Το μέγεθος του nMOS τρανζίστορ είναι:  $W_n/L_n=30\mu\text{m}/10\mu\text{m}$  και θα πρέπει να οριστεί στις παραμέτρους του. Στο γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης εμφανίστε την καμπύλη της χαρακτηριστικής ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{GS}$  του nMOS τρανζίστορ. Τοποθετήστε τη χαρακτηριστική στο πλαίσιο που ακολουθεί και εκτιμήστε την τάση κατωφλίου  $V_{tn}$  του τρανζίστορ (με σχετική υπόδειξη στη χαρακτηριστική).

Υπογραφή:

$V_{GS}$														
$I_D$														

Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{GS}$ . Εκτίμηση τάσης κατωφλίου  $V_{tn}$ .

Να τοποθετηθεί εικόνα της χαρακτηριστικής ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{GS}$

$V_{tn} =$

Υπογραφή:



- B) Πραγματοποιήστε, DC ανάλυση σάρωσης (DC sweep) με πρωτεύουσα μεταβλητή σάρωσης την τάση  $V_{DS}$  και δευτερεύουσα μεταβλητή σάρωσης την τάση  $V_{GS}$ . Το εύρος των τιμών σάρωσης να είναι από 0 ως 12V, με βήμα 200mV για την  $V_{DS}$  και με βήμα 2V για την  $V_{GS}$ . Στο γραφικό περιβάλλον προσομοίωσης εμφανίστε το σμήνος των καμπυλών της χαρακτηριστικής ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{DS}$  για τις διάφορες τιμές της τάσης  $V_{GS}$ .
1. Τοποθετήστε το σμήνος των καμπυλών στο πλαίσιο που ακολουθεί.
  2. Με χρήση της τάσης κατωφλίου που εκτιμήσατε νωρίτερα στο σκέλος (A), βρείτε και υποδείξτε το όριο μεταξύ κόρου και γραμμικής περιοχής σε κάθε καμπύλη του σμήνους και σχεδιάστε την καμπύλη που ορίζει το όριο μεταξύ των δύο περιοχών.

**Εικόνα 3.3:** Σμήνος χαρακτηριστικών ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{DS}$ .

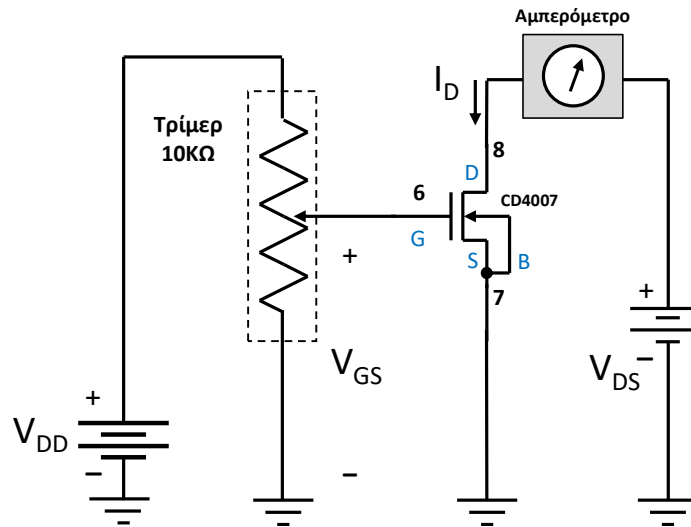
*Να τοποθετηθεί εικόνα του σμήνους των χαρακτηριστικών ρεύματος-τάσης  $I_D-V_{DS}$  για τις διάφορες τιμές της τάσης  $V_{GS}$*

Υπογραφή:

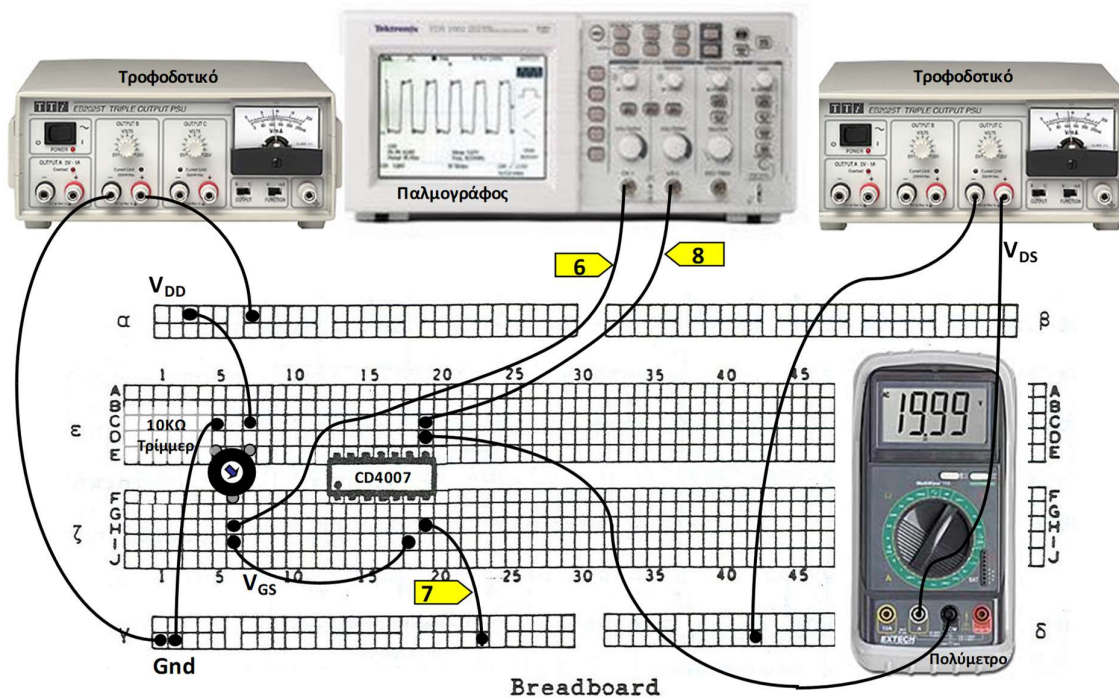


### 3.3 Υλοποίηση στο εργαστήριο.

**3.3.1 Χαρακτηριστικές MOS τρανζίστορ:** Με τη χρήση του ολοκληρωμένου κυκλώματος CD4007 υλοποιήστε στο breadboard το κύκλωμα του Σχήματος 3.4, με βοήθεια τις υποδείξεις του Σχήματος 3.5 και το εγχειρίδιο του ολοκληρωμένου (προτείνεται η χρήση του nMOS τρανζίστορ με την πύλη στον ακροδέκτη 6).



Σχήμα 3.4: Κύκλωμα χαρακτηρισμού του MOS τρανζίστορ



Σχήμα 3.5: Πιθανή υλοποίηση της πειραματικής διάταξης



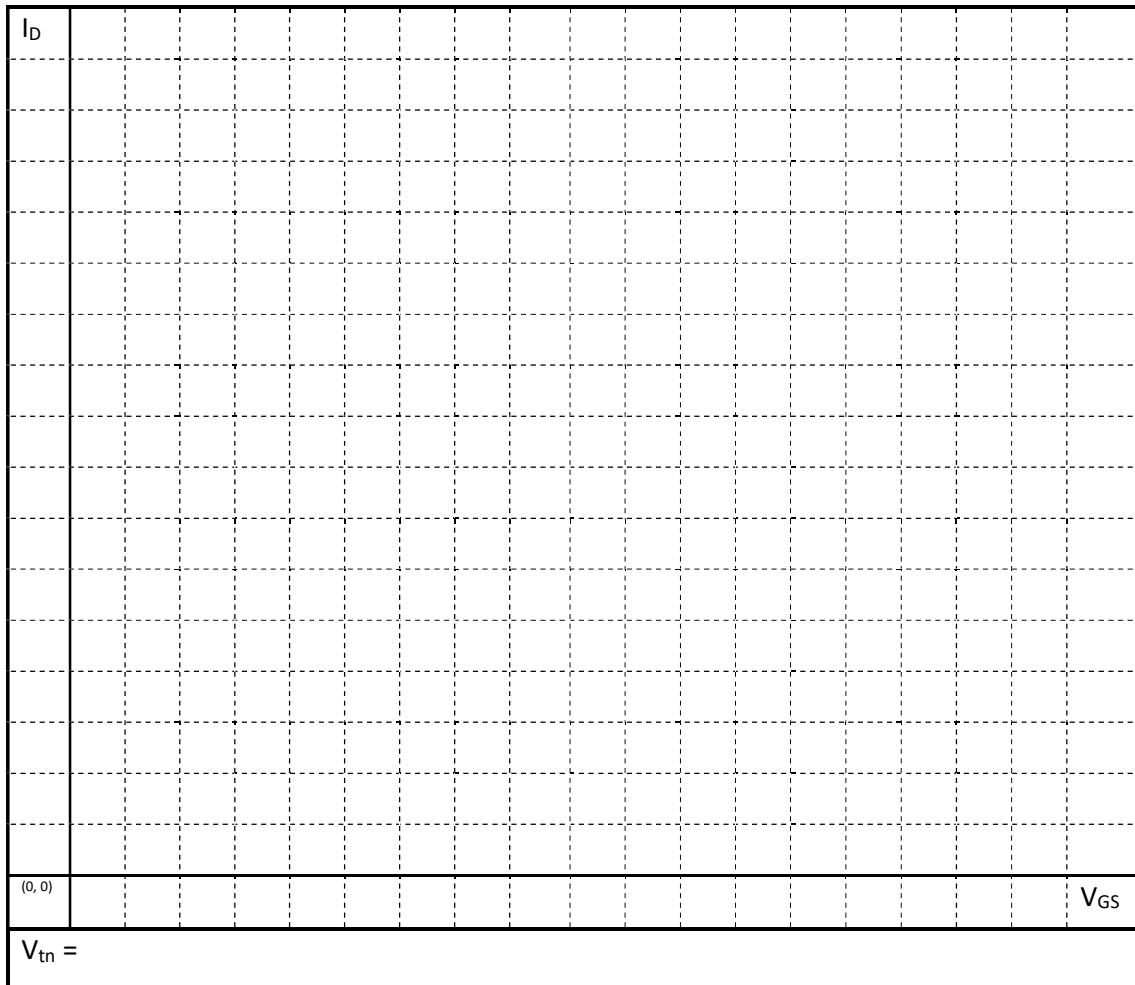
A) Χρησιμοποιήστε το τροφοδοτικό για να δώσετε DC τάση  $V_{DS}=8V$ . Συνδέστε το πολύμετρο, ως αμπερόμετρο, σε σειρά στο κύκλωμα. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήστε μεταβλητή αντίσταση (τρίμερ) των  $10K\Omega$  για να οδηγήσετε την πύλη του τρανζίστορ ( $V_{DD}=8V$ ). Μεταβάλλοντας την αντίσταση του τρίμερ ώστε η τάση  $V_{GS}$  να μεταβληθεί από  $0V$  σε  $8V$  (με βήμα:  $200mV$  μέχρι το  $1V$ , με βήμα  $500mV$  μέχρι τα  $3V$ , με βήμα  $1V$  μέχρι τα  $4V$  και με βήμα  $2V$  μέχρι τα  $8V$ ) μετρήστε το ρεύμα  $I_D$  στην υποδοχή του τρανζίστορ. Κάντε χρήση του παλμογράφου για την μέτρηση της  $V_{GS}$ .

1. Απεικονίστε στους άξονες που ακολουθούν την χαρακτηριστική (καμπύλη) ρεύματος τάσης  $I_D=f(V_{GS})$ .
2. Εκτιμήστε την τάση κατωφλίου  $V_{tn}$  του MOS τρανζίστορ με σχετική υπόδειξη στη χαρακτηριστική.

**Παρατήρηση:** Εκτός του υποδεικνυόμενου τρανζίστορ στα Σχήματα 3.4-3.5, μπορεί να χρησιμοποιηθεί οποιοδήποτε από τα τρία nMOS τρανζίστορ του ολοκληρωμένου CD4007.

$V_{GS}$	0V	0,2V	0,4V	0,6V	0,8V	1V	1,5V	2V	2,5V	3V	4V	6V	8V	
$I_D$														

Υπογραφή:



Υπογραφή:



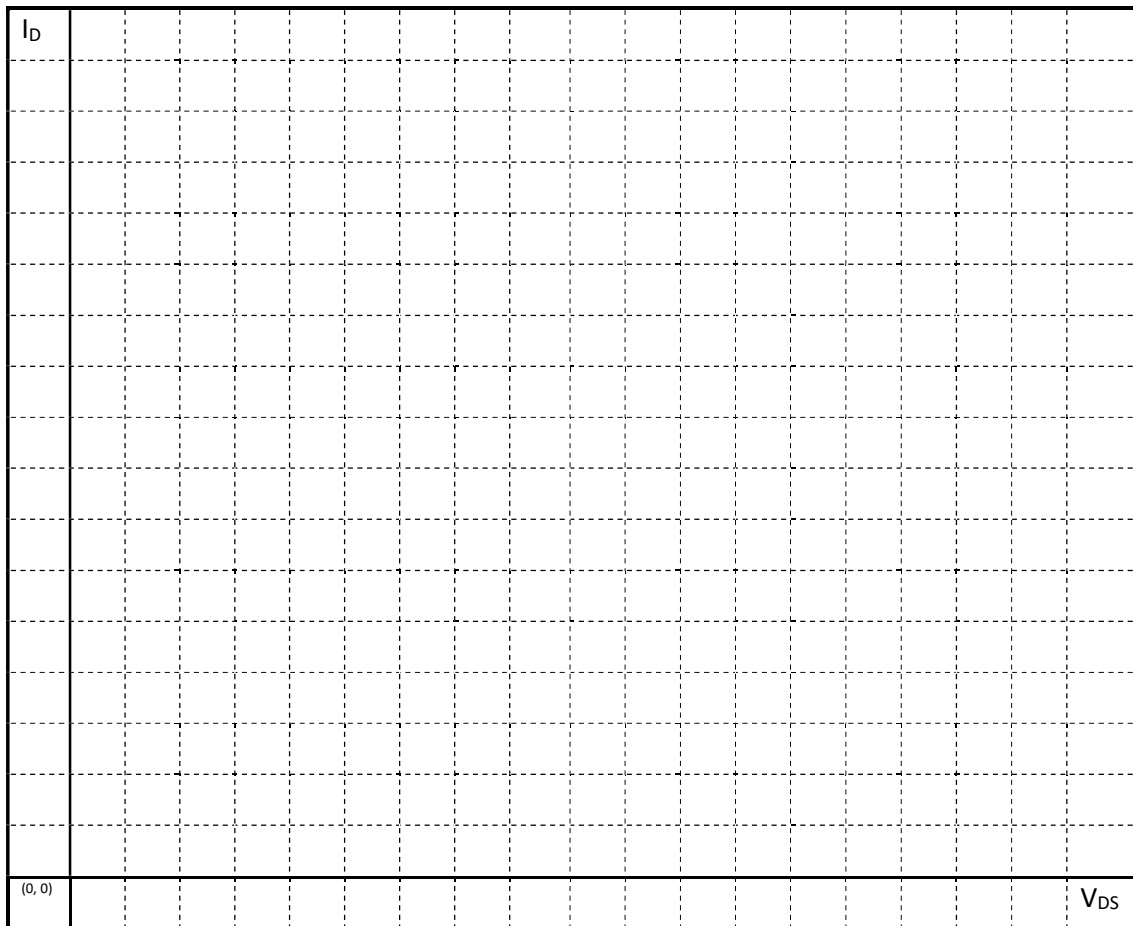
B) Στο ίδιο κύκλωμα ρυθμίστε διαδοχικά με το τρίμερ την τάση  $V_{GS}$  στις τιμές 2V, 4V και 6V. Για καθεμία από τις τιμές της  $V_{GS}$  μεταβάλλετε την  $V_{DS}$  (με το τροφοδοτικό) από 0V έως 8V (με βήμα: 200mV μέχρι το 1V, με βήμα 0.5V μέχρι τα 3V, με βήμα 1V μέχρι τα 4V και με βήμα 2V μέχρι τα 8V) και μετρήστε το ρεύμα  $I_D$  στην υποδοχή του τρανζίστορ. Κάντε χρήση και του δεύτερου καναλιού του παλμογράφου για την μέτρηση της  $V_{DS}$ . Απεικονίστε στους άξονες που ακολουθούν το σμήνος των καμπυλών  $I_D=f(V_{DS})$  για κάθε τιμή του  $V_{GS}$ .

$V_{GS}=2V$	$V_{DS}$	0V	0,2V	0,4V	0,6V	0,8V	1V	1,5V	2V	2,5V	3V	4V	6V	8V
	$I_D$													

$V_{GS}=4V$	$V_{DS}$	0V	0,2V	0,4V	0,6V	0,8V	1V	1,5V	2V	2,5V	3V	4V	6V	8V
	$I_D$													

$V_{GS}=6V$	$V_{DS}$	0V	0,2V	0,4V	0,6V	0,8V	1V	1,5V	2V	2,5V	3V	4V	6V	8V
	$I_D$													

Υπογραφή:



Υπογραφή:

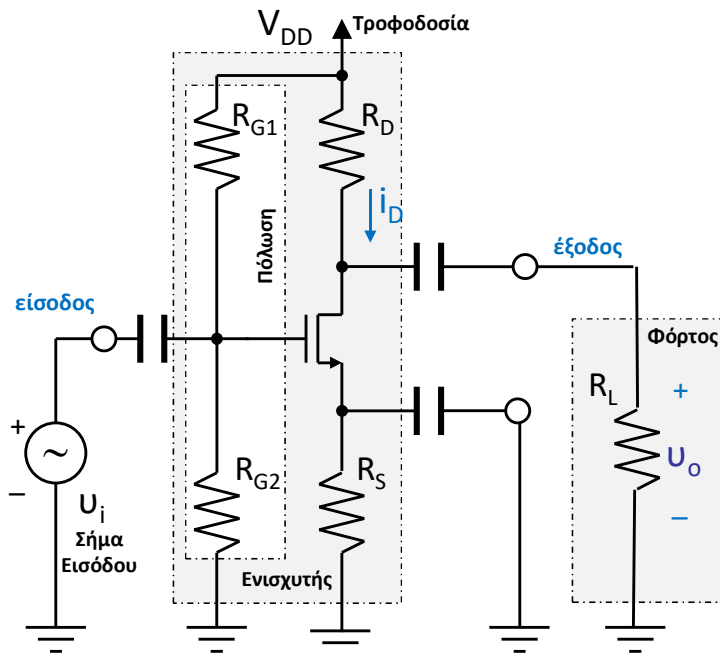
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ IV Ο ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ ΚΟΙΝΗΣ ΠΗΓΗΣ

#### 4.1 Ο ενισχυτής Κοινής Πηγής

**4.1.1 Εισαγωγή:** Αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η σχεδίαση και υλοποίηση ενισχυτικής διάταξης με τη χρήση MOS τρανζίστορ. Σε αυτή την άσκηση ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με την τοπολογία του ενισχυτή κοινής πηγής.

**4.1.2 Ο ενισχυτής κοινής πηγής:** Μια γενική συνδεσμολογία του ενισχυτή κοινής πηγής δίδεται στο Σχήμα 4.1. Το MOS τρανζίστορ πρέπει να λειτουργεί στην περιοχή του κόρου με κατάλληλη επιλογή των τιμών της τάσης  $V_{DD}$ , και των αντιστάσεων  $R_{G1}$ ,  $R_{G2}$ ,  $R_D$  και  $R_S$ .



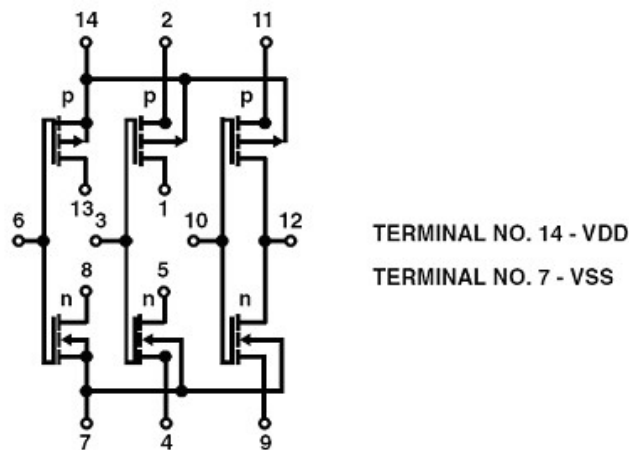
Σχήμα 4.1: Συνδεσμολογία ενισχυτή κοινής πηγής

Στην ειδική περίπτωση όπου  $R_S=0$ , το κέρδος τάσης ανοικτού κυκλώματος του ενισχυτή είναι:

$$A_v = \frac{v_o}{v_i} = -g_m (R_D // r_o)$$

όπου,  $g_m=2K(V_{GS}-V_t)$  η διαγωγιμότητα,  $r_o=|V_A|/I_D$  η αντίσταση εξόδου του τρανζίστορ ( $V_A$  η τάση  $E_{rly}$ ) και  $I_D$  το DC ρεύμα στην υποδοχή του τρανζίστορ.

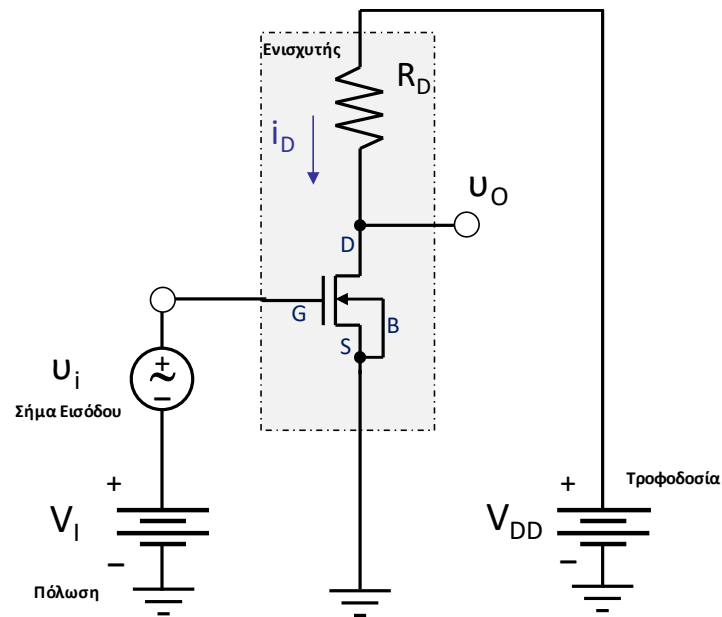
**4.1.3 Το ολοκληρωμένο CD4007:** Όπως και στην Άσκηση III, θα αξιοποιηθεί το ολοκληρωμένο CD4007 για τη διάθεση του απαραίτητου nMOS τρανζίστορ που θα χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση του ενισχυτή. Το ολοκληρωμένο CD4007 αποτελείται από 3 pMOS και 3 nMOS τρανζίστορ. Η τοπολογία των ακροδεκτών του παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.2. Όλα τα pMOS τρανζίστορ μεταξύ τους και όλα τα nMOS τρανζίστορ μεταξύ τους έχουν κοινή πόλωση υποστρώματος, στον ακροδέκτη 14 της τροφοδοσίας  $V_{DD}$  για τα pMOS και στον ακροδέκτη 7 της τροφοδοσίας  $V_{SS}$  (Gnd) για τα nMOS. **Συνοπώς, ανεξαρτήτως ποιο nMOS τρανζίστορ χρησιμοποιείται, ο ακροδέκτης 7 θα πρέπει να είναι στην τροφοδοσία  $V_{SS}$  (δηλ. στη γείωση για τα κυκλώματα που θα υλοποιηθούν στο εργαστήριο).** Επίσης, στις διατάξεις που θα υλοποιηθούν, ο ακροδέκτης 14 **δεν** θα χρησιμοποιηθεί και θα παραμείνει στον «αέρα». Ανά ζεύγος pMOS και nMOS τρανζίστορ ο ακροδέκτης της πύλης είναι κοινός. Δύο τρανζίστορ (ένα pMOS και ένα nMOS) έχουν κοινό ακροδέκτη υποδοχής τον ακροδέκτη 12. Τα μεγέθη των τρανζίστορ είναι: pMOS  $W_p/L_p=60\mu\text{m}/10\mu\text{m}$  και nMOS  $W_n/L_n=30\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ . Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στο εγχειρίδιο χρήσης/λειτουργίας του ολοκληρωμένου, το οποίο επισυνάπτεται στο τέλος του φυλλαδίου.



Σχήμα 4.2: Το ολοκληρωμένο CD4007

## 4.2 Σχεδίαση και προσομοίωση στο OrCAD.

Στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD, σχεδιάστε τη συνδεσμολογία του ενισχυτή κοινής πηγής του Σχήματος 4.3. Επιλέξτε:  $V_{DD}=12V$ , και  $R_D=10K\Omega$ . Το σύμβολο του MOS τρανζίστορ (**MbreakN4D**) υπάρχει στη βιβλιοθήκη “**breakout.olb**”. Το μέγεθος του **nMOS** τρανζίστορ είναι:  $W_n/L_n=30\mu m/10\mu m$  και θα πρέπει να οριστεί στις παραμέτρους του. Για την  $u_i$  χρησιμοποιήστε ημιτονική πηγή σήματος VSIN.



Σχήμα 4.3: Ενισχυτής κοινής πηγής

*Να τοποθετηθεί εικόνα του σχεδίου από το OrCAD*

**Εικόνα 4.1:** Σχέδιο ενισχυτή κοινής πηγής από το OrCAD

Υπογραφή:



- A) Αρχικά, για το σήμα  $u_i$  δώστε στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN τιμές FREQ=1KHz, VAMPL=100mV και VOFF=0. Πραγματοποιήστε DC ανάλυση με παράμετρο την τάση  $V_i$ , σαρώνοντάς την από 0V έως 12V και με βήμα 10mV. Κάντε χρήση της PSPICE βιβλιοθήκης “CD4007.lib” (όχι της breakout.lib). Στο γραφικό περιβάλλον του PSPICE παρουσιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς του ενισχυτή  $u_o = f(u_i)$ .
1. Τοποθετήστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς στο πλαίσιο που ακολουθεί και προσδιορίστε το εύρος της γραμμικής περιοχής.
  2. Από τη γραφική παράσταση προσδιορίστε το κέρδος τάσης  $A_u$  του ενισχυτή (καταγράψτε τον τρόπο υπολογισμού).
  3. Ποιο είναι το βέλτιστο σημείο πόλωσης ( $V_{Iopt}$ ) του ενισχυτή (αιτιολογήστε);
  4. Με αναφορά το βέλτιστο σημείο πόλωσης που υπολογίσατε, ποιο το μέγιστο πλάτος του σήματος εισόδου ( $V_{imax}$ ) για λειτουργία στη γραμμική περιοχή του ενισχυτή (αιτιολογήστε);

<b>Εικόνα 4.2:</b> Χαρακτηριστική μεταφοράς (ή εισόδου-εξόδου)	
<i>Να τοποθετηθεί εικόνα της χαρακτηριστικής μεταφοράς (εισόδου-εξόδου)</i>	
Εύρος γραμμικής περιοχής: από ( $V_{i1}, V_{o1}$ ) =(..... , .....) έως ( $V_{i2}, V_{o2}$ ) =(..... , .....)	
$A_u =$	(παράθεση τύπου)
$V_{Iopt} =$	$V_{imax} =$
Αιτιολογήσεις:	

Υπογραφή:





- B) Εκτελέστε ανάλυση στο πεδίο του χρόνου – transient analysis χρησιμοποιώντας στην είσοδο DC πηγή πόλωσης με τιμή τάσης αυτή του βέλτιστου σημείου πόλωσης  $V_{Iopt}$  (υποερώτημα Α), και πηγή ημιτονικού σήματος με πλάτος  $V_i=100mV$  και συχνότητα  $1KHz$  (στις παραμέτρους της πηγής σήματος  $V_{SIN}$  δώστε  $FREQ=1KHz$ ,  $VAMPL=100mV$  και  $VOFF=0$ ). Απεικονίστε στο γραφικό περιβάλλον του PSpice τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $v_i$  και του σήματος εξόδου  $v_o$  για χρόνο δύο περιόδων.
1. Μετρήστε την μέγιστη ( $v_{Omax}$ ) και την ελάχιστη ( $v_{Omin}$ ) τιμή του σήματος εξόδου.
  2. Με βάση τις προηγούμενες μετρήσεις, υπολογίστε την DC τιμή  $V_o$  και το πλάτος  $V_o$  του σήματος εξόδου καθώς και το κέρδος τάσης  $A_v$  του ενισχυτή (με καταγραφή των πράξεων).
  3. Αυξάνοντας το πλάτος του σήματος εισόδου σε  $V_i=1V$  καταγράψτε τι παρατηρείτε στην κυματομορφή του σήματος εξόδου. Αιτιολογήστε το αποτέλεσμα.

*Να τοποθετηθεί εικόνα της προσομοίωσης στο πεδίο του χρόνου για  $V_i=100mV$*

*Να τοποθετηθεί εικόνα της προσομοίωσης στο πεδίο του χρόνου για  $V_i=1V$*

**Εικόνα 4.3:** Ανάλυση (προσομοίωση) στο πεδίο του χρόνου για  $V_i=100mV$  και για  $V_i=1V$



$U_{Omax} =$	$U_{Omin} =$
(DC) $V_O =$	(παράθεση τύπου)
(πλάτος) $V_o =$	(παράθεση τύπου)
$A_v =$	(παράθεση τύπου)
Παρατήρηση/Αιτιολόγηση για $V_i=1V$ :	

Υπογραφή:

- Γ) Εκτελέστε ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας (AC analysis) σαρώνοντας τη συχνότητα του σήματος εισόδου από τα 10Hz έως το 10GHz με βήμα 10 σημεία/δεκάδα (στις παραμέτρους της πηγής σήματος VSIN δώστε την τιμή AC=1). Στο γραφικό περιβάλλον του PSPICE παρουσιάστε τα διαγράμματα για το κέρδος του κυκλώματος (σε dB) και την φάση ως προς τη συχνότητα.
1. Ποια είναι η συχνότητα γονάτου ή συχνότητα -3db ( $f_{(-3dB)}$ );
  2. Προσδιορίστε το εύρος ζώνης του ενισχυτή.
  3. Ποιο είναι το κέρδος  $A_v$  (σε dB) μέσα στο εύρος ζώνης;
  4. Ποια είναι η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους ( $f_{(0dB)}$ );

**Εικόνα 4.4:** Ανάλυση (προσομοίωση) στο πεδίο της συχνότητας

*Να τοποθετηθεί εικόνα της AC προσομοίωσης στο πεδίο της συχνότητας για το κέρδος*



*Να τοποθετηθεί εικόνα της AC προσομοίωσης στο πεδίο της συχνότητας για τη φάση*

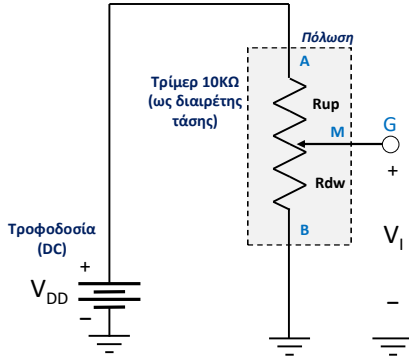
Υπογραφή:

Συχνότητα γονάτου $f_{(-3dB)}$ =	
Εύρος ζώνης: από ..... έως .....	
Κέρδος $A_{v(dB)}$ =	
Συχνότητα μοναδιαίου κέρδους $f_{(0dB)}$ =	

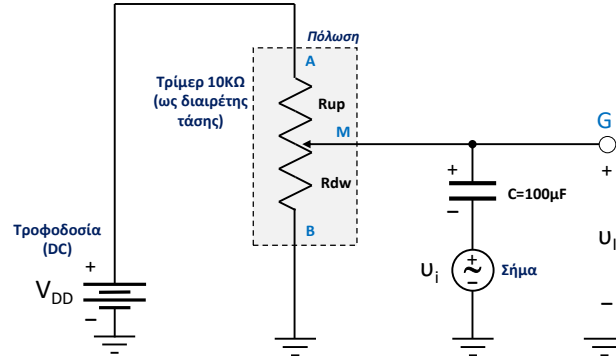
Υπογραφή:

### 4.3 Υλοποίηση στο εργαστήριο.

**4.3.1 Σύνθεση σήματος:** Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του Σχήματος 4.4 στο breadboard για τη δημιουργία τάσης DC με τη χρήση τρίμερ των 10KΩ ως διαιρέτη τάσης. Δώστε στο κύκλωμα τροφοδοσία  $V_{DD}=8V$ .



Σχήμα 4.4. Δημιουργία DC τάσης



Σχήμα 4.5. Σύνθεση τελικού σήματος

- A) Τοποθετήστε την περιστρεφόμενη κεφαλή του τρίμερ σε μια τυχαία ενδιάμεση θέση.
1. Μετρήστε με το πολύμετρο την αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών A και M ( $R_{up}$ ) και την αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών M και B (.
  2. Μετρήστε με το πολύμετρο την τάση  $V_I$  στον ακροδέκτη M.
  3. Επαληθεύστε ότι η τιμή της  $V_I$  που μετρήθηκε δίδ  $R_{dw}$ )εται επίσης από τη σχέση:

$$V_I = \frac{R_{up}}{R_{dw}} V_{DD}$$

$R_{up} =$	$R_{dw} =$
$V_I =$	Επαλήθευση    Ναι <input type="checkbox"/> Όχι <input type="checkbox"/>

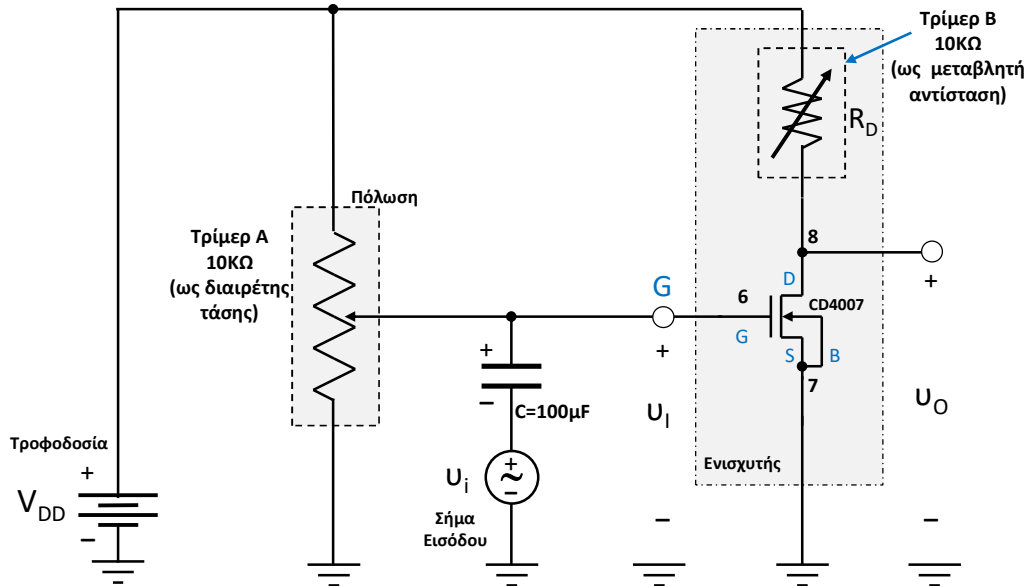
- B) Συνδέστε μέσω του πυκνωτή σύζευξης  $C=100\mu F$  την πηγή σήματος (γεννήτρια σήματος)  $u_i$ , σύμφωνα με το Σχήμα 4.5. Χρησιμοποιήστε ημιτονικό σήμα  $1V_{p-p}$  (πλάτος  $V_i=500mV$ ), με DC συνιστώσα 0V και συχνότητα 1KHz. Στον παλμογράφο απεικονίστε την κυματομορφή του σήματος  $u_i$ .

1. Μετρήστε την μέγιστη ( $u_{Imax}$ ) και την ελάχιστη ( $u_{Imin}$ ) τιμή του σήματος  $u_i$ .
2. Με χρήση των προηγούμενων μετρήσεων, υπολογίστε την DC συνιστώσα  $V_I$  και το πλάτος  $V_i$  του σήματος στην έξοδο (παράθεση σχετικών τύπων).
3. Επαληθεύστε ότι η τιμή της DC συνιστώσας  $V_I$  που υπολογίσατε ισούται με την τιμή που μετρήθηκε νωρίτερα στο βήμα (A) καθώς και ότι η τιμή του πλάτους  $V_i$  που υπολογίσατε ισούται με το πλάτος του σήματος της γεννήτριας και συνεπώς ισχύει:

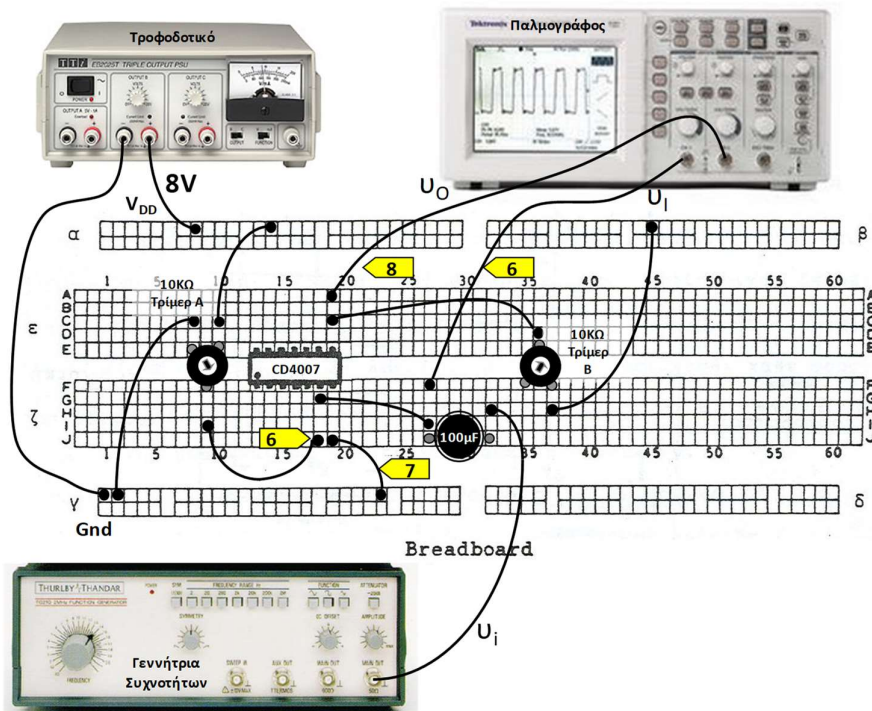
$$u_i = V_I + u_i$$

$u_{Imax} =$	$u_{Imin} =$
(DC) $V_I =$	(πλάτος) $V_i =$
Επαλήθευση    Ναι <input type="checkbox"/> Όχι <input type="checkbox"/>	(παράθεση τύπου)    (παράθεση τύπου)

**4.3.2 Ενισχυτής Κοινής Πηγής:** Υλοποιήστε την συνδεσμολογία του Σχήματος 4.6 στο breadboard (ενδεικτικές οδηγίες στο Σχήμα 4.7), συνδέοντας την είσοδο του ενισχυτή στον ακροδέκτη G του Σχήματος 4.5. Χρησιμοποιήστε το ΟΚ **CD4007** (προτείνεται το nMOS τρανζίστορ με την πύλη στον ακροδέκτη 6) και δώστε στο κύκλωμα τροφοδοσία  $V_{DD}=8V$ . Για την πόλωση της πύλης και την  $R_D$  χρησιμοποιήστε από μία μεταβλητή αντίσταση (τρίμερ A και B αντίστοιχα) των  $10K\Omega$ .



