



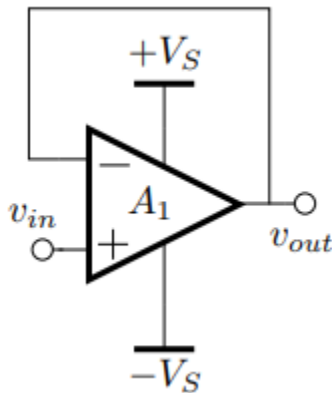
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών
Ροή Η - Σχεδίαση Αναλογικών Ηλεκτρονικών Συστημάτων
Ονοματεπώνυμο: Ηρακλής Στιβακτάκης (03121849),
Αντώνης Αδαμίδης (03121816)
Ακαδ. Έτος / Εξάμηνο: 2024-2025 / 8ο

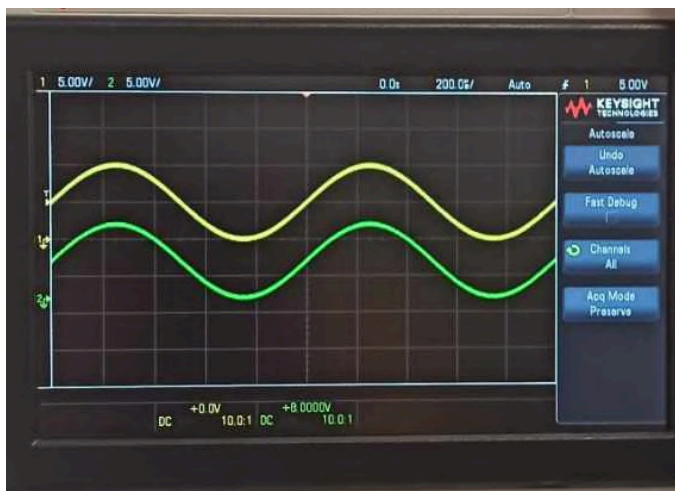
1η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ

1. Απομονωτής:

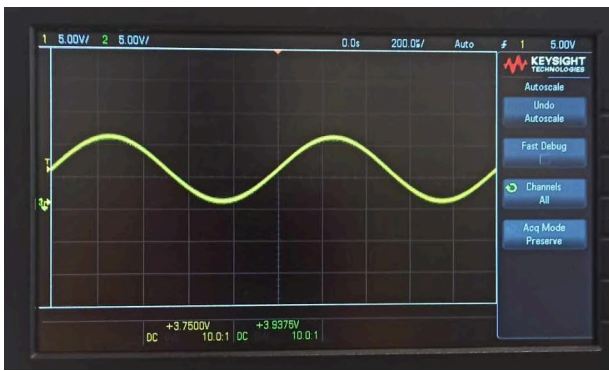
- Τοποθετήσαμε το ολοκληρωμένο στο breadboard, χρησιμοποιήσαμε έναν από τους τέσσερις τελεστικούς ενισχυτές και τον τροφοδοτήσαμε με συμμετρική τάση $\pm 5V$.
- Κατασκευάσαμε το κύκλωμα που απεικονίζεται παρακάτω. Το κύκλωμα αυτό είναι ένας απομονωτής.



- Συνδέσαμε τη γεννήτρια σήματος στο v_{in} και τον παλμογράφο στα v_{in} και v_{out} .
- Επιβεβαιώσαμε ότι το κύκλωμα λειτουργεί σαν απομονωτής τάσης, με $v_{out} = v_{in}$.

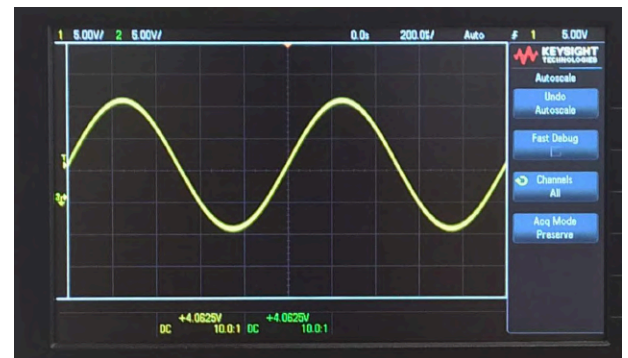


- Δημιουργήσαμε με τη γεννήτρια ένα ημιτονοειδές σήμα 1kHz, 0 VDC και μεταβάλαμε το πλάτος του με βήμα 1 Vpp από 1 Vpp έως 5 Vpp. Για λόγους οικονομίας χώρου βάλαμε ενδεικτικά 2 τιμές. ****Και γενικά σε όλη την αναφορά ακολουθούμε αυτήν την τακτική****

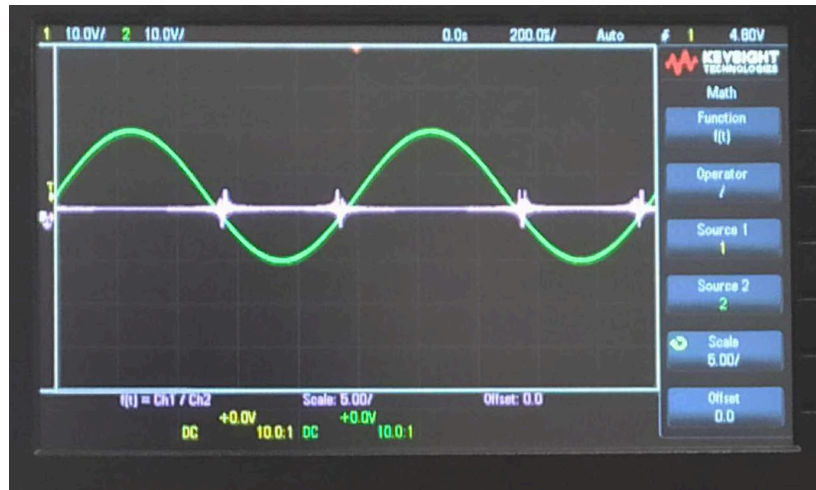


←1V_{pp}

2V_{pp} →

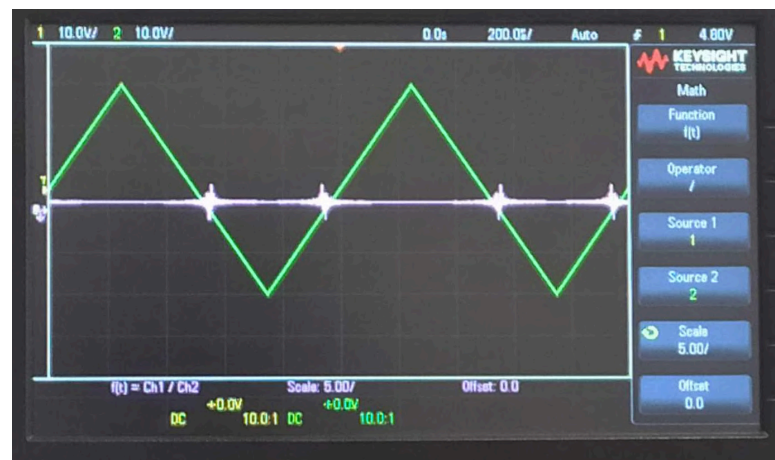
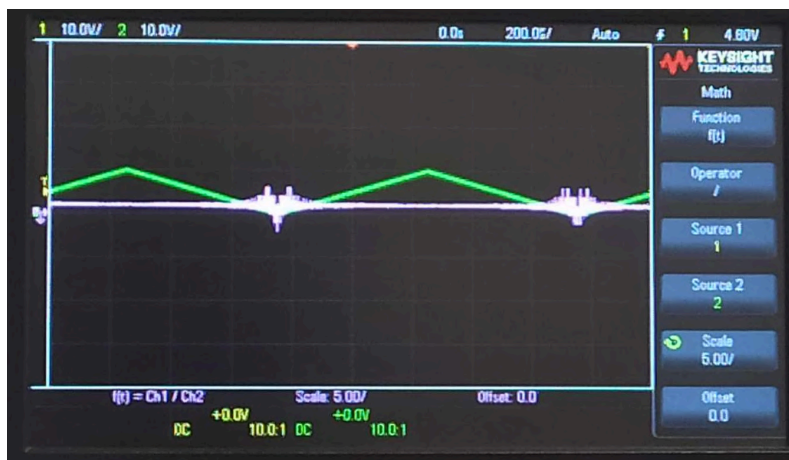


- Μετρήσαμε το λόγο v_{out}/v_{in} και επαληθεύσαμε το αναμενόμενο αποτέλεσμα, δηλαδή ότι $v_{out}/v_{in} = 1$.

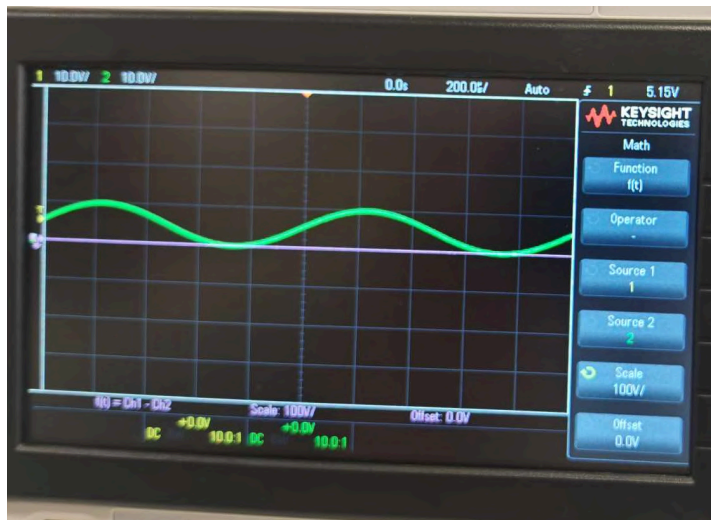


Ο μικρός θόρυβος που έχει η μωβ γραμμή πιθανόν να οφείλεται σε σφάλματα ευαισθησίας των οργάνων καθώς αλλάζει από τ θετικά στα αρνητικά το σήμα.

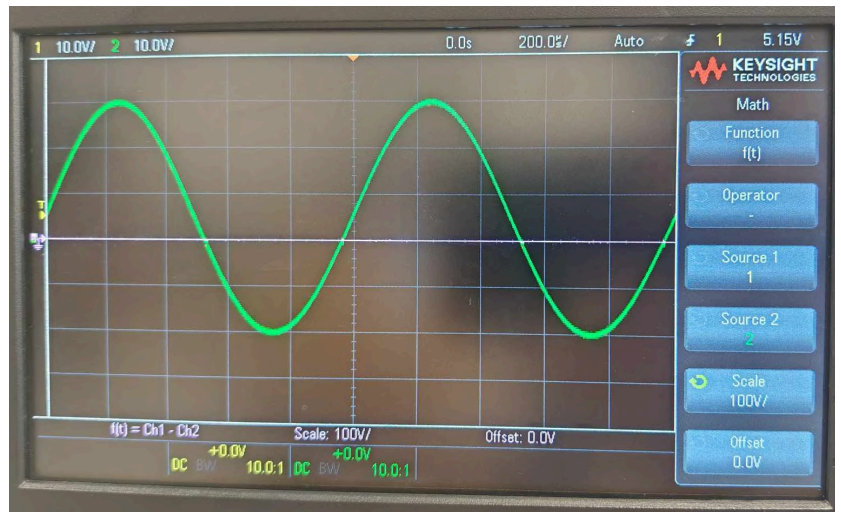
- Επαναλάβαμε τα τελευταία δύο βήματα αλλάζοντας το σήμα στη γεννήτρια σε τριγωνικό.



- Έπειτα, συνδέσαμε μια αντίσταση πηγής 1 kΩ, μεταξύ της γεννήτριας και του v_{in} , και μια αντίσταση φορτίου 1 kΩ, μεταξύ του v_{out} και της γείωσης, και επαναλάβαμε τις μετρήσεις. Με την προσθήκη των 2 αντιστάσεων στη είσοδο και στην έξοδο περιμένουμε να μειωθεί λίγο το σήμα στο U_{out} , όπως και φαίνεται στις παρακάτω εικόνες.

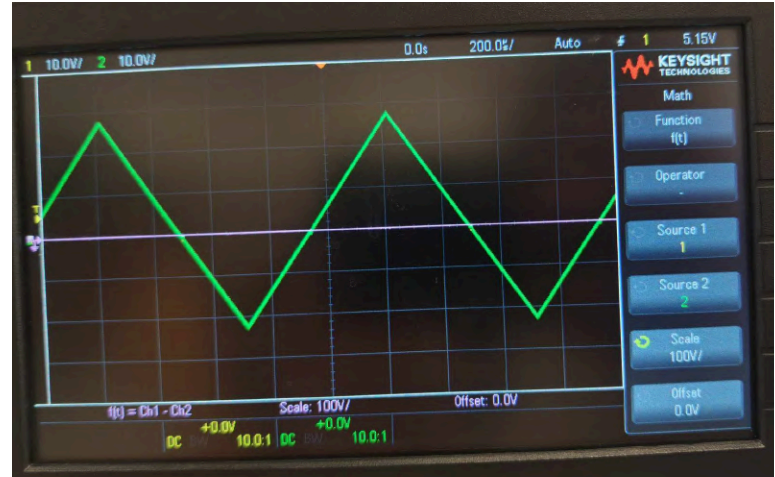
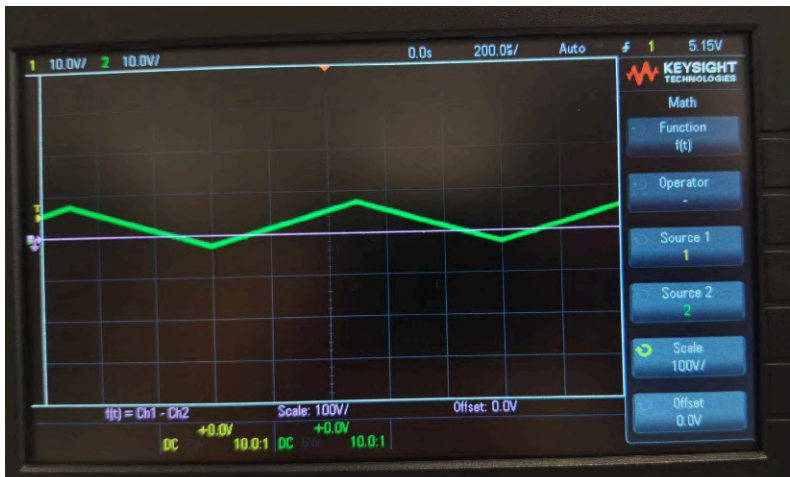


1Vpp

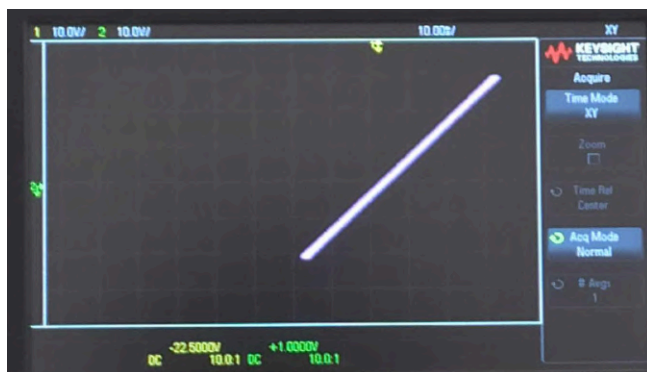


5 Vpp

Επαναλάβουμε τα τελευταία δύο βήματα αλλάζοντας το σήμα στη γεννήτρια σε τριγωνικό.



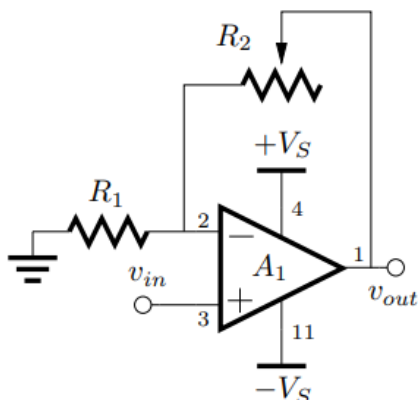
• Η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου των δύο σημάτων, σε λειτουργία X-Y, φαίνεται παρακάτω:



2. Ενισχυτές Τάσης:

2.1: Μη-αναστρέφων και Αναστρέφων Ενισχυτής

2.1.α

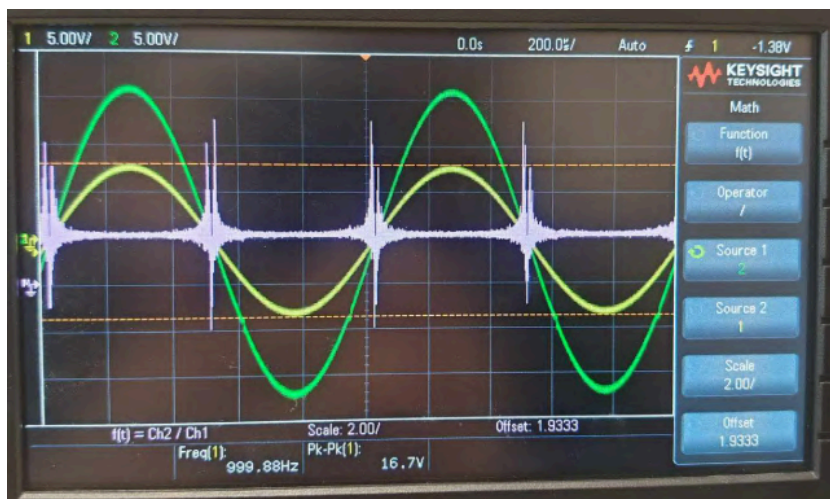
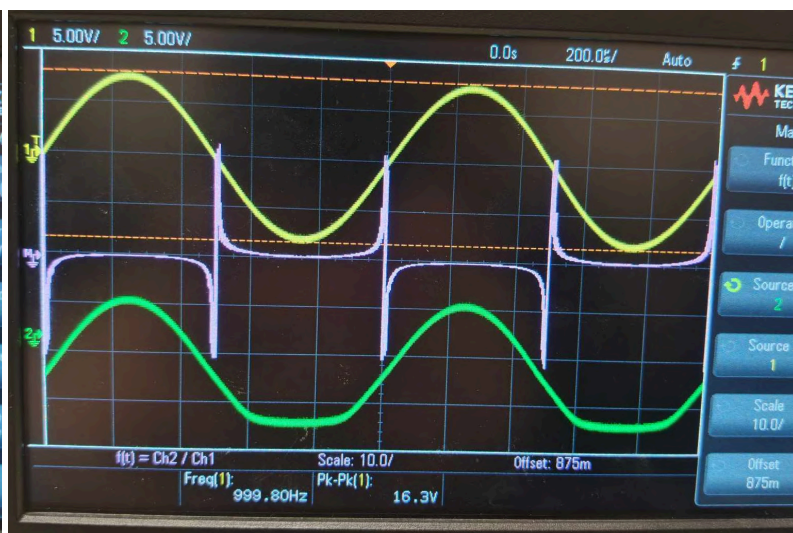
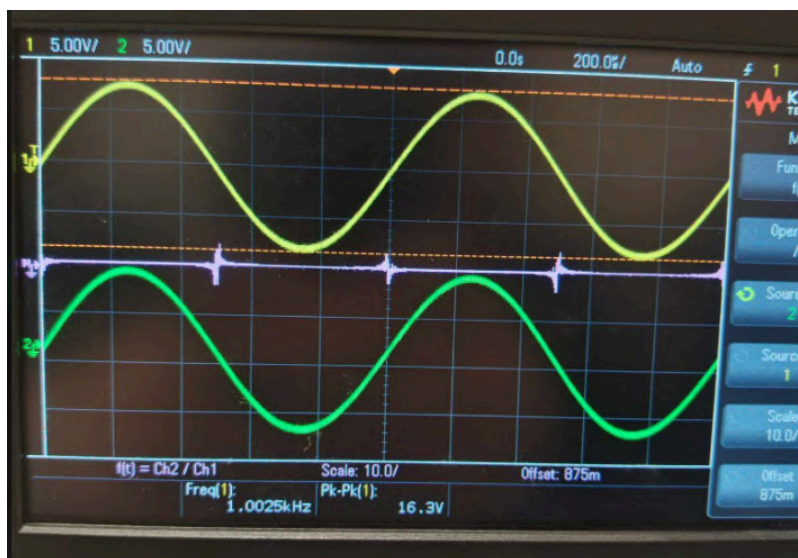


- Κατασκευάσαμε το κύκλωμα του Σχήματος 2(α), όπου λειτουργεί σαν ενισχυτής τάσης, με κέρδος $U_{in}/U_{out} = 1 + R_2/R_1$ και ρυθμίσαμε το τρίμμερ R_2 σε μέγιστη αντίσταση.

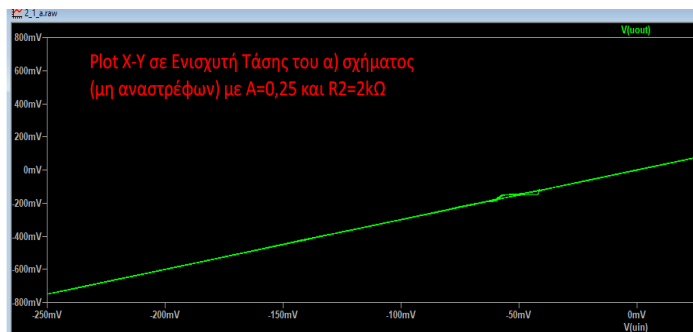
- Συνδέσαμε τη γεννήτρια σήματος στο U_{in} και τον παλμογράφο στα U_{in} και U_{out} , με συγχρονισμό από το U_{in} .

- Μεταβάλαμε το πλάτος της γεννήτριας σε $0.1 \leftrightarrow 1$ V_{pp} και μετρήσαμε το κέρδος τάσης v_{in}/v_{out} .

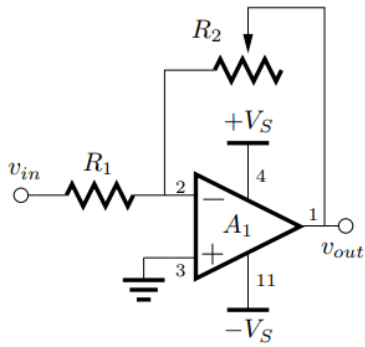
- Ρυθμίσαμε το τρίμμερ ώστε το κέρδος τάσης να είναι 2, 5, και 10 όπως αντίστοιχα φαίνεται στις παρακάτω φωτογραφίες.



- Ρυθμίσαμε τον παλμογράφο σε λειτουργία X-Y και παρατηρήσαμε την χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου.



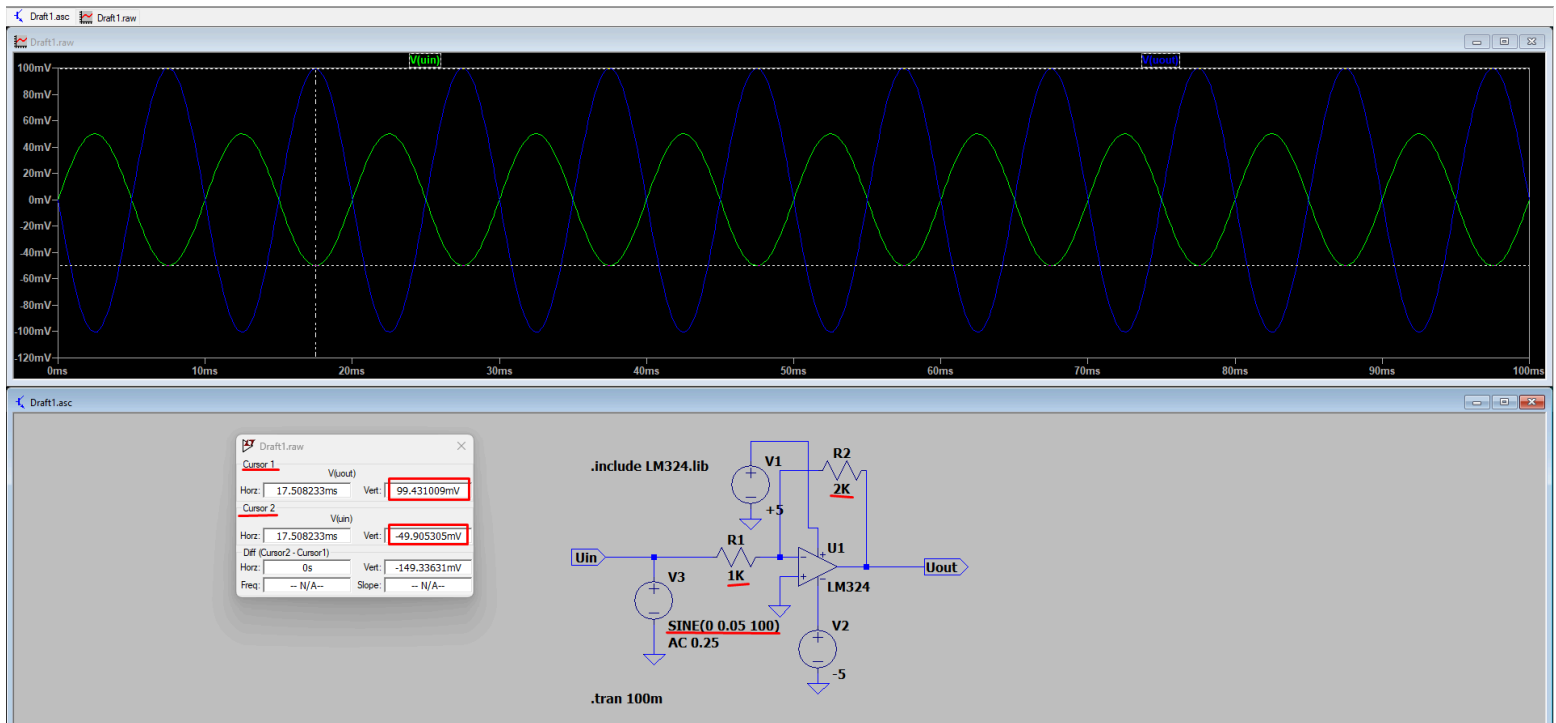
2.1.β: Αναστρέφων Ενισχυτής



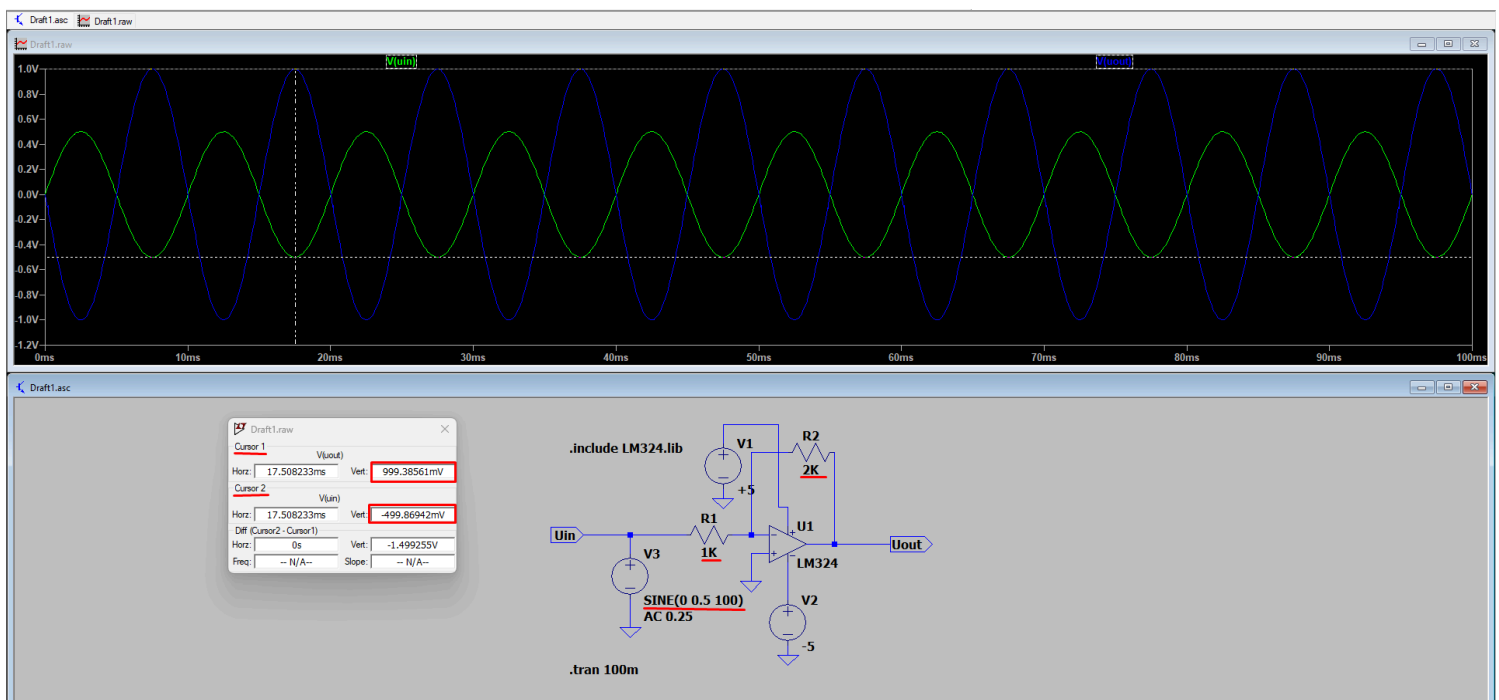
Το διπλανό κύκλωμα λειτουργεί σαν ενισχυτής τάσης, με κέρδος $U_{out}/U_{in} = -R_2/R_1$.

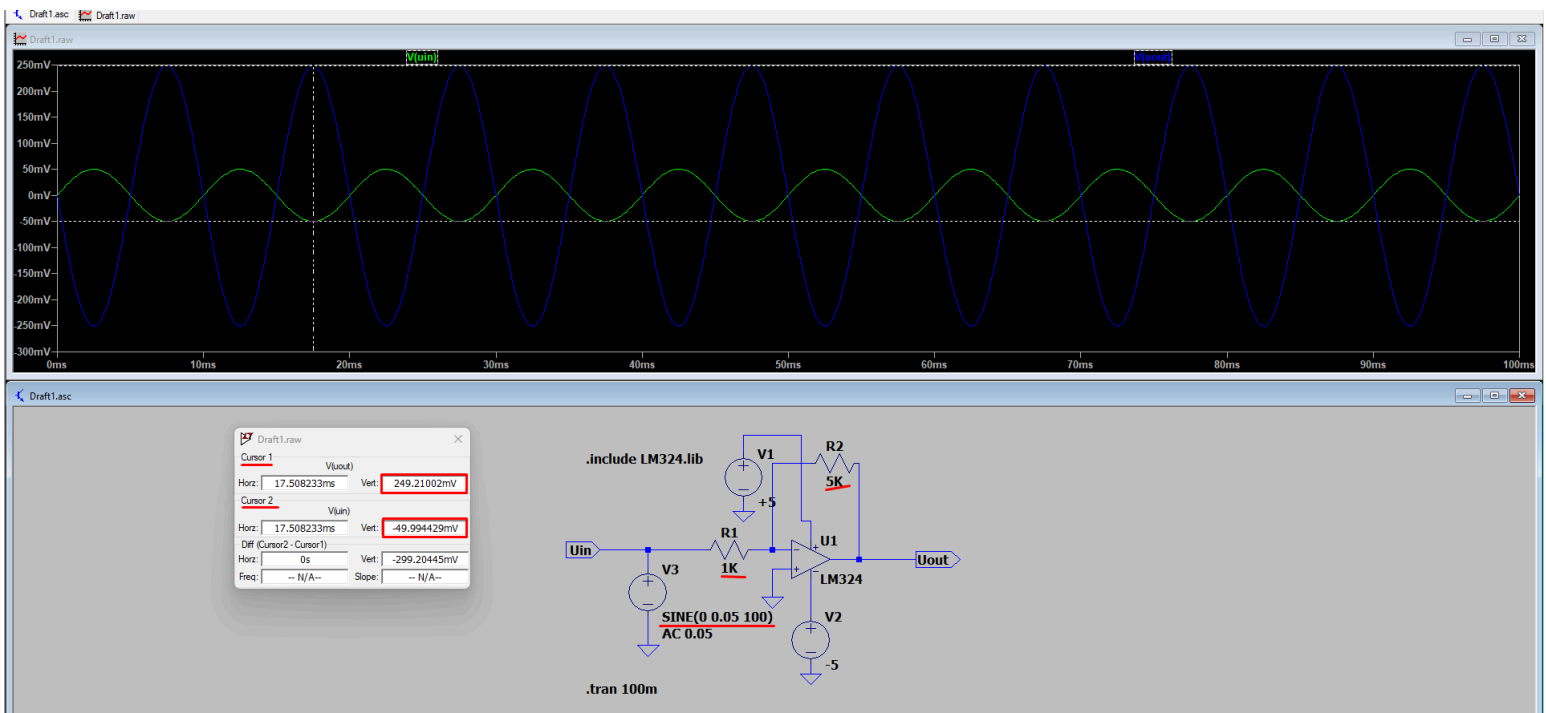
Συνδέουμε τη γεννήτρια σήματος στο U_{in} και τον παλμογράφο στα U_{in} και U_{out} . Μεταβάλλουμε το πλάτος της γεννήτριας σε $0.1 \leftrightarrow 1$ V_{pp} και παρατηρούμε ότι η αλλαγή του V_{pp} δεν μεταβάλλει το κέρδος τάσης. Στη συνέχεια ρυθμίζουμε την αντίσταση R2 ώστε το κέρδος τάσης να είναι 2, 5, και 10 (επειδή το τρίμερ του εργαστηρίου είναι 0-10 kΩ πήραμε αντίσταση 1 kΩ για να προκύψει ο επιθυμητός λόγος). Επίσης στο LTSpice βάλαμε συχνότητα 100Hz (αντί για 1KHz) για λόγους ευκρίνειας.

→ $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, $V_{pp} = 0.1$

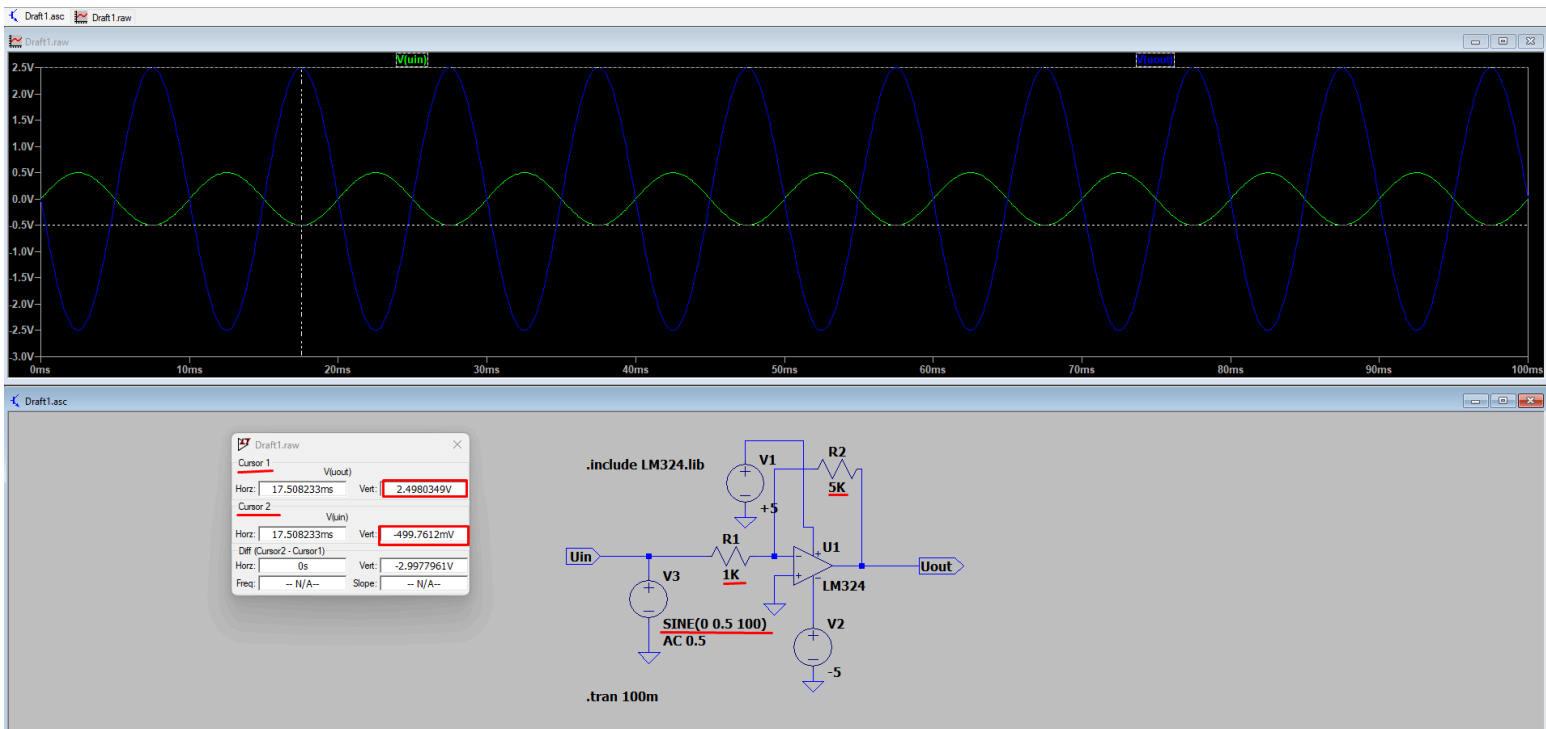


→ $R_1 = 1\text{k}\Omega$, $R_2 = 2\text{k}\Omega$, $V_{pp} = 1$

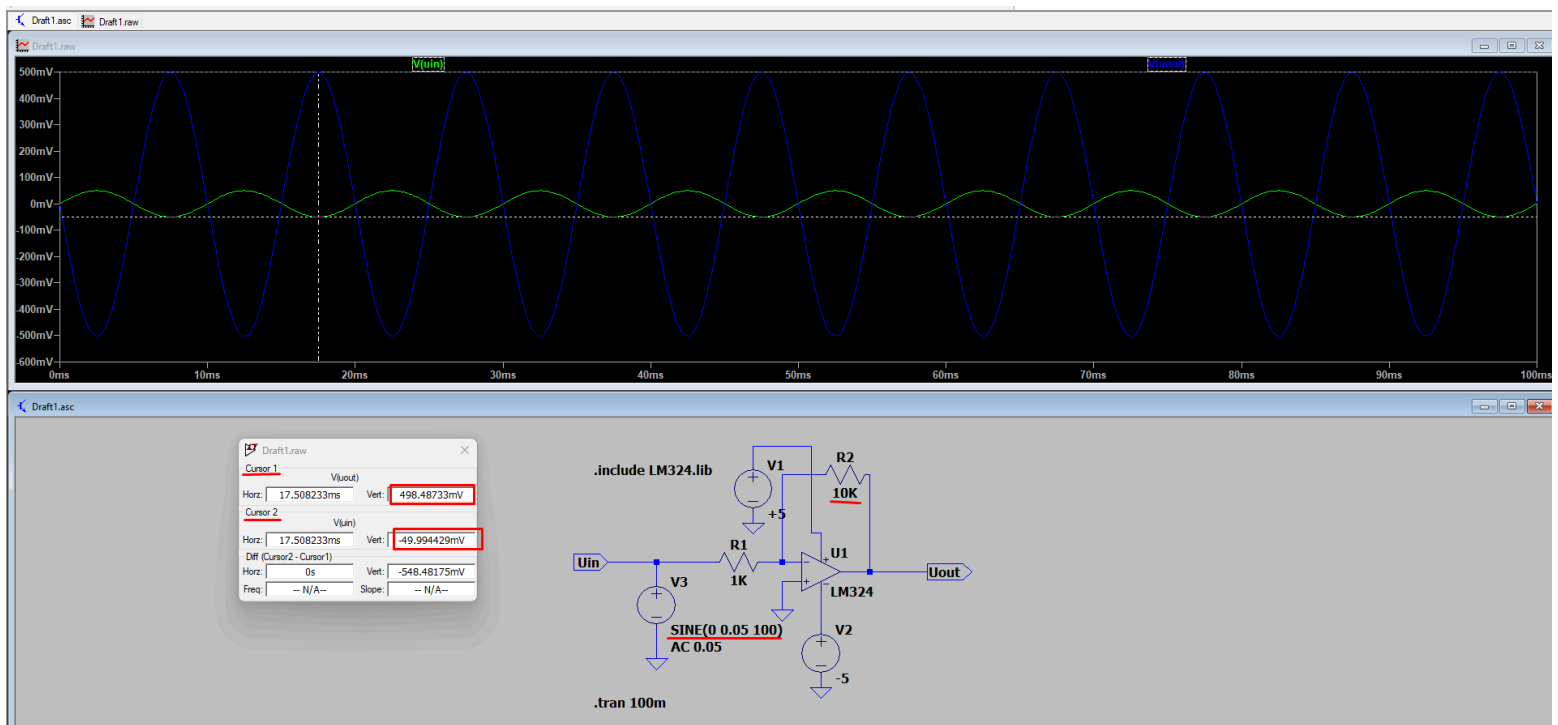




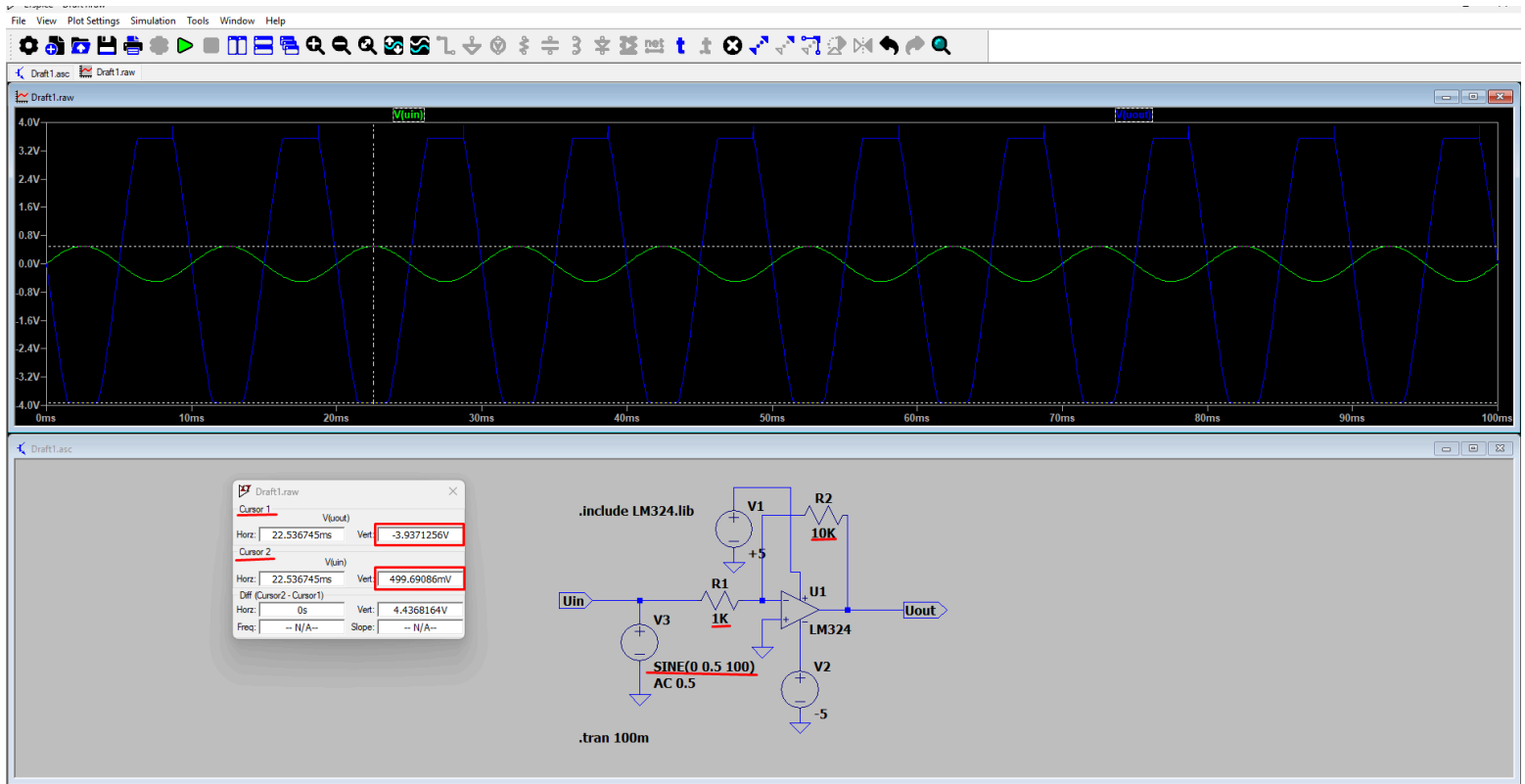
→ $R1=1k\Omega$, $R2=5k\Omega$, $V_{pp} = 1$



→ $R1=1k\Omega$, $R2=10k\Omega$, $V_{pp} = 0.1$

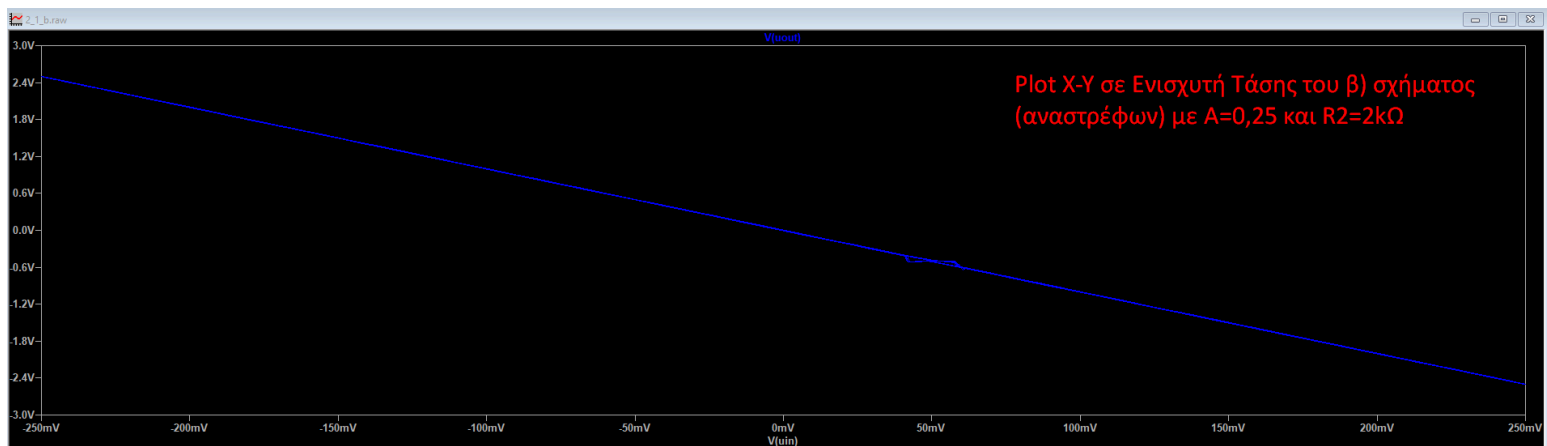


→ $R1=1k\Omega$, $R2=10k\Omega$, $V_{pp} = 1$



Ωστόσο, για $V_{pp} = 1$, παρατηρούμε ότι εμφανίζεται το φαινόμενο του ψαλιδισμού στον ενισχυτή, με αποτέλεσμα το σήμα U_{out} να περιορίζεται πριν φτάσει την τιμή 5, και έτσι να μην επιτυγχάνεται ο αναμενόμενος δεκαπλασιασμός του σήματος. Η τάση κορεσμού είναι $\pm 3,93V$

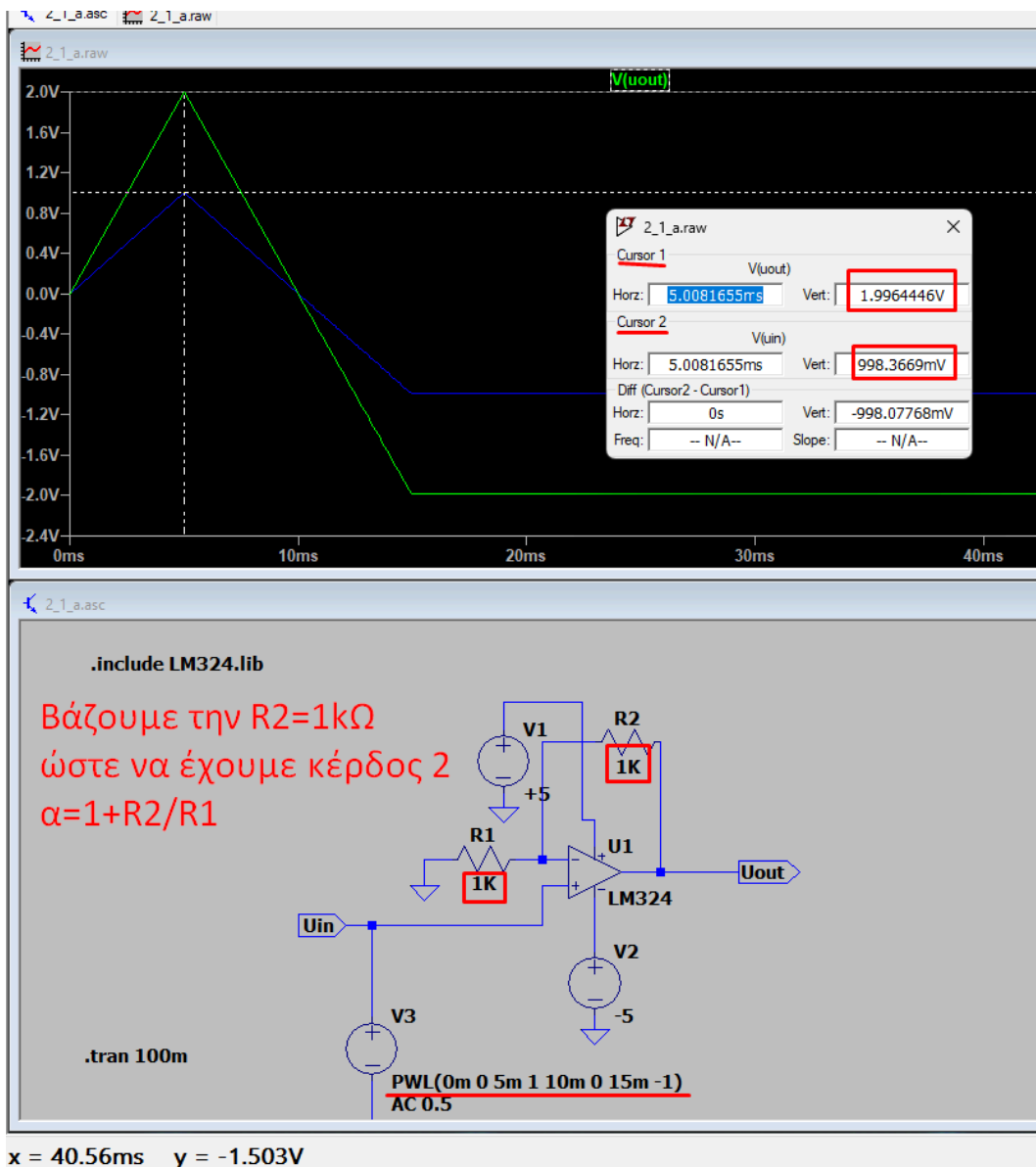
• Στη συνέχεια ρυθμίσαμε τον παλμογράφο σε λειτουργία X-Y και παρακάτω φαίνεται η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου.



Φαίνεται και εδώ χαρακτηριστικά η λειτουργία του Αναστρέφοντος Ενισχυτή, αφού η ευθεία είναι ανεστραμμένη σε σχέση με αυτή του σχήματος (α).

2.2: Ψαλιδισμός Ενισχυτή

2.2.α Μη-Αναστρέφων Ενισχυτής

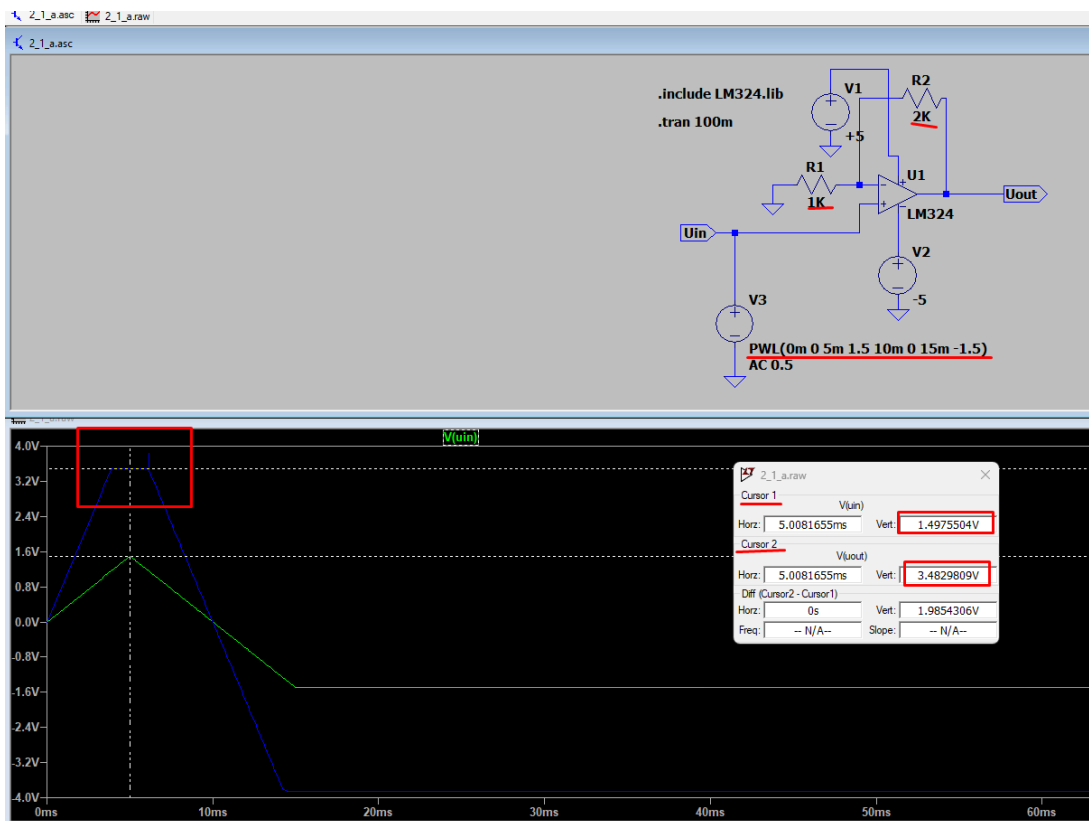


- Για το κύκλωμα του Σχήματος 2(α) που έχουμε ήδη υλοποιήσει, συνδέουμε τη γεννήτρια σήματος στο U_{in} και τον παλμογράφο στα U_{in} και U_{out} , με συγχρονισμό από το U_{in} .

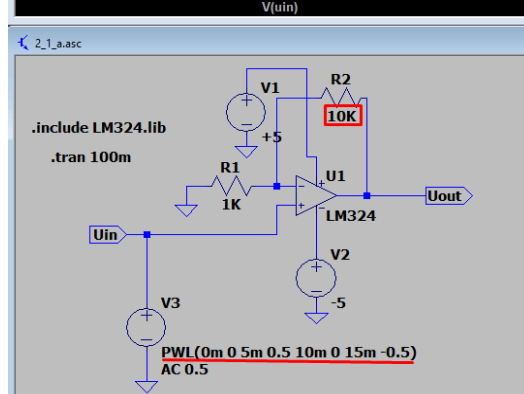
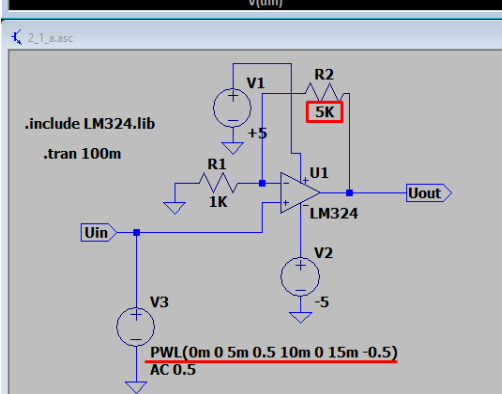
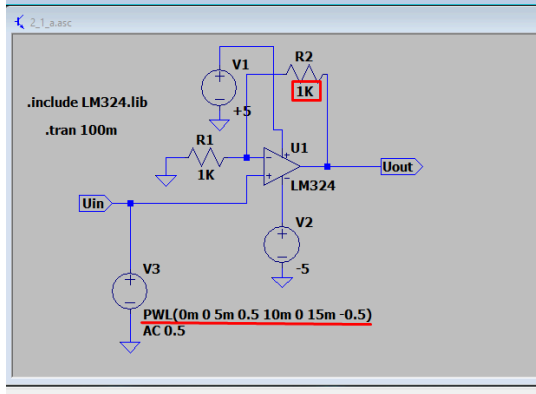
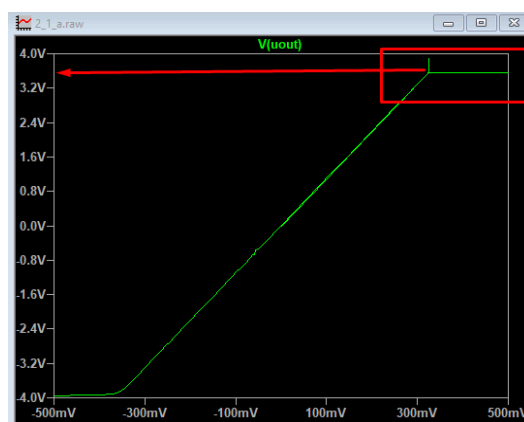
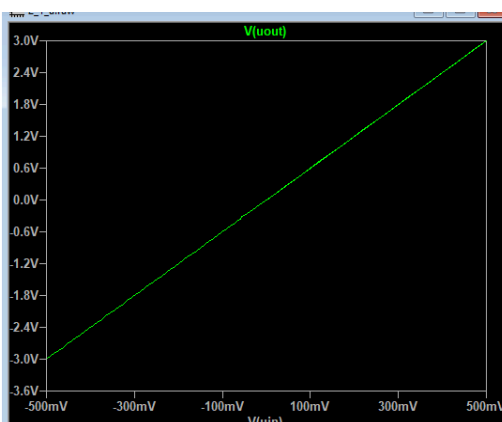
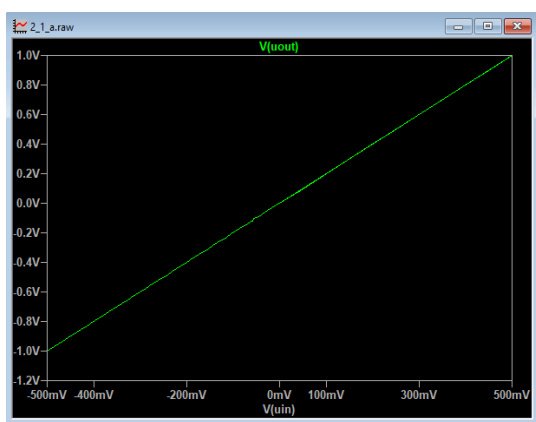
- Βάζουμε τριγωνικό σήμα με 100Hz, 2 Vpp.

- Ρυθμίζετε το τρίμμερ R2 ώστε το κέρδος τάσης να είναι 2.

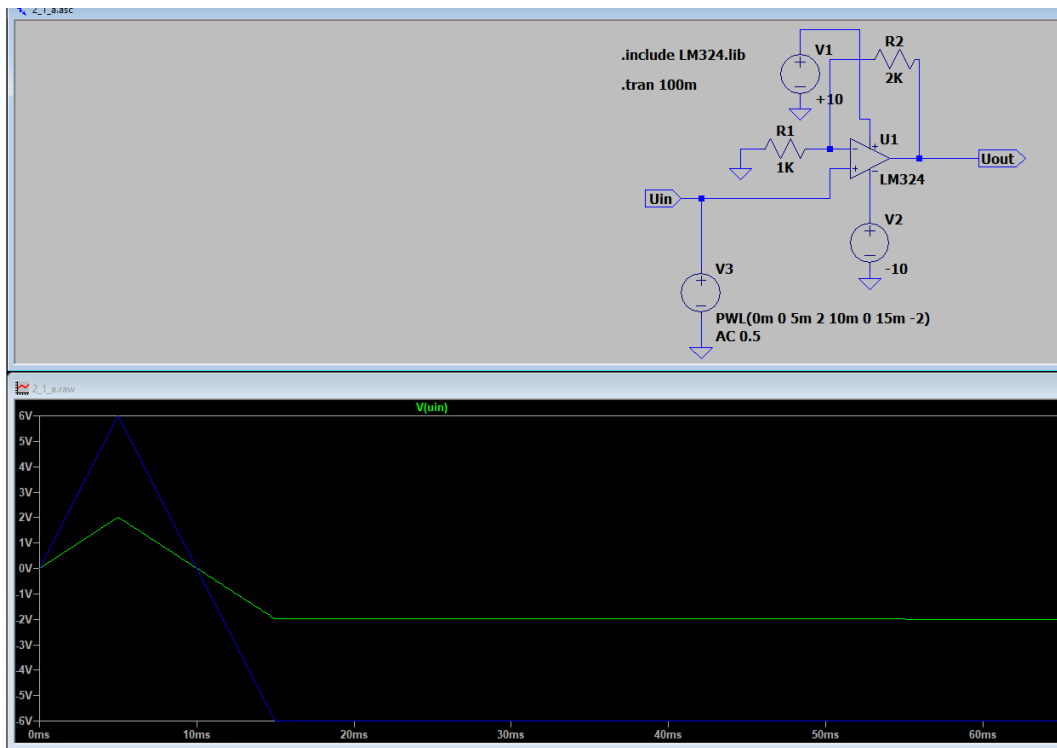
- Μεταβάλλουμε το πλάτος της γεννήτριας σε 1↔10 Vpp.



