

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

από Βιβλίο Τσιβίδη

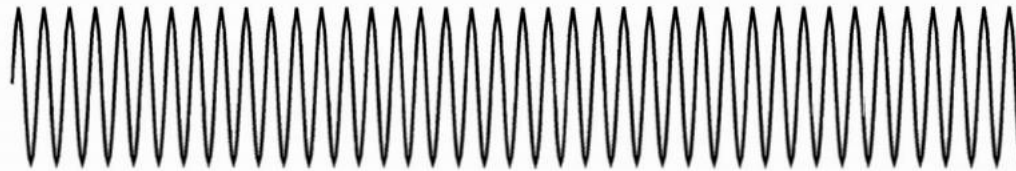
N. Βουδούκης  
Δεκέμβριος 2021

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

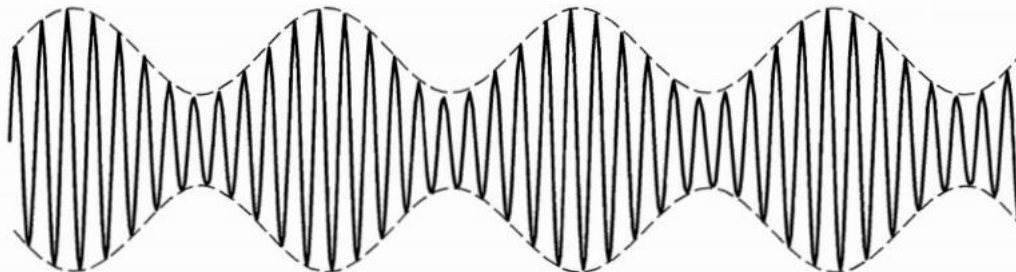
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ



(α) Διαμορφούμενο σήμα (ήχου)



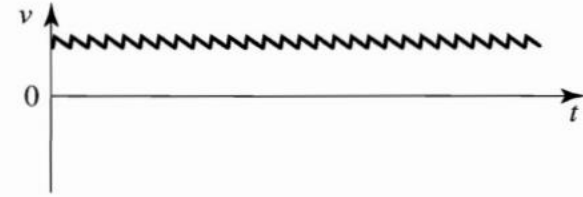
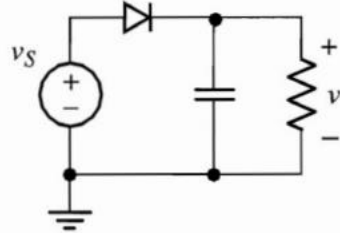
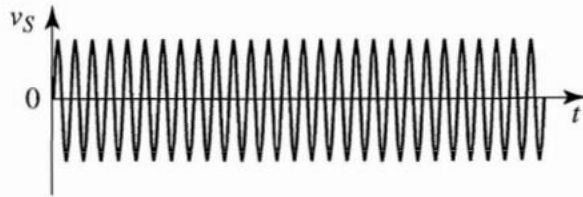
(β) Φέρον σήμα (RF)



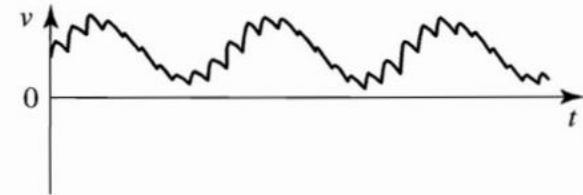
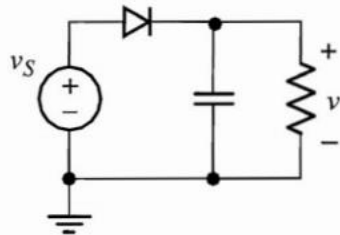
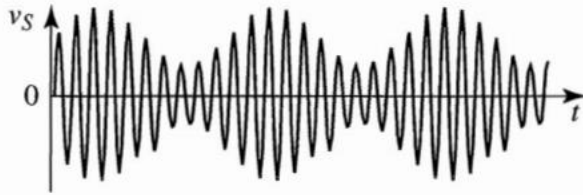
(γ) Διαμορφωμένο σήμα

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ



(α)



(β)

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 1-6

## 1 – 6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

[1-6. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

### 1-6. Διαμόρφωση AM (Amplitude Modulation)

Σήμα πληροφορίας (σήμα ήχου / σήμα χαμηλής συχνότητας):  $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

Φέρον σήμα (RF σήμα / σήμα υψηλής συχνότητας):  $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$   
(RF:Radio Frequency)

Διαμορφωμένο AM σήμα: 
$$s_{AM}(t) = A_c [1 + km(t)] \cos(2\pi f_c t)$$
$$= A_c [1 + kA_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)$$

Παράγοντας ή βαθμός διαμόρφωσης  $\mu = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}} = kA_m$

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 1-6

## 1 – 6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

[1-6. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

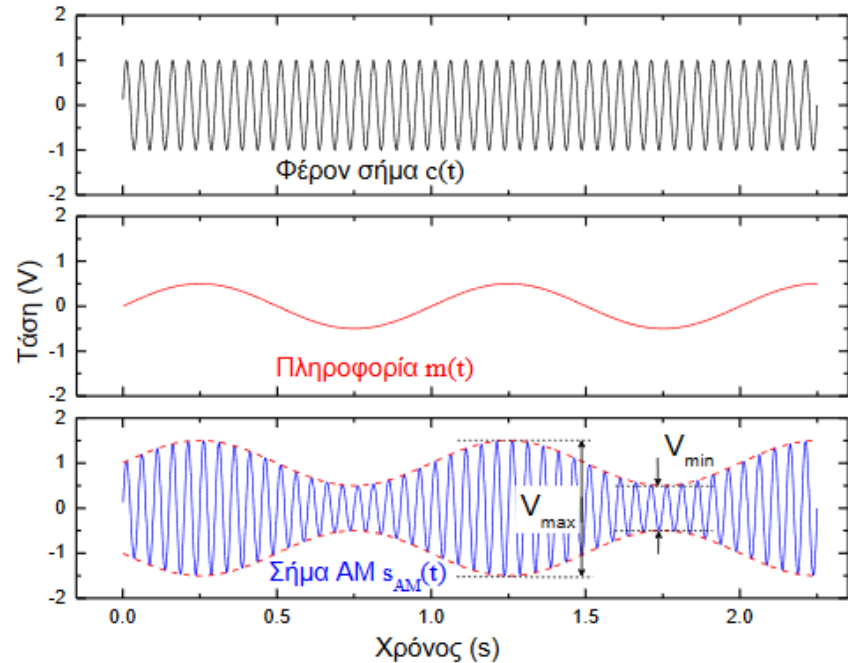
### 1-6. Διαμόρφωση AM

Διαμορφωμένο AM σήμα:

$$\begin{aligned}s_{AM}(t) &= A_c[1 + km(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= A_c[1 + kA_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)\end{aligned}$$

Παράγοντας ή βαθμός διαμόρφωσης

$$\mu = \frac{V_{\max} - V_{\min}}{V_{\max} + V_{\min}} = kA_m$$



Παρατηρήστε στην οθόνη του παλμογράφου, τη μορφή του διαμορφωμένου σήματος για διάφορες περιπτώσεις.

Φέρον σήμα: συχνότητα 1MHz, πλάτος 100mV, μορφή ημιτονοειδής

Σήμα πληροφορίας: συχνότητα 1kHz,

διάφορες τιμές μ π.χ., 0.5(50%), 0.6(60%) 0.8(80%), 1 (100%)

διάφορες μορφές σήματος π.χ. ημιτονικό, τετραγωνικό, τριγωνικό

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 1-6

## 1 – 6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

*[1-6. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].*

### 1-6. Διαμόρφωση AM (Amplitude Modulation)

**Όσοι έχουν γεννήτριες Agilent μπορούν να πάρουν απευθείας το διαμορφωμένο σήμα**

- Ρύθμιση από το κουμπί sin της γεννήτριας των χαρακτηριστικών του φέροντος σήματος (π.χ. συχνότητα 1MHz, πλάτος 100mV και μορφή ημιτονοειδής) και
- Ρύθμιση mod, των χαρακτηριστικών του σήματος της πληροφορίας (π.χ. συχνότητα 1kHz και δοκιμή διαφόρων τιμών depth και μορφής σήματος).

**Όσοι έχουν γεννήτριες από τις οποίες δεν μπορούν να πάρουν απευθείας το διαμορφωμένο σήμα θα πρέπει να το φτιάξουν με βάση τις οδηγίες του βιβλίου.**

- Θα χρειαστείτε δύο γεννήτριες ("γεννήτρια RF" και "γεννήτρια ήχου"), η μία εκ των οποίων θα πρέπει να διαθέτει είσοδο για διαμόρφωση
- Εάν είναι διαθέσιμη μόνο μία γεννήτρια, θα πρέπει να συνεργαστείτε με μία διπλανή ομάδα.

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 1-6

## 1 – 6. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

[1-6. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

### 1-6. Διαμόρφωση AM (Amplitude Modulation)

Όσοι έχουν γεννήτριες από τις οποίες δεν μπορούν να πάρουν απευθείας το διαμορφωμένο σήμα θα πρέπει να το φτιάξουν με βάση τις οδηγίες του βιβλίου.

Θα χρειαστείτε δύο γεννήτριες: "γεννήτρια RF" και "γεννήτρια ήχου".

1. Προετοιμάστε μία γεννήτρια (με είσοδο για διαμόρφωση) για την παραγωγή του φέροντος σήματος (RF σήμα). Για την ώρα, η λειτουργία διαμόρφωσης σε αυτή τη γεννήτρια θα πρέπει να είναι απενεργοποιημένη και ο μηχανισμός για τη στάθμη του φέροντος στην ελάχιστη ρύθμιση.
2. Προετοιμάστε την άλλη γεννήτρια για παραγωγή ενός σήματος ήχου (ακουστικό σήμα).
3. Συνδέστε το σήμα ήχου στην είσοδο "διαμόρφωσης" της γεννήτριας RF (πιθανόν να βρίσκεται στην πίσω πλευρά της γεννήτριας).
4. Ενεργοποιήστε τη λειτουργία διαμόρφωσης της γεννήτριας RF, προσαρμόστε τη στάθμη του φέροντος και ρυθμίστε τη στάθμη διαμόρφωσης (*modulation level*) μέχρι να δείτε καθαρά την επίδραση της διαμόρφωσης στον παλμογράφο.

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 7-9

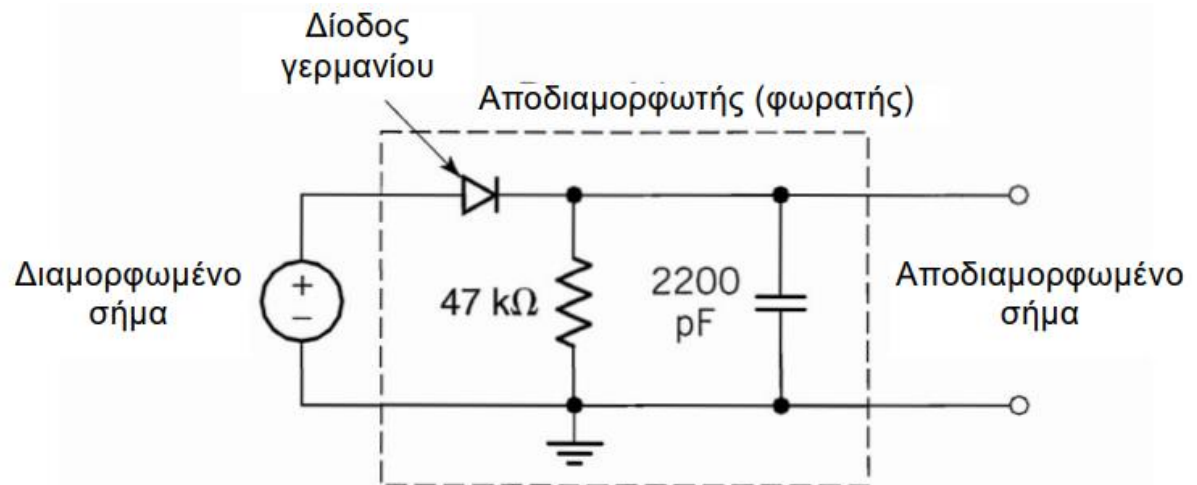
## 7 – 9. ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

[7-9. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

7. Θα αποδιαμορφώσετε το διαμορφωμένο σήμα: δηλαδή, θα ανακτήσετε το αρχικό σήμα ήχου από αυτό. (Η διαδικασία της αποδιαμόρφωσης εκτελείται σε έναν ραδιοφωνικό δέκτη.) Για να το κάνετε, θα χρησιμοποιήσετε το κύκλωμα αποδιαμορφωτή (αναφέρεται και ως φωρατής). Σε αυτό το κύκλωμα χρησιμοποιείται μία δίοδος γερμανίου.

Πριν συνδέσετε το κύκλωμα, απαντήστε στο ακόλουθο ερώτημα: Τι είδους κυματομορφή αναμένετε στην έξοδο αυτού του κυκλώματος;

Στην είσοδο του κυκλώματος εφαρμόζεται το διαμορφωμένο σήμα.





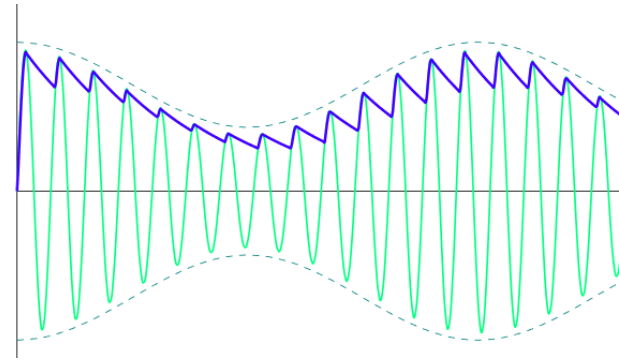
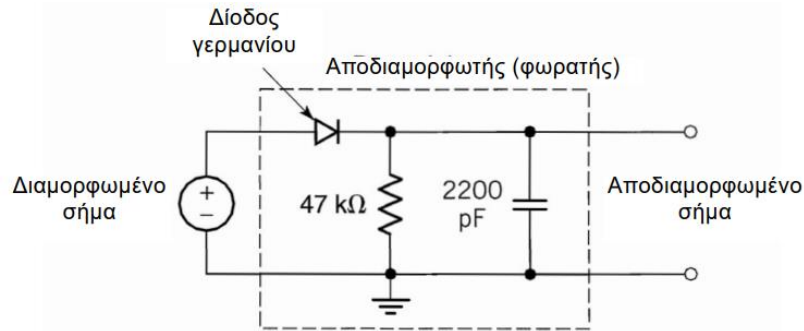
# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 7-9

## 7 – 9. ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

[7-9. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

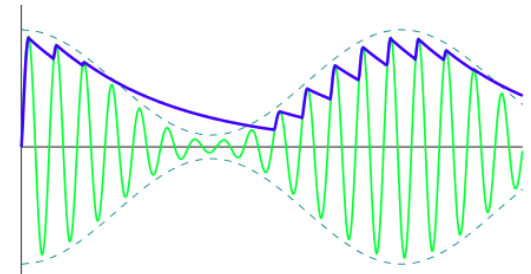
### Αποδιαμόρφωση κυματομορφών ΑΜ: Φωρατής Περιβάλλουσας



Η δίοδος αφήνει να περάσει ρεύμα μόνο όταν το σήμα είναι θετικό. Όταν φτάσουμε σε μία κορυφή της διαμορφωμένης κυματομορφής, ο πυκνωτής φορτίζεται άμεσα, και εκφορτίζεται πολύ αργά με μία εκθετική καμπύλη, μέχρι να φτάσει στην επόμενη κορυφή.

Η σταθερά χρόνου εκφόρτισης RC είναι αρκετά μεγάλη, ώστε να εξασφαλίζει ότι ο πυκνωτής εκφορτίζεται αργά μέσω της αντίστασης R μεταξύ των θετικών κορυφών του φέροντος, αλλά όχι τόσο αργά ώστε ο πυκνωτής να μην εκφορτίζεται στο μέγιστο ρυθμό αλλαγής του σήματος διαμόρφωσης.

Αν ο πυκνωτής εκφορτίζεται πολύ αργά, μπορεί η κυματομορφή εκφόρτισης να μην προλάβει να έχει κατέβει αρκετά μέχρι την επόμενη κορυφή, και έτσι να χαθεί κάποια πληροφορία του σήματος.



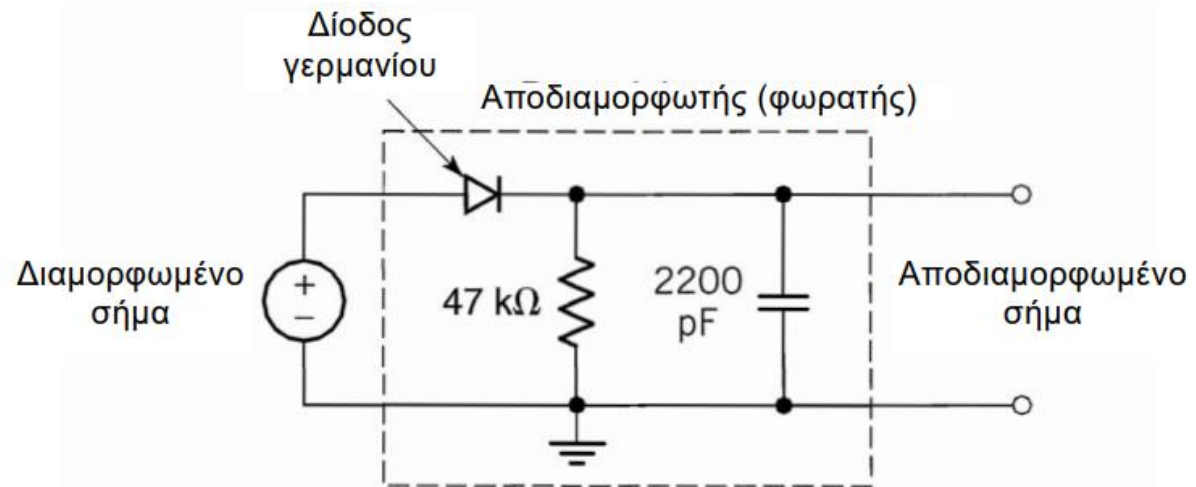
# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 7-9

## 7 – 9. ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

[7-9. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

8. Συνδέστε το κύκλωμα και παρατηρήστε την κυματομορφή εξόδου του στον παλμογράφο.
9. Δοκιμάστε διάφορες άλλες τιμές χωρητικότητας στο κύκλωμα και εξηγήστε, με ποιοτικούς όρους, τι παρατηρείτε. Τι συμβαίνει όταν η χωρητικότητα είναι (α) υπερβολικά μικρή ή (β) υπερβολικά μεγάλη; Γιατί; Ποια τιμή χωρητικότητας είναι κατάλληλη για την ανάκτηση του αρχικού σήματος ήχου;  
Δοκιμάστε επίσης και μερικές διαφορετικές τιμές της  $R$  για σταθερή τιμή  $C$ .



# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 10-14

## 10 – 14. ΑΚΡΟΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΟΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

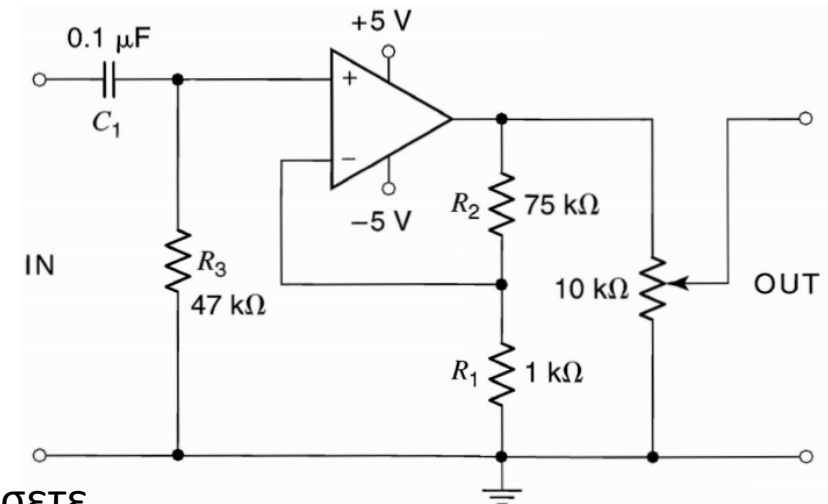
[10-14. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

10. Μειώστε το πλάτος του RF σήματος έτσι ώστε το μέγιστο (από κορυφή σε κορυφή) πλάτος, του αποδιαμορφωμένου σήματος να είναι μόνο μερικές δεκάδες mV

11. Για να ενισχύσετε το ασθενές, αποδιαμορφωμένο σήμα, κατασκευάστε τον ενισχυτή τάσης του σχήματος.

Πόσο κέρδος τάσης αναμένετε από αυτό το κύκλωμα με το ποτενσιόμετρο στη μέγιστη ρύθμισή του;

Σημείωση: Για την  $R_2$  μπορείτε να χρησιμοποιήσετε και αντίσταση  $68\text{K}\Omega$  ή  $100\text{K}\Omega$ .



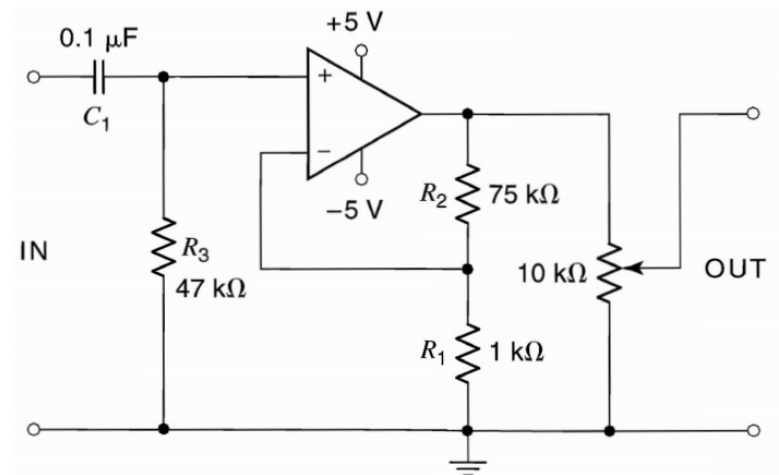
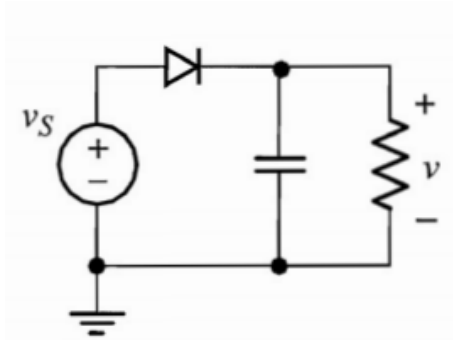
# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 10-14

## 10 – 14. ΑΚΡΟΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΟΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

[10-14. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

12. Συνδέστε την έξοδο του κυκλώματος αποδιαμορφωτή στην είσοδο του προενισχυτή. Ελέγξτε την έξοδο που δίνει ο μηχανισμός ελέγχου έντασης με τον παλμογράφο. Θα πρέπει να μπορείτε να δείτε το ενισχυμένο πλέον αποδιαμορφωμένο σήμα, το οποίο θα δείχνει παρόμοιο με το αρχικό σήμα ήχου. Όταν τελειώσετε, επαναφέρετε τον μηχανισμό ελέγχου έντασης στο ελάχιστο.



# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 10-13

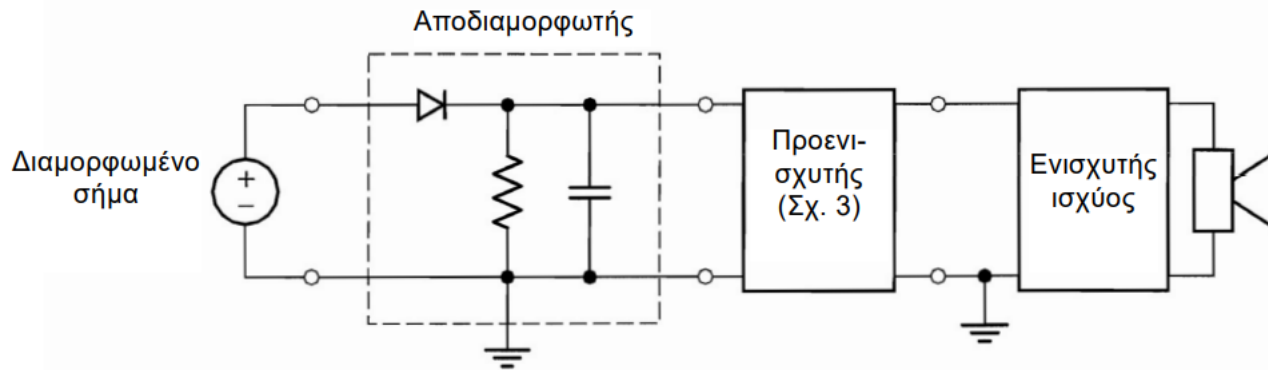
## 10 – 13. ΑΚΡΟΑΣΗ ΤΟΥ ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΟΜΕΝΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ

[10-13. Να διαβάσετε προσεκτικά και να ακολουθήσετε τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού].

13. Συνδέστε την έξοδο του μηχανισμού ελέγχου έντασης στον ενισχυτή ισχύος και την έξοδο του ενισχυτή ισχύος στο ηχείο.

Αν δεν έχετε υλοποιήσει ενισχυτή ισχύος (με το LM386), συνδέστε απευθείας την έξοδο του προενισχυτή στο ηχείο.

Βαθμιαία, ρυθμίστε προς τα πάνω τον μηχανισμό ελέγχου έντασης. Θα πρέπει να μπορείτε να ακούσετε καθαρά το αποδιαμορφωμένο σήμα ήχου.



# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

Ερωτήματα 14-19

14 – 19. ΕΝΑΣ ΑΠΛΟΣ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΚΟΣ ΔΕΚΤΗΣ

*Τα ερωτήματα 14-19 δεν θα πραγματοποιηθούν.*

*Μπορείτε όμως, να τα διαβάσετε από τον εργαστηριακό οδηγό.*

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ

| Ερώτημα                    | Με υλικά                             | LTspice προσομοίωση   |
|----------------------------|--------------------------------------|---|
| 1<br>2<br>3<br>4<br>5<br>6 | Παραγωγή<br>διαμορφωμένου<br>σήματος | <p>Ναι.</p> <p>Πολλαπλασιασμός φέροντος και σήματος πληροφορίας με χρήση δύο πηγών τάσης και μίας πηγής τάσης ειδικής συμπεριφοράς (από component → bv)</p> <p>Να γίνουν 3 διαφορετικές προσομοιώσεις (προσομοίωση για όσο χρόνο θεωρείται ικανό για παρατήρηση, transient analysis)</p> <p>(i) Φέρον σήμα: ημίτονο, συχνότητα 0.8MHz, πλάτος 1V, DC offset 0<br/>Σήμα πληροφορίας: ημίτονο, συχνότητα 800Hz, πλάτος 0.4V, DC offset 0</p> <p>(ii) Φέρον σήμα: ημίτονο, συχνότητα 40KHz, πλάτος 1V, DC offset 0<br/>Σήμα πληροφορίας: ημίτονο, συχνότητα 400Hz, πλάτος 0.5V, DC offset 0.5V</p> <p>(iii) Φέρον σήμα: ημίτονο, συχνότητα 1MHz, πλάτος 100mV, DC offset 0<br/>Σήμα πληροφορίας: ημίτονο, συχνότητα 1KHz, πλάτος 20mV, DC offset 0</p> <p>Ποιος είναι ο παράγοντας ή βαθμός διαμόρφωσης κάθε φορά;</p> |
|                            |                                      | <p>Σημείωση:</p> <p>Για την AM διαμόρφωση μπορεί να γίνει και<br/>Χρήση διαμορφωτή (από component→[special functions]→modulate)<br/>Ή<br/>Πρόσθεση φέροντος και δύο πλευρικών με χρήση τριών πηγών τάσης</p>  |

# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΛΗΨΗ ΡΑΔΙΟΣΗΜΑΤΩΝ

| Ερώτημα | Με υλικά      | LTspice προσομοίωση  |
|---------|---------------|--|
| 7       | Αποδιαμόρφωση | Απαιτείται για την αποδιαμόρφωση δίοδος Ge με κατώφλι περίπου 0.3V (π.χ. 1N34A), αλλά στη βιβλιοθήκη του Ltspice δεν υπάρχει.  |
| 8       |               | Δοκιμάστε με τις 1N4148 και 1N914. Τι παρατηρείται;  |
| 9       |               |  |
|         |               | Παρατηρήστε τα σήματα εισόδου – εξόδου για χρόνο 10 περιόδων. Χρησιμοποιήστε ως είσοδο την έξοδο του κυκλώματος παραγωγής διαμορφωμένου σήματος.                                   |
|         |               | (Προαιρετικό: Αν θέλετε, αναζητήστε στο διαδίκτυο μοντέλο δίοδου για αποδιαμόρφωση στο Ltspice. Αν βρείτε και μπορείτε να χρησιμοποιήσετε κάποιο έχει καλώς. Αν όχι δεν πειράζει.) |



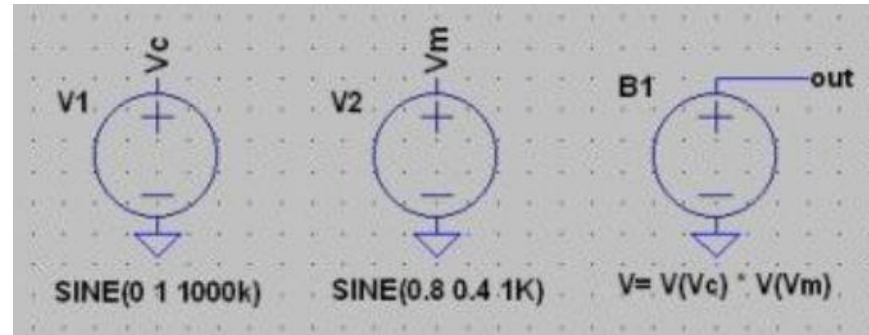
# ΠΕΙΡΑΜΑ 10

| Ερώτημα | Με υλικά                             | LTspice προσομοίωση  |
|---------|--------------------------------------|--|
| 10      | Ακρόαση του αποδιαμορφωμένου σήματος | Ναι.   |
| 11      |                                      | Χρησιμοποιήστε τα κυκλώματα του Ltspice που έχετε φτιάξει στα προηγούμενα πειράματα.   |
| 12      |                                      | Αν δεν έχει υλοποιηθεί κύκλωμα αποδιαμόρφωσης (λόγω έλλειψης μοντέλου κατάλληλης διόδου), να λάβετε από τη γεννήτρια σήματα αρκετών διαφορετικών συχνοτήτων στο ακουστικό φάσμα (20Hz-20KHz) και να παρατηρήσετε τη συμπεριφορά του κυκλώματος παρατηρώντας το σήμα εξόδου.<br><br>Να γίνουν οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες προσομοιώσεις όπως περιγράφονται στο πραγματικό πείραμα (με βάση τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού και τις παραπάνω διευκρινιστικές σημειώσεις-οδηγίες). |
| 13      |                                      |  |
|         |                                      | Άσκηση – προσομοίωση (επιπλέον)  |
|         |                                      | Να γίνουν οι μετρήσεις και οι αντίστοιχες προσομοιώσεις όπως περιγράφονται στο πραγματικό πείραμα (με βάση τις οδηγίες του εργαστηριακού οδηγού και τις παραπάνω διευκρινιστικές σημειώσεις-οδηγίες).  |

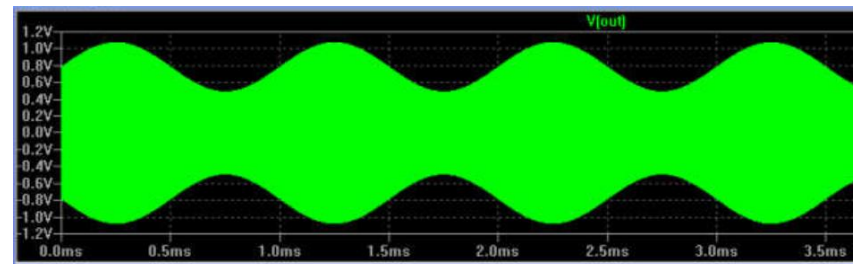
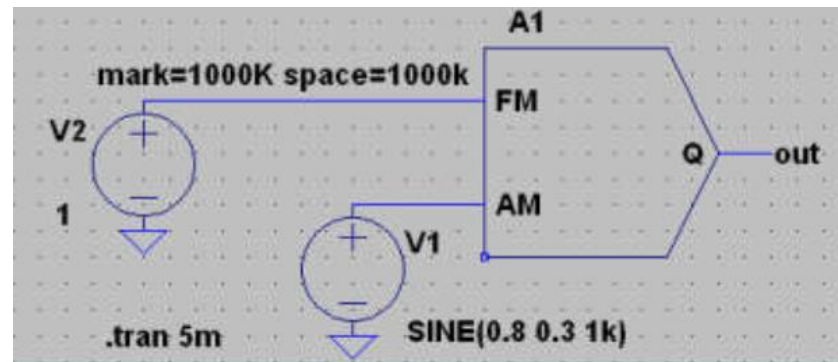
# Άσκηση – Ltspice προσομοίωση (επιπλέον)

