

**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα**

**Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας**

Ιατρικά Ηλεκτρονικά - Ε

**Ενότητα 2: Άσκηση 2 – Κυκλώματα Ενίσχυσης**

Δρ. Παντελής Ασβεστάς

Τμήμα Μηχανικών Βιοϊατρικής Τεχνολογίας T.E.

|  |  |
| --- | --- |
| Το περιεχόμενο του μαθήματος διατίθεται με άδεια CreativeCommons εκτός και αν αναφέρεται διαφορετικά | Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους. |

|  |  |
| --- | --- |
| ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2 | ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ |

|  |  |
| --- | --- |
| ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ: | ΔΙΩΡΟ: |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |
| ΕΠΩΝΥΜΟ: | ΟΝΟΜΑ: | ΑΜ: |

Περιεχόμενα

[1. Στόχος 3](#_Toc401659703)

[2. Θεωρητικό υπόβαθρο 3](#_Toc401659704)

[3. Εργαστηριακή διαδικασία 6](#_Toc401659705)

[3.1 Υλικά 6](#_Toc401659706)

[3.2 Ερωτήσεις προετοιμασίας 6](#_Toc401659707)

[3.3 Αναστρέφουσα συνδεσμολογία 6](#_Toc401659708)

[3.4 Μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία 8](#_Toc401659709)

[4. Ερωτήσεις κατανόησης 10](#_Toc401659710)

# Στόχος

Στην εργαστηριακή άσκηση αυτή θα μελετηθούν οι ιδιότητες του αναστρέφοντος και μη αναστρέφοντος ενισχυτή.

# Θεωρητικό υπόβαθρο

Ένας τελεστικός ενισχυτής έχει πολύ μεγάλο κέρδος τάσης, το οποίο συνήθως κυμαίνεται από 100dB έως 140dB. Το γεγονός αυτό τον καθιστά πρακτικά μη χρησιμοποιήσιμο για ενίσχυση σημάτων, καθώς όσο μικρό και εάν είναι ένα σήμα εισόδου, η έξοδος θα είναι κοντά στη μέγιστη θετική ή μέγιστη αρνητική τάση τροφοδοσίας (κορεσμός - saturation). Για τον λόγο αυτόν, όταν ένας τελεστικός ενισχυτής πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για ενίσχυση, χρησιμοποιείται σε συνδεσμολογίες **κλειστού βρόχου** (closed loop).

Οι δύο βασικές συνδεσμολογίες ενίσχυσης κλειστού βρόχου είναι η αναστρέφουσα και η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία (Σχήμα 1). Το κέρδος τάσης,  , και στις δύο συνδεσμολογίες μπορεί να ρυθμιστεί στην επιθυμητή τιμή, επιλέγοντας κατάλληλα τις αντιστάσεις  και  .

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (α) | (β) |
| Σχήμα 1. (α) Μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία. (β) Αναστρέφουσα συνδεσμολογία. |

Συγκεκριμένα, το κέρδος τάσης, , για το μη αναστρέφοντα ενισχυτή (Σχήμα 1(α)) δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

 

Αντίστοιχα, στην περίπτωση του αναστρέφοντος ενισχυτή (Σχήμα 1(β)), το κέρδος τάσης, , είναι:

 