- Ρυθμίζουμε τον παλμογράφο σε λειτουργία X-Y και μεταβάλλουμε το τρίμμερ R2 σε όλη την κλίμακά του.
- Η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου του κυκλώματος αυξάνεται μέχρι να φτάσει την τιμή της τάσης κορεσμού, όπου και σταθεροποιείται.

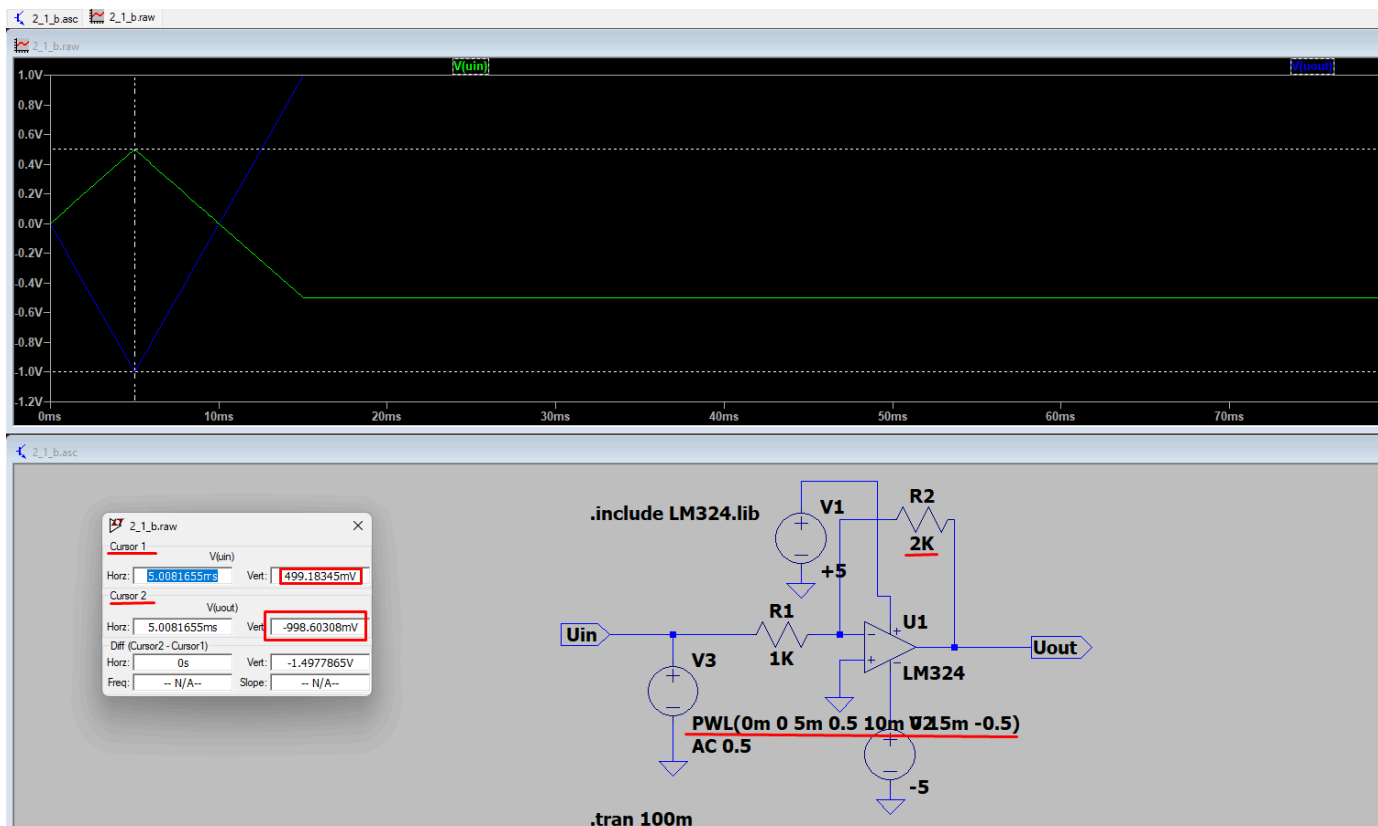


- Ρυθμίζουμε τις τάσεις τροφοδοσίας στα $\pm 10\text{V}$, ώστε οι τάσεις κορεσμού του τελεστικού ενισχυτή να είναι $\pm 6\text{V}$ με $V_{pp} 4$.

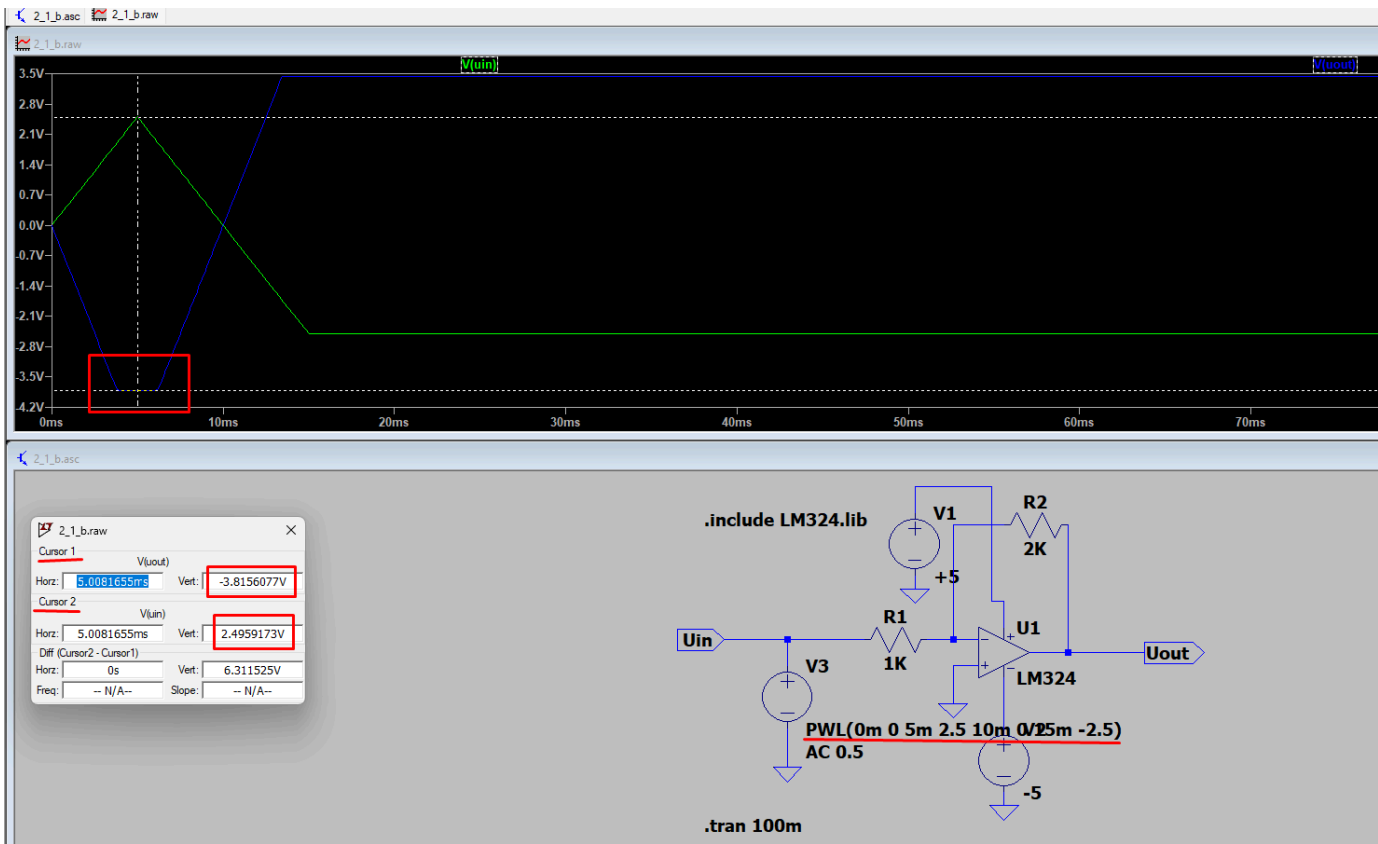


2.2.β Αναστρέφων Ενισχυτής

Όπως παρατηρούμε παρακάτω πάλι το κέρδος είναι διπλάσιο
 $V_{pp}=1\text{V}$

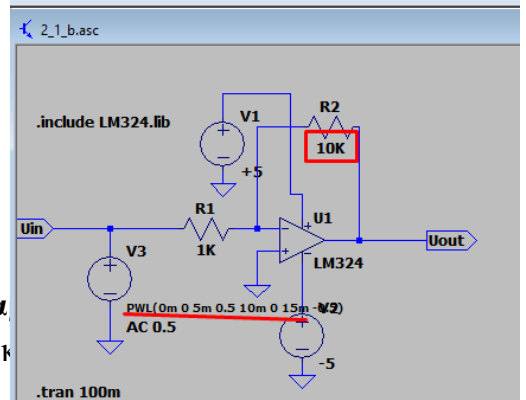
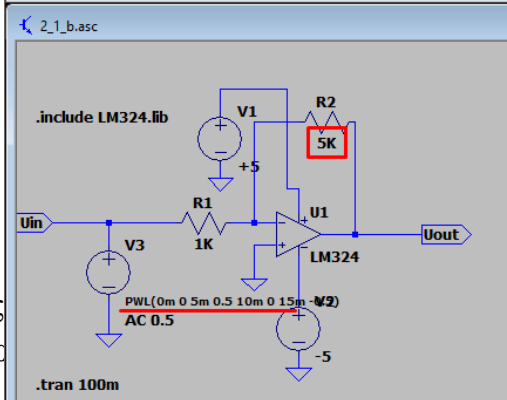
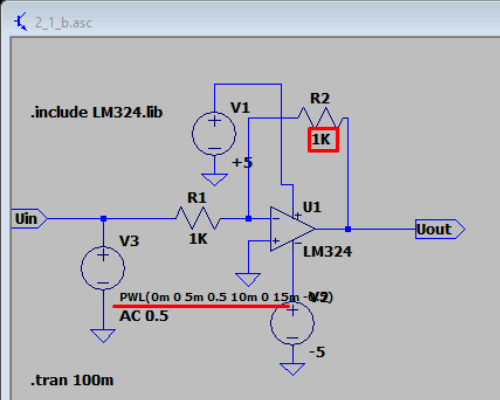
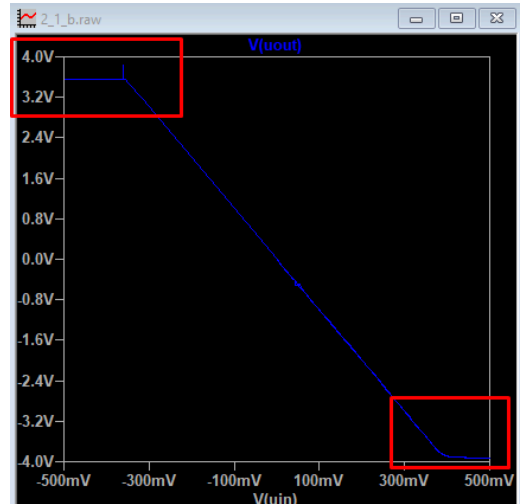
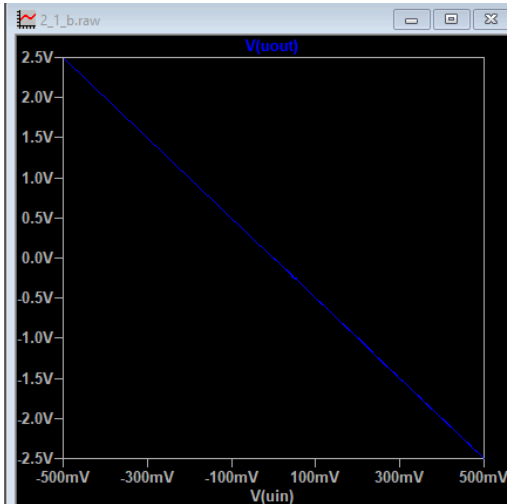
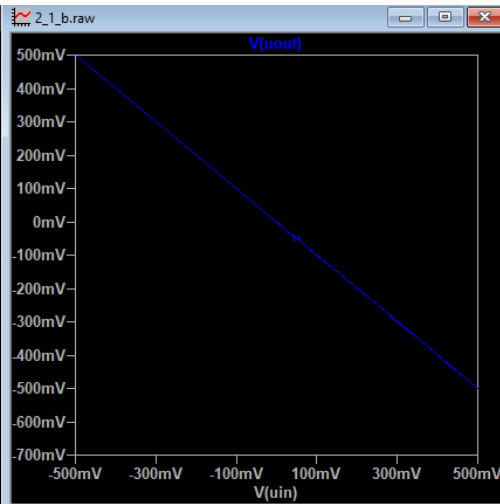


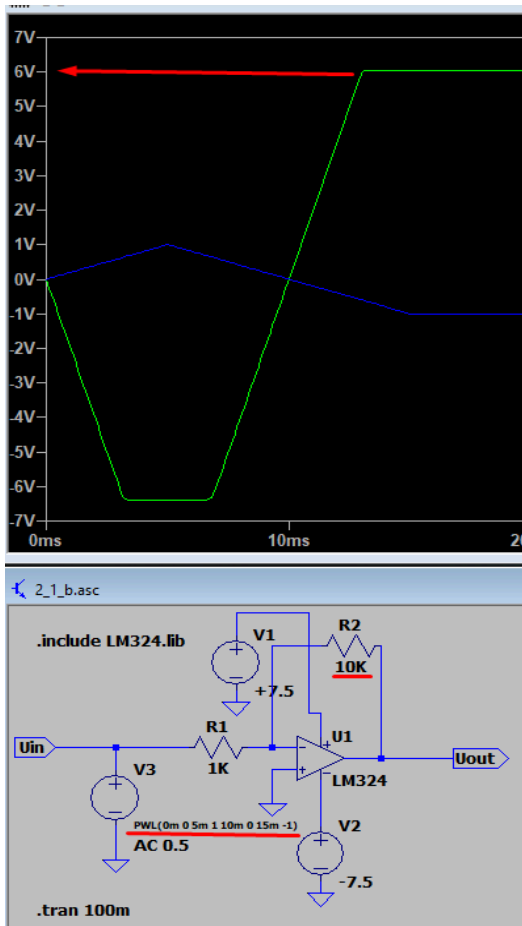
$V_{pp}=5\text{V}$



Παρατηρούμε ότι το σήμα αρχίζει να “ψαλιδίζεται” στα 4 V_{pp}, περισσότερα κατά 1V_{pp} σε σχέση με τον μη αναστρέφων, όπως αναμέναμε λόγω των τύπων. Παρ’όλ’αυτά, στην φωτογραφία βάζουμε 5V_{pp} για λόγους ευκρίνειας.