3 διαφορετικοί τρόποι λήψης AM διαμορφωμένου σήματος με το LTspice

1. Όπως ζητήθηκε στην άσκηση παραπάνω. Πολλαπλασιασμός φέροντος και σήματος πληροφορίας (από component  $\rightarrow$  bv)



2. Χρήση διαμορφωτή (από component  $\rightarrow$  [special functions]  $\rightarrow$  modulate)



# Άσκηση – Ltspice προσομοίωση (επιπλέον)

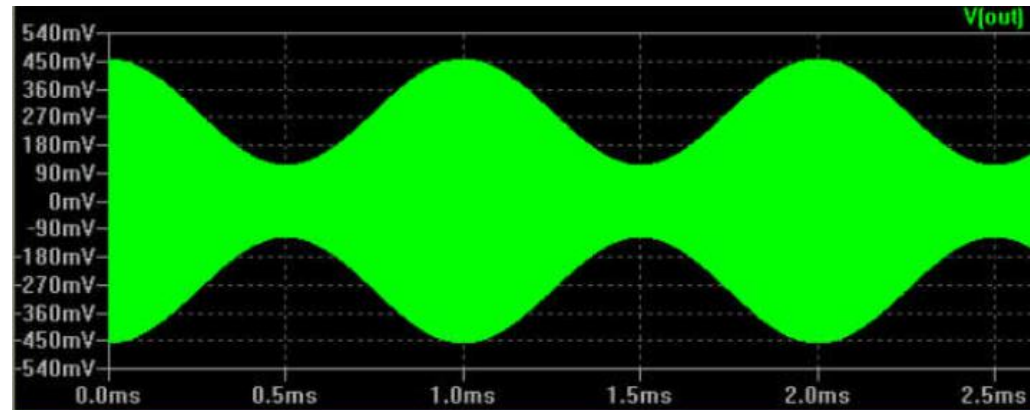
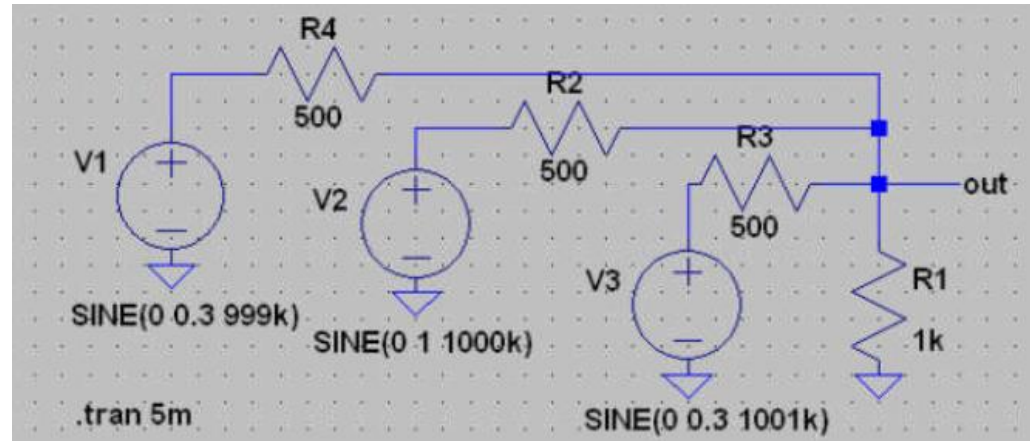
3 διαφορετικοί τρόποι λήψης AM διαμορφωμένου σήματος με το LTspice

3. AM διαμορφωμένο σήμα ως πρόσθεση του φέροντος και των δύο πλευρικών σημάτων.

Πως αποδεικνύετε μαθηματικά αυτή η υλοποίηση;

Υπόδειξη:

$$\begin{aligned}s_{AM}(t) &= A_c[1 + km(t)] \cos(2\pi f_c t) \\ &= A_c[1 + kA_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t)\end{aligned}$$



Προσπαθήστε να υλοποιήσετε προσομοιώσεις της AM διαμόρφωσης και με τους τρόπους 2 και 3. Δώστε δύο παραδείγματα για κάθε έναν από αυτούς.

Ποιος είναι ο παράγοντας ή βαθμός διαμόρφωσης κάθε φορά;