Η μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία έχει ένα βασικό πλεονέκτημα έναντι της αναστρέφουσας συνδεσμολογίας, το οποία αφορά στην αντίσταση εισόδου. Συγκεκριμένα, στη μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία η αντίσταση εισόδου είναι πολύ μεγάλη (μερικές εκατοντάδες MΩ ή και παραπάνω), ενώ στην αναστρέφουσα συνδεσμολογία η αντίσταση εισόδου ισούται με . Συνεπώς, για παράδειγμα αν επιθυμείται αντίσταση εισόδου 10ΜΩ και κέρδος τάσης 100 (κατ’ απόλυτη τιμή), στην περίπτωση της αναστρέφουσας συνδεσμολογία θα πρέπει  και . Η τιμή της αντίστασης  δεν μπορεί να βρεθεί εύκολα στο εμπόριο και συνήθως έχει αρκετά μεγάλο κόστος.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό και των δύο συνδεσμολογιών είναι ότι το γινόμενο κέρδους εύρους ζώνης είναι σταθερό και ισούται με τη **συχνότητα μοναδιαίου κέρδους**[[1]](#footnote-1). Συγκεκριμένα, ο κατασκευαστής δίνει τη συχνότητα,  , στην οποία το κέρδος του τελεστικού ενισχυτή είναι μονάδα. Στην περίπτωση, που ο ενισχυτής χρησιμοποιηθεί σε μία συνδεσμολογία (αναστρέφουσα ή μη αναστρέφουσα) όπου το κέρδος είναι , τότε το αντίστοιχο εύρος ζώνης  μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

 

(Υπενθυμίζεται ότι το εύρος ζώνης είναι η διαφορά των δύο συχνοτήτων όπου το κέρδος του τελεστικού ενισχυτή έχει πέσει κατά **3dB** από τη μέγιστη τιμή του ή ισοδύναμα το κέρδος είναι **70,7%** του μέγιστου κέρδους σε αδιάστατες μονάδες). Για παράδειγμα, αν ο κατασκευαστής ενός τελεστικού ενισχυτή δίνει ότι η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους είναι 600kHz, τότε αν ο τελεστικός ενισχυτής χρησιμοποιηθεί σε συνδεσμολογία με κέρδος 100, το εύρος ζώνης θα είναι 6kHz.

Στο Σχήμα 2, παρουσιάζεται μια τυπική απόκριση συχνότητας για το κέρδος (κέρδος σε dB ως προς τη συχνότητα) ενός τελεστικού ενισχυτή σε συνδεσμολογία κλειστού βρόχου. Μπορούν να παρατηρηθούν τα ακόλουθα:

* Το μέγιστο κέρδος του ενισχυτή είναι 40dB
* To άνω άκρο του εύρους ζώνης είναι τα 6,4KHz, ενώ το κάτω άκρο είναι πρακτικά μηδέν
* Για συχνότητες μεγαλύτερες του άνω άκρου του εύρος ζώνης, το κέρδος πέφτει κατά 20dB όταν η συχνότητα αυξάνει κατά έναν παράγοντα 10 (από 24dB στα 40kHz το κέρδος μειώθηκε στα 4dB στα 400kHz)



Σχήμα 2. Απόκριση συχνότητας τελεστικού ενισχυτή σε συνδεσμολογία κλειστού βρόχου.

# Εργαστηριακή διαδικασία

**Όσα ερωτήματα έχουν την ένδειξη Π πρέπει να έχουν προετοιμαστεί και απαντηθεί πριν την εκτέλεση της άσκησης.**

## **Υλικά**

* 1 ολοκληρωμένο OP177
* 2 πυκνωτές παράκαμψης 100nF
* Αντιστάσεις που θα υπολογίσετε εσείς

## Ερωτήσεις προετοιμασίας

|  |  |
| --- | --- |
| **Π** | 1. Από το φύλλο δεδομένων του τελεστικού ενισχυτή OP177G σημειώστε τα ακόλουθα:

Ρυθμός ανταπόκρισης =Συχνότητα μοναδιαίου κέρδους = 1. Εάν ο τελεστικός ενισχυτής OP177G χρησιμοποιηθεί σε ενισχυτική συνδεσμολογία με κέρδος τάσης 20dB και 40dB, ποιο είναι το αναμενόμενο εύρος ζώνης σε κάθε περίπτωση; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
2. Εάν η τάση εξόδου του τελεστικού ενισχυτή OP177G μεταβάλλεται από -3,5V έως +3,5V, ποια αναμένεται να είναι η μέγιστη συχνότητα λειτουργίας ώστε να μην υπάρχει παραμόρφωση στο σήμα εξόδου; Δικαιολογήστε την απάντησή σας.
3. Εξηγήστε τι σημαίνει χρόνος ανόδου (rise time):
 |

## Αναστρέφουσα συνδεσμολογία

|  |  |
| --- | --- |
| **Π** | 1. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ΤΙΝΑ-ΤΙ, το οποίο είναι διαθέσιμο στον ιστότοπο <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/tina-ti.html>, σχεδιάστε το κυκλωματικό διάγραμμα ενός αναστρέφοντος ενισχυτή με κέρδος 10 (κατ’ απόλυτη τιμή). (**Οδηγίες χρήσης του TINA-TI είναι διαθέσιμες στον ιστότοπο του μαθήματος στο eClass, στην ενότητα Έγγραφα**)
2. Σχεδιάστε την υλοποίηση του κυκλώματος σε breadboard με χρήση του λογισμικού Fritzing, το οποίο είναι διαθέσιμο στον ιστότοπο <http://fritzing.org/download/>.
 |
| Ε | * Να επιβεβαιωθεί ότι οι τάσεις τροφοδοσίας είναι **±15V**.
* Να υλοποιηθεί το κύκλωμα του αναστρέφοντος ενισχυτή που σχεδιάσατε, χρησιμοποιώντας τον τελεστικό ενισχυτή OP177G. Κατά την υλοποίηση να χρησιμοποιηθούν πυκνωτές παράκαμψης **100nF** στους ακροδέκτες τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου.
* Βάλτε ως είσοδο στο κύκλωμα **ημιτονοειδές** σήμα με πλάτος από κορυφή σε κορυφή **200mV** και συχνότητα **100Hz**.
* Εμφανίστε το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου του κυκλώματος στον παλμογράφο.
* Μετρήστε με τον παλμογράφο την τάση εισόδου και την τάση εξόδου (τιμές από κορυφή σε κορυφή) και υπολογίστε το κέρδος τάσης σε καθαρό αριθμό και σε dB.

Τάση εισόδου = Τάση εξόδου =Κέρδος =Κέρδος σε dB =* Αποθηκεύστε την εικόνα του παλμογράφου στον υπολογιστή.

 * Να μετρηθεί το εύρος ζώνης του ενισχυτή με δύο τρόπους:
	+ Βρίσκοντας τη συχνότητα όπου το κέρδος έχει μειωθεί κατά 3 dB. Συγκεκριμένα, διατηρήστε σταθερό το πλάτος του **ημιτονοειδούς** σήματος εισόδου σε **200mV** από κορυφή σε κορυφή και αυξήστε τη συχνότητα μέχρι η τιμή της τάσης εξόδου από κορυφή σε κορυφή να γίνει **70,7%** της τιμής που μετρήσατε προηγουμένως στη συχνότητα των 100Hz:

Τάση εισόδου = Τάση εξόδου =Κέρδος =Κέρδος σε dB =Συχνότητα = * Μετρώντας τον χρόνο ανόδου της κυματομορφής εξόδου όταν η είσοδος είναι **παλμοσειρά** **200mV** από κορυφή σε κορυφή και συχνότητας **100Hz**:

Χρόνος ανόδου = Εύρος ζώνης = 0,35 / (χρόνος ανόδου) = * Βάλτε ως είσοδο στο κύκλωμα **ημιτονοειδές** σήμα με πλάτος από κορυφή σε κορυφή **1V** και συχνότητα **15kHz**.
* Εμφανίστε το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου του κυκλώματος στον παλμογράφο και αποθηκεύστε την εικόνα του παλμογράφου στον υπολογιστή.
* Σχολιάστε και εξηγήστε το αποτέλεσμα που προκύπτει
 |