Σχήμα 4.6: Ενισχυτής κοινής πηγής



Σχήμα 4.7: Ενδεικτική πειραματική διάταξη ενισχυτή κοινής πηγής



A) Αρχικά επιλέξτε την τάση  $V_{GS}$  ίση με 3V (ρυθμίζοντας την μεταβλητή αντίσταση – τρίμερ A) και ακολούθως την τάση  $V_{DS}$  ίση με 5V (ρυθμίζοντας την μεταβλητή αντίσταση – τρίμερ B). Χρησιμοποιήστε στην είσοδο ημιτονικό σήμα 1V<sub>p-p</sub> (πλάτος  $V_i=500mV$ ), με DC συνιστώσα 0V και συχνότητα 1KHz.

Στον παλμογράφο απεικονίστε τις κυματομορφές του σήματος εισόδου  $u_i$  και του σήματος εξόδου  $u_o$ .

1. Σχεδιάστε μία περίοδο των κυματομορφών εισόδου και εξόδου στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί (ύστερα από βαθμονόμησή τους).
2. Μετρήστε την μέγιστη ( $u_{Omax}$ ) και την ελάχιστη ( $u_{Omin}$ ) τιμή του σήματος εξόδου.
3. Με χρήση των προηγούμενων μετρήσεων, υπολογίστε την DC συνιστώσα  $V_o$  και το πλάτος  $V_o$  του σήματος στην έξοδο (παράθεση σχετικών τύπων).
4. Επίσης, υπολογίστε το κέρδος τάσης  $A_u$  του ενισχυτή (παράθεση σχετικού τύπου).
5. Ποια η διαφορά φάσης εισόδου-εξόδου;

t																			
$u_i$																			
$u_o$																			

Υπογραφή:

V	
(0, 0)	t
$u_{Omax} =$	$u_{Omin} =$
(DC) $V_o =$	(παράθεση τύπου)
(πλάτος) $V_o =$	(παράθεση τύπου)
(κέρδος) $A_u =$	(παράθεση τύπου)
Διαφορά φάσης =	

Υπογραφή:



Β) Αυξήστε την τιμή  $V_i$  του πλάτους του σήματος εισόδου μέχρι τη μέγιστη τιμή για την οποία το σήμα στην έξοδο δεν παραμορφώνει.

1. Καταγράψτε τη μέγιστη τιμή του πλάτους εισόδου  $V_{imax}$ .
2. Μετρήστε τις ακρότατες τιμές της εξόδου ( $U_{Omax}$  και  $U_{Omin}$ ).
3. Με χρήση των προηγούμενων μετρήσεων, υπολογίστε τις τιμές της DC συνιστώσας  $V_o$  και του πλάτους  $V_o$  παράθεση σχετικών τύπων).
4. Επίσης, υπολογίστε το κέρδος τάσης  $A_u$  (παράθεση σχετικού τύπου).
5. Συγκρίνετε τις νέες τιμές με εκείνες του σκέλους (Α) και αιτιολογήστε το αποτέλεσμα.

Υπογραφή:

$V_{imax} =$		
$U_{Omax} =$	$U_{Omin} =$	
(DC) $V_o =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερη / Μικρότερη / Ίση
(Πλάτος) $V_o =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
(Κέρδος) $A_u =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
Συγκρίσεις-Αιτιολογήσεις:		

Γ) Επαναφέρετε το πλάτος της εισόδου στην αρχική τιμή,  $V_i=500mV$ . Αυξήστε την τιμή της μεταβλητής αντίστασης (τρίμερ Β) μέχρι τη μέγιστη τιμή για την οποία το σήμα στην έξοδο δεν παραμορφώνεται (παραμένει ημίτονο).

1. Καταγράψτε τη μέγιστη τιμή της αντίστασης  $R_{Dmax}$ .
2. Μετρήστε τις ακρότατες τιμές της εξόδου ( $U_{Omax}$  και  $U_{Omin}$ ).
3. Με χρήση των προηγούμενων μετρήσεων, υπολογίστε τις τιμές της DC συνιστώσας  $V_o$  και του πλάτους  $V_o$ .
4. Επίσης, υπολογίστε το κέρδος τάσης  $A_u$ .
5. Συγκρίνετε της νέες τιμές με εκείνες του σκέλους (Α) και αιτιολογήστε το αποτέλεσμα.

$R_{Dmax} =$		
$U_{Omax} =$	$U_{Omin} =$	
(DC) $V_o =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερη / Μικρότερη / Ίση
(Πλάτος) $V_o =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
(Κέρδος) $A_u =$	(παράθεση τύπου)	Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
Συγκρίσεις-Αιτιολογήσεις:		

Υπογραφή:



Δ) Χωρίς αλλαγές στο κύκλωμα (υπάρχουσα  $R_D$  και  $V_i=500mV$ ), αυξήστε τη συχνότητα του σήματος εισόδου στο 1MHz.

1. Μετρήστε τις ακρότατες τιμές της εξόδου ( $u_{Omax}$  και  $u_{Omin}$ ).
2. Υπολογίστε το πλάτος του σήματος εξόδου  $V_o$
3. Υπολογίστε το κέρδος τάσης  $A_u$ . Παραμένει σταθερό ή όχι;
4. Αιτιολογήστε το αποτέλεσμα με αναφορά στην AC ανάλυση που πραγματοποιήσατε στο OrCAD στην ενότητα 4.2.Γ.

$u_{Omax} =$	$u_{Omin} =$
(πλάτος) $V_o =$	(παράθεση τύπου)   Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
(κέρδος) $A_u =$	(παράθεση τύπου)   Μεγαλύτερο / Μικρότερο / Ίσο
Συγκρίσεις-Αιτιολογήσεις:	

Υπογραφή:



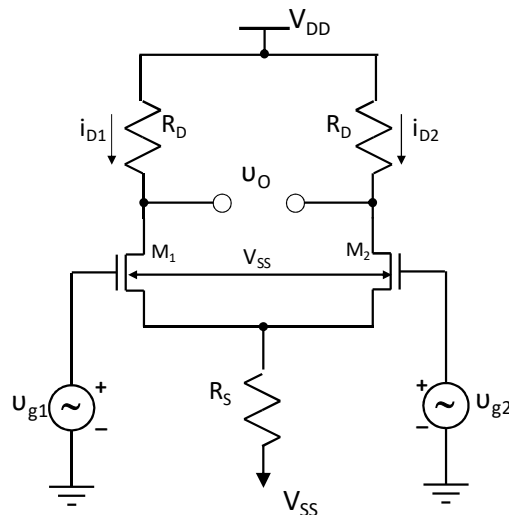
## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

### ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ V Ο ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΕΝΙΣΧΥΤΗΣ MOS

#### 5.1 Διαφορικός ενισχυτής MOS

**5.1.1 Εισαγωγή:** Αντικείμενο της εργαστηριακής άσκησης είναι η μελέτη του **MOS διαφορικού ενισχυτή**. Σε αυτή την άσκηση ο φοιτητής θα εξοικειωθεί με την τοπολογία του διαφορικού ζεύγους MOS και τη χρήση του στη σύνθεση διαφορικού ενισχυτή με φορτίο αντιστάσεις.

Στο Σχήμα 5.1 δίδεται η τοπολογία ενός διαφορικού ενισχυτή με τη χρήση του διαφορικού ζεύγους MOS. Τα τρανζίστορ M1 και M2 είναι ταιριασμένα (ίδια μεγέθη και χαρακτηριστικά) και πολώνονται με τη χρήση της αντίστασης  $R_S$ . Τα φορτία του διαφορικού ενισχυτή είναι οι αντιστάσεις  $R_{D1}$  και  $R_{D2}$  με  $R_{D1}=R_{D2}=R_D$ . Η επιλογή των αντιστάσεων γίνεται έτσι ώστε και τα δύο τρανζίστορ να λειτουργούν στην περιοχή του κόρου.



Σχήμα 5.1: Διαφορικός ενισχυτής MOS

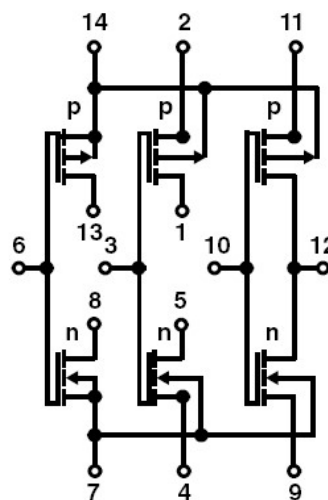
Το διαφορικό κέρδος του ενισχυτή δίδεται από τη σχέση:

$$A_v = \frac{v_o}{v_{id}} = -g_m R_D$$

όπου  $v_{id}$  το διαφορικό σήμα εισόδου ( $v_{id}=v_{g1}-v_{g2}$ ) και  $g_m$  η διαγωγιμότητα των τρανζίστορ στο σημείο πόλωσης ( $g_m=2I_{D1}/(V_{GS1}-V_{tn})=2K_n(V_{GS1}-V_{tn})$  με  $K_n$  τον συντελεστή απολαβής ρεύματος των τρανζίστορ). Οι αντιστάσεις εισόδου και εξόδου είναι αντίστοιχα  $R_{in}\cong\infty$  και  $R_{out}=2R_D$  αντίστοιχα.

**5.1.2 Το ολοκληρωμένο CD4007:** Όπως και στις προηγούμενες δύο ασκήσεις (Άσκηση III και IV) θα αξιοποιηθεί το ολοκληρωμένο CD4007 για τη διάθεση των απαραίτητων nMOS τρανζίστορ που θα χρησιμοποιηθούν στην υλοποίηση του διαφορικού ενισχυτή. Το ολοκληρωμένο CD4007 αποτελείται από 3 pMOS και 3 nMOS τρανζίστορ. Η τοπολογία των ακροδεκτών του παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.2. Όλα τα pMOS τρανζίστορ μεταξύ τους και όλα τα nMOS τρανζίστορ μεταξύ τους έχουν κοινή πόλωση υποστρώματος, στον ακροδέκτη 14 της τροφοδοσίας  $V_{DD}$  για τα pMOS και στον ακροδέκτη 7 της τροφοδοσίας  $V_{SS}$  (Gnd) για τα nMOS. **Συνεπώς, ανεξαρτήτως ποιο nMOS τρανζίστορ χρησιμοποιείται, ο ακροδέκτης 7 θα πρέπει να είναι στην τροφοδοσία  $V_{SS}$  (δηλ. στη γείωση για τα κυκλώματα που θα υλοποιηθούν στο εργαστήριο).** Επίσης, στις διατάξεις που θα υλοποιηθούν, ο ακροδέκτης 14 **δεν** θα χρησιμοποιηθεί και θα παραμείνει στον «αέρα».

Ανά ζεύγος pMOS και nMOS τρανζίστορ ο ακροδέκτης της πύλης είναι κοινός. Δύο τρανζίστορ (ένα pMOS και ένα nMOS) έχουν κοινό ακροδέκτη υποδοχής τον ακροδέκτη 12. Τα μεγέθη των τρανζίστορ είναι: pMOS  $W_p/L_p=60\mu\text{m}/10\mu\text{m}$  και nMOS  $W_n/L_n=30\mu\text{m}/10\mu\text{m}$ . Για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στο εγχειρίδιο χρήσης/λειτουργίας του ολοκληρωμένου, το οποίο επισυνάπτεται στο τέλος του φυλλαδίου.



TERMINAL NO. 14 - VDD

TERMINAL NO. 7 - VSS

Σχήμα 5.2: Το ολοκληρωμένο CD4007



## 5.2 Σχεδίαση και προσομοίωση στο OrCAD.

**5.2.1 Εύρεση κατάλληλων τιμών αντίστασης  $R_D$ :** Στο περιβάλλον σχεδίασης του OrCAD, σχεδιάστε τη συνδεσμολογία του διαφορικού ενισχυτή που δίδεται στο Σχήμα 5.1. Το σύμβολο του MOS τρανζίστορ (**MbreakN4D**) υπάρχει στη βιβλιοθήκη **“breakout.olb”**. Με δεδομένο ότι τα τρανζίστορ M1 και M2 έχουν τάση κατωφλίου  $V_{tn}=2V$  και συντελεστή απολαβής  $K_n=111\mu A/V^2$  και ότι  $V_{DD}=12V$ ,  $V_{SS}=-12V$ ,  $u_{g1}=-u_{g2}$ ,  $V_{g1}=V_{g2}=100mV$ ,  $V_{G1}=V_{G2}=0V$  ενώ  $R_S=46K\Omega$ , να βρεθεί το εύρος των τιμών για τις αντιστάσεις  $R_D$  έτσι ώστε το διαφορικό κέρδος τάσης  $A_v$  του ενισχυτή να είναι μεγαλύτερο από  $-15$ .

**5.2.2 Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου:** Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας ανάλυση στο πεδίο του χρόνου (transient – time domain). Χρησιμοποιήστε τιμή για την  $R_D$  εντός του πεδίου τιμών που προσδιορίσατε νωρίτερα και ημιτονικά σήματα εισόδου συχνότητας 1KHz. Κάντε χρήση της βιβλιοθήκης **“CD4007.lib”**. Σχεδιάστε, στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί, ύστερα από βαθμονόμησή τους, τις κυματομορφές του διαφορικού σήματος εισόδου  $u_s$  και εξόδου  $u_o$  καθώς και των τάσεων στις υποδοχές των τρανζίστορ M1 και M2 ( $V_{D1}$  και  $V_{D2}$  αντίστοιχα) και υπολογίστε το διαφορικό κέρδος τάσης  $A_v$ .

t															
$u_s$															
$u_o$															
$V_{D1}$															
$V_{D2}$															

Υπογραφή:

V	
(0, 0)	t
Εύρος τιμών $R_D$ :	Χρησιμοποιούμενη $R_D =$
$A_v =$	

Υπογραφή:

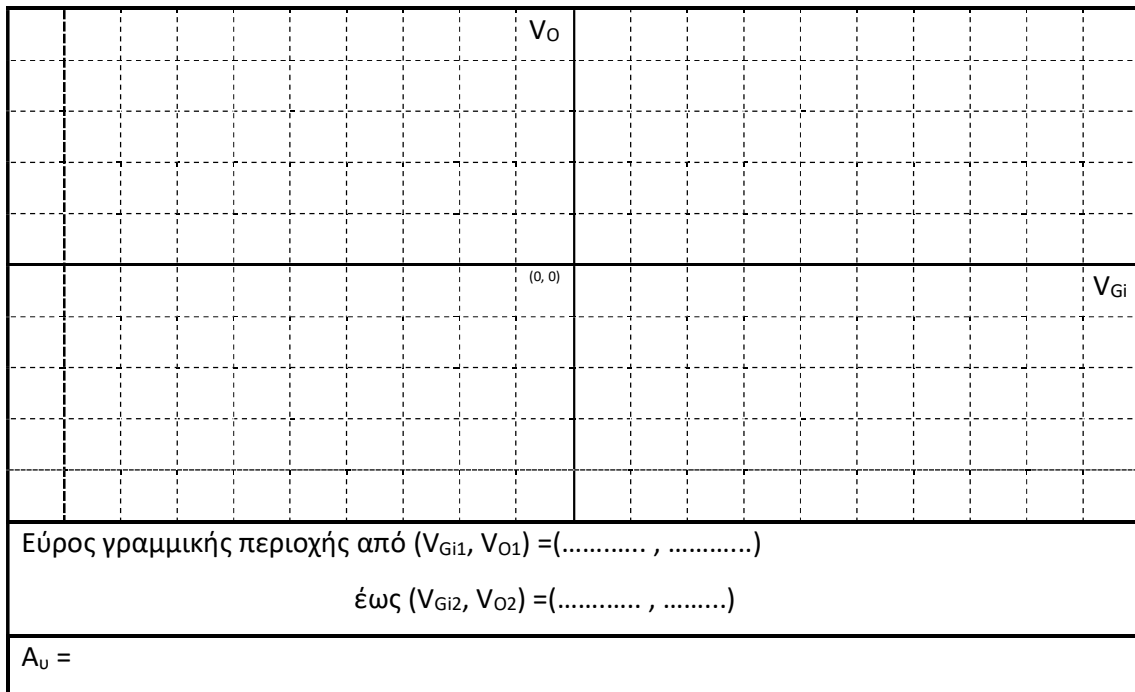


**5.2.3 DC ανάλυση:** Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας DC ανάλυση. Χρησιμοποιήστε την ίδια τιμή για την  $R_D$  που χρησιμοποιήσατε νωρίτερα στο 5.2.2. Στον ορισμό της DC sweep ανάλυσης δώστε ως “Voltage source” την μία από τις δύο πηγές σήματος και σαρώστε από  $-12V$  έως  $12V$  με βήμα  $50mV$ . Στο γραφικό περιβάλλον του PSpice παρουσιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς του ενισχυτή  $V_o = f(V_{Gi})$ .

- 1) Σχεδιάστε τη χαρακτηριστική μεταφοράς στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί, ύστερα από βαθμονόμηση των αξόνων και προσδιορίστε τη γραμμική της περιοχή (εύρος της γραμμικής περιοχής λειτουργίας).
- 2) Από τη γραφική παράσταση προσδιορίστε το κέρδος τάσης  $A_u$  του κυκλώματος.

$V_{Gi}$														
$V_o$														

Υπογραφή:



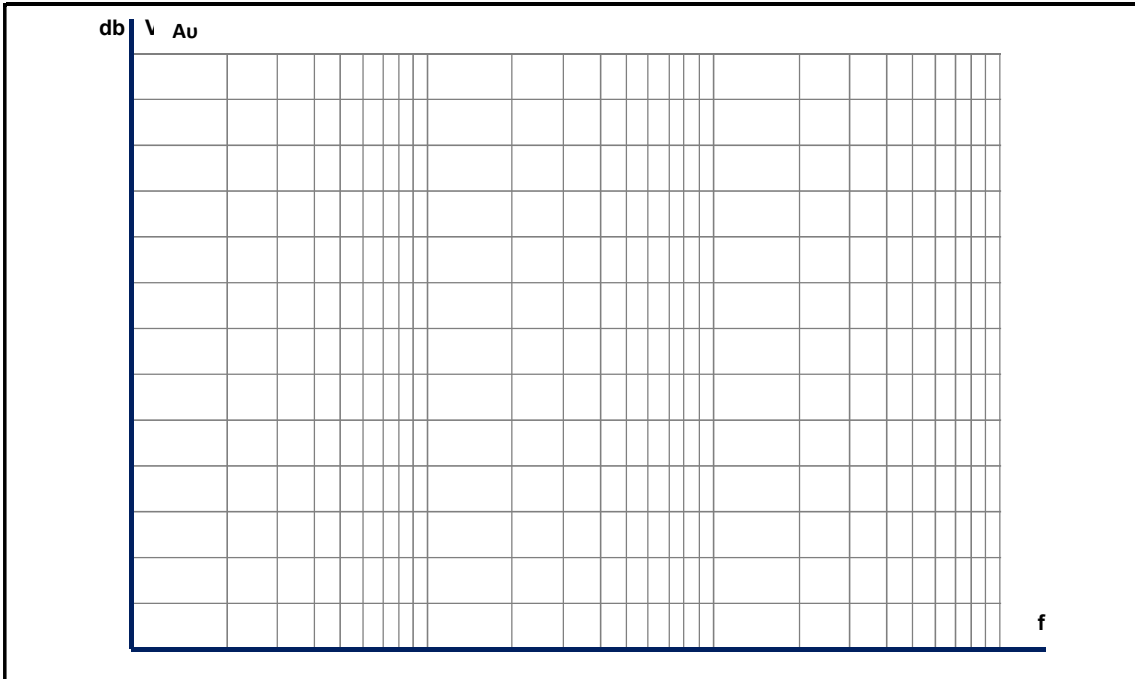
Υπογραφή:

**5.2.4 AC ανάλυση:** Προσομοιώστε τη λειτουργία του κυκλώματος εκτελώντας AC ανάλυση. Χρησιμοποιήστε την ίδια τιμή για την  $R_D$  που χρησιμοποιήσατε νωρίτερα στο 5.2.2. Στο πεδίο AC των πηγών σήματος  $v_{g1}$  και  $v_{g2}$  δώστε στην μία την τιμή  $1V$  και στην άλλη  $0V$ .

