## ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΠΑΤΡΩΝ

#### ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2012-2013



Πιθαμίτσης Αλέξανδρος-Σπυρίδων 5402

Σκοπετέας Αναστάσιος 5424

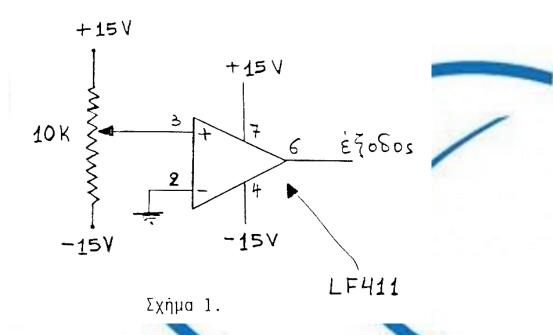
Σκοπός: Μελέτη των τελεστικών ενισχυτών.

ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΑ ΥΛΙΚΑ: Γεννήτρια, Breadboard, Παλμογράφος, Πολύμετρο,

Ενισχυτής LF411, Αντιστάσεις, Ποτενσιόμετρο

#### ΕΡΩΤΗΜΑ 1 (Κυκλωμα ανοικτου βροχου)

Αφου κατασκευασαμε το ακολουθο κυκλωμα



Μετρηθηκαν:

$$V_{IN} = 0.09V \quad V_{OUT} = 14.48V$$

$$V_{IN} = -0.38V$$
  $V_{OUT} = -13.59V$ 

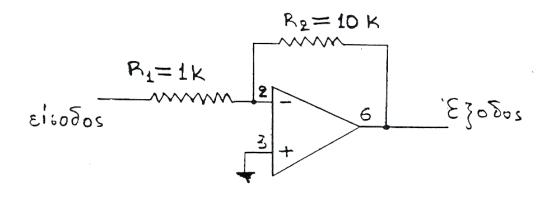
Καταλαβαίνουμε ότι είναι ανέφικτο να το πετύχουμε με το χέρι αφού ο τελεστικός ενισχυτής που χρησιμοποιήσαμε έχει DC Gain = 200 V/mV.

Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι για να πάρει η έξοδος τάση μικρότερη των 15 V και μεγαλύτερη των -15V, στην είσοδο του θα πρέπει να δώσουμε τάση από

$$\frac{15V}{200\frac{V}{mV}} = 75\mu V \ \text{έως} - \frac{15V}{200\frac{V}{mV}} = -75\mu V.$$

Αυτό είναι πάρα πολύ δύσκολο με τη μεταβλητή αντίσταση που χρησιμοποιήσαμε, γιαυτό στην έξοδο παίρνουμε είτε +15V είτε -15V, ανάλογα με το που στρέφουμε το ποτενσιόμετρο.

#### ΕΡΩΤΗΜΑ 2 (Ενισχυτής με αντιστροφή)



Σχημα 2

Α) Ο τύπος που δίνει την ενίσχυση Vout/Vin αυτού του ενισχυτή (αναστρέφων ενισχυτής) προκύπτει με τις παρακάτω απλές πράξεις:

Αρχικά εφαρμόζεται ο ΚCL στον κόμβο της αναστρέφουσας εισόδου:

$$Is + I_F = Iin \tag{1}$$

Το ρέυμα  $I_F$  ονομάζεται ρεύμα ανατροφοδότησης (feedback) επειδή τροφοδοτεί την αναστρέφουσα είσοδο του ενισχυτή από την έξοδό του.

Στην συνέχεια εφαρμόζεται ο νόμος του Ohm στον κόμβο της αναστρέφουσας εισόδου:

$$I_{F} = (Vin - V-)/R_{F}$$

$$I_{F} = (Vout - V-)/R_{F}$$

$$Iin = 0$$
 (2)

(διότι η αντίσταση εισόδου στον τελεστικό ενισχυτή είναι πολύ μεγάλη)

Σύμφωνα με το μοντέλο ανοιχτού βρόχου και το γεγονός ότι η τάση V+ είναι ίση με μηδέν αφού είναι συνδεδεμένη στη γείωση προκύπτει:

$$Vout = Av(V+ - V-) = -Av*V-$$
$$=> V- = -Vout/Av$$

Κάνοντας χρήση των εξισώσεων (1) και (2):