## Μη αναστρέφουσα συνδεσμολογία

|  |  |
| --- | --- |
| Π | 1. Χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα ΤΙΝΑ-ΤΙ σχεδιάστε το κυκλωματικό διάγραμμα ενός μη αναστρέφοντος ενισχυτή με κέρδος 101.
2. Σχεδιάστε την υλοποίηση του κυκλώματος σε breadboard με χρήση του λογισμικού Fritzing.
 |
| Ε | * Να υλοποιηθεί το κύκλωμα του μη αναστρέφοντος ενισχυτή που σχεδιάσατε, χρησιμοποιώντας τον τελεστικό ενισχυτή OP177G. Κατά την υλοποίηση να χρησιμοποιηθούν πυκνωτές παράκαμψης **100nF** στους ακροδέκτες τροφοδοσίας του ολοκληρωμένου.
* Βάλτε ως είσοδο στο κύκλωμα κατάλληλο **ημιτονοειδές** σήμα ώστε να επιβεβαιωθεί ότι η ενίσχυση είναι πράγματι 101. Συγκεκριμένα:
	+ Εμφανίστε το σήμα εισόδου και το σήμα εξόδου του κυκλώματος στον παλμογράφο.
	+ Μετρήστε με τον παλμογράφο την τάση εισόδου και την τάση εξόδου (τιμές από κορυφή σε κορυφή) και υπολογίστε το κέρδος τάσης σε καθαρό αριθμό και σε dB.

Τάση εισόδου = Τάση εξόδου =Κέρδος =Κέρδος σε dB =* + Αποθηκεύστε την εικόνα του παλμογράφου στον υπολογιστή.

 * Να μετρηθεί το εύρος ζώνης του ενισχυτή με τους δύο τρόπους που αναφέρθηκαν προηγουμένως:
	+ Βρίσκοντας τη συχνότητα όπου το κέρδος έχει μειωθεί κατά 3 dB.

Τάση εισόδου = Τάση εξόδου =Κέρδος =Κέρδος σε dB =Συχνότητα = * Μετρώντας τον χρόνο ανόδου της κυματομορφής:

Χρόνος ανόδου = Εύρος ζώνης =  |

# Ερωτήσεις κατανόησης

1. Για το κύκλωμα του σχήματος, η είσοδος έχεις πλάτος 1V. Με τι ισούται το πλάτος της τάσης εξόδου; Εξηγήστε την απάντησή σας.



1. Για το κύκλωμα του σχήματος, η είσοδος έχεις πλάτος 1V. Με τι ισούται το πλάτος της τάσης εξόδου; Εξηγήστε την απάντησή σας.



1. Σχεδιάστε κύκλωμα, στο οποίο το κέρδος να μεταβάλλεται ανάμεσα σε 1 και 51.

|  |
| --- |
| **Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα****Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Αθήνας** |
| **Τέλος Ενότητας** |
| **Χρηματοδότηση*** Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
* Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Αθήνας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
* Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.

 |

**Σημειώματα**

**Σημείωμα Αναφοράς**

Copyright ΤΕΙ Αθήνας, Παντελής Ασβεστάς, 2014.Παντελής Ασβεστάς. «Ιατρικά Ηλεκτρονικά. Ενότητα 2: Άσκηση 2 – Κυκλώματα Ενίσχυσης». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2014. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: [ocp.teiath.gr](https://ocp.teiath.gr/).

**Σημείωμα Αδειοδότησης**

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης CreativeCommons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

* που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
* που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
* που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

**Διατήρηση Σημειωμάτων**

* Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:
* Το Σημείωμα Αναφοράς
* Το Σημείωμα Αδειοδότησης
* Τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
* Το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει) μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.
1. Η συχνότητα μοναδιαίου κέρδους αναφέρεται και ως γινόμενο κέρδους εύρους ζώνης (gain bandwidth product) στα φύλλα δεδομένων κατασκευαστών ΤΕ. [↑](#footnote-ref-1)