- 1) Σχεδιάστε, στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί, ύστερα από βαθμονόμησή τους, την απόκριση κέρδους/πλάτους  $A_u$  (σε db) και φάσης  $\phi$  για το διαφορικό σήμα εξόδου.
- 2) Ποιο το εύρος ζώνης του ενισχυτή; Μετρήστε το διαφορικό κέρδος τάσης σε db  $A_{u(db)}$  του ενισχυτή.

f														
$A_{u(db)}$														

Υπογραφή:



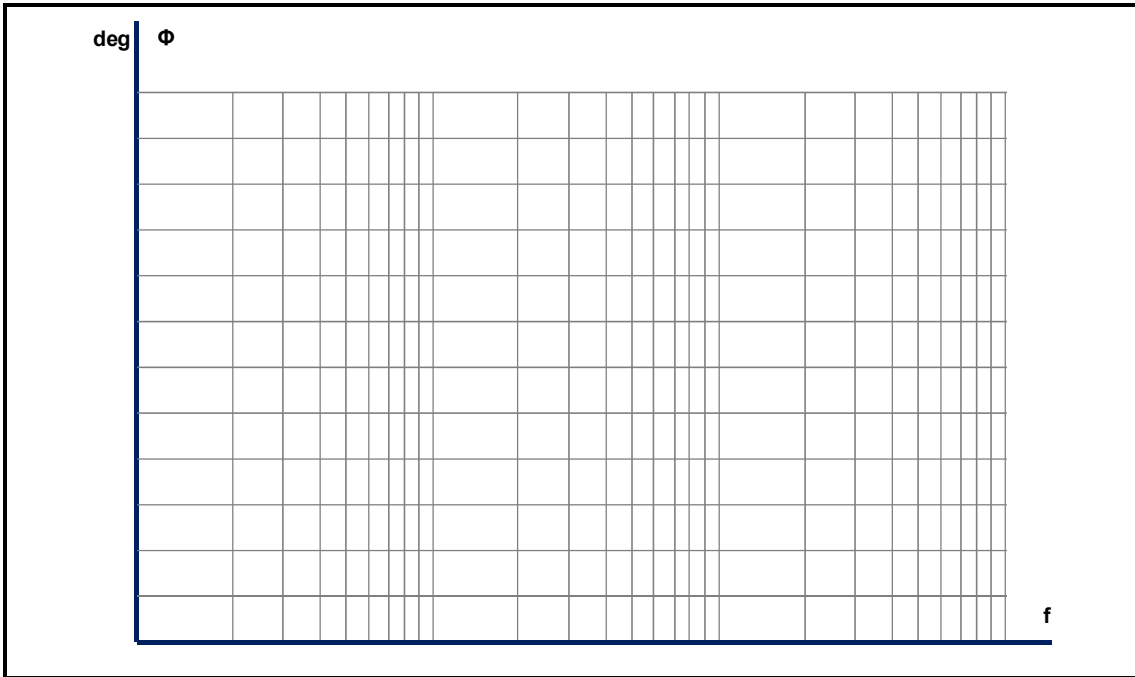
Εύρος ζώνης:

$A_{u(db)} =$

Υπογραφή:

f														
$\Phi$														

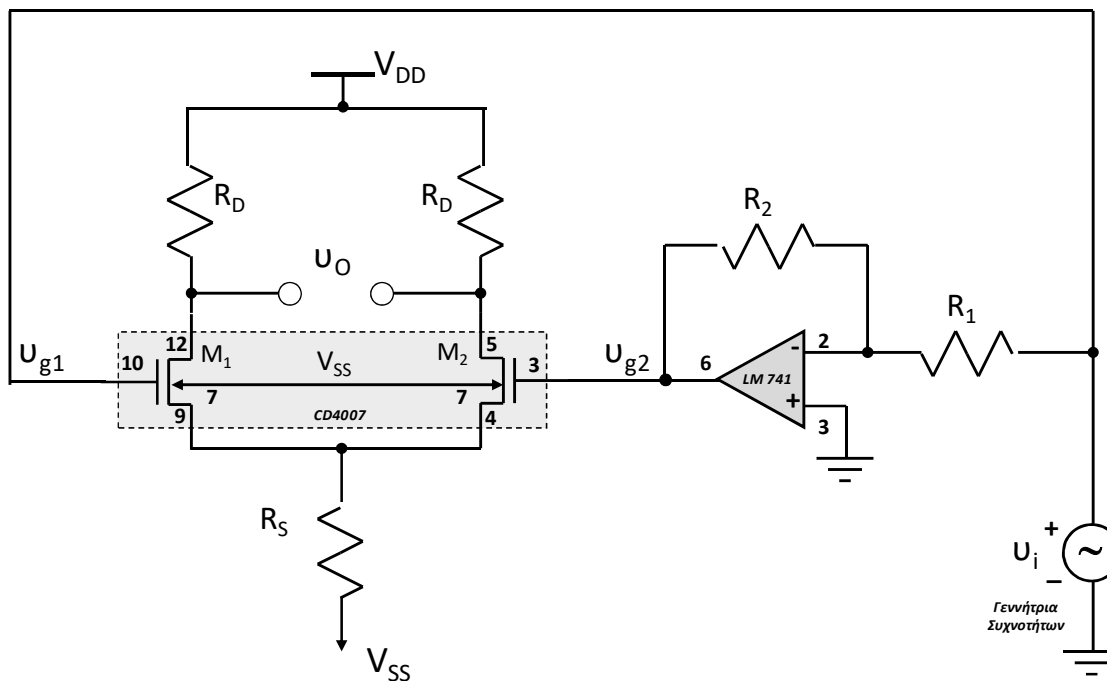
Υπογραφή:



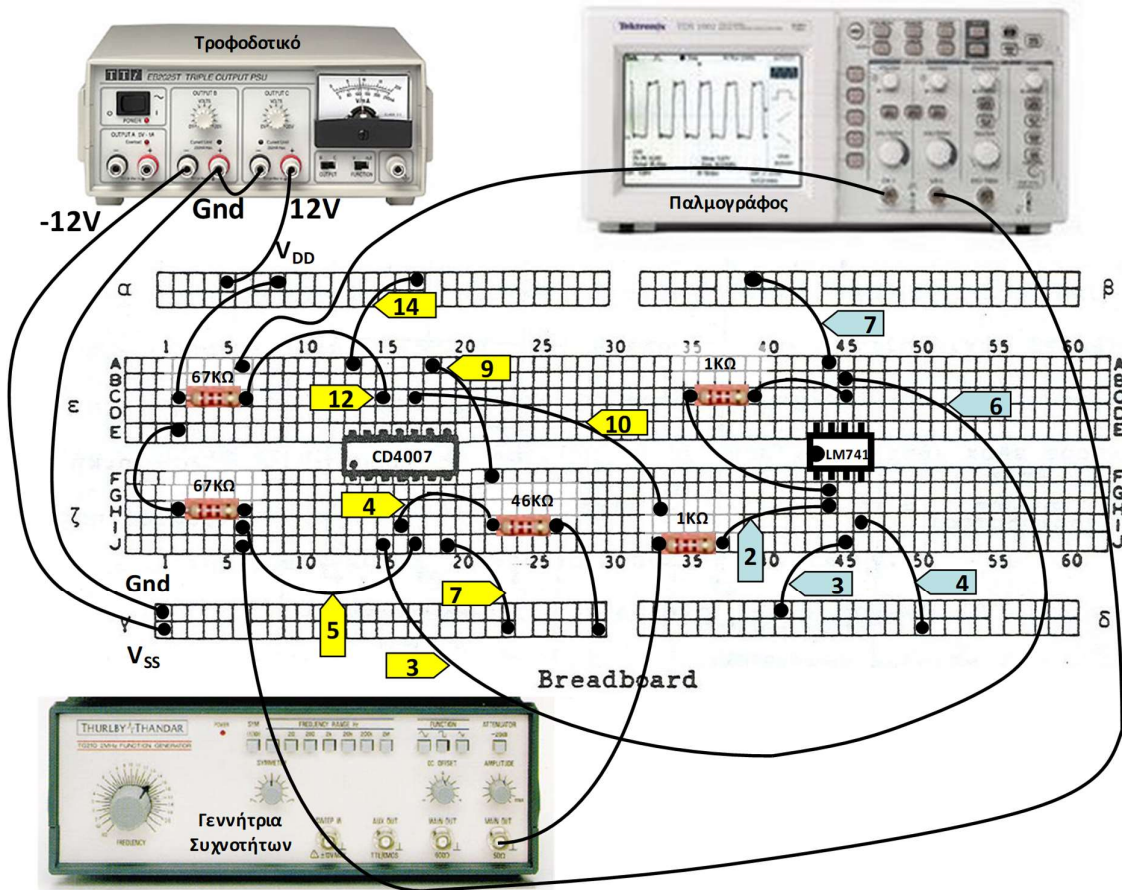
Υπογραφή:

### 5.3 Υλοποίηση στο εργαστήριο.

**5.3.1 Διαφορικός ενισχυτής:** Υλοποιήστε την πειραματική του Σχήματος 5.3 στο breadboard του εργαστηρίου σύμφωνα με τις οδηγίες του Σχήματος 5.4. Χρησιμοποιήστε το OK CD4007 για τα τρανζίστορ του διαφορικού ζεύγους και το OK LM741 (τελεστικός ενισχυτής), σε αναστρέφουσα συνδεσμολογία (βλ. Άσκηση Ι), για την αναστροφή του σήματος εισόδου  $u_i$  της γεννήτριας συχνοτήτων και τη γένεση της  $u_{g2}$  (ώστε  $u_{g2} = -u_{g1}$ ). Επιλέξτε ίδιες τιμές για τις αντιστάσεις  $R_1$  και  $R_2$  ( $R_1 = R_2 = 10\text{K}\Omega$ ). Όπως και στην προηγούμενη ενότητα 5.2 χρησιμοποιήστε ημιτονικό σήμα εισόδου  $u_i$  συχνότητας 1KHz και επιλέξτε:  $V_{DD} = 12\text{V}$ ,  $V_{SS} = -12\text{V}$ ,  $V_{g1} = V_{g2} = 100\text{mV}$ ,  $V_{G1} = V_{G2} = 0\text{V}$ ,  $R_S = 46\text{K}\Omega$  και  $R_D = 67\text{K}\Omega$ .



Σχήμα 5.3: Τοπολογία πειραματικής διάταξης



Σχήμα 5.4: Υλοποίηση πειραματικής διάταξης

A) Στον παλμογράφο απεικονίστε τις κυματομορφές των σημάτων  $u_{g1}$  και  $u_{g2}$  στις εισόδους του διαφορικού ενισχυτή. Μετρήστε την DC συνιστώσα  $V_{Gi}$  και το πλάτος τους  $V_{gi}$ . Στη συνέχεια απεικονίστε τις κυματομορφές των σημάτων  $u_{12}$  και  $u_5$  στις υποδοχές των τρανζίστορ M1 και M2. Μετρήστε και πάλι την DC συνιστώσα και το πλάτος των δύο σημάτων.

$V_{G1} =$	$V_{G2} =$
$V_{g1} =$	$V_{g2} =$
$V_{12(DC)} =$	$V_{5(DC)} =$
$V_{12(\text{πλάτος})} =$	$V_{5(\text{πλάτος})} =$

Υπογραφή:



Β) Στον παλμογράφο απεικονίστε την κυματομορφή του διαφορικού σήματος εισόδου  $u_{id}=u_{g1}-u_{g2}$  στην είσοδο του διαφορικού ενισχυτή. Μετρήστε την DC συνιστώσα και το πλάτος του. Στη συνέχεια απεικονίστε την κυματομορφή του διαφορικού σήματος εξόδου  $u_o=u_{12}-u_5$ . Μετρήστε την DC συνιστώσα και το πλάτος του. Ποιο το κέρδος τάσης  $A_u$  του ενισχυτή; Ποια η διαφορά φάσης εισόδου-εξόδου;

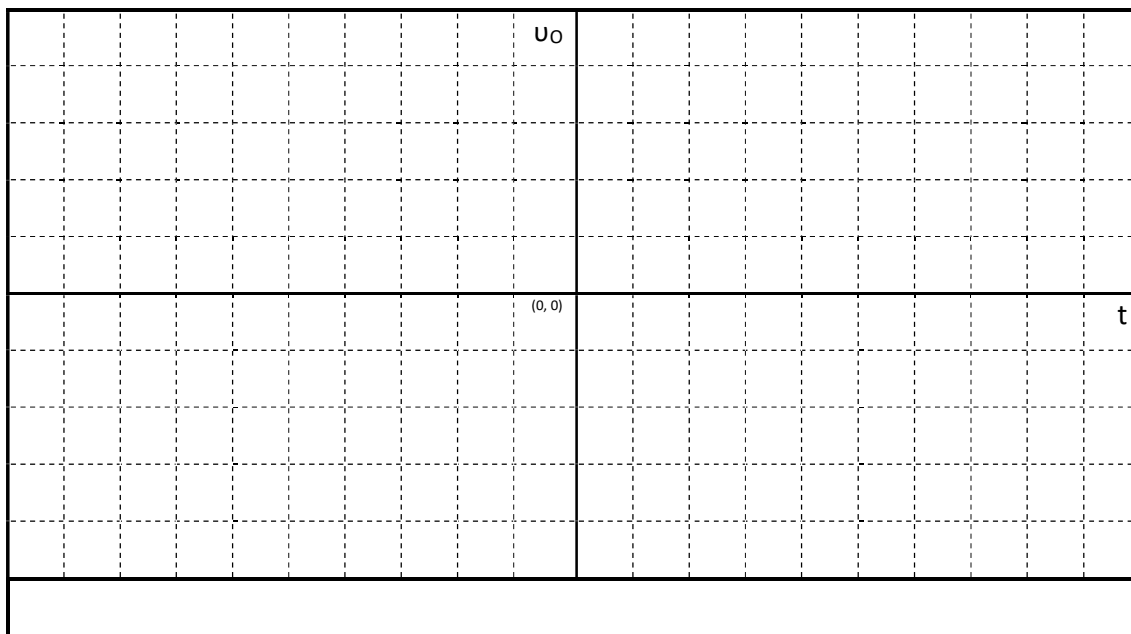
$V_{ID} =$	$V_{id} =$
$V_O =$	$V_o =$
$A_u =$	Διαφορά φάσης =

Υπογραφή:

Στο πλαίσιο των αξόνων που ακολουθεί απεικονίστε το διαφορικό σήμα εξόδου.

t														
$u_o$														

Υπογραφή:



Υπογραφή:

Γ) Μετρήστε την τάση εκτροπής εξόδου  $V_o$  και εισόδου  $V_{os}$  του διαφορικού ενισχυτή.

$V_o =$	$V_{os} =$
---------	------------

Υπογραφή:



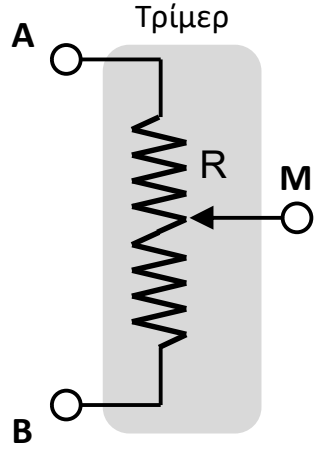
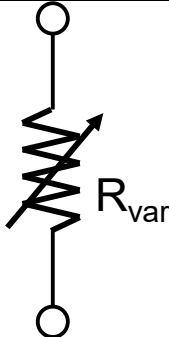


# Παράρτημα

## ΣΥΜΒΟΛΑ ΟΡΓΑΝΩΝ-ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ

Είδος	Συντομογραφία	Σύμβολο
Τροφοδοτικό	V	
Γεννήτρια (Πηγή) Σήματος	u	
Αντίσταση	R	
Πυκνωτής	C	



Τρίμερ	Τρίμερ	 <p>Τρίμερ</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>M</p> <p>R</p>
Τρίμερ ως μεταβλητή αντίσταση	$R_{var}$	 <p><math>R_{var}</math></p>



# Εγχειρίδια Χρήσης Κυκλωματικών Στοιχείων





# UA741

## GENERAL PURPOSE SINGLE OPERATIONAL AMPLIFIER

- LARGE INPUT VOLTAGE RANGE
- NO LATCH-UP
- HIGH GAIN
- SHORT-CIRCUIT PROTECTION
- NO FREQUENCY COMPENSATION
- REQUIRED
- SAME PIN CONFIGURATION AS THE UA709

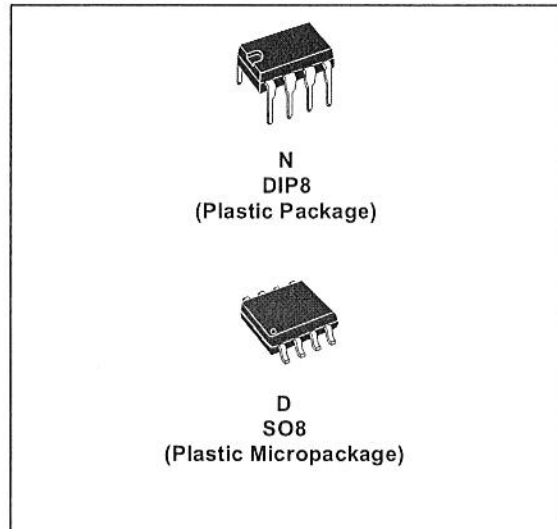
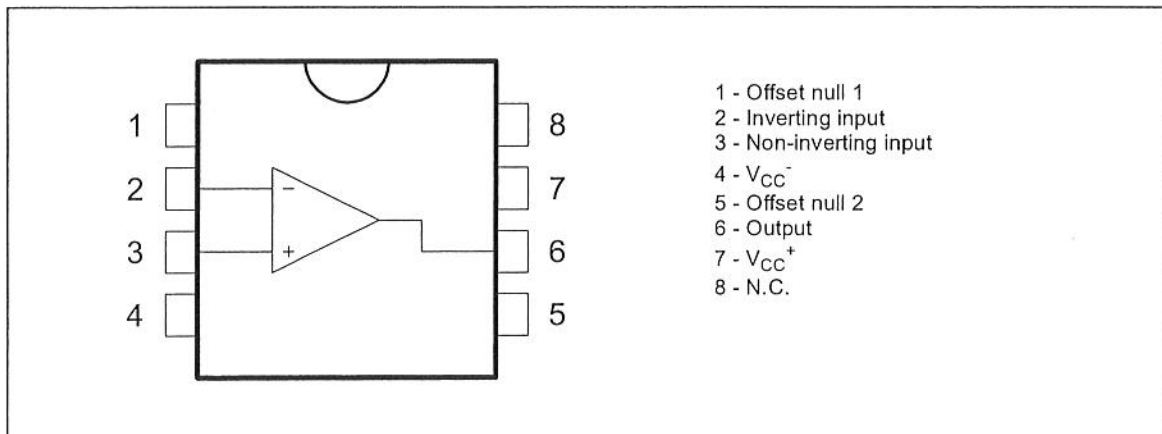
### DESCRIPTION

The UA741 is a high performance monolithic operational amplifier constructed on a single silicon chip. It is intended for a wide range of analog applications.

- Summing amplifier
- Voltage follower
- Integrator
- Active filter
- Function generator

The high gain and wide range of operating voltages provide superior performances in integrator, summing amplifier and general feedback applications. The internal compensation network (6dB/octave) insures stability in closed loop circuits.

### PIN CONNECTIONS (top view)



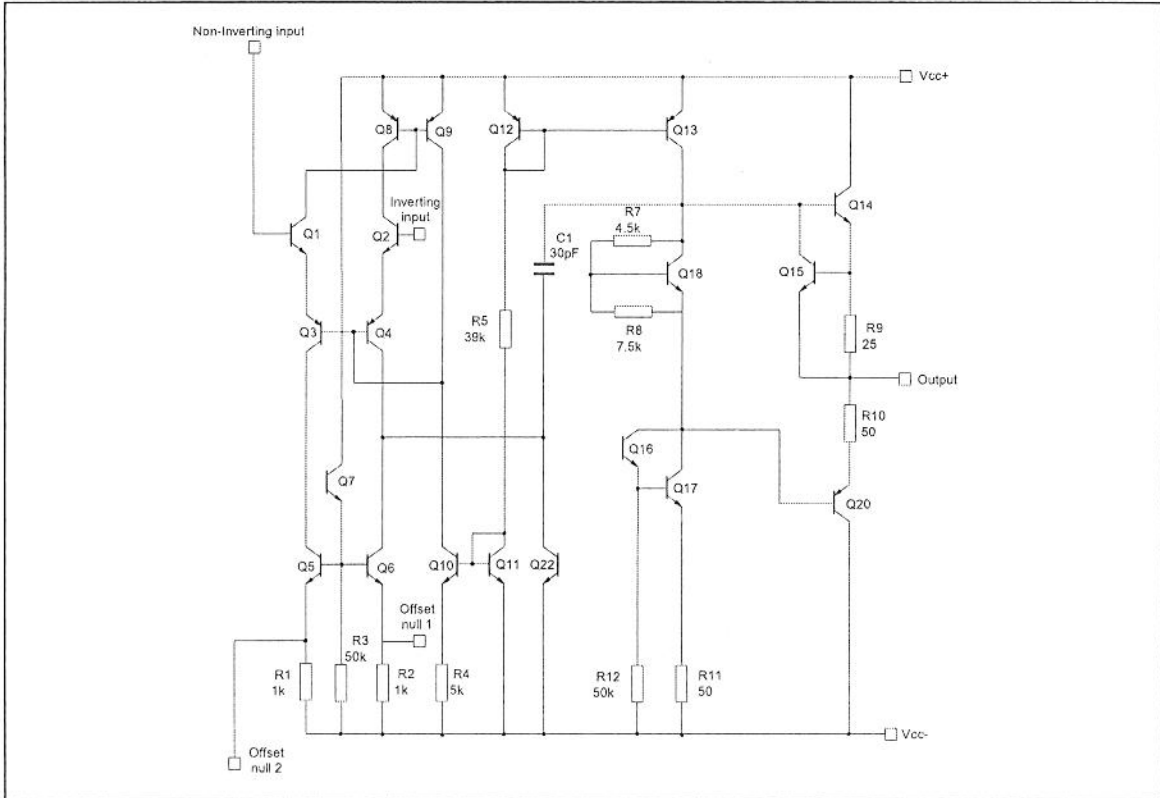
### ORDER CODE

Part Number	Temperature Range	Package	
		N	D
UA741C	0°C, +70°C	•	•
UA741I	-40°C, +105°C	•	•
UA741M	-55°C, +125°C	•	•

Example : UA741CN

N = Dual in Line Package (DIP)  
D = Small Outline Package (SO) - also available in Tape & Reel (DT)

SCHEMATIC DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	UA741M	UA741I	UA741C	Unit
$V_{CC}$	Supply voltage	±22			V
$V_{id}$	Differential Input Voltage	±30			V
$V_i$	Input Voltage	±15			V
$P_{tot}$	Power Dissipation <sup>1)</sup>	500			mW
	Output Short-circuit Duration	Infinite			
$T_{oper}$	Operating Free-air Temperature Range	-55 to +125	-40 to +105	0 to +70	°C
$T_{stg}$	Storage Temperature Range	-65 to +150			°C

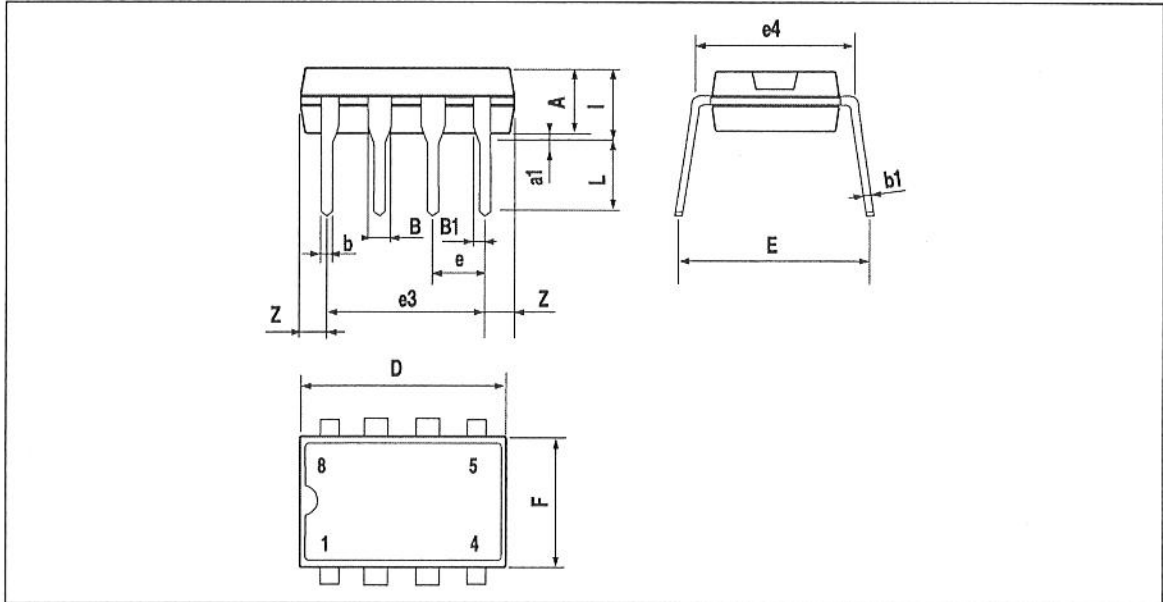
1. Power dissipation must be considered to ensure maximum junction temperature ( $T_j$ ) is not exceeded.

**ELECTRICAL CHARACTERISTICS** $V_{CC} = \pm 15V$ ,  $T_{amb} = +25^{\circ}C$  (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
$V_{io}$	Input Offset Voltage ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1	5 6	mV
$I_{io}$	Input Offset Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		2	30 70	nA
$I_{ib}$	Input Bias Current $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		10	100 200	nA
$A_{vd}$	Large Signal Voltage Gain ( $V_o = \pm 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	50 25	200		V/mV
SVR	Supply Voltage Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	77 77	90		dB
$I_{CC}$	Supply Current, no load $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$		1.7	2.8 3.3	mA
$V_{icm}$	Input Common Mode Voltage Range $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	$\pm 12$ $\pm 12$			V
CMR	Common Mode Rejection Ratio ( $R_s \leq 10k\Omega$ ) $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$	70 70	90		dB
$I_{OS}$	Output short Circuit Current	10	25	40	mA
$\pm V_{opp}$	Output Voltage Swing $T_{amb} = +25^{\circ}C$ $T_{min} \leq T_{amb} \leq T_{max}$				V
	$R_L = 10k\Omega$	12	14		
	$R_L = 2k\Omega$	10	13		
	$R_L = 10k\Omega$	12			
	$R_L = 2k\Omega$	10			
SR	Slew Rate $V_i = \pm 10V$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain	0.25	0.5		V/ $\mu s$
$t_r$	Rise Time $V_i = \pm 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain		0.3		$\mu s$
$K_{ov}$	Overshoot $V_i = 20mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , unity Gain		5		%
$R_i$	Input Resistance	0.3	2		M $\Omega$
GBP	Gain Bandwidth Product $V_i = 10mV$ , $R_L = 2k\Omega$ , $C_L = 100pF$ , $f = 100kHz$	0.7	1		MHz
THD	Total Harmonic Distortion $f = 1kHz$ , $A_v = 20dB$ , $R_L = 2k\Omega$ , $V_o = 2V_{pp}$ , $C_L = 100pF$ , $T_{amb} = +25^{\circ}C$		0.06		%
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage $f = 1kHz$ , $R_s = 100\Omega$		23		$\frac{nV}{\sqrt{Hz}}$
$\phi_m$	Phase Margin		50		Degrees

# UA741

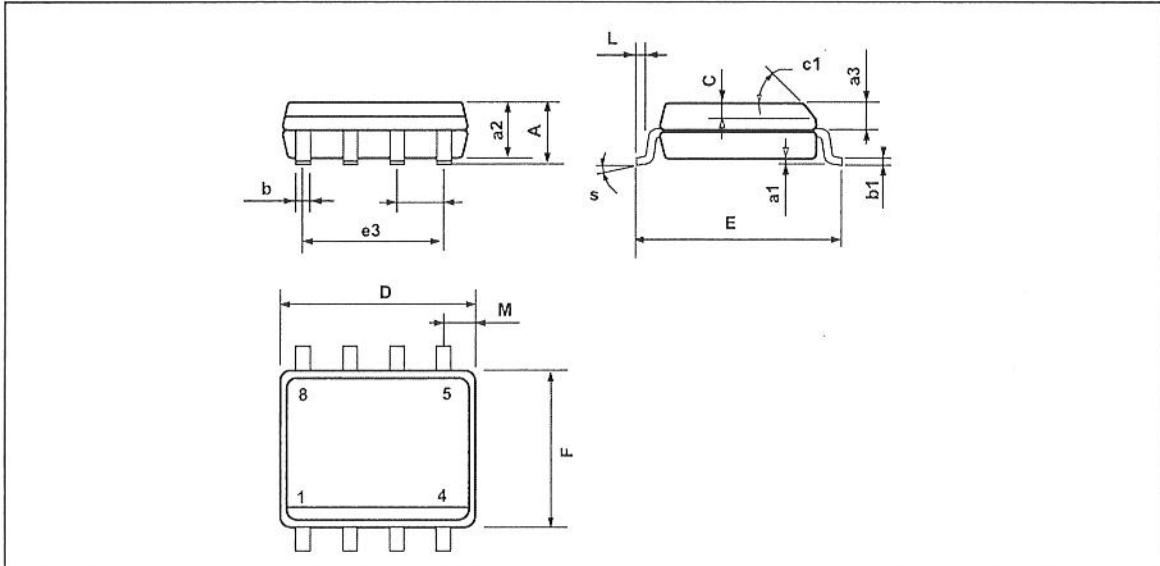
## PACKAGE MECHANICAL DATA 8 PINS - PLASTIC DIP



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A		3.32			0.131	
a1	0.51			0.020		
B	1.15		1.65	0.045		0.065
b	0.356		0.55	0.014		0.022
b1	0.204		0.304	0.008		0.012
D			10.92			0.430
E	7.95		9.75	0.313		0.384
e		2.54			0.100	
e3		7.62			0.300	
e4		7.62			0.300	
F			6.6			0.260
i			5.08			0.200
L	3.18		3.81	0.125		0.150
Z			1.52			0.060



**PACKAGE MECHANICAL DATA**  
**8 PINS - PLASTIC MICROPACKAGE (SO)**



Dim.	Millimeters			Inches		
	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.
A			1.75			0.069
a1	0.1		0.25	0.004		0.010
a2			1.65			0.065
a3	0.65		0.85	0.026		0.033
b	0.35		0.48	0.014		0.019
b1	0.19		0.25	0.007		0.010
C	0.25		0.5	0.010		0.020
c1	45° (typ.)					
D	4.8		5.0	0.189		0.197
E	5.8		6.2	0.228		0.244
e		1.27			0.050	
e3		3.81			0.150	
F	3.8		4.0	0.150		0.157
L	0.4		1.27	0.016		0.050
M			0.6			0.024
S	8° (max.)					

Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, STMicroelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of STMicroelectronics. Specifications mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. STMicroelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of STMicroelectronics.

© The ST logo is a registered trademark of STMicroelectronics

© 2001 STMicroelectronics - Printed in Italy - All Rights Reserved  
 STMicroelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - Finland - France - Germany - Hong Kong - India - Israel - Italy - Japan - Malaysia  
 Malta - Morocco - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - United Kingdom - United States

© <http://www.st.com>





# Fast Switching Diode

## 1N4148 / 1N4448

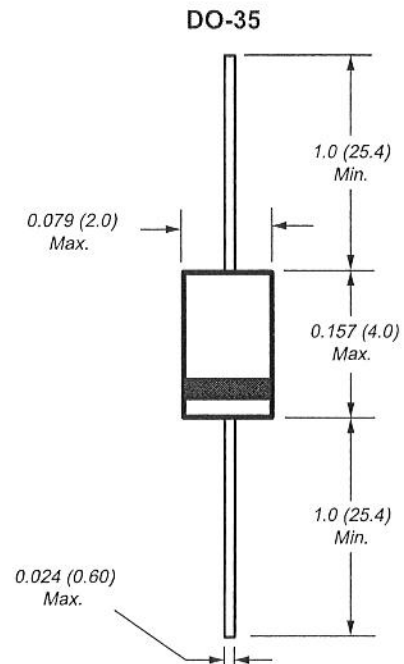
High Speed

### Features

- Fast Switching Speed
- General Purpose Rectification
- Silicon Epitaxial Planar Construction

### Mechanical Data

- Case: DO-35
- Terminals: Solderable per MIL-STD-202, Method 208
- Polarity: Cathode Band
- Weight: 0.13 grams (approx.)



Dimensions in inches and (millimeters)

### Maximum Ratings @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	1N4148	1N4448	Unit
Non-Repetitive Peak Reverse Voltage	$V_{RM}$	100		V
Peak Repetitive Reverse Voltage Working Peak Reverse Voltage DC Blocking Voltage	$V_{RRM}$ $V_{RWM}$ $V_R$	75		V
RMS Reverse Voltage	$V_{R(RMS)}$	53		V
Forward Continuous Current (Note 1)	$I_{FM}$	300	500	mA
Average Rectified Output Current (Note 1)	$I_O$	150		mA
Non-Repetitive Peak Forward Surge Current @ $t = 1.0\text{s}$ @ $t = 1.0\mu\text{s}$	$I_{FSM}$	1.0 2.0		A
Power Dissipation (Note 1) Derate Above $25^\circ\text{C}$	$P_d$	500 1.68		mW mW/ $^\circ\text{C}$
Thermal Resistance, Junction to Ambient Air (Note 1)	$R_{\theta JA}$	300		K/W
Operating and Storage Temperature Range	$T_J, T_{STG}$	-65 to +175		$^\circ\text{C}$

### Electrical Characteristics @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise specified

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit	Test Condition
Maximum Forward Voltage	$V_{FM}$	—	1.0	V	$I_F = 10\text{mA}$ $I_F = 5.0\text{mA}$ $I_F = 100\text{mA}$
Maximum Peak Reverse Current	$I_{RM}$	—	5.0 50 30 25	$\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$ $\mu\text{A}$ nA	$V_R = 75\text{V}$ $V_R = 70\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}, T_J = 150^\circ\text{C}$ $V_R = 20\text{V}$
Capacitance	$C_j$	—	4.0	pF	$V_R = 0, f = 1.0\text{MHz}$
Reverse Recovery Time	$t_{rr}$	—	4.0	ns	$I_F = 10\text{mA}$ to $I_R = 1.0\text{mA}$ $V_R = 6.0\text{V}, R_L = 100\Omega$

Notes: 1. Valid provided that device terminals are kept at ambient temperature.

Ratings and Characteristic Curves (TA = 25°C unless otherwise noted)

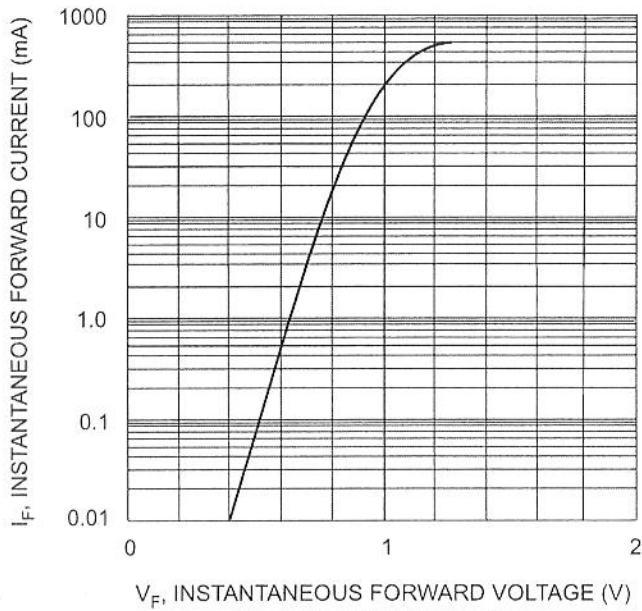


Fig. 1 Forward Characteristics

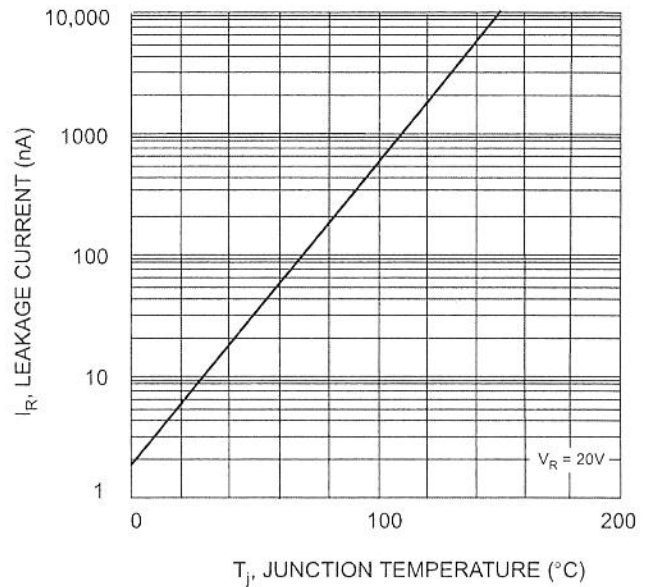


Fig. 2, Leakage Current vs Junction Temperature

**General Purpose NPN Transistor Array**

The CA3046 consists of five general purpose silicon NPN transistors on a common monolithic substrate. Two of the transistors are internally connected to form a differentially connected pair.

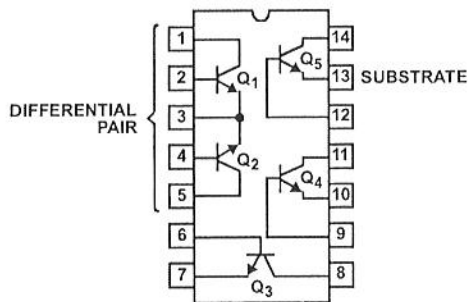
The transistors of the CA3046 are well suited to a wide variety of applications in low power systems in the DC through VHF range. They may be used as discrete transistors in conventional circuits. However, in addition, they provide the very significant inherent integrated circuit advantages of close electrical and thermal matching.

**Ordering Information**

PART NUMBER (BRAND)	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3046	-55 to 125	14 Ld PDIP	E14.3
CA3046M (3046)	-55 to 125	14 Ld SOIC	M14.15
CA3046M96 (3046)	-55 to 125	14 Ld SOIC Tape and Reel	M14.15

**Pinout**

CA3046 (PDIP, SOIC)  
TOP VIEW



**Features**

- Two Matched Transistors
  - $V_{BE}$  Match . . . . .  $\pm 5mV$
  - $I_{IO}$  Match. . . . .  $.2\mu A$  (Max)
- Low Noise Figure . . . . . 3.2dB (Typ) at 1kHz
- 5 General Purpose Monolithic Transistors
- Operation From DC to 120MHz
- Wide Operating Current Range
- Full Military Temperature Range

**Applications**

- Three Isolated Transistors and One Differentially Connected Transistor Pair for Low Power Applications at Frequencies from DC Through the VHF Range
- Custom Designed Differential Amplifiers
- Temperature Compensated Amplifiers
- See Application Note, AN5296 "Application of the CA3018 Integrated-Circuit Transistor Array" for Suggested Applications

## CA3046

### Absolute Maximum Ratings

Collector-to-Emitter Voltage ( $V_{CEO}$ )	15V
Collector-to-Base Voltage ( $V_{CBO}$ )	20V
Collector-to-Substrate Voltage ( $V_{CIO}$ , Note 1)	20V
Emitter-to-Base Voltage ( $V_{EBO}$ )	5V
Collector Current ( $I_C$ )	50mA

### Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 2)	$\theta_{JA}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )	$\theta_{JC}$ ( $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ )
PDIP Package	180	N/A
SOIC Package	220	N/A
Maximum Power Dissipation (Any One Transistor)	300mW	
Maximum Junction Temperature (Plastic Package)	150 $^{\circ}\text{C}$	
Maximum Storage Temperature Range	-65 $^{\circ}\text{C}$ to 150 $^{\circ}\text{C}$	
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)	300 $^{\circ}\text{C}$	
	(SOIC - Lead Tips Only)	

### Operating Conditions

Temperature Range ..... -55 $^{\circ}\text{C}$  to 125 $^{\circ}\text{C}$

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTES:

- The collector of each transistor of the CA3046 is isolated from the substrate by an integral diode. The substrate (Terminal 13) must be connected to the most negative point in the external circuit to maintain isolation between transistors and to provide for normal transistor action.
- $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

### Electrical Specifications $T_A = 25^{\circ}\text{C}$ , characteristics apply for each transistor in CA3046 as specified

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
<b>DC CHARACTERISTICS</b>							
Collector-to-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)CBO}$	$I_C = 10\mu\text{A}$ , $I_E = 0$	20	60	-	V	
Collector-to-Emitter Breakdown Voltage	$V_{(BR)CEO}$	$I_C = 1\text{mA}$ , $I_B = 0$	15	24	-	V	
Collector-to-Substrate Breakdown Voltage	$V_{(BR)CIO}$	$I_C = 10\mu\text{A}$ , $I_C I = 0$	20	60	-	V	
Emitter-to-Base Breakdown Voltage	$V_{(BR)EBO}$	$I_E = 10\mu\text{A}$ , $I_C = 0$	5	7	-	V	
Collector Cutoff Current (Figure 1)	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 10\text{V}$ , $I_E = 0$	-	0.002	40	nA	
Collector Cutoff Current (Figure 2)	$I_{CEO}$	$V_{CE} = 10\text{V}$ , $I_B = 0$	-	See Fig. 2	0.5	$\mu\text{A}$	
Forward Current Transfer Ratio (Static Beta) (Note 3) (Figure 3)	$h_{FE}$	$V_{CE} = 3\text{V}$	$I_C = 10\text{mA}$	-	100	-	-
			$I_C = 1\text{mA}$	40	100	-	-
			$I_C = 10\mu\text{A}$	-	54	-	-
Input Offset Current for Matched Pair $Q_1$ and $Q_2$ . $ I_{IO1} - I_{IO2} $ (Note 3) (Figure 4)		$V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	0.3	2	$\mu\text{A}$	
Base-to-Emitter Voltage (Note 3) (Figure 5)	$V_{BE}$	$V_{CE} = 3\text{V}$	$I_E = 1\text{mA}$	-	0.715	-	V
			$I_E = 10\text{mA}$	-	0.800	-	V
Magnitude of Input Offset Voltage for Differential Pair $ V_{BE1} - V_{BE2} $ (Note 3) (Figures 5, 7)		$V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	0.45	5	mV	
Magnitude of Input Offset Voltage for Isolated Transistors $ V_{BE3} - V_{BE4} $ , $ V_{BE4} - V_{BE5} $ , $ V_{BE5} - V_{BE3} $ (Note 3) (Figures 5, 7)		$V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	0.45	5	mV	
Temperature Coefficient of Base-to-Emitter Voltage (Figure 6)	$\frac{\Delta V_{BE}}{\Delta T}$	$V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	-1.9	-	mV/ $^{\circ}\text{C}$	
Collector-to-Emitter Saturation Voltage	$V_{CES}$	$I_B = 1\text{mA}$ , $I_C = 10\text{mA}$	-	0.23	-	V	
Temperature Coefficient: Magnitude of Input Offset Voltage (Figure 7)	$\frac{ \Delta V_{IO} }{\Delta T}$	$V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	1.1	-	$\mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$	
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>							
Low Frequency Noise Figure (Figure 9)	NF	$f = 1\text{kHz}$ , $V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 100\mu\text{A}$ , Source Resistance = $1\text{k}\Omega$	-	3.25	-	dB	
Low Frequency, Small Signal Equivalent Circuit Characteristics							
Forward Current Transfer Ratio (Figure 11)	$h_{FE}$	$f = 1\text{kHz}$ , $V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	110	-	-	
Short Circuit Input Impedance (Figure 11)	$h_{iE}$	$f = 1\text{kHz}$ , $V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	3.5	-	$\text{k}\Omega$	
Open Circuit Output Impedance (Figure 11)	$h_{oE}$	$f = 1\text{kHz}$ , $V_{CE} = 3\text{V}$ , $I_C = 1\text{mA}$	-	15.6	-	$\mu\text{S}$	

# CA3046

## Electrical Specifications $T_A = 25^\circ\text{C}$ , characteristics apply for each transistor in CA3046 as specified (Continued)

PARAMETER	SYMBOL	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Open Circuit Reverse Voltage Transfer Ratio (Figure 11)	$h_{RE}$	$f = 1\text{kHz}, V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 1\text{mA}$	-	$1.8 \times 10^{-4}$	-	-
Admittance Characteristics						
Forward Transfer Admittance (Figure 12)	$Y_{FE}$	$f = 1\text{kHz}, V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 1\text{mA}$	-	$31 - j1.5$	-	-
Input Admittance (Figure 13)	$Y_{IE}$	$f = 1\text{kHz}, V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 1\text{mA}$	-	$0.3 + j0.04$	-	-
Output Admittance (Figure 14)	$Y_{OE}$	$f = 1\text{kHz}, V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 1\text{mA}$	-	$0.001 + j0.03$	-	-
Reverse Transfer Admittance (Figure 15)	$Y_{RE}$	$f = 1\text{kHz}, V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 1\text{mA}$	-	See Fig. 14	-	-
Gain Bandwidth Product (Figure 16)	$f_T$	$V_{CE} = 3\text{V}, I_C = 3\text{mA}$	300	550	-	MHz
Emitter-to-Base Capacitance	$C_{EB}$	$V_{EB} = 3\text{V}, I_E = 0$	-	0.6	-	pF
Collector-to-Base Capacitance	$C_{CB}$	$V_{CB} = 3\text{V}, I_C = 0$	-	0.58	-	pF
Collector-to-Substrate Capacitance	$C_{CI}$	$V_{CS} = 3\text{V}, I_C = 0$	-	2.8	-	pF

NOTE:

3. Actual forcing current is via the emitter for this test.

## Typical Performance Curves

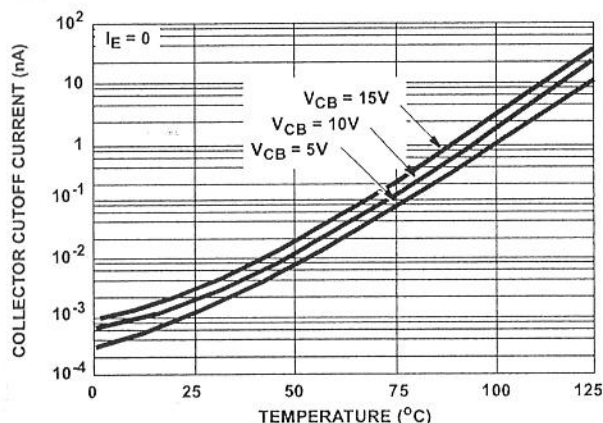


FIGURE 1. TYPICAL COLLECTOR-TO-BASE CUTOFF CURRENT vs TEMPERATURE FOR EACH TRANSISTOR

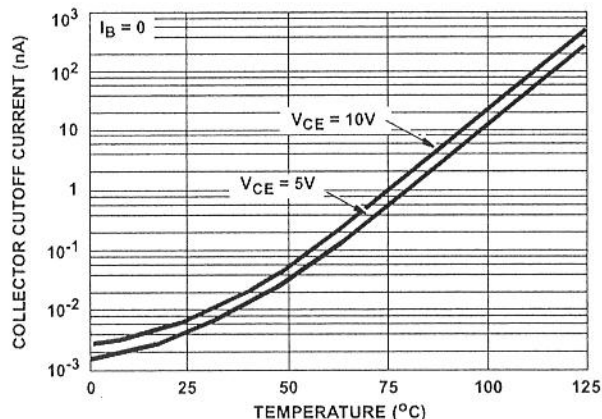


FIGURE 2. TYPICAL COLLECTOR-TO-EMITTER CUTOFF CURRENT vs TEMPERATURE FOR EACH TRANSISTOR

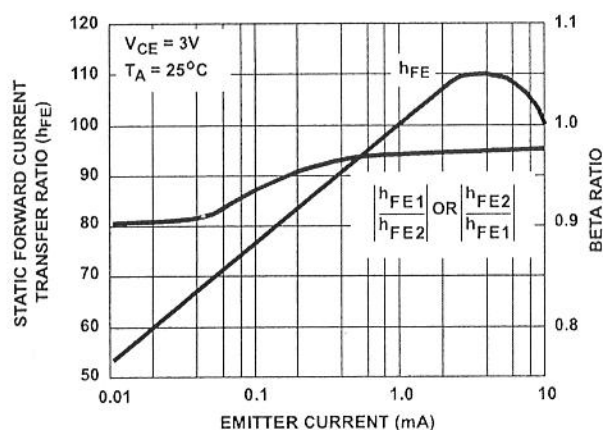


FIGURE 3. TYPICAL STATIC FORWARD CURRENT TRANSFER RATIO AND BETA RATIO FOR  $Q_1$  AND  $Q_2$  vs EMITTER CURRENT

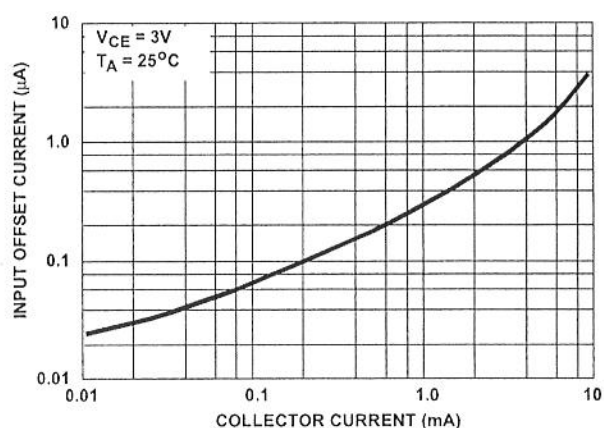


FIGURE 4. TYPICAL INPUT OFFSET CURRENT FOR MATCHED TRANSISTOR PAIR  $Q_1Q_2$  vs COLLECTOR CURRENT

Typical Performance Curves (Continued)

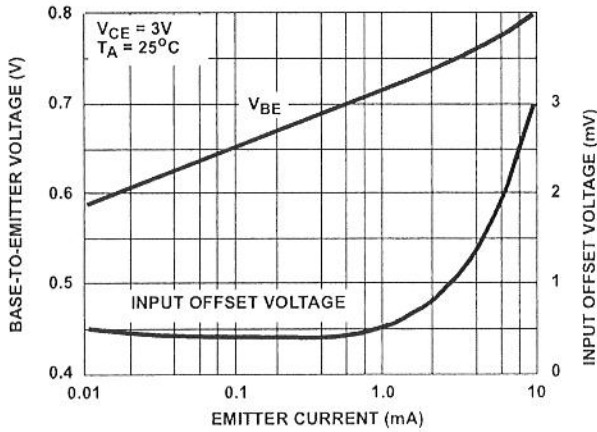


FIGURE 5. TYPICAL STATIC BASE-TO-EMITTER VOLTAGE CHARACTERISTICS AND INPUT OFFSET VOLTAGE FOR DIFFERENTIAL PAIR AND PAIRED ISOLATED TRANSISTORS vs EMITTER CURRENT

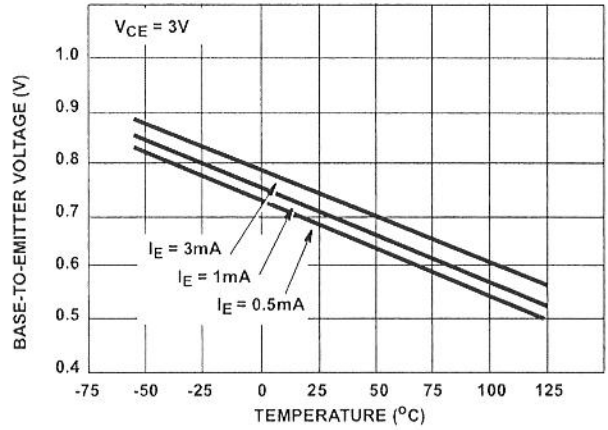


FIGURE 6. TYPICAL BASE-TO-EMITTER VOLTAGE CHARACTERISTIC vs TEMPERATURE FOR EACH TRANSISTOR

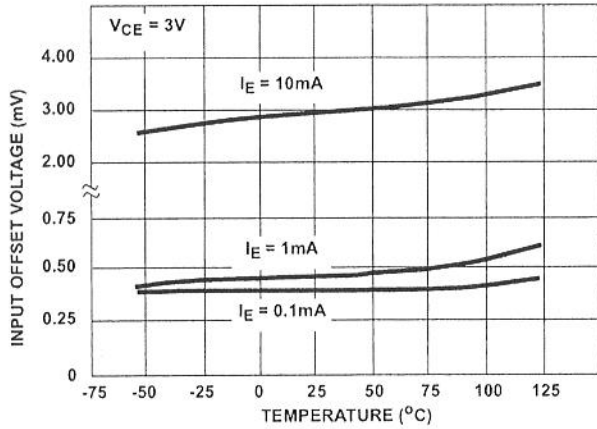


FIGURE 7. TYPICAL INPUT OFFSET VOLTAGE CHARACTERISTICS FOR DIFFERENTIAL PAIR AND PAIRED ISOLATED TRANSISTORS vs TEMPERATURE

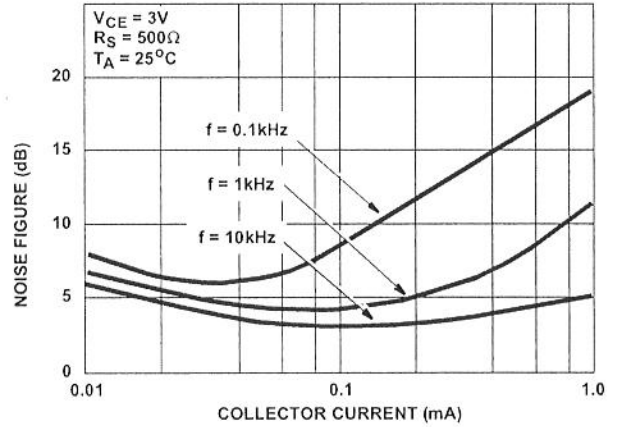


FIGURE 8. TYPICAL NOISE FIGURE vs COLLECTOR CURRENT

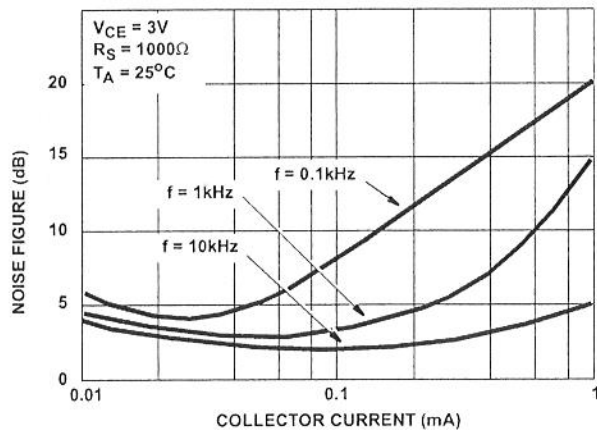


FIGURE 9. TYPICAL NOISE FIGURE vs COLLECTOR CURRENT

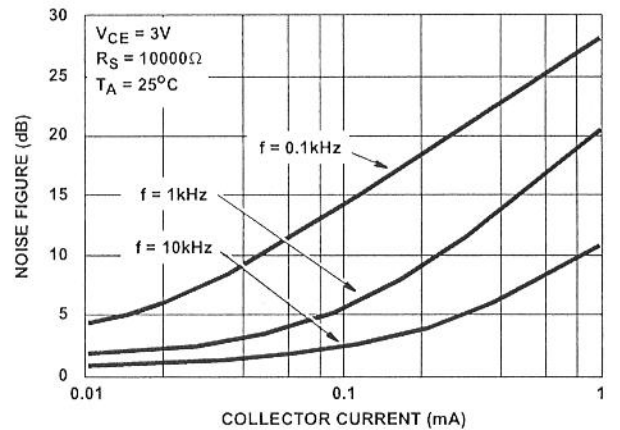


FIGURE 10. TYPICAL NOISE FIGURE vs COLLECTOR CURRENT



Typical Performance Curves (Continued)

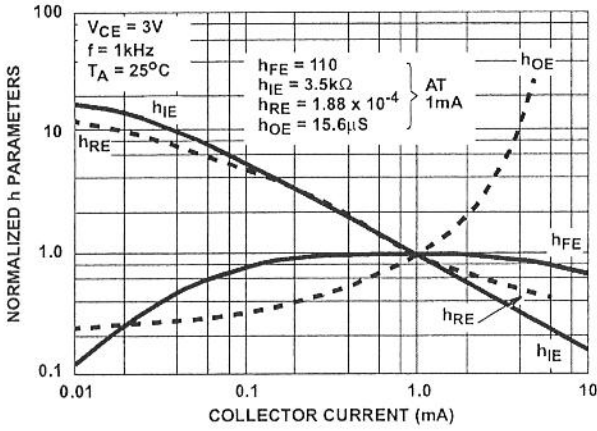


FIGURE 11. TYPICAL NORMALIZED FORWARD CURRENT TRANSFER RATIO, SHORT CIRCUIT INPUT IMPEDANCE, OPEN CIRCUIT OUTPUT IMPEDANCE, AND OPEN CIRCUIT REVERSE VOLTAGE TRANSFER RATIO vs COLLECTOR CURRENT

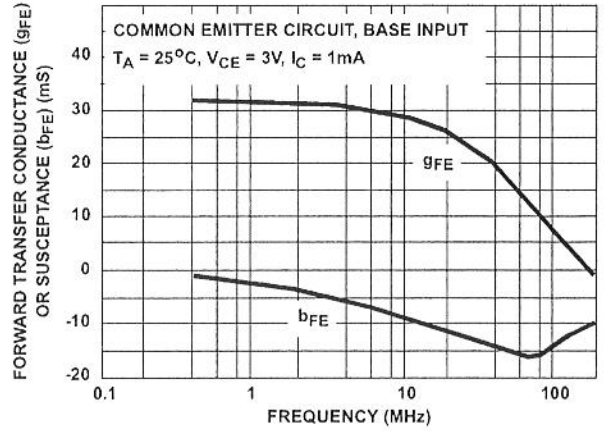


FIGURE 12. TYPICAL FORWARD TRANSFER ADMITTANCE vs FREQUENCY

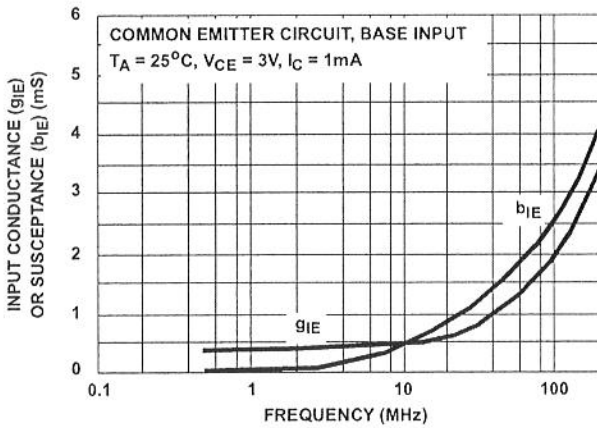


FIGURE 13. TYPICAL INPUT ADMITTANCE vs FREQUENCY

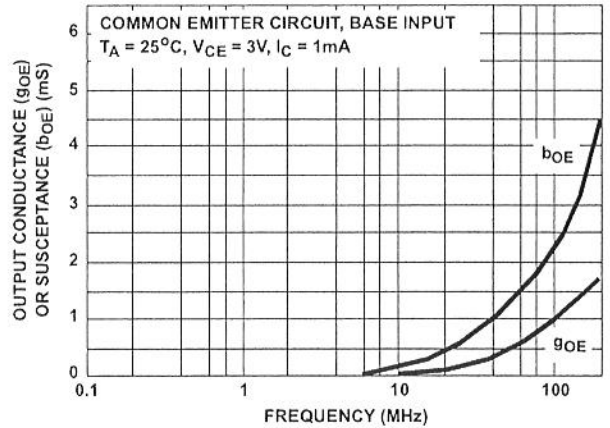


FIGURE 14. TYPICAL OUTPUT ADMITTANCE vs FREQUENCY

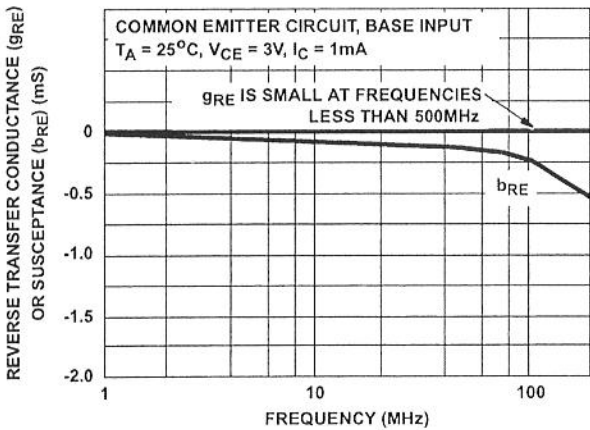


FIGURE 15. TYPICAL REVERSE TRANSFER ADMITTANCE vs FREQUENCY

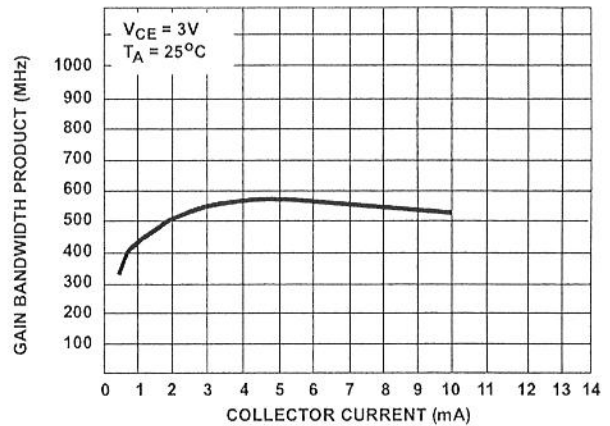


FIGURE 16. TYPICAL GAIN BANDWIDTH PRODUCT vs COLLECTOR CURRENT

All Intersil products are manufactured, assembled and tested utilizing ISO9000 quality systems.

Intersil Corporation's quality certifications can be viewed at website [www.intersil.com/design/quality/iso.asp](http://www.intersil.com/design/quality/iso.asp).

*Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site [www.intersil.com](http://www.intersil.com)

### **Sales Office Headquarters**

#### **NORTH AMERICA**

Intersil Corporation  
2401 Palm Bay Rd.  
Palm Bay, FL 32905  
TEL: (321) 724-7000  
FAX: (321) 724-7240

#### **EUROPE**

Intersil SA  
Mercure Center  
100, Rue de la Fusee  
1130 Brussels, Belgium  
TEL: (32) 2.724.2111  
FAX: (32) 2.724.22.05

#### **ASIA**

Intersil Ltd.  
8F-2, 96, Sec. 1, Chien-kuo North,  
Taipei, Taiwan 104  
Republic of China  
TEL: 886-2-2515-8508  
FAX: 886-2-2515-8369

November 1994

## CMOS Dual Complementary Pair Plus Inverter

### Features

- High-Voltage Type (20V Rating)
- Standardized Symmetrical Output Characteristics
- Medium Speed Operation
  - $t_{PHL}, t_{PLH} = 30 \text{ ns (typ)}$  at 10V
- 100% Tested for Maximum Quiescent Current at 20V
- Meets All Requirements of JEDEC Tentative Standards No. 13B, "Standard Specifications for Description of "B" Series CMOS Devices"
- Maximum Input Current of  $1\mu\text{A}$  at 18V Over Full Package-Temperature Range;  $100\text{nA}$  at 18V and  $+25^\circ\text{C}$

### Applications

- Extremely High-Input Impedance Amplifiers
- Shapers
- Inverters
- Threshold Detector
- Linear Amplifiers
- Crystal Oscillators

### Description

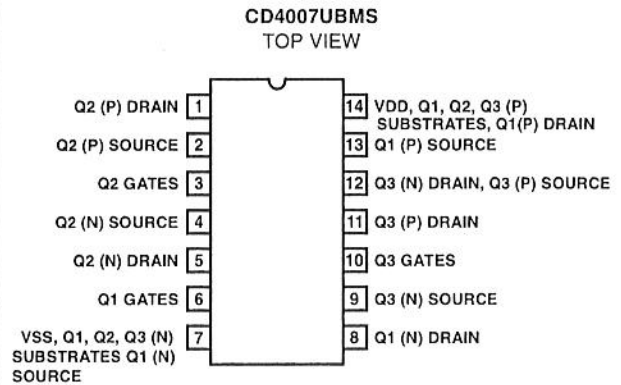
CD4007BMS types are comprised of three n-channel and three p-channel enhancement-type MOS transistors. The transistor elements are accessible through the package terminals to provide a convenient means for constructing the various typical circuits as shown in Figure 2.

More complex functions are possible using multiple packages. Numbers shown in parentheses indicate terminals that are connected together to form the various configurations listed.

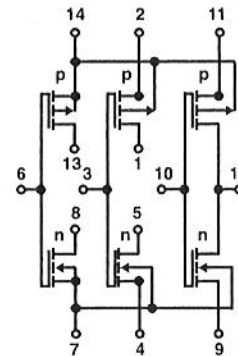
The CD4007BMS is supplied in these 14 lead outline packages:

Braze Seal DIP	H4Q
Frit Seal DIP	H1B
Ceramic Flatpack	H3W

### Pinout



### Functional Diagram



TERMINAL NO. 14 - VDD  
TERMINAL NO. 7 - VSS

## Specifications CD4007UBMS

### Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range, (VDD) . . . . . -0.5V to +20V  
 (Voltage Referenced to VSS Terminals)  
 Input Voltage Range, All Inputs . . . . . -0.5V to VDD +0.5V  
 DC Input Current, Any One Input . . . . . ±10mA  
 Operating Temperature Range . . . . . -55°C to +125°C  
 Package Types D, F, K, H  
 Storage Temperature Range (TSTG) . . . . . -65°C to +150°C  
 Lead Temperature (During Soldering) . . . . . +265°C  
 At Distance 1/16 ± 1/32 Inch (1.59mm ± 0.79mm) from case for  
 10s Maximum

### Reliability Information

Thermal Resistance . . . . .  $\theta_{ja}$   $\theta_{jc}$   
 Ceramic DIP and FRIT Package . . . . . 80°C/W 20°C/W  
 Flatpack Package . . . . . 70°C/W 20°C/W  
 Maximum Package Power Dissipation (PD) at +125°C  
 For  $T_A = -55^\circ\text{C}$  to +100°C (Package Type D, F, K) . . . . . 500mW  
 For  $T_A = +100^\circ\text{C}$  to +125°C (Package Type D, F, K) . . . . . Derate  
 Linearity at 12mW/°C to 200mW  
 Device Dissipation per Output Transistor . . . . . 100mW  
 For  $T_A =$  Full Package Temperature Range (All Package Types)  
 Junction Temperature . . . . . +175°C

**TABLE 1. DC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1)		GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
						MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND		1	+25°C	-	0.5	µA
				2	+125°C	-	50	µA
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND		3	-55°C	-	0.5	µA
Input Leakage Current	IIL	VIN = VDD or GND	VDD = 20	1	+25°C	-100	-	nA
				2	+125°C	-1000	-	nA
			VDD = 18V	3	-55°C	-100	-	nA
Input Leakage Current	IIH	VIN = VDD or GND	VDD = 20	1	+25°C	-	100	nA
				2	+125°C	-	1000	nA
			VDD = 18V	3	-55°C	-	100	nA
Output Voltage	VOL15	VDD = 15V, No Load		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOH15	VDD = 15V, No Load (Note 3)		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	14.95	-	V
Output Current (Sink)	IOL5	VDD = 5V, VOUT = 0.4V		1	+25°C	0.53	-	mA
Output Current (Sink)	IOL10	VDD = 10V, VOUT = 0.5V		1	+25°C	1.4	-	mA
Output Current (Sink)	IOL15	VDD = 15V, VOUT = 1.5V		1	+25°C	3.5	-	mA
Output Current (Source)	IOH5A	VDD = 5V, VOUT = 4.6V		1	+25°C	-	-0.53	mA
Output Current (Source)	IOH5B	VDD = 5V, VOUT = 2.5V		1	+25°C	-	-1.8	mA
Output Current (Source)	IOH10	VDD = 10V, VOUT = 9.5V		1	+25°C	-	-1.4	mA
Output Current (Source)	IOH15	VDD = 15V, VOUT = 13.5V		1	+25°C	-	-3.5	mA
N Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10µA		1	+25°C	-2.8	-0.7	V
P Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10µA		1	+25°C	0.7	2.8	V
Functional	F	VDD = 2.8V, VIN = VDD or GND		7	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V
		VDD = 20V, VIN = VDD or GND		7	+25°C			
		VDD = 18V, VIN = VDD or GND		8A	+125°C			
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND		8B	-55°C			
Input Voltage Low (Note 2)	VIL	VDD = 5V, VOH > 4.5V, VOL < 0.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	1.0	V
Input Voltage High (Note 2)	VIH	VDD = 5V, VOH > 4.5V, VOL < 0.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	4.0	-	V
Input Voltage Low (Note 2)	VIL	VDD = 15V, VOH > 13.5V, VOL < 1.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	-	2.5	V
Input Voltage High (Note 2)	VIH	VDD = 15V, VOH > 13.5V, VOL < 1.5V		1, 2, 3	+25°C, +125°C, -55°C	12.5	-	V

NOTES: 1. All voltages referenced to device GND, 100% testing being implemented. 3. For accuracy, voltage is measured differentially to VDD. Limit is 0.050V max.  
 2. Go/No Go test with limits applied to inputs

## Specifications CD4007UBMS

**TABLE 2. AC ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS (NOTE 1, 2)	GROUP A SUBGROUPS	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Propagation Delay	TPHL TPLH	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	110	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	149	ns
Transition Time	TTHL TTLH	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	9	+25°C	-	200	ns
			10, 11	+125°C, -55°C	-	270	ns

**NOTES:**

1. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.
2. 55°C and +125°C limits guaranteed, 100% testing being implemented.

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 5V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.25	μA
				+125°C	-	7.5	μA
		VDD = 10V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.5	μA
				+125°C	-	15	μA
		VDD = 15V, VIN = VDD or GND	1, 2	-55°C, +25°C	-	0.5	μA
				+125°C	-	30	μA
Output Voltage	VOL	VDD = 5V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOL	VDD = 10V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	50	mV
Output Voltage	VOH	VDD = 5V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	4.95	-	V
Output Voltage	VOH	VDD = 10V, No Load	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	9.95	-	V
Output Current (Sink)	IOL5	VDD = 5V, VOUT = 0.4V	1, 2	+125°C	0.36	-	mA
				-55°C	0.64	-	mA
Output Current (Sink)	IOL10	VDD = 10V, VOUT = 0.5V	1, 2	+125°C	0.9	-	mA
				-55°C	1.6	-	mA
Output Current (Sink)	IOL15	VDD = 15V, VOUT = 1.5V	1, 2	+125°C	2.4	-	mA
				-55°C	4.2	-	mA
Output Current (Source)	IOH5A	VDD = 5V, VOUT = 4.6V	1, 2	+125°C	-	-0.36	mA
				-55°C	-	-0.64	mA
Output Current (Source)	IOH5B	VDD = 5V, VOUT = 2.5V	1, 2	+125°C	-	-1.15	mA
				-55°C	-	-2.0	mA
Output Current (Source)	IOH10	VDD = 10V, VOUT = 9.5V	1, 2	+125°C	-	-0.9	mA
				-55°C	-	-1.6	mA
Output Current (Source)	IOH15	VDD = 15V, VOUT = 13.5V	1, 2	+125°C	-	-2.4	mA
				-55°C	-	-4.2	mA
Input Voltage Low	VIL	VDD = 10V, VOH > 9V, VOL < 1V	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	-	2	V
Input Voltage High	VIH	VDD = 10V, VOH > 9V, VOL < 1V	1, 2	+25°C, +125°C, -55°C	8	-	V
Propagation Delay	TPHL TPLH	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	60	ns
		VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	50	ns

## Specifications CD4007UBMS

**TABLE 3. ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS (Continued)**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Transition Time	TTHL	VDD = 10V	1, 2, 3	+25°C	-	100	ns
	TTLH	VDD = 15V	1, 2, 3	+25°C	-	80	ns
Input Capacitance	CIN	Any Input	1, 2	+25°C	-	15.0	pF

**NOTES:**

1. All voltages referenced to device GND.
2. The parameters listed on Table 3 are controlled via design or process and are not directly tested. These parameters are characterized on initial design release and upon design changes which would affect these characteristics.
3. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns.

**TABLE 4. POST IRRADIATION ELECTRICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS**

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	NOTES	TEMPERATURE	LIMITS		UNITS
					MIN	MAX	
Supply Current	IDD	VDD = 20V, VIN = VDD or GND	1, 4	+25°C	-	2.5	μA
N Threshold Voltage	VNTH	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-2.8	-0.2	V
N Threshold Voltage Delta	ΔVNTH	VDD = 10V, ISS = -10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
P Threshold Voltage	VPTH	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	0.2	2.8	V
P Threshold Voltage Delta	ΔVPTH	VSS = 0V, IDD = 10μA	1, 4	+25°C	-	±1	V
Functional	F	VDD = 18V, VIN = VDD or GND	1	+25°C	VOH > VDD/2	VOL < VDD/2	V
		VDD = 3V, VIN = VDD or GND					
Propagation Delay Time	TPHL	VDD = 5V	1, 2, 3, 4	+25°C	-	1.35 x +25°C Limit	ns
	TPLH						

- NOTES: 1. All voltages referenced to device GND. 2. CL = 50pF, RL = 200K, Input TR, TF < 20ns. 3. See Table 2 for +25°C limit. 4. Read and Record

**TABLE 5. BURN-IN AND LIFE TEST DELTA PARAMETERS +25°C**

PARAMETER	SYMBOL	DELTA LIMIT
Supply Current - SSI	IDD	±0.1μA
Output Current (Sink)	IOL5	± 20% x Pre-Test Reading
Output Current (Source)	IOH5A	± 20% x Pre-Test Reading

**TABLE 6. APPLICABLE SUBGROUPS**

CONFORMANCE GROUP	MIL-STD-883 METHOD	GROUP A SUBGROUPS	READ AND RECORD
Initial Test (Pre Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
Interim Test 1 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
Interim Test 2 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
PDA (Note 1)	100% 5004	1, 7, 9, Deltas	
Interim Test 3 (Post Burn-In)	100% 5004	1, 7, 9	IDD, IOL5, IOH5A
PDA (Note 1)	100% 5004	1, 7, 9, Deltas	
Final Test	100% 5004	2, 3, 8A, 8B, 10, 11	
Group A	Sample 5005	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11	
Group B	Subgroup B-5	1, 2, 3, 7, 8A, 8B, 9, 10, 11, Deltas	Subgroups 1, 2, 3, 9, 10, 11
	Subgroup B-6	1, 7, 9	



## Specifications CD4007UBMS

**TABLE 6. APPLICABLE SUBGROUPS (Continued)**

CONFORMANCE GROUP	MIL-STD-883 METHOD	GROUP A SUBGROUPS	READ AND RECORD
Group D	Sample 5005	1, 2, 3, 8A, 8B, 9	Subgroups 1, 2, 3

NOTE: 1. 5% Parametric, 3% Functional; Cumulative for Static 1 and 2.

**TABLE 7. TOTAL DOSE IRRADIATION**

CONFORMANCE GROUPS	MIL-STD-883 METHOD	TEST		READ AND RECORD	
		PRE-IRRAD	POST-IRRAD	PRE-IRRAD	POST-IRRAD
Group E Subgroup 2	5005	1, 7, 9	Table 4	1, 9	Table 4

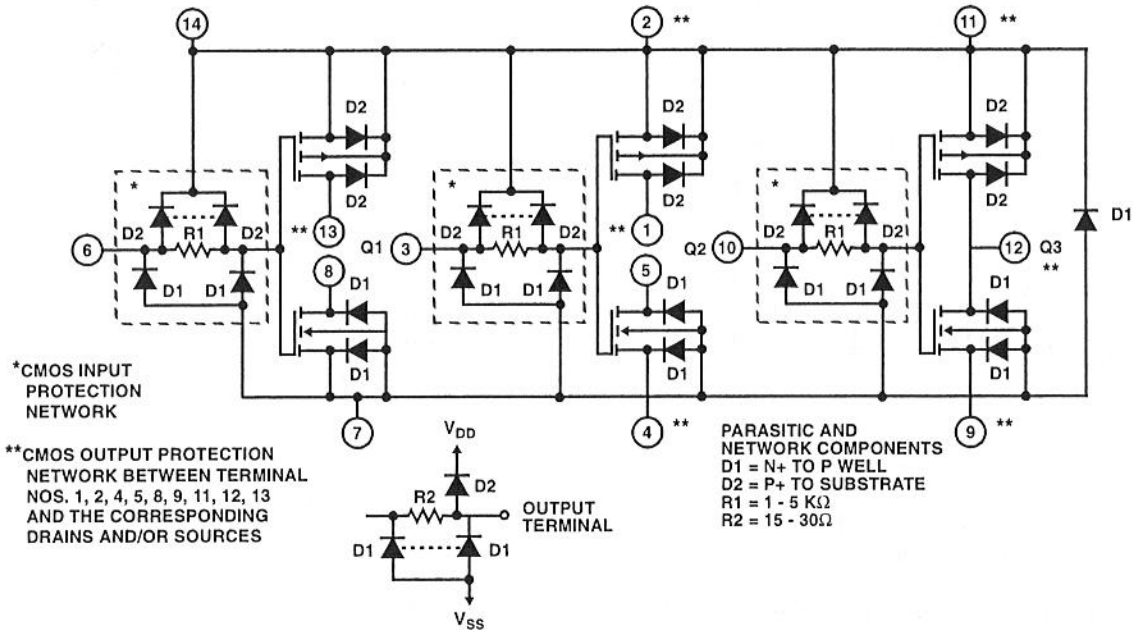
**TABLE 8. BURN-IN AND IRRADIATION TEST CONNECTIONS**

FUNCTION	OPEN	GROUND	VDD	9V ± 0.5V	OSCILLATOR	
					50kHz	25kHz
Static Burn-In 1 Note 1	1, 5, 8, 12, 13	3, 4, 6, 7, 9, 10	2, 11, 14			
Static Burn-In 2 Note 1	1, 5, 8, 12, 13	4, 7, 9	2, 3, 6, 10, 11, 14			
Dynamic Burn-In Note 1	-	4, 7, 9	2, 11, 14	1, 5, 8, 12, 13	3, 6, 10	-
Irradiation Note 2	1, 5, 8, 12, 13	4, 7, 9	2, 3, 6, 10, 11, 14			

NOTE:

1. Each pin except VDD and GND will have a series resistor of 10K ±5%, VDD = 18V ±0.5V
2. Each pin except VDD and GND will have a series resistor of 47K ±5%; Group E, Subgroup 2, sample size is 4 dice/wafer, 0 failures, VDD = 10V ±0.5V

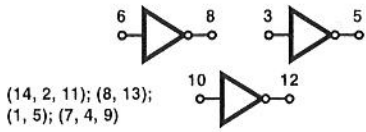
### Schematic Diagram



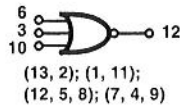
**FIGURE 1. DETAILED SCHEMATIC DIAGRAM OF CD4007UBMS SHOWING INPUT, OUTPUT, AND PARASITIC DIODES**

CD4007UBMS

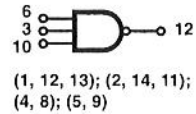
Logic Circuits



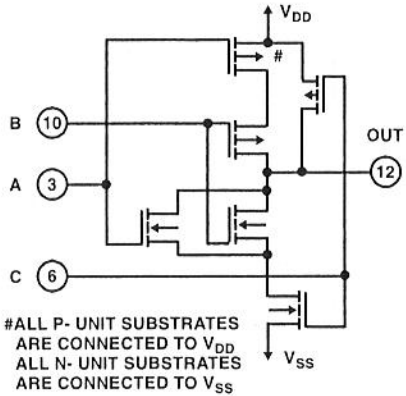
a) TRIPLE INVERTERS



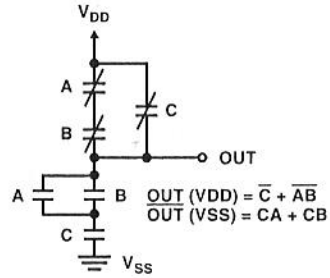
b) 3 - INPUT NOR GATE



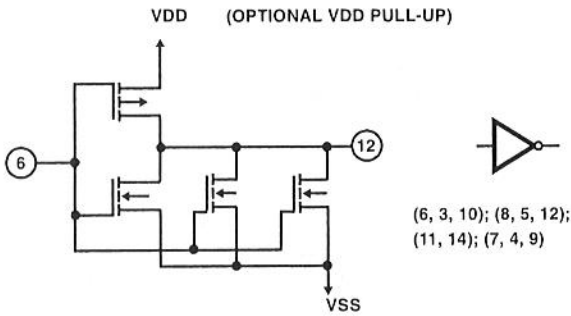
c) 3 - INPUT NAND GATE



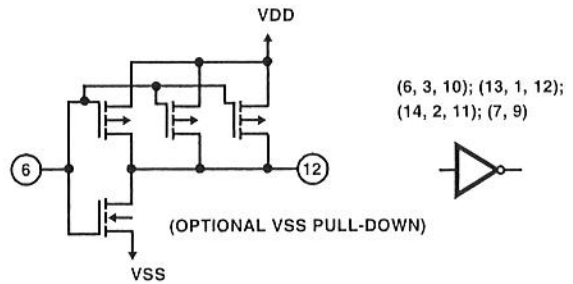
d) TREE (RELAY) LOGIC



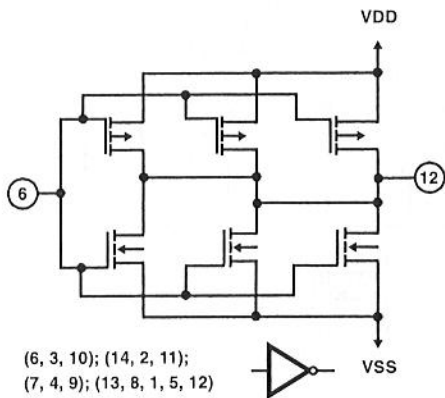
(13, 12, 5); (4, 9, 8);  
(14, 2); (1, 11)



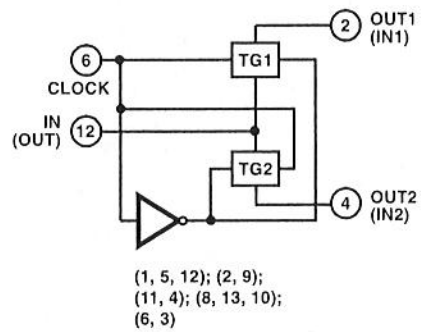
e) HIGH SINK-CURRENT DRIVER



f) HIGH SOURCE-CURRENT DRIVER



g) HIGH SINK - AND SOURCE-CURRENT DRIVER



h) DUAL BI-DIRECTIONAL TRANSMISSION GATING

FIGURE 2. SAMPLE CMOS LOGIC CIRCUIT ARRANGEMENTS USING TYPE CD4007UBMS



CD4007UBMS

Typical Performance Characteristics

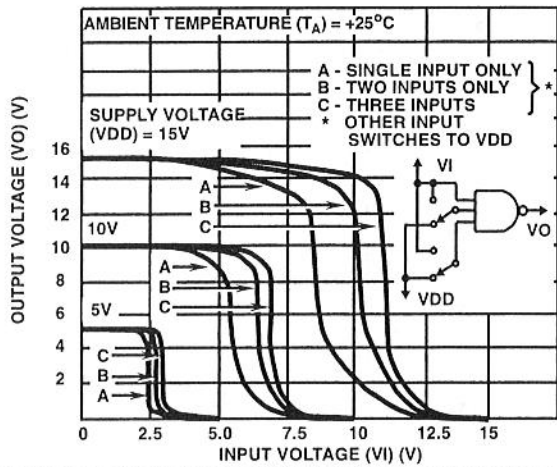


FIGURE 3. TYPICAL VOLTAGE-TRANSFER CHARACTERISTICS FOR NAND GATE

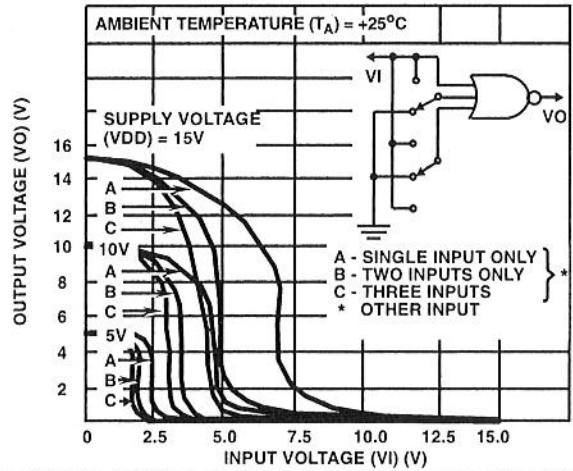


FIGURE 4. TYPICAL VOLTAGE-TRANSFER CHARACTERISTICS FOR NOR GATE

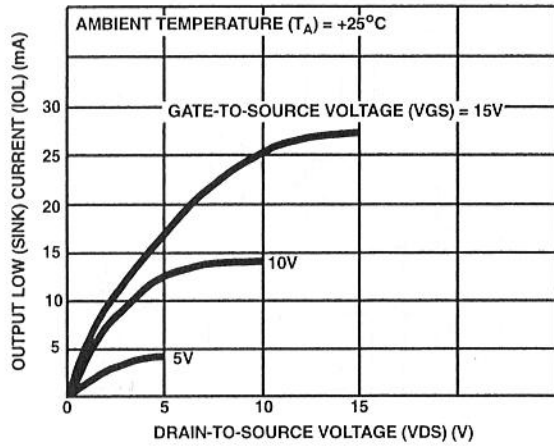


FIGURE 5. TYPICAL OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

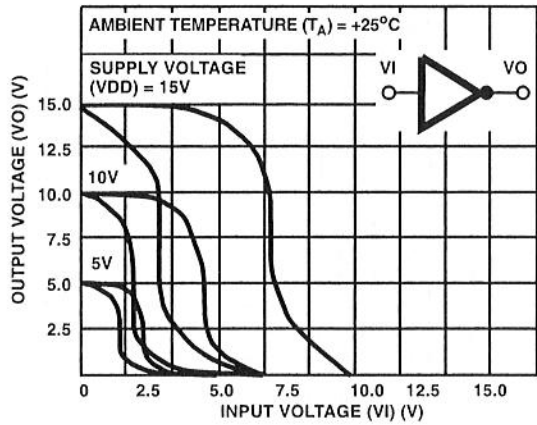


FIGURE 6. MINIMUM AND MAXIMUM VOLTAGE-TRANSFER CHARACTERISTICS FOR INVERTER

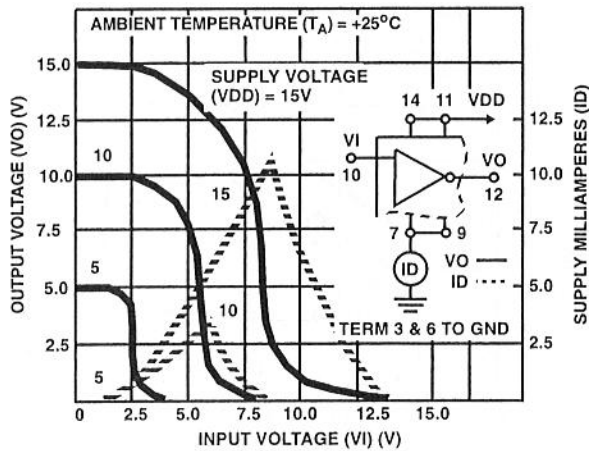


FIGURE 7. TYPICAL CURRENT AND VOLTAGE-TRANSFER CHARACTERISTICS FOR INVERTER

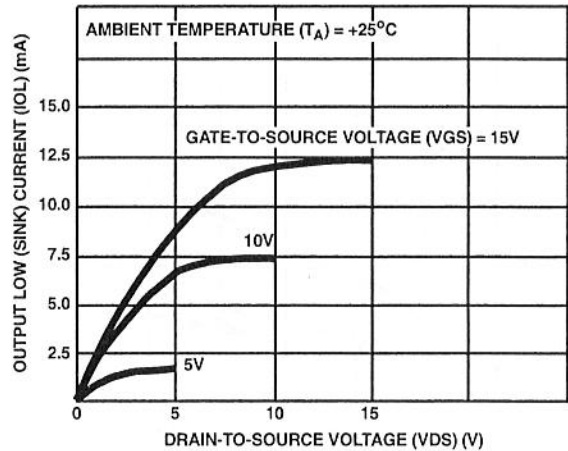


FIGURE 8. MINIMUM OUTPUT LOW (SINK) CURRENT CHARACTERISTICS

# CD4007UBMS

## Typical Performance Characteristics (Continued)

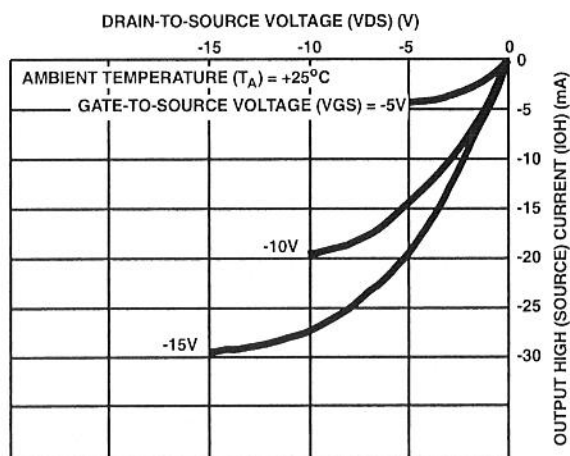


FIGURE 9. TYPICAL OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

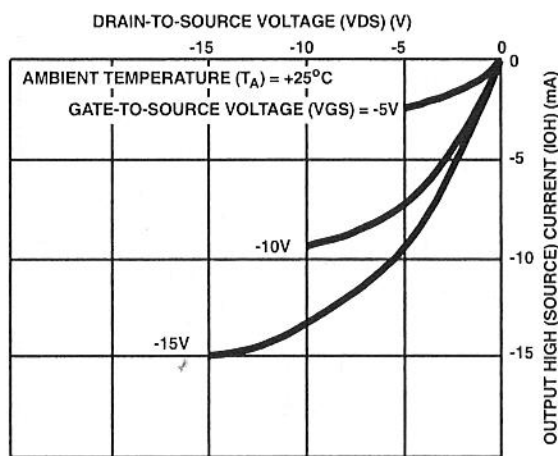


FIGURE 10. MINIMUM OUTPUT HIGH (SOURCE) CURRENT CHARACTERISTICS

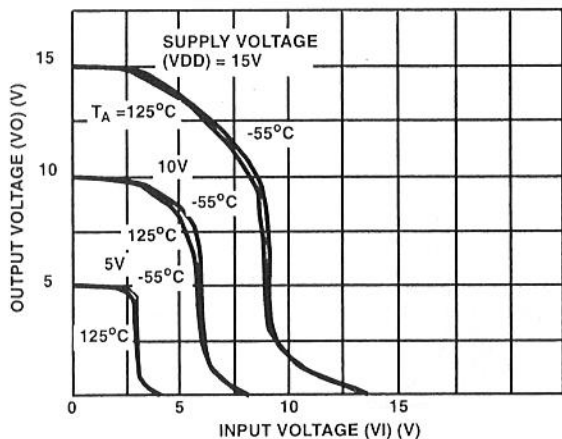


FIGURE 11. TYPICAL VOLTAGE-TRANSFER CHARACTERISTICS AS A FUNCTION OF TEMPERATURE

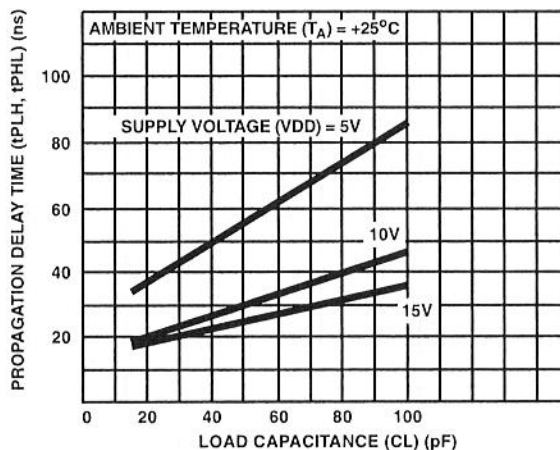


FIGURE 12. TYPICAL PROPAGATION DELAY TIME vs LOAD CAPACITANCE

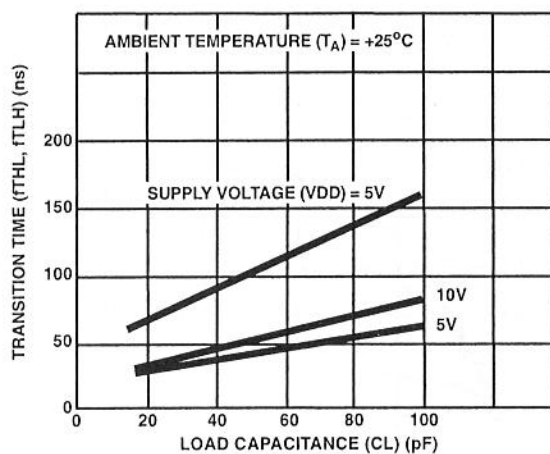


FIGURE 13. TYPICAL TRANSITION TIME vs LOAD CAPACITANCE

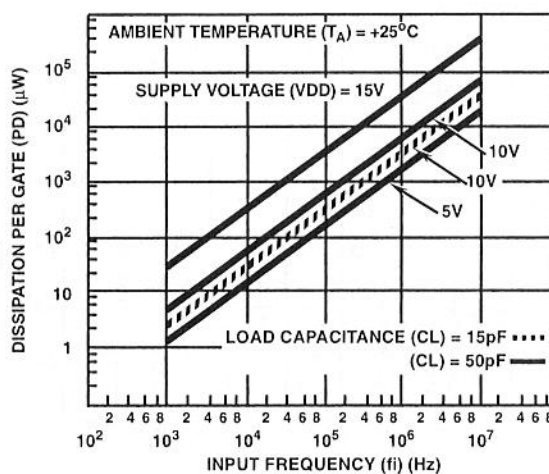
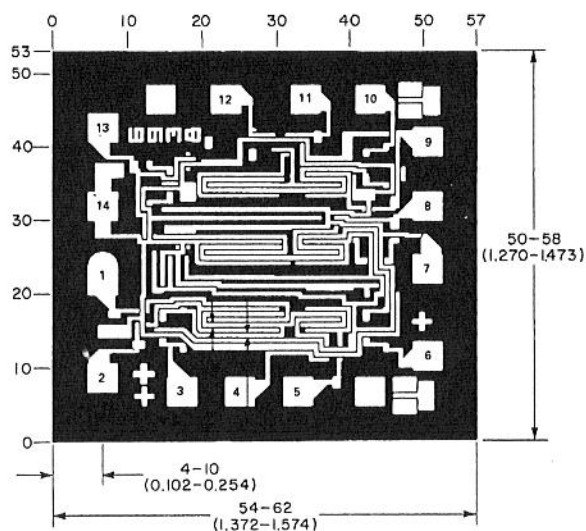


FIGURE 14. TYPICAL DISSIPATION vs FREQUENCY CHARACTERISTICS

## CD4007UBMS

### Chip Dimension and Pad Layout



Dimensions in parentheses are in millimeters and are derived from the basic inch dimensions as indicated. Grid graduations are in mils ( $10^{-3}$  inch)

**METALLIZATION:** Thickness:  $11\text{k}\text{\AA} - 14\text{k}\text{\AA}$ , AL.

**PASSIVATION:**  $10.4\text{k}\text{\AA} - 15.6\text{k}\text{\AA}$ , Silane

**BOND PADS:** 0.004 inches X 0.004 inches MIN

**DIE THICKNESS:** 0.0198 inches - 0.0218 inches

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

### Sales Office Headquarters

**NORTH AMERICA**  
Intersil Corporation  
P. O. Box 883, Mail Stop 53-204  
Melbourne, FL 32902  
TEL: (321) 724-7000  
FAX: (321) 724-7240

**EUROPE**  
Intersil SA  
Mercure Center  
100, Rue de la Fusee  
1130 Brussels, Belgium  
TEL: (32) 2.724.2111  
FAX: (32) 2.724.22.05

**ASIA**  
Intersil (Taiwan) Ltd.  
Taiwan Limited  
7F-6, No. 101 Fu Hsing North Road  
Taipei, Taiwan  
Republic of China  
TEL: (886) 2 2716 9310  
FAX: (886) 2 2715 3029

Copyright: Πανεπιστήμιο Ιωαννίνων



Απαγορεύεται η μερική ή ολική ανατύπωση καθώς και η λήψη φωτοαντιγράφων του βιβλίου χωρίς τη γραπτή άδεια του συγγραφέα.

Διανέμεται Δωρεάν στους φοιτητές