Is = -IF

Καθώς και

 $V_S/R_S + V_Out/Av*R_S = -V_Out/R_F - V_Out/Av*R_F$ 

Και αυτό οδηγεί:

 $V_S/R_S = -V_{out}/R_F - V_{out}/Av*R_F - V_{out}/Av*R_S$ 

Βγάζοντας κοινό παράγοντα τον όρο Vout από το δεύτερο μέρος και πολλαπλασιάζοντας όλη την παράσταση με Rs προκύπτει:

$$V_S = -Vout[1/(R_F/R_S) + 1/(A_V*R_F/R_S) + 1/A_V)$$

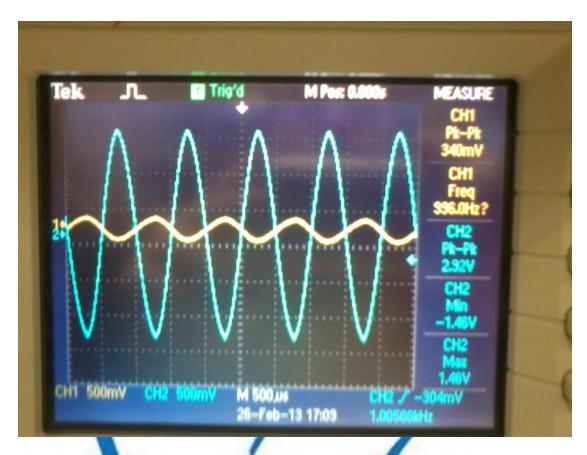
Γνωρίζοντας ότι το κέρδος τάσης Av του τελεστικού ενισχυτή είναι πολύ μεγάλο, οι όροι  $1/(Av*R_F/Rs)$  και 1/Av είναι αμελητέοι σε σχέση με τον όρο  $1/(R_F/Rs)$ 

Συνεπώς, με πολύ καλή προσέγγιση, μπορεί να εκφραστεί ότι το κέρδος τάσης κλειστού βρόχου του αναστρέφοντος ενισχυτή δίνεται από την σχέση:

#### $Vout/Vin = -R_F/R_S$

B)

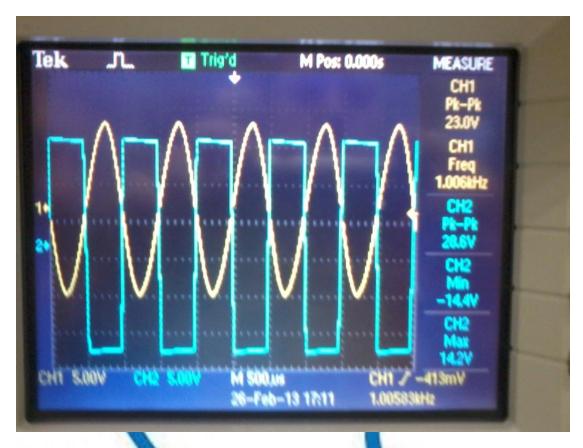
Η εξοδος στον παλμογραφο ειναι η ακολουθη:



Εικόνα 1.1

Παρατηρούμε ότι όταν στην είσοδο βάλουμε σήμα πλάτους 340 mV (peak to peak) στην έξοδο δίνεται σήμα πλάτους 2,92 V (peak to peak), άρα περίπου 10-πλάσιο. Αυτό είναι και αναμενόμενο αφού βρήκαμε A=10.

Η εξοδος στον παλμογραφο ειναι η ακολουθη:

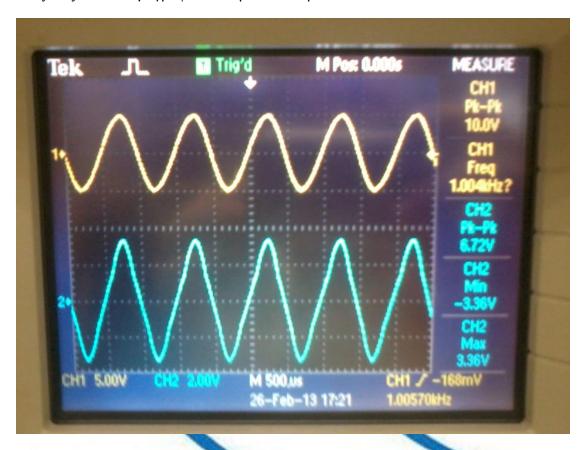


Εικόνα 1.2

Όσο αυξάνεται το πλάτος του σήματος εισόδου από την γεννήτρια, παρατηρείται ότι το κύκλωμα του μη αναστρέφοντος ενισχυτή από κάποιο πλάτος και μετά σταματάει να ενισχύει και από εκείνο το σημείο, το πλάτος της τάσης εξόδου παραμένει σταθερό.

Στην συγκεκριμένη περίπτωση μετρήθηκε ότι για Vin μεγαλύτερο ή ίσο των 3 V, το Vout παραμένει σταθερό και ίσο με 28,6 V.

Η εξοδος στον παλμογραφο ειναι η ακολουθη:



Εικόνα 1.3

Για να μετρήσουμε την εμπέδηση εισόδου προσθέτουμε μια αντίσταση 1 ΚΩ σε σειρά με την είσοδο του κυκλώματος και μετράμε τα  $V_{in}$  και  $V_{out}$  πριν και μετά την  $\mathbf{1}^{n}$  αντίσταση. Τα πλάτη που μετρήσαμε ήταν:

$$V_{in} = 6,72 \text{ V}$$
 (peak-to-peak), CH2

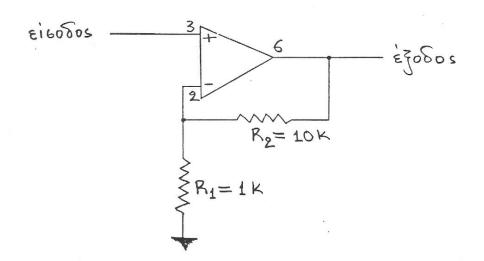
$$V_{in}' = 10.2 V$$
 (peak-to-peak),CH1

άρα

$$Z_{in} = \frac{Vin \cdot R_1}{Vin' - Vin} = \frac{6.72V \cdot 1K\Omega}{(10.2 - 6.72)V} \Leftrightarrow Z_{in} = 1.93K\Omega$$

# **ΕΡΩΤΗΜΑ 3** (Ενισχυτής χωρίς αντιστροφή (non-inverter amplifier))

Υλοποιούμε το κύκλωμα του παρακάτω σχήματος:



Σχημα 3

A)

Από τον νόμο των Ρευμάτων του Kirchhoff έχουμε:

$$I_1 = I_2 \quad \Leftrightarrow \quad$$

$$\frac{V_a}{R_1} = \frac{V_{out}}{R_1 + R_2} \iff$$

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_a$$

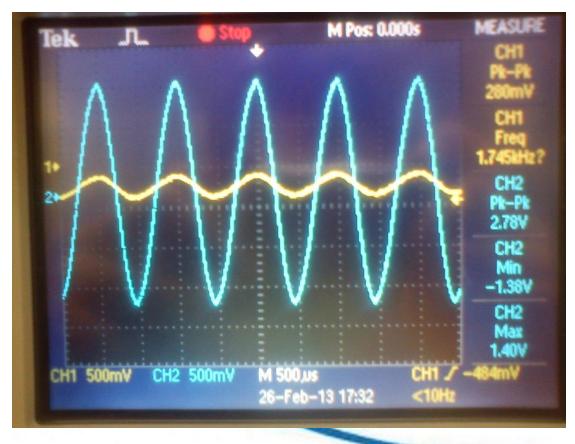
Όμως ισχύει ότι  $V_a = V_{in}$ , επομένως:

$$V_{out} = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \cdot V_a$$
 , άρα

$$A' = \frac{R_1 + R_2}{R_1} = \frac{11K}{1K} = 11 \Leftrightarrow$$

B)

Η εξοδος στον παλμογραφο ειναι η ακολουθη:



Εικόνα 1.4

 $\Gamma$ ια Vin = 280 mV εχουμε Vout = 2.78 V

$$A = \frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{2.78}{0.28} = 9.93 \approx 10$$

Γ)

Η εμπέδηση εισόδου του κυκλώματος είναι παρα πολύ μεγάλη και τεινει προς το απειρο, έτσι ώστε το  $I_{in}$  να θεωρείται ισο με το μηδεν. Ετσι, αν βάζαμε μια αντίσταση πριν την είσοδο σε σειρά, θα ίσχυε  $V_{in} = V'_{in}$ , για αυτό το λογο δε χρειάζεται αντίσταση εισόδου στη χρήση του τελεστικού ενισχυτή.

## ΕΡΩΤΗΜΑ 4 (Ακολουθητής)



#### Εικόνα 1.5

Η έξοδος του κυκλώματος είναι ακριβώς ίδια με την είσοδο του. Από την παρατήρηση στον παλμογράφο της κυματομορφής εξόδου σε συνάρτηση με την είσοδο αποδεικνυεται ότι η ενίσχυση είναι ίση με 1, δηλαδή η έξοδος ακολουθεί την είσοδο σε φάση και πλάτος.

Αποδεικνύουμε ότι  $V_{out} = V_{in}$  παίρνοντας τον γενικό τύπο που διέπει τους τελεστικούς ενισχυτές:

$$V_{out} = A \cdot (V_3 - V_2) \iff$$

$$V_{out} = A \cdot (V_{in} - V_{out}) \iff$$

$$V_{out} = A \cdot V_{in} - A \cdot V_{out} \Leftrightarrow$$

$$(1 + A) V_{out} = A \cdot V_{in}$$

Όμως το A είναι συνήθως της τάξεως του  $10^5$  ( $2x10^5$  για τον LF411) άρα θεωρούμε ότι  $A+1\approx A$ . Συνεπώς από την παραπάνω σχέση, καταλήγουμε ότι:

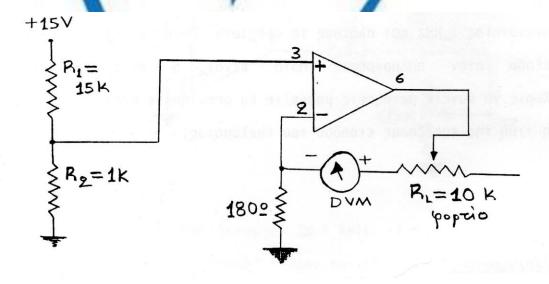
$$A \cdot V_{out} = A \cdot V_{in} \Leftrightarrow$$

$$V_{out} = V_{in}$$

Παρατηρουμε οτι Vin=2,68 V που ειναι περιπου ισο με το Vout=2,60 V

Η εμπέδηση εισόδου του ακολουθητή είναι άπειρη, ενώ η εμπέδηση εξόδου είναι πολύ κοντά στο μηδέν. Αυτό σημαίνει ότι και το σήμα στην είσοδο δεν επηρεάζεται από την λειτουργία του κυκλώματος, και ότι η έξοδος του έχει την ικανότητα να οδηγήσει μεγάλα σήματα. Το κύκλωμα λοιπόν αυτό μπορεί πολυ εύκολα να μεταφέρει ένα σήμα εισόδου στην έξοδο, όπου θα οδηγήσει και άλλα κυκλώματα χωρίς να υπαρξει πρόβλημα.

## ΕΡΩΤΗΜΑ 5 (Πηγη Ρευματος)



Σχημα 4

A)

Εφαρμόζουμε τον Νόμο Ρευμάτων του Kirchhoff στον κόμβο δίπλα από το αμπερόμετρο, και έχουμε:

$$I_1 = I_2 \iff$$

$$I_1 = \frac{V_2}{180\Omega}$$

Συνεπως η ένταση του ρευματος  $I_1$  εξαρτάται μόνο από το δυναμικό στην αναστρέφουσα είσοδο. Υποθετοντας ότι  $V_2 \approx V_3$ , η παραπάνω εξίσωση γίνεται:

$$I_1 = \frac{V_3}{180\Omega}$$

Το  $V_3$  προκύπτει από τον διαιρέτη τάσης στο αριστερό τμήμα του κυκλώματος, για τον οποίο ισχύει:

$$V_3 = \frac{15V \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{15V \cdot 1K\Omega}{16K\Omega} \Leftrightarrow$$

$$V_3 = 0.9375 \text{ V}$$

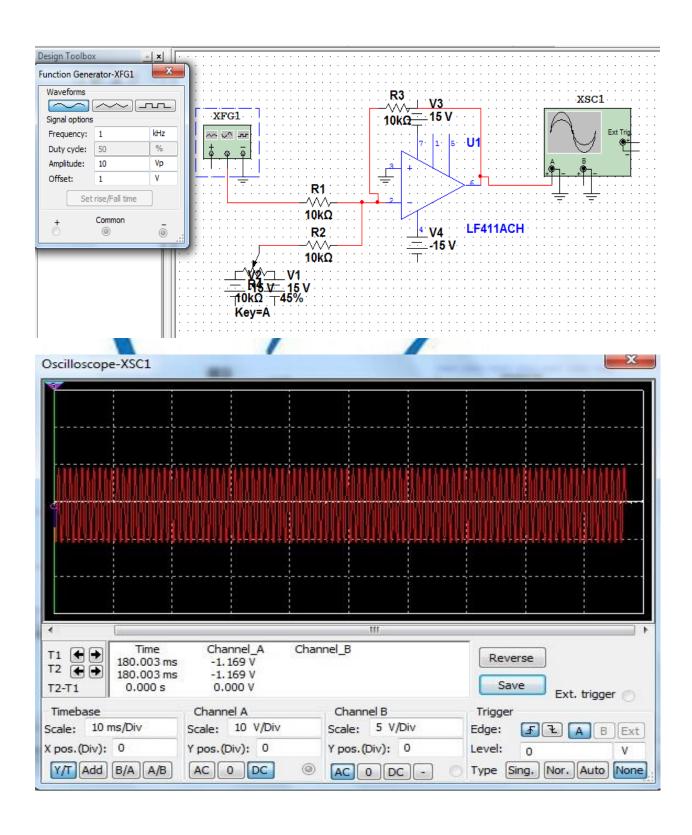
Στο τέλος έχουμε:

$$I_1 = \frac{0.9375V}{180\Omega} \iff$$

$$I_1 = 5.2 \text{ mA}$$

Β) Το ερωτημα υλοποιηθηκε αλλα λογω προβληματων με το πολυμετρο δεν κατεστη δυνατη η μετρηση των εντασεων του ρευματος.

### ΕΡΩΤΗΜΑ 6 (Κύκλωμα Άθροισης)



Vin=1 V Vout=1,169 V $\alpha$ =-2,169

Το Vout είναι η αντιστραμμένη είσοδος (Vin), μετατοπισμένη κατά την τιμή του VA προς τα κάτω (άρα –VA). Συνεπώς όσο αλλάζει το VA με το ποτενσιόμετρο, αλλάζει η θέση της κυματομορφής εξόδου στον άξονα των y. Η γραφική παράσταση που παρατίθεται δείχνει την σχέση των Vin και Vout. Ισχύει:

Vout = -Vin - VA

- β. Όσο γυρνάει το ποτενσιόμετρο αλλάζει το  $V_A$ , με αποτέλεσμα η γραφική παράσταση να μετατοπίζεται κατακόρυφα, ανάλογα.
- γ. Εφαρμόζουμε τον Νόμο Ρευμάτων του Kirchhoff στον κόμβο της αντιστρέφουσας εξόδου και έχουμε:

$$\frac{V_{in} - V_2}{10K} + \frac{V_A - V_2}{10K} + \frac{V_{out} - V_2}{10K} = 0 \iff$$

$$V_{in} + V_A + V_{out} - 3 \cdot V_2 = 0$$

Όμως,

$$A \cdot (V_2 - V_3) = V_{out} \Leftrightarrow V_2 = V_3$$

$$V_2 = \frac{V_2}{A} \mu \epsilon A \rightarrow \infty$$

Άρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι  $V_2 o 0$ . Με αυτή την παραδοχή έχουμε:

$$V_{in} + V_A + V_{out} = 0 \iff$$

$$V_{out} = -V_{in} - V_{A}$$

#### ▶ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- - Μικροηλεκτρονικά κυκλώματα, Εκδόσεις Παπασωτηριου, Sedra Smith
- Διαδίκτυο (π.χ. Wikipedia)