Η χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου του κυκλώματος είναι γραμμική μέχρι να φτάσει την τιμή της τάσης κορεσμού, από εκεί και πέρα σταθεροποιείται.





Ο ψαλιδισμός γενικά σε έναν ενισχυτή συμβαίνει όταν το σήμα εξόδου υπερβαίνει τα όρια λειτουργίας του, είτε λόγω περιορισμών στην τάση τροφοδοσίας, είτε λόγω μη γραμμικής συμπεριφοράς των τρανζίστορ.

Αυτό προκαλεί το ‘κόψιμο’ της κυματομορφής στα άκρα, δημιουργώντας επίπεδες περιοχές που παραμορφώνουν το σήμα.

Ο ψαλιδισμός επηρεάζει την ποιότητα του σήματος.

2.3: Ενισχυτές Αθροίσματος και Διαφοράς

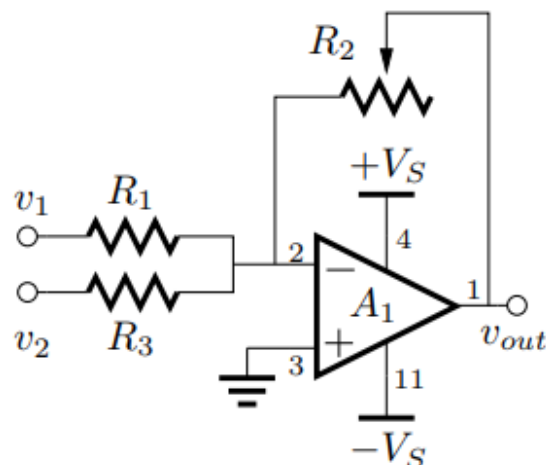
Το κύκλωμα του Σχήματος 2(γ) λειτουργεί ως ενισχυτής αθροίσματος, δηλαδή δειγματοληπτεί τις δύο εισόδους και παράγει το άθροισμά τους στην έξοδο πολλαπλασιασμένο με ένα κέρδος.

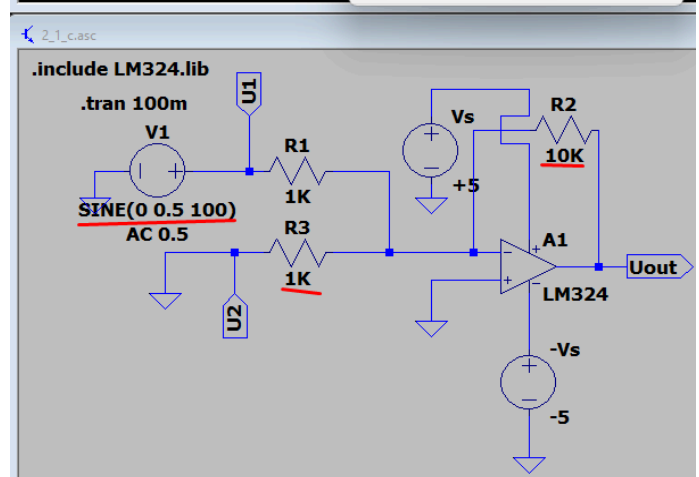
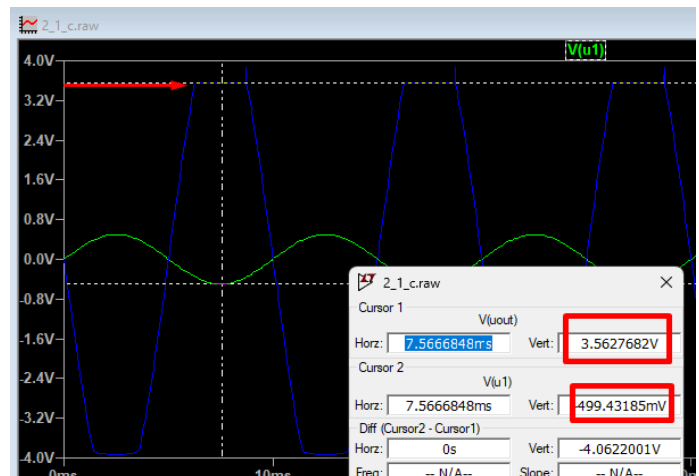
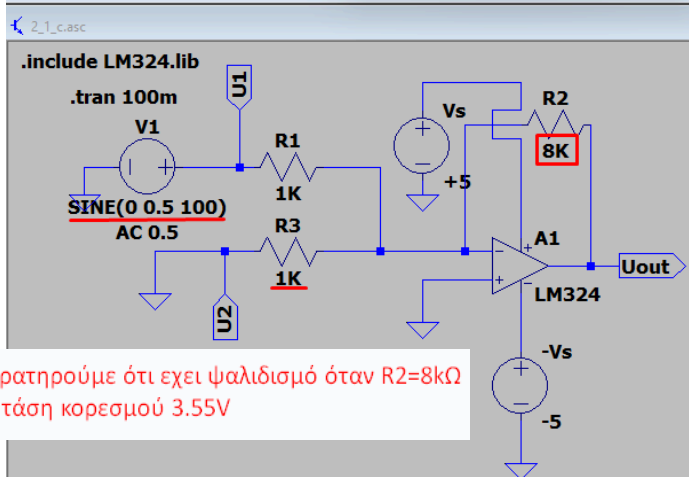
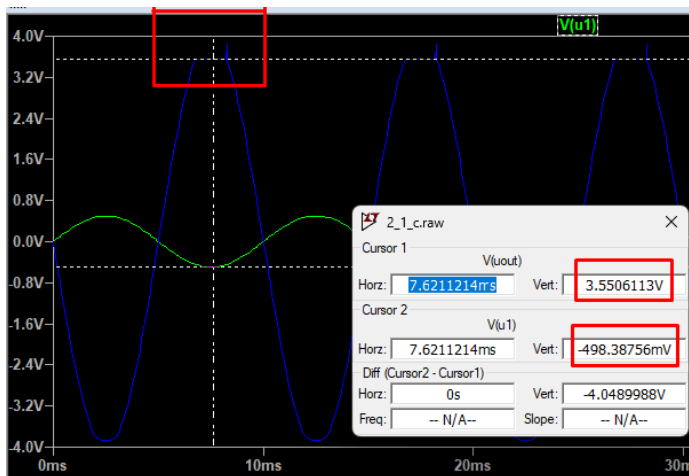
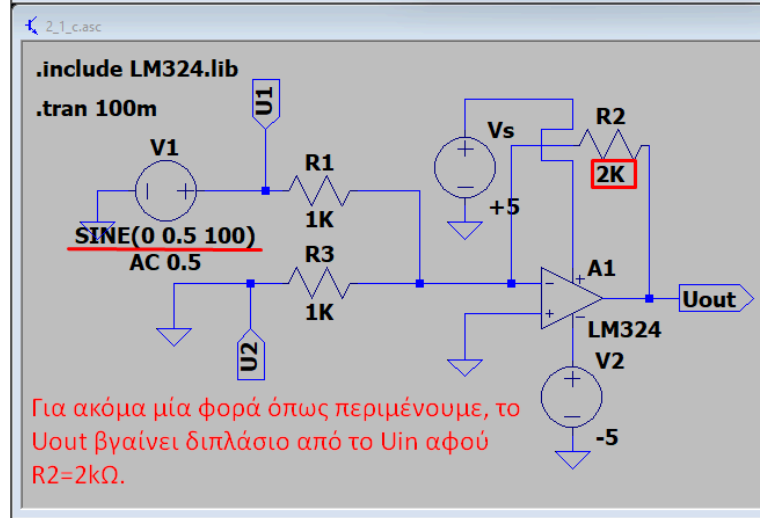
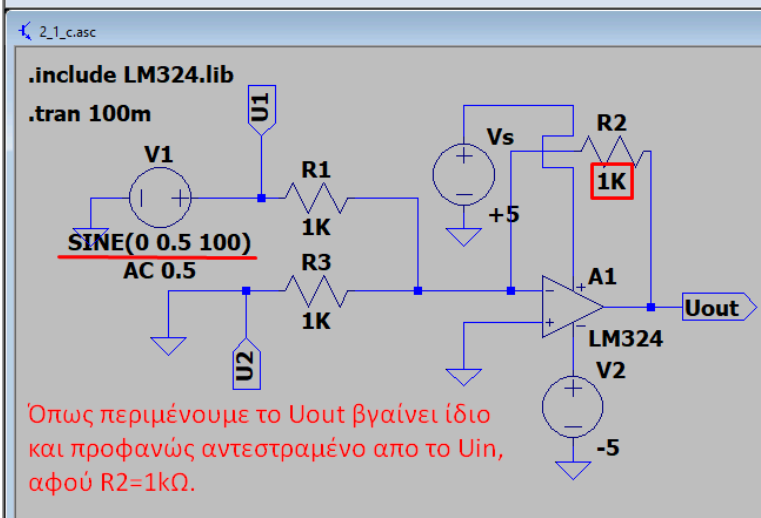
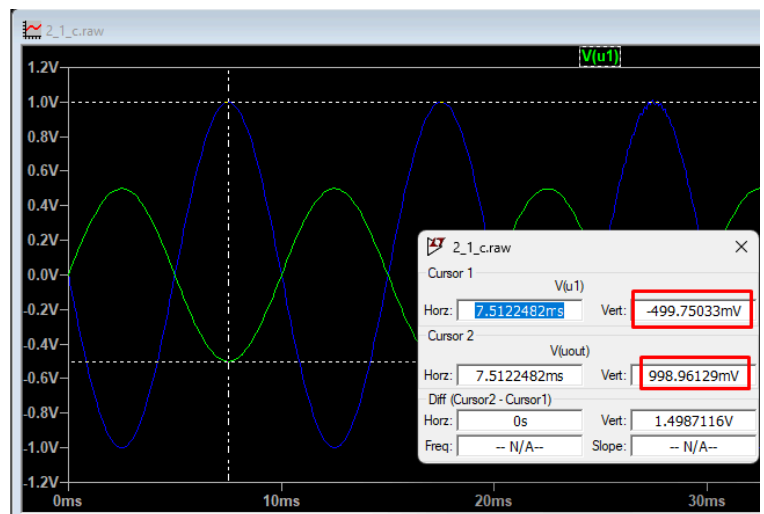
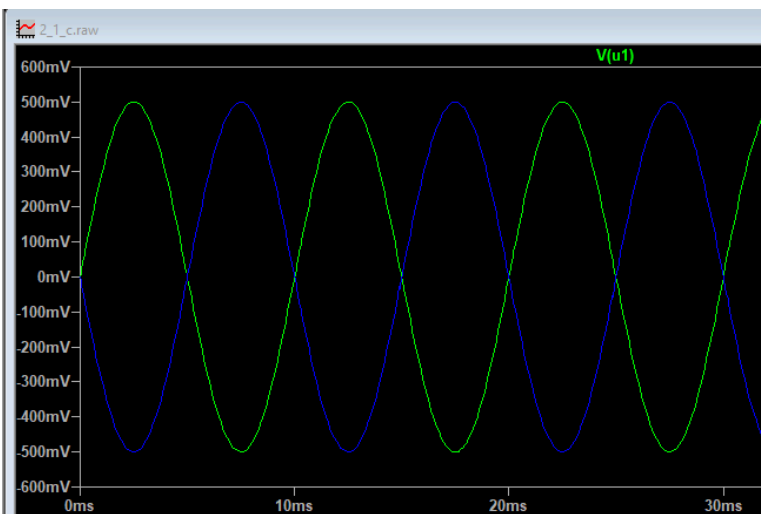
- Η τάση της εξόδου v_{out} συναρτήσει των τάσεων εισόδου v_1 και v_2 για το κύκλωμα του Σχήματος 2(γ)

$$\text{είναι, } U_{out} = -R_2 \left[\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_3} \right]$$

- Κατασκευάσαμε το κύκλωμα του Σχήματος 2(γ) →

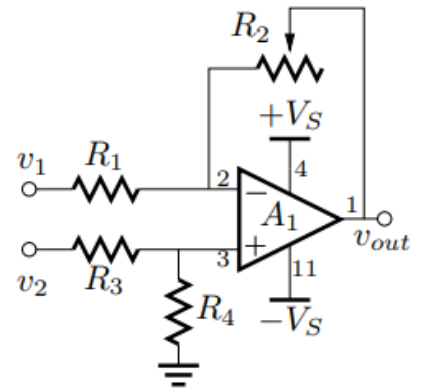
- Συνδέσαμε τη γεννήτρια σήματος στο v_1 και τον παλμογράφο στα U_1 και U_{out} .
- Συνδέσαμε το U_2 στη γη και μετρήσαμε το κέρδος τάσης U_{out}/U_1 , δηλαδή τον λόγο των πλάτων από κορυφή σε κορυφή, καθώς και τη μετατόπιση του σήματος v_{out} για διάφορες τιμές της R_2 .





2.3.δ

- Επαναλάβουμε τα παραπάνω βήματα για το κύκλωμα του Σχήματος 2(δ) →



Γέρουμε ότι ισχύει: $I_A = \frac{V_1 - V_A}{R_1}$, $I_A = \frac{V_A - V_{out}}{R_2}$

$$\frac{V_1 - V_A}{R_1} = \frac{V_A - V_{out}}{R_2} \quad (1)$$

Διαίρετους τόπους: $V_2 = I_B(R_3 + R_4)$
 $V_B = I_B \cdot R_4$ } $\Rightarrow V_B = V_2 \frac{R_4}{R_3 + R_4}$

Ισχύει επίσης ότι: $V_A = V_B$ λόγω Τ.Ε.

$$\textcircled{1} \quad \frac{V_1 - V_B}{R_1} = \frac{V_B - V_{out}}{R_2} \Leftrightarrow \frac{V_1}{R_1} - \frac{V_2 R_4}{R_1(R_3 + R_4)} = \frac{V_2 R_4 - V_{out}}{(R_3 + R_4)R_2}$$

$$\Rightarrow \left[V_{out} = \frac{V_2 R_4 R_2}{(R_3 + R_4)} \left[\frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right] - \frac{V_1 R_2}{R_1} \right]$$

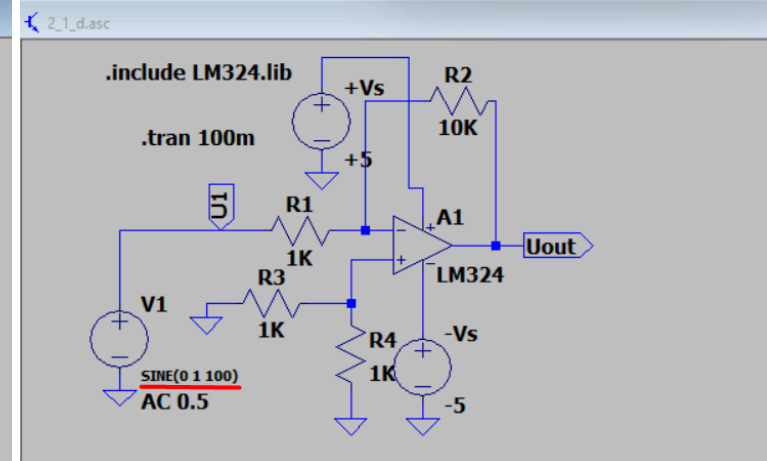
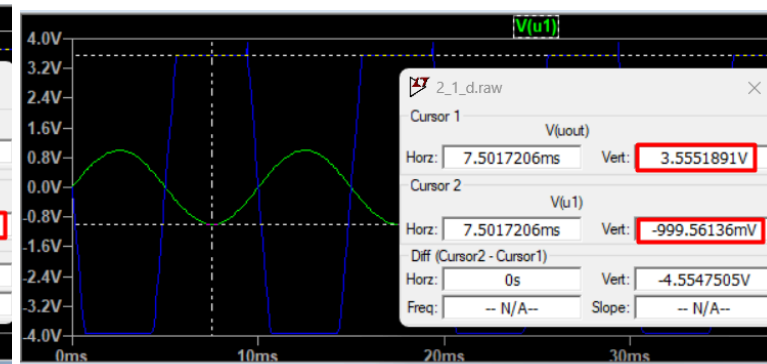
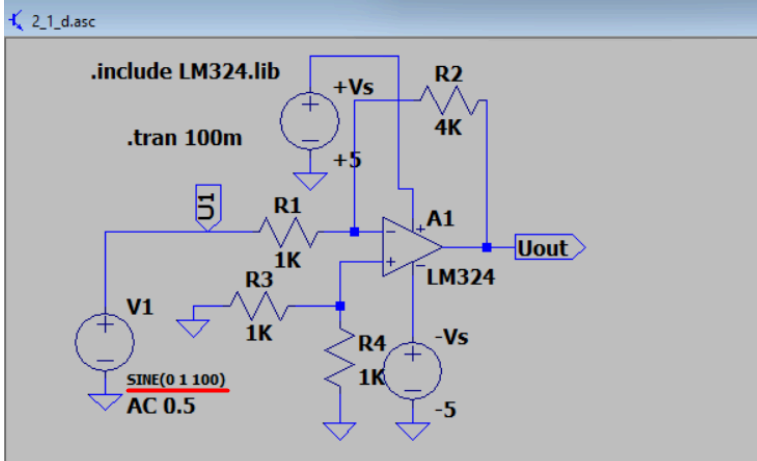
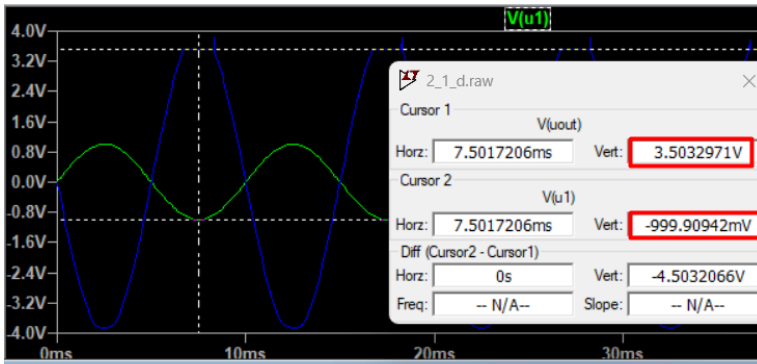
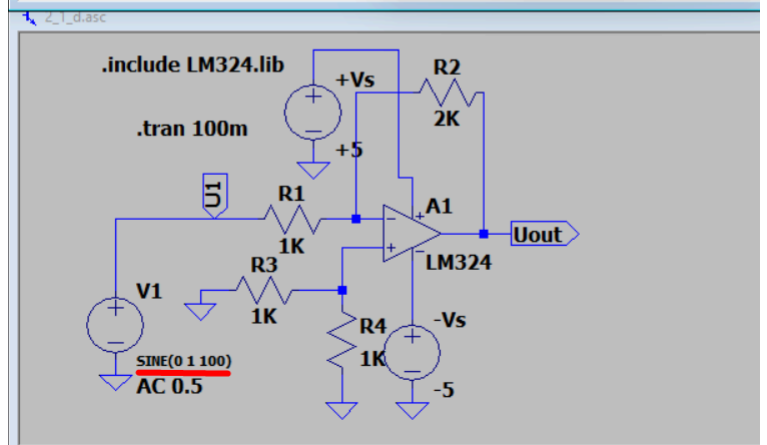
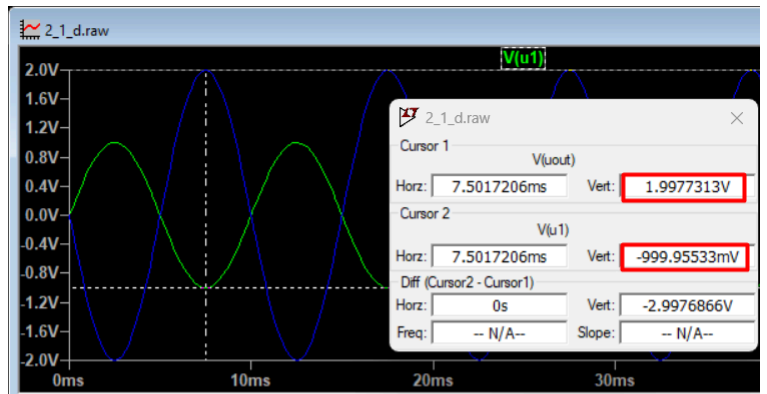
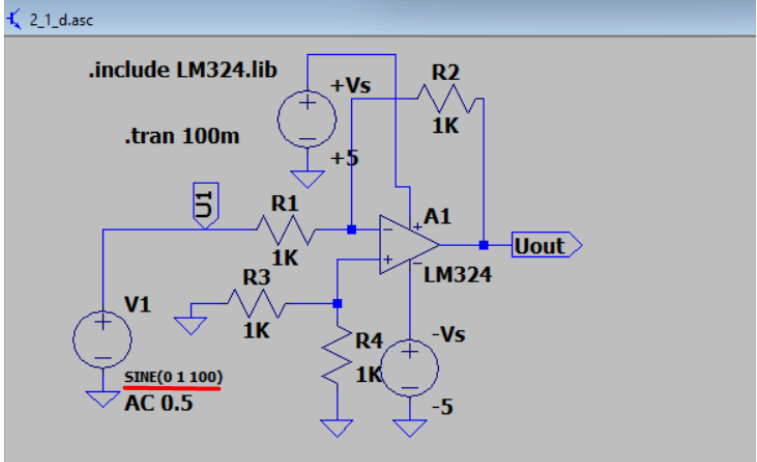
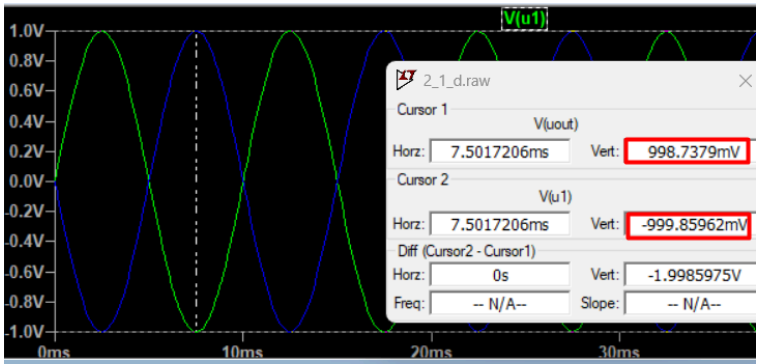
Βέβαια από εκφώνηση: $R_1 = R_3 = R_4 = 1k\Omega$, άρα:

$$V_{out} = \frac{V_2 R_2}{2} \left[\frac{1}{R_2} + 1 \right] - V_1 R_2$$

Φτιάχνουμε έναν πίνακα με τις τιμές που περιμένουμε να δούμε στο U_{out} . Η συνάρτησή μας όπως την υπολογίσαμε είναι η εξής:

$$U_{out} = \frac{V_2 \cdot R_2}{2} \left[\frac{1}{R_2} + 1 \right] - V_1 \cdot R_2$$

R2	V1	V2	Uout
1	1	1	-1
2	1	1	-2
4	1	1	-3.5032
10	1	1	-3.5551



3. Ολοκληρωτής και Διαφοριστής

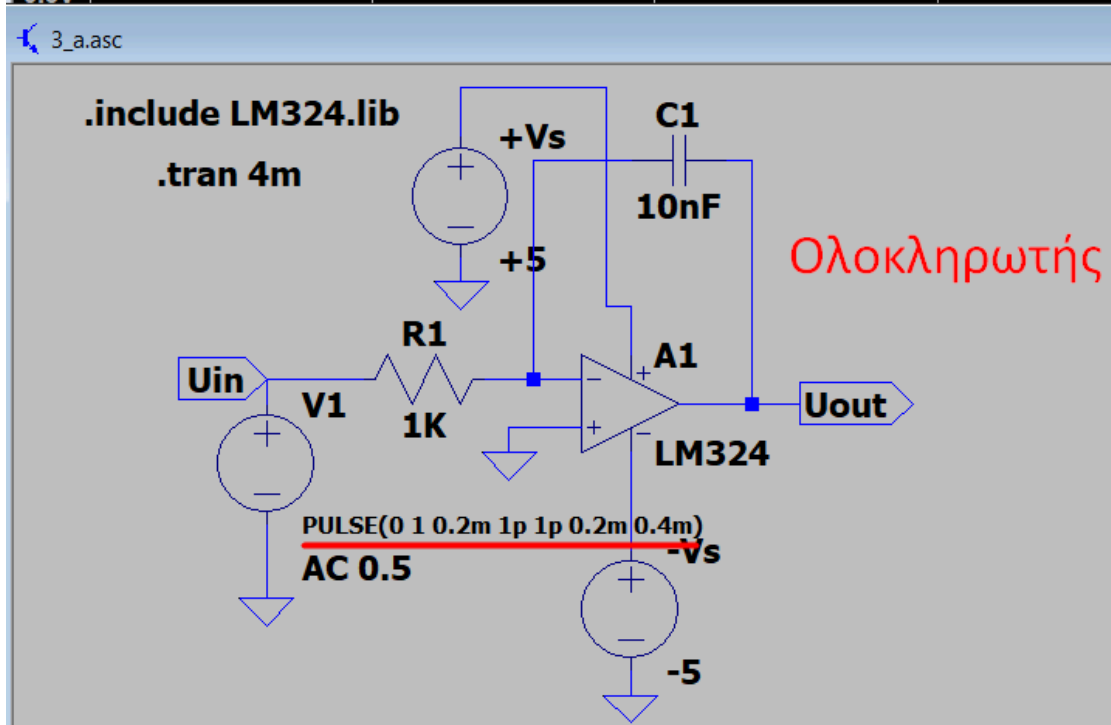
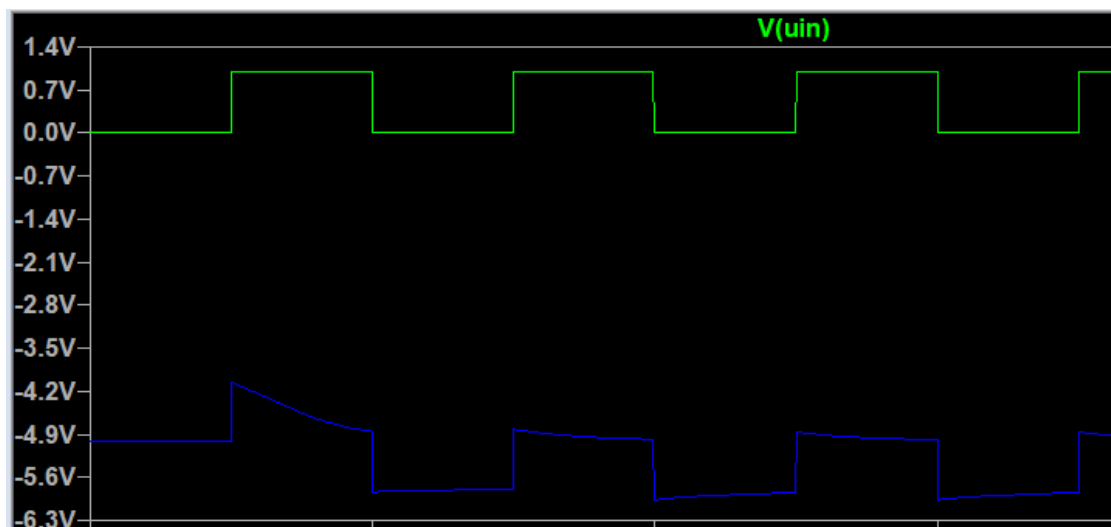
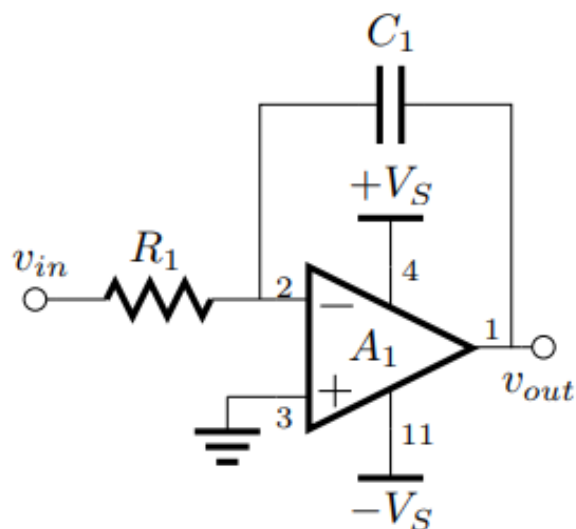
- Κατασκευάστε το κύκλωμα του Σχήματος 3(α) —>
- Συνδέστε τη γεννήτρια στο U_{in} και τον παλμογράφο στα U_{in} και U_{out} , με συγχρονισμό από το U_{in} .
- Δίνουμε ένα τετραγωνικό σήμα 2 Vpp, 0 VDC, με περίοδο $4\tau = 0.4 \text{ ms}$, και εξετάζουμε την απόκριση του κυκλώματος.

Ολοκληρωτής τετραγωνικός

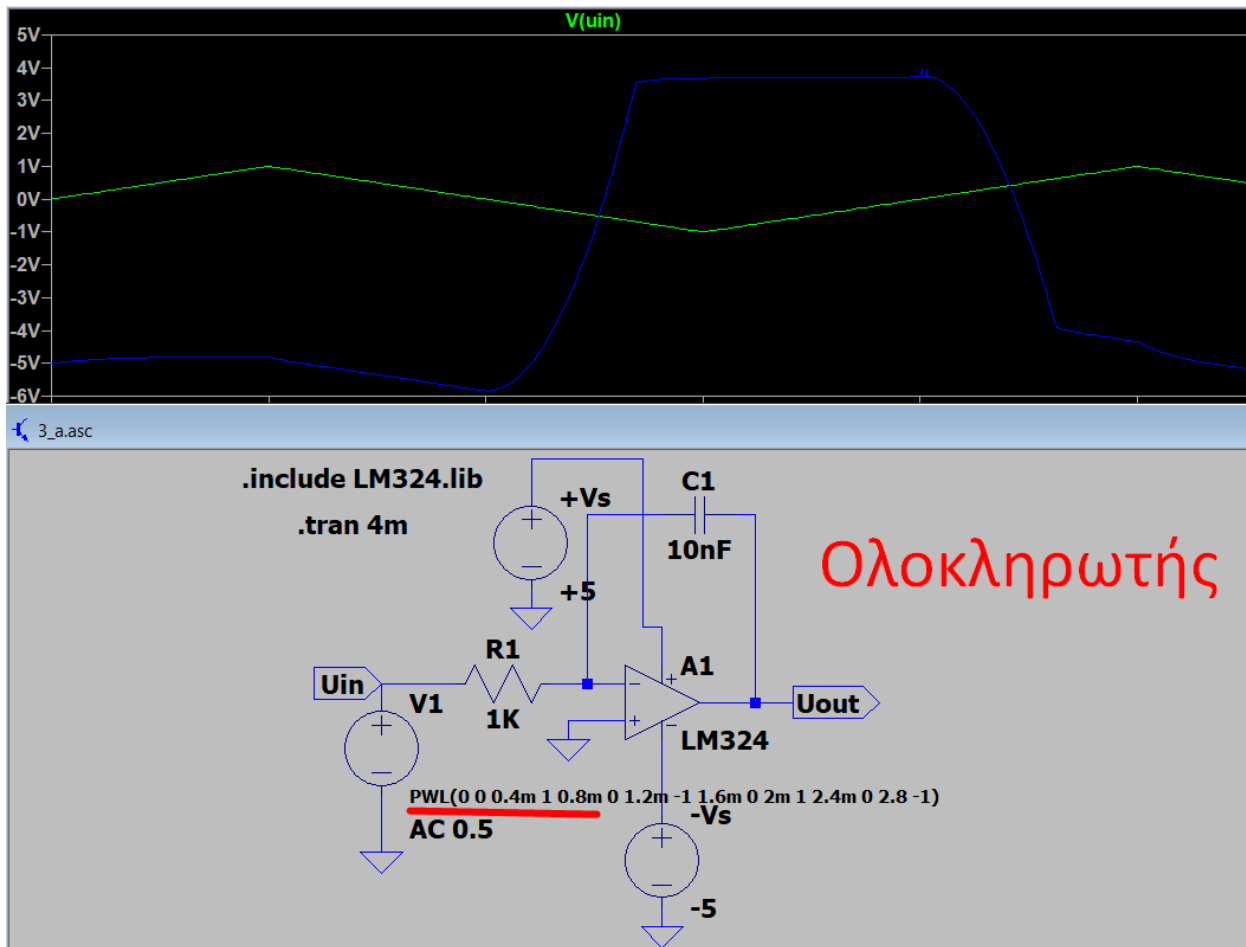
- Το κύκλωμα περιλαμβάνει αντίσταση $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$ στην είσοδο και πυκνωτή $C = 10 \text{ nF}$ στην ανάδραση.
- Ολοκληρώνει το σήμα εισόδου με βάση τη σχέση:

$$v_{out} = -\frac{1}{R_1 C_1} \int v_{in} dt$$

- Δηλαδή, η έξοδος είναι αντίστροφα ανάλογη του ολοκληρώματος της εισόδου.



- Κάνουμε το ίδιο για τριγωνικό σήμα με περίοδο $8\tau = 0.8 \text{ ms}$.



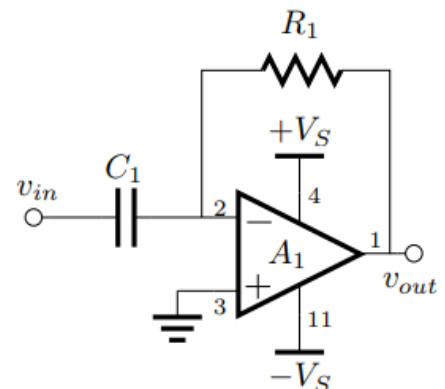
Ανάλυση της Απόκρισης του Ολοκληρωτή για τετραγωνικό και τριγωνικό σήμα:

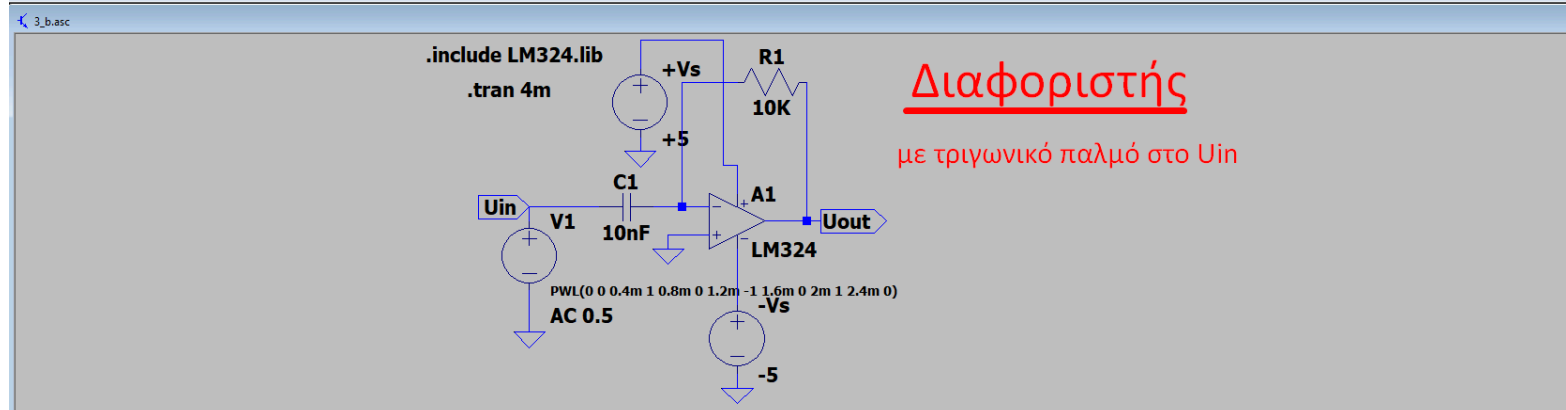
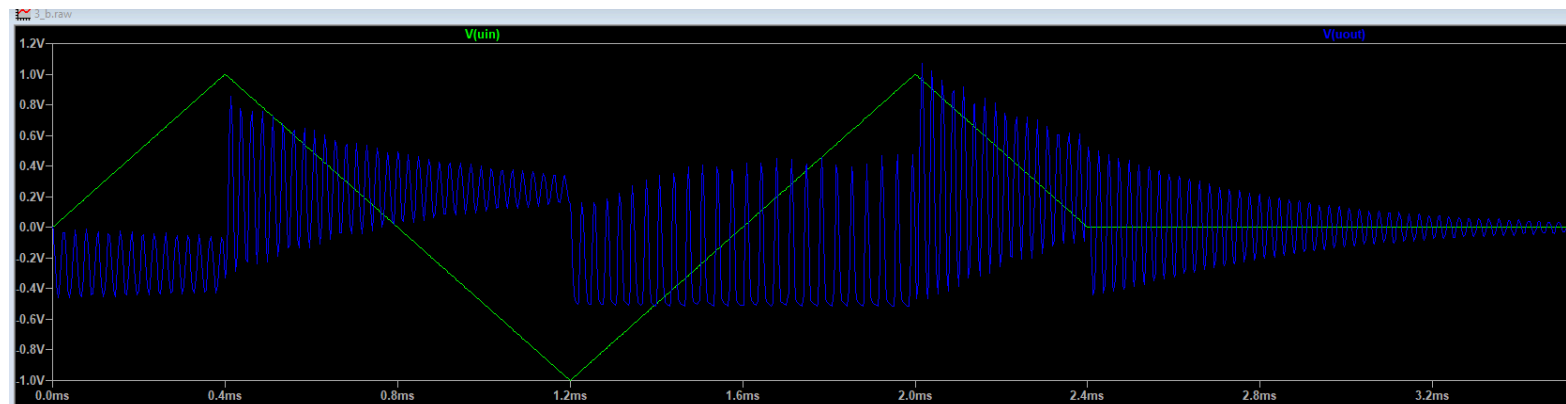
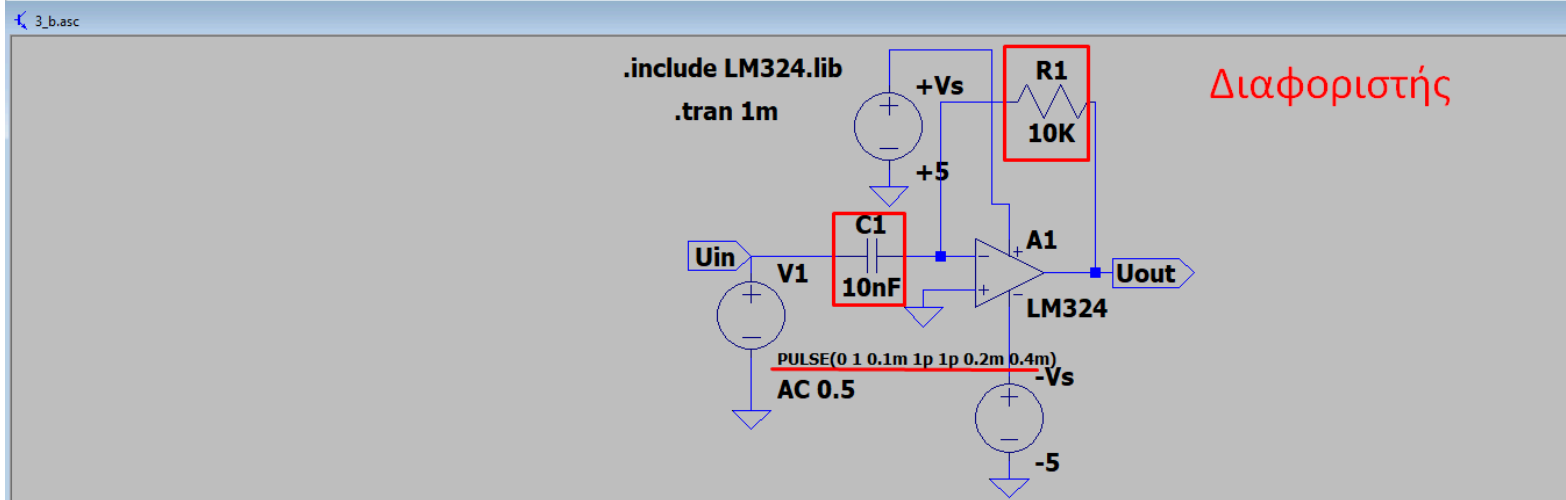
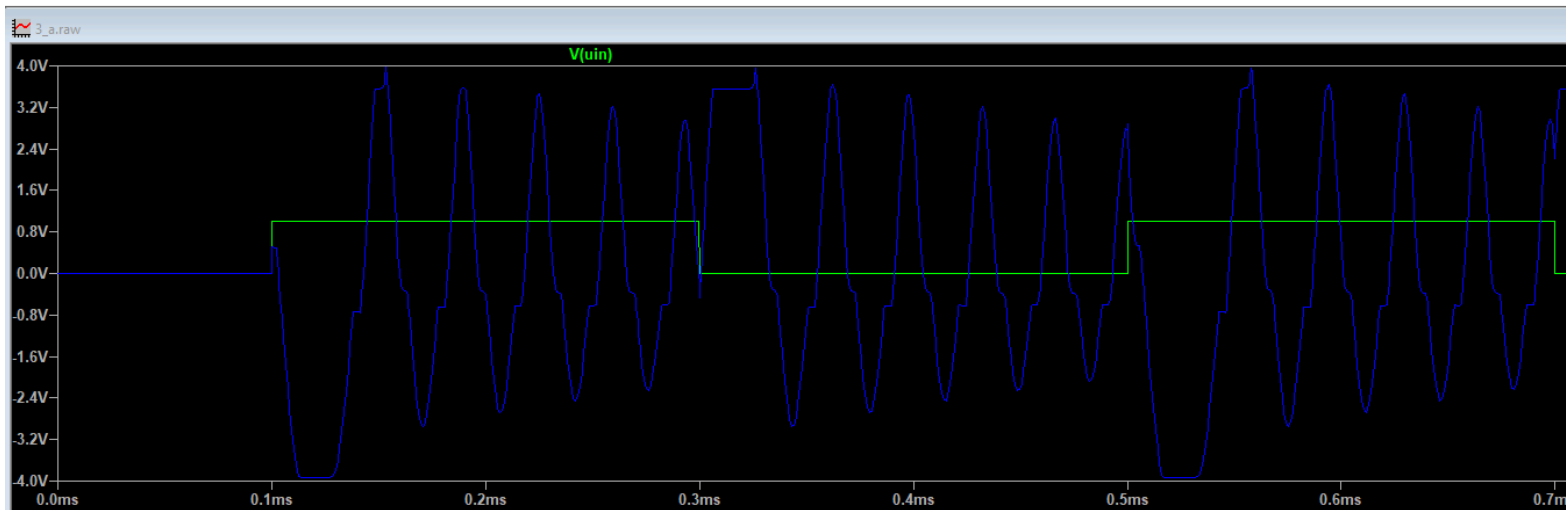
- Η έξοδος V_{out} (μπλε) παρουσιάζει μια γραμμική πτώση όταν η είσοδος είναι σταθερή στο 1V. Αυτό συμβαίνει επειδή το ολοκλήρωμα μιας σταθερής τιμής είναι μια γραμμική αύξηση ή μείωση.
- Όταν η είσοδος επιστρέφει στο 0V, η έξοδος παραμένει σταθερή, γιατί το ολοκλήρωμα μιας μηδενικής εισόδου δεν μεταβάλλει την έξοδο.
- Αντίστοιχα, αν η είσοδος γίνει αρνητική, η έξοδος θα αρχίσει να αυξάνεται.

Ο ολοκληρωτής εξομαλύνει το σήμα και προσθέτει μια γραμμική μεταβολή στην έξοδο, καθιστώντας τον χρήσιμο για εφαρμογές όπως φίλτρα χαμηλών συχνοτήτων και αναλογική προσομοίωση συστημάτων.

- Επαναλάβετε τα παραπάνω βήματα για το κύκλωμα του Σχήματος 3(β) →
- Στη διαφορική διάταξη, ο τελεστικός ενισχυτής υλοποιεί τη μαθηματική παράγωγο του σήματος εισόδου. Το κύκλωμα περιλαμβάνει:
- Έναν πυκνωτή C_1 (10nF) στη θετική είσοδο, που λειτουργεί ως στοιχείο αντίδρασης.
- Μια αντίσταση R_1 (10KΩ) στην έξοδο, που καθορίζει το κέρδος.

$$v_{out} = -R_1 C_1 \frac{dv_{in}}{dt}$$





Ανάλυση της Απόκρισης του Διαφοριστή για τετραγωνικό και τριγωνικό σήμα:

- Το σήμα εισόδου (U_{in}) είναι ένας τετραγωνικός / τριγωνικός παλμός.
- Το σήμα εξόδου (U_{out}) είναι η παράγωγος του σήματος εισόδου. Έτσι, όταν το σήμα εισόδου έχει σταθερή κλίση, η έξοδος είναι σταθερή.
- Παρατηρούμε ότι το σήμα εξόδου είναι υψηλό στις απότομες αλλαγές του εισόδου και μειώνεται όταν το σήμα είναι σταθερό.
- Το αποτέλεσμα μοιάζει με ένα ενισχυμένο σήμα των στιγμιαίων μεταβολών της εισόδου.
- Αυτό συμβαίνει γιατί ο διαφορικός ενισχυτής αντιδρά στις απότομες μεταβολές, οπότε αν η είσοδος έχει απότομες ανόδους και καθόδους, η έξοδος εμφανίζει μεγάλες κορυφές.

Γενικά ο διαφορικός ενισχυτής αντιδρά στις γρήγορες μεταβολές της εισόδου και παράγει αιχμές, κάνοντας το κύκλωμα χρήσιμο για εφαρμογές όπως ανίχνευση ακμών και φίλτρα υψηλών συχνοτήτων.