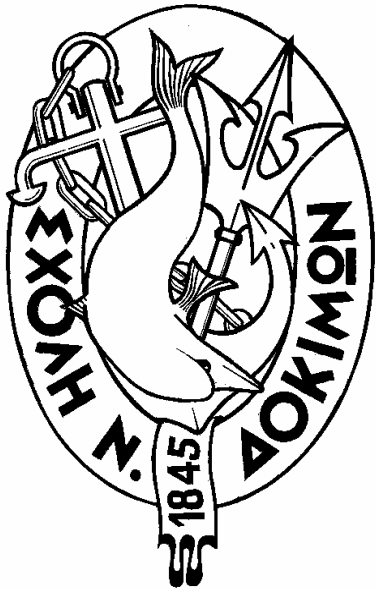


Διαμόρφωση

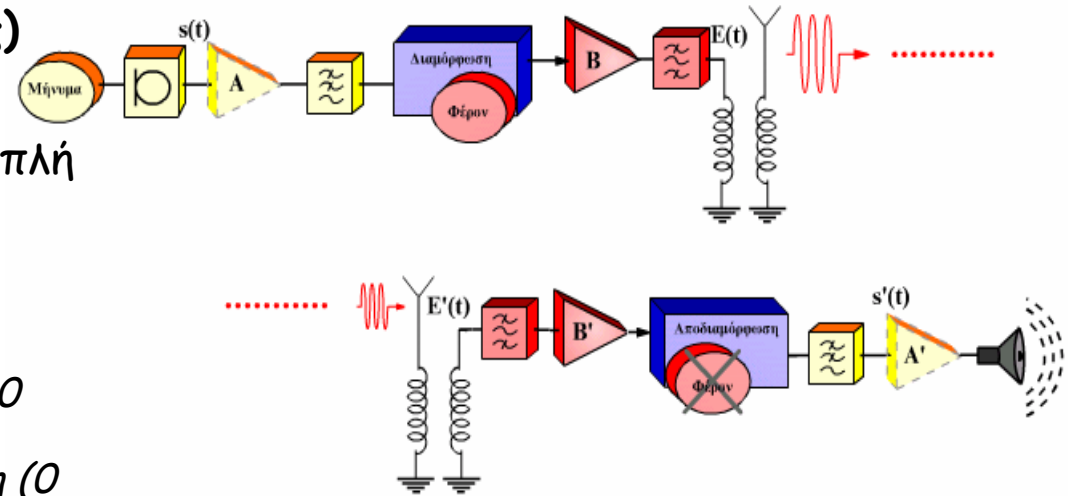


Σχολή Ναυτικών Δοκίμων
Γ' Τάξη - ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ
Ε. Καθ. Ε. Καραγιάννη

5

Το πρόβλημα

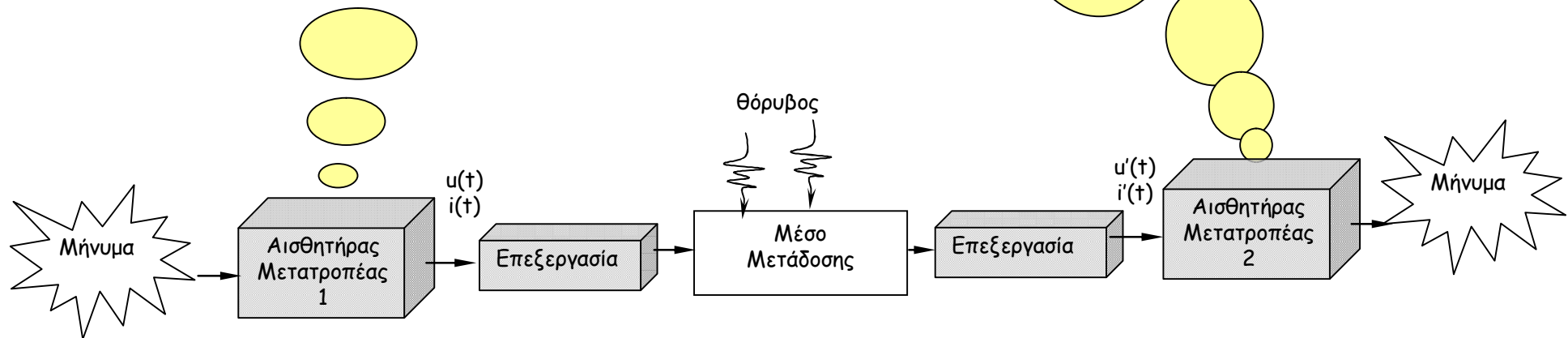
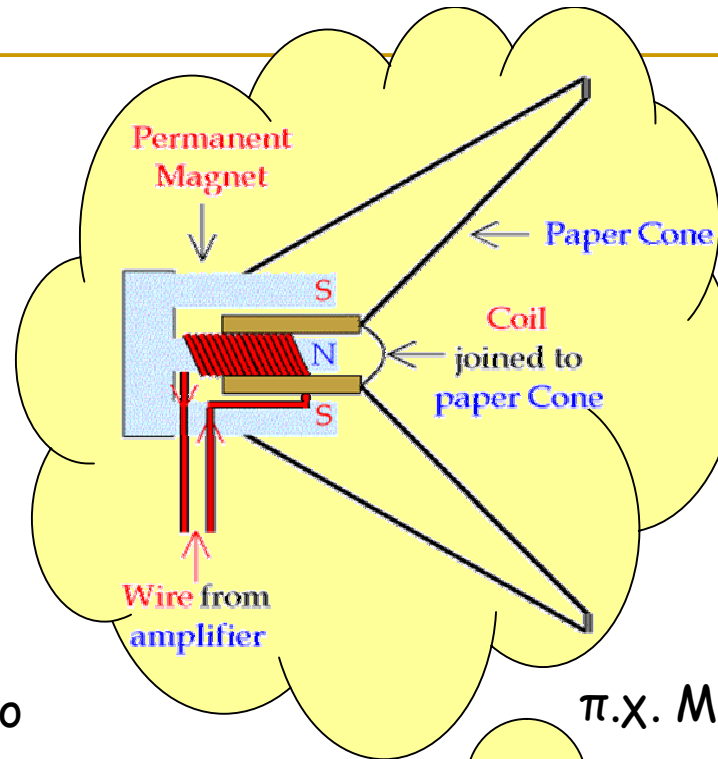
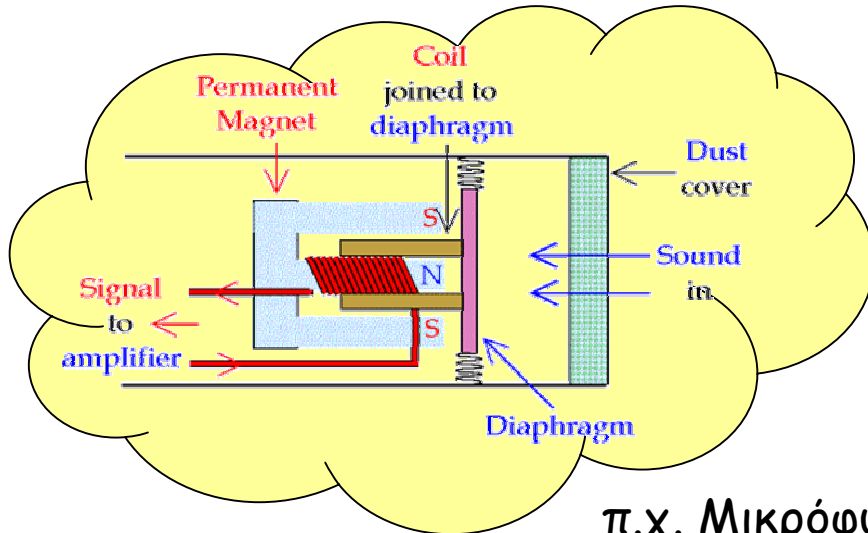
- Να στείλουμε ένα φυσικό μήνυμα (το βασικό σήμα) μακριά σε κάποιο δέκτη χρησιμοποιώντας κάποιο μέσο επικοινωνίας.
- **Μετάδοση βασικής (φασματικής) ζώνης:** Αν η εφαρμογή μας περιορίζεται σε ενσύρματη επικοινωνία, η διαδικασία είναι απλή και το βασικό σήμα ενισχυμένο στέλνεται απ' ευθείας μέσω της γραμμής.
- Τα βασικότερα σήματα είναι τα:
 - ακουστικά με φασματική ζώνη (20 Hz, 20 kHz).
 - σήματα Video με φασματική ζώνη (0 Hz, 5 MHz).



Διαμόρφωση - Αποδιαμόρφωση
Πομπός - Δέκτης



Επικοινωνία



Το πρώτο Πρόβλημα: Ασύρματη Επικοινωνία

- Στο στάδιο της επεξεργασίας σήματος, πρέπει το σήμα αφού ενισχυθεί πολύ, να μετατραπεί σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, που θα διαδοθεί στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός. Η μετατροπή του **ηλεκτρικού** σήματος σε **ηλεκτρο-μαγνητικό** κύμα γίνεται μέσω πηνίων, ενώ στο τελικό στάδιο αυτό το πηνίο παίρνει τη μορφή **κεραίας** που ακτινοβολεί την ενέργεια στον χώρο.
- Αποδεικνύεται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα f ενός σήματος τόσο ευκολότερα η ενέργειά του ακτινοβολείται στον κενό χώρο.
- Αποδεικνύεται επίσης ότι, για να ακτινοβοληθεί επιτυχώς ένα σήμα, απαιτείται το μήκος της κεραίας να είναι ανάλογο προς το μήκος κύματος του σήματος. Το μήκος κύματος έχει οριστεί και δίνεται από τη σχέση: $\lambda = c/f$ όπου c η ταχύτητα του φωτός και f η συχνότητα.
 - Το μήκος κύματος ενός σήματος 1 kHz, είναι 300 km. Το μήκος κύματος ενός σήματος 1 MHz, είναι 300 m. Αντίστοιχα, το μήκος κύματος σήματος συχνότητας 10 MHz είναι 30 m.
 - Πιο εύκολα κατασκευάζουμε κεραία για σήμα 10 MHz από ό,τι για σήμα 1 MHz ή 1 kHz. Θα ήταν ίσως πρακτικά αδύνατο να κατασκευάσουμε **κεραία 150 km**.
- Οδηγούμαστε λοιπόν στο συμπέρασμα ότι φαίνεται τουλάχιστον άστοχο να προσπαθήσουμε να μετατρέψουμε απ' ευθείας το ακουστικό σήμα (20 Hz, 20kHz) σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, για να διαδοθεί στον χώρο. Θα απαιτούσε δυσπροσάρμοστη θεόρατη κεραία.



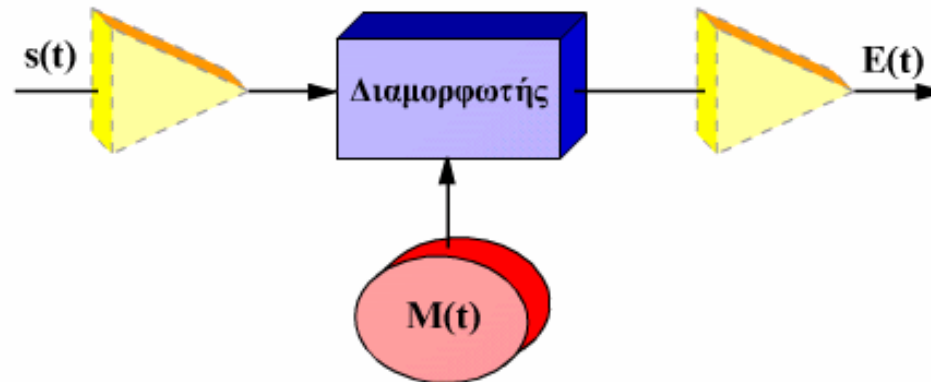
Το δεύτερο πρόβλημα

- Ας θεωρήσουμε προς στιγμήν ότι ξεπερνούμε τη δυσκολία κατασκευής της κεραίας για το σύστημα μας.
 - Επιχειρούμε λοιπόν να ενισχύσουμε σημαντικά το ακουστικό σήμα και να φτιάξουμε ραδιοφωνικό σταθμό εκπέμποντας απ' ευθείας στις συχνότητες του σήματος μας.
 - Δημιουργήσαμε ένα τεράστιο πρόβλημα. **Κανείς άλλος δεν μπορεί να φτιάξει δεύτερο ίδιο σύστημα με το δικό μας, στην ίδια γεωγραφική περιοχή.**
 - Αν επιχειρούσε ένα δεύτερο σύστημα να εκπέμψει με τον ίδιο τρόπο, τα σήματα θα 'ταξίδευαν' μαζί στο χώρο. Άρα θα αναμιγνύονταν, καθώς είναι στις ίδιες συχνότητες, και το αποτέλεσμα θα ήταν τραγικό και για τα δύο.
 - Κανένας δέκτης δε θα μπορούσε να συλλάβει, να διαχωρίσει εκ νέου και να ακροαστεί τα αρχικά διακριτά σήματα. Από αυτό το φανταστικό πείραμα προκύπτει ότι δεν θα μπορούσαν να συνυπάρξουν περισσότερα από ένα ασύρματα συστήματα.
- Πρέπει λοιπόν κάτι να κάνουμε, πριν το σήμα εισέλθει στο μέσο μετάδοσης.
 - Πρέπει να του δώσουμε όλα εκείνα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά, που θα του επιτρέψουν να ταξιδέψει εύκολα και να προστατευθεί από την επίθεση άλλων ίδιων με αυτό σημάτων, που ενδεχομένως υπάρχουν στον ίδιο χώρο.
 - Μόνον έτσι θα διατηρήσει την φυσιογνωμία του και ο δέκτης θα μπορέσει να το διαχωρίσει και να το επεξεργαστεί, ώστε να δώσει στην έξοδο το μήνυμα στον τελικό παραλήπτη

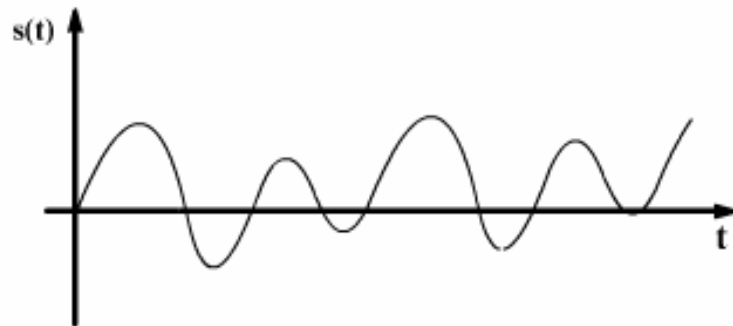


Το τέχνασμα

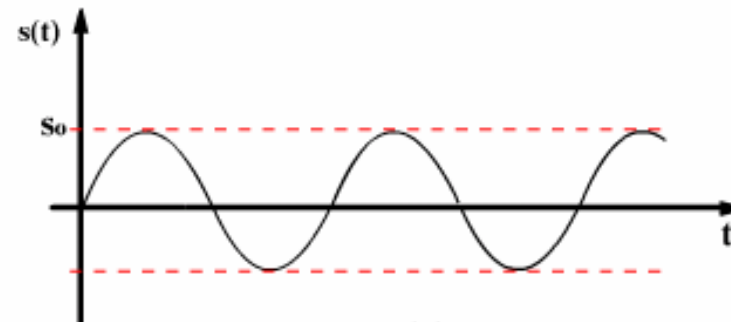
Το βασικό μας σήμα (το σήμα της πληροφορίας) θα το 'φορτώσουμε' με κάποιο τρόπο πάνω σε ένα άλλο σήμα πολύ υψηλότερης συχνότητας, που μεταδίδεται ευκολότερα, για να το μεταφέρει στο κανάλι μετάδοσης, έως την είσοδο του δέκτη. Λόγω του ρόλου του το σήμα υψηλής συχνότητας θα το ονομάσουμε 'φέρον σήμα ή κύμα' ή απλούστερα ακόμη 'φέρον'. Το βασικό σήμα ονομάζεται 'διαμορφώνον σήμα' ή 'σήμα διαμόρφωσης'. Υποψιαζόμαστε ότι στο δέκτη θα πρέπει να γίνει η ανάποδη διαδικασία, για να 'ξεφορτώσει' το ωφέλιμο σήμα από το φέρον υψηλής συχνότητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται 'αποδιαμόρφωση'.



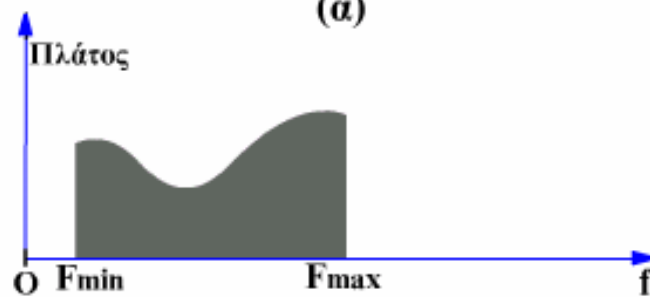
Το βασικό σήμα (σήμα διαμόρφωσης ή πληροφορίας)



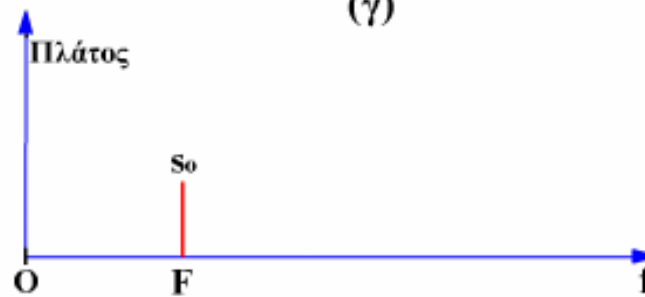
(α)



(γ)



(β)



(δ)

(α), (γ) Απόκριση Χρόνου (εικόνα παλμογράφου)

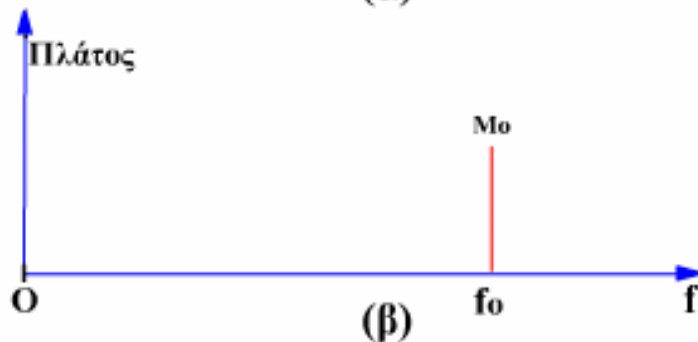
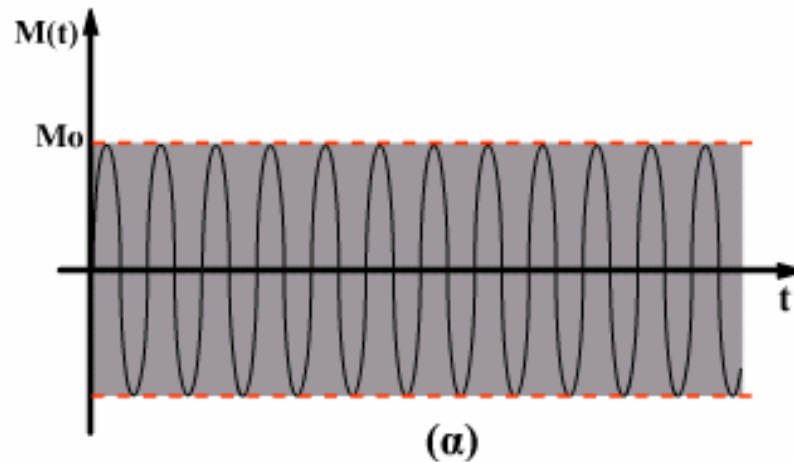
(β), (δ) Απόκριση συχνότητας (εικόνα αναλυτή φάσματος)



Το φέρον

$$f_o > F_{\max}$$

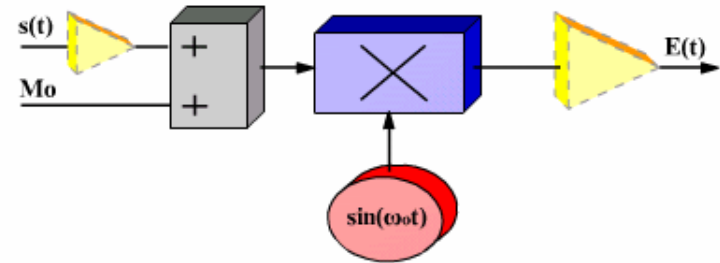
$M(t) = M_o \sin(\omega_o t + \phi_o)$
όπου M_o το πλάτος, ω_o η κυκλική συχνότητα, f_o η συχνότητα και ϕ_o η αρχική φάση του σήματος.



Το σήμα που προκύπτει από τη διαμόρφωση θα το συμβολίζουμε $E(t)$ και θα το αποκαλούμε **διαμορφωμένο φέρον**.



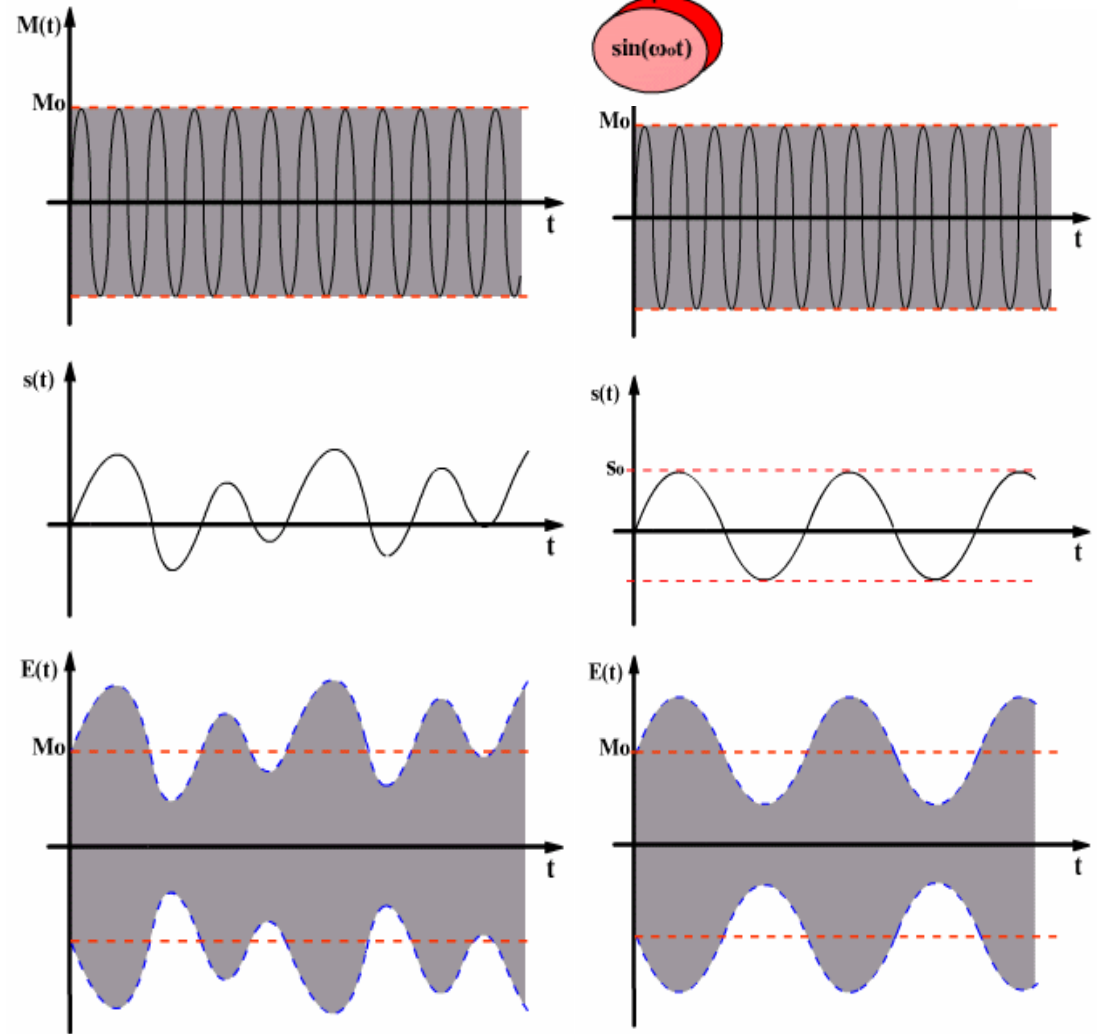
Διαμόρφωση πλάτους ΑΜ με φέρον



- Στην διαμόρφωση πλάτους το βασικό σήμα $s(t)$ απεικονίζεται (επηρεάζει) στο πλάτος του σήματος $M(t)$. Δηλαδή:

$$E(t)=[M_0+s(t)]\sin(\omega_0 t)$$

- Θεωρήσαμε ότι $\varphi_0=0$, δηλαδή $M(t)=0$ με την έναρξη της παρατήρησης ($t = 0$).
- Στην έξοδο του διαμορφωτή το διαμορφωμένο φέρον $E(t)$ έχει τη μορφή του διπλανού σχήματος. Το (α) αναφέρεται στην περίπτωση που το $s(t)$ είναι τυχαίο. Το (β) αναφέρεται στην περίπτωση που το $s(t)$ είναι ημιτονικό.



(α)

$S_0 < M_0$

(β)



Ανάλυση διαμόρφωσης πλάτους ΑΜ με φέρον (1)

$$s(t) = S_o \sin(\Omega t) = S_o \sin(2\pi F t)$$

$$E(t) = [M_o + S_o \sin(\Omega t)] \cdot \sin(\omega_o t) = M_o [1 + m \sin(\Omega t)] \cdot \sin(\omega_o t)$$

όπου $m = S_o / M_o$. Το μέγεθος m , που είναι μικρότερο από τη μονάδα είναι καθαρός αριθμός και ονομάζεται ποσοστό διαμόρφωσης. Μετριέται συνήθως ως ποσοστό επί τοις εκατό (%).

$$\begin{aligned} E(t) &= [M_o + S_o \sin(\omega t)] \cdot \sin(\omega_o t) = M_o \sin(\omega_o t) + S_o \sin(\Omega t) \cdot \sin(\omega_o t) = \\ &= M_o \sin(\omega_o t) + (S_o/2) \cos[(\omega_o - \Omega)t] - (S_o/2) \cos[(\omega_o + \Omega)t] \end{aligned}$$

Δηλαδή, το διαμορφωμένο φέρον που προέκυψε αποτελείται (ισοδυναμεί) από τρεις φασματικές ακτίνες στις συχνότητες:

$$f_o, f_o - F \text{ και } f_o + F$$

Η πρώτη ακτίνα είναι η φασματική ακτίνα του φέροντος. Οι δύο άλλες ονομάζονται **πλευρικές φασματικές ακτίνες** και καταλαμβάνουν θέσεις συμμετρικές γύρω από την κεντρική συχνότητα f_o . Στην περίπτωση που το $s(t)$ είναι τυχαίο σήμα, η φασματική ζώνη του διαμορφωμένου φέροντος εκτείνεται από

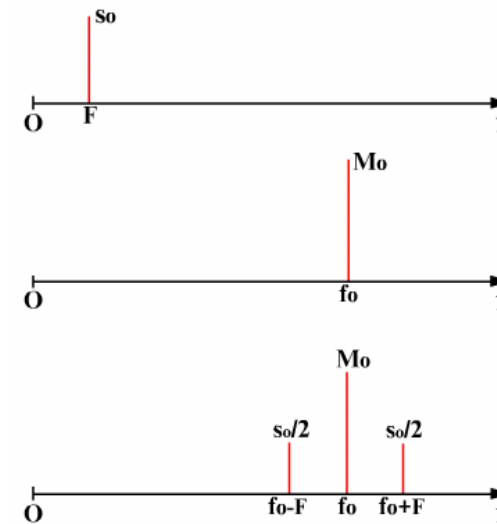
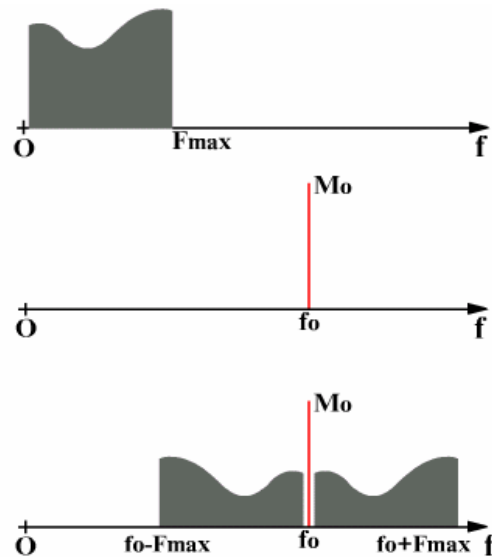
$$f_o - F_{\max} \text{ έως } f_o + F_{\max}$$



Ανάλυση διαμόρφωσης πλάτους AM με φέρον (2)

Συμπερασματικά, μπορούμε να πούμε ότι με τη διαδικασία της διαμόρφωσης πλάτους (Amplitude Modulation :AM) το χαμηλό φάσμα του βασικού σήματος μεταφέρθηκε και κατέλαβε διπλάσια ζώνη συμμετρικά γύρω από τη συχνότητα του φέροντος.

Στη ραδιοφωνία με διαμόρφωση πλάτους διεθνώς έχει υιοθετηθεί για τα ακουστικά σήματα διαμόρφωσης ο περιορισμός: $F_{\max}=5$ kHz. Η ζώνη συχνοτήτων AM εκτείνεται από 560 kHz έως 1600 kHz (γνωστή ως μεσαία κύματα).

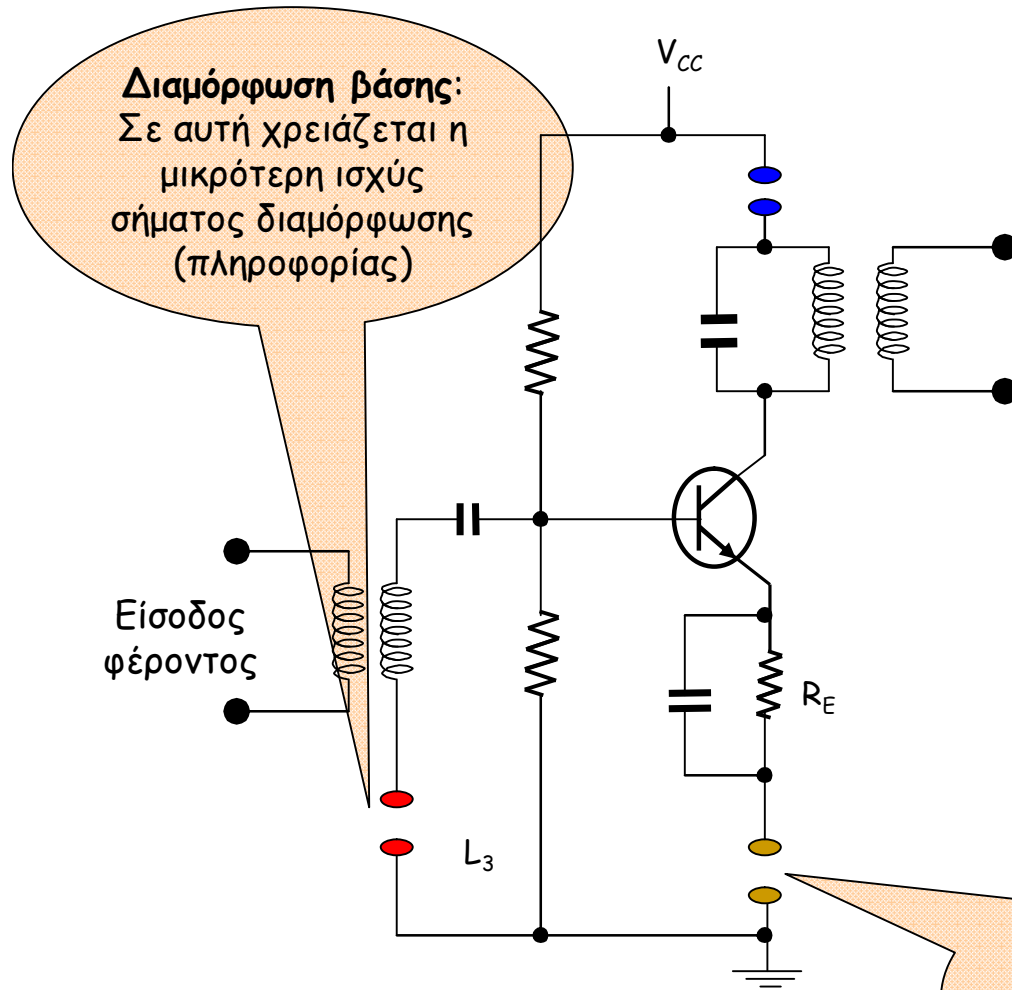


τεχνική AM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει ένα σήμα χαμηλής συχνότητας η οποία είναι η διαφορά μεταξύ δύο σημάτων υψηλής συχνότητας



Διαμορφωτές πλάτους:

Μέθοδος με εισαγωγή των δύο σημάτων σε έναν ενισχυτή



Διαμόρφωση βάσης:
Σε αυτή χρειάζεται η μικρότερη ισχύς σήματος διαμόρφωσης (πληροφορίας)

Το σήμα πληροφορίας (η συχνότητα διαμόρφωσης) μπορεί να εισαχθεί είτε στη βάση είτε στο συλλέκτη είτε στον εκπομπό ενός διπολικού τρανζίστορ ή στα αντίστοιχα ηλεκτρόδια ενός FET (επόμενη διαφάνεια)

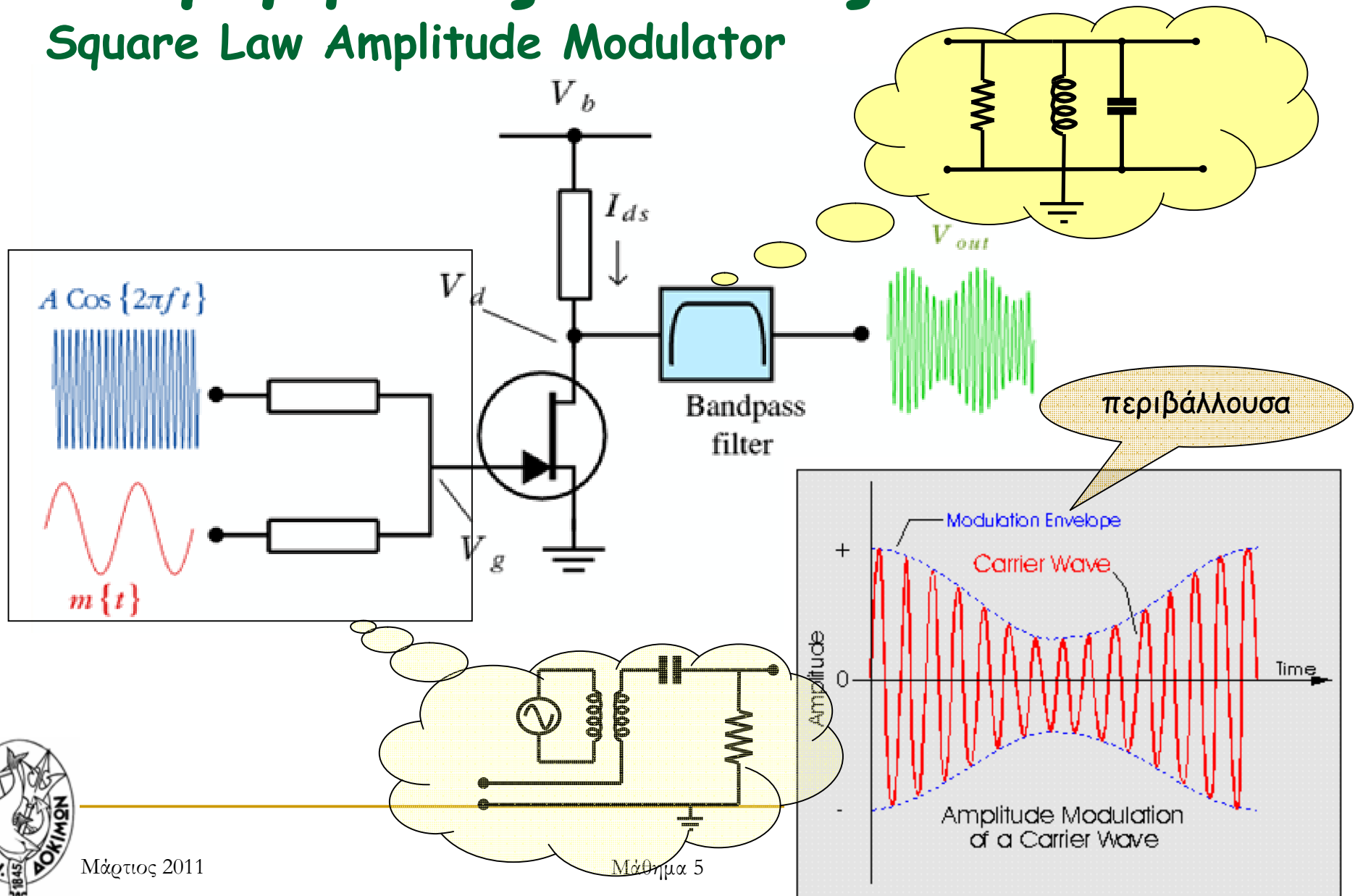
Η τάση ανάδρασης εισάγεται για να μεταβάλει το σημείο λειτουργίας και το κέρδος του ενισχυτή που λειτουργεί ως **ταλαντωτής!**

Η πιο κοινή μέθοδος διαμόρφωσης είναι η διαμόρφωση συλλέκτη για τα BJT ή υποδοχής για τα FET

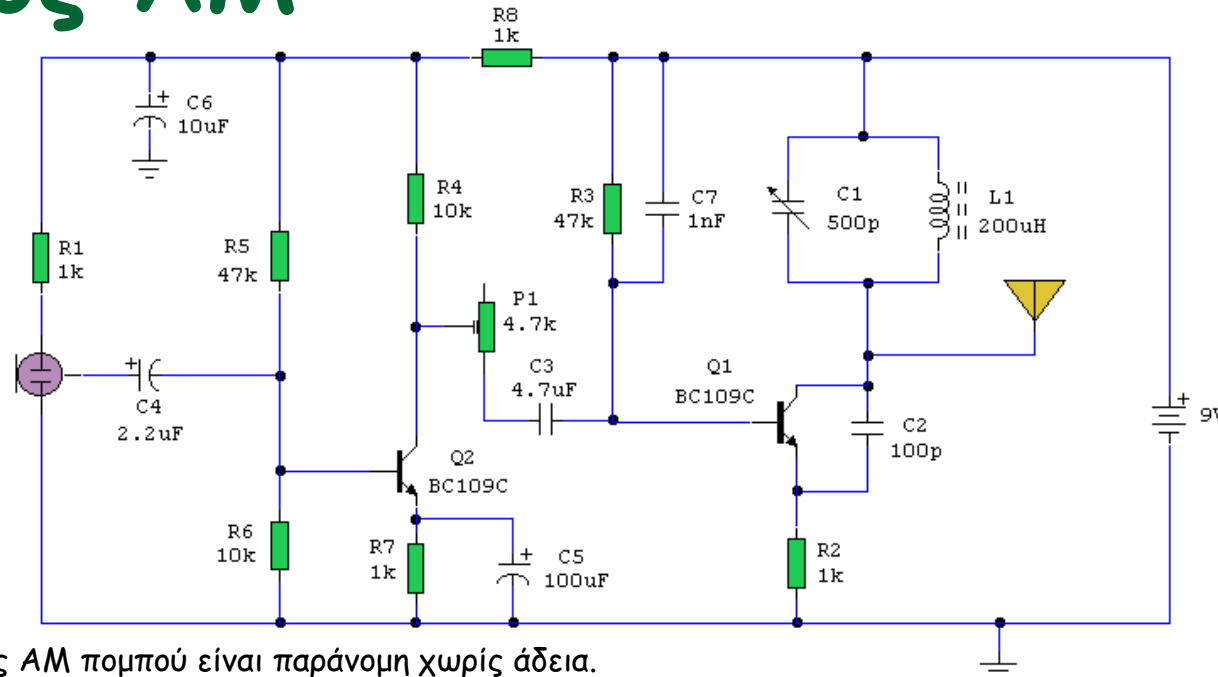
Διαμόρφωση εκπομπού:
Συνδυασμός διαμόρφωσης βάσης και διαμόρφωσης συλλέκτη

Διαμορφωτές πλάτους

Square Law Amplitude Modulator



Πομπός AM



$$E = \frac{\sqrt{30Pt}}{d}$$

Η λειτουργία ενός AM πομπού είναι παράνομη χωρίς άδεια.

Το συγκεκριμένο κύκλωμα αποτελείται από δύο υποκυκλώματα: Έναν ενισχυτή και έναν ταλαντωτή RF.

Ο ταλαντωτής βρίσκεται γύρω από το Q_1 . Το κύκλωμα L_1 και C_1 είναι ρυθμιζόμενο μεταξύ 500-1600KHz. Το Q_1

χρειάζεται ανάδραση για να ταλαντώσει και αυτό επιτυγχάνεται συνδέοντας τη βάση και το συλλέκτη με τα άκρα του προηγούμενου κυκλώματος. Ο πυκνωτής 1nF C_7 , συζεύγνει κύματα από τη βάση στην κορυφή του L_1 , και ο C_2 , 100pF διασφαλίζει ότι η ταλάντωση περνάει από το συλλέκτη στον εκπομπό και δια μέσου της εσωτερικής αντίστασης μεταξύ βάσης-εκπομπού ξανά πίσω στη βάση. Η αντίσταση R_2 διασφαλίζει ότι η ταλάντωση δε θα βραχυκυκλώσει στη γη μέσω της πολύ χαμηλής εσωτερικής αντίστασης του εκπομπού του Q_1 , και αυξάνει τη σύνθετη αντίσταση εισόδου ώστε το διαμορφωμένο σήμα δε θα βραχυκυκλωθεί. Η συχνότητα ταλάντωσης ρυθμίζεται από το C_1 .

Το Q_2 είναι συνδεδεμένο σαν ενισχυτής κοινής βάσης, Ο C_5 αποσυνδέει την αντίσταση εκπομπού και πραγματοποιεί «έγιστο κέρδος για αυτή τη βαθμίδα. Η ποσότητα της διαμόρφωσης AM που μεταβιβάζεται από το μικρόφωνο, προσαρμόζεται με την αντίσταση P_1 4.7K. Κεραία σε αυτό το σημείο δεν χρειάζεται, αλλά ένα σύρμα 30 cm μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο συλλέκτη για να αυξηθεί το εύρος μετάδοσης.



Δέκτες

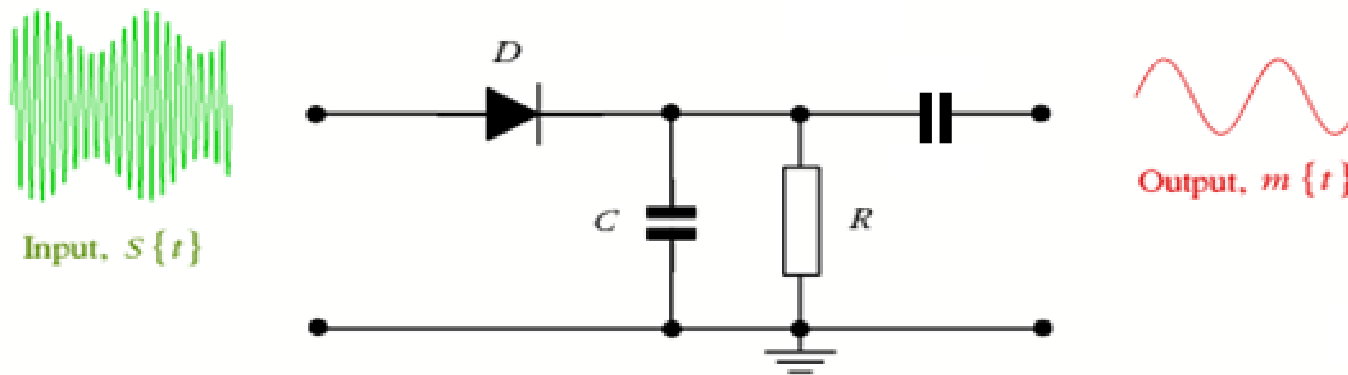
- Δέκτης είναι ένα πλήρες ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο δέχεται στην είσοδό του σήματα υψηλών συχνοτήτων τα οποία μεταφέρουν κάποια πληροφορία και αφού τα επεξεργαστεί, βγάζει στην έξοδό του την πληροφορία που μετέφεραν.
- Ο τρόπος με τον οποίο διαμορφώνεται η υψηλή συχνότητα (φέρουσα) από την πληροφορία δεν είναι ένας και μοναδικός. Έτσι, αν η πληροφορία προκαλεί μεταβολή του πλάτους της φέρουσας τότε έχουμε διαμόρφωση πλάτους (AM), αν προκαλεί μεταβολή της συχνότητας της φέρουσας έχουμε διαμόρφωση συχνότητας (FM), αν έχουμε μεταβολή της φάσης, έχουμε φασική διαμόρφωση (PM), αν διαμορφώνεται με παλμούς έχουμε παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM).
- Οι δέκτες χρησιμοποιούνται ευρέως στην ασύρματη και ενσύρματη επικοινωνία. Στη ραδιοφωνία χρησιμοποιείται ευρέως η διαμόρφωση AM και FM. Ενώ στη σύγχρονη τηλεφωνία και στα αυτόματα ψηφιακά κέντρα χρησιμοποιείται η παλμοκωδική διαμόρφωση.



Αποδιαμορφωτής πλάτους (AM Demodulator)

Ανιχνευτής Περιβάλλουσας (Envelope Detector) ή Γραμμικός Φωρατής (Linear Detector)

- Ο ρόλος του αποδιαμορφωτή είναι να ανακτήσει στο τέλος του τηλεπικοινωνιακού συστήματος την πληροφορία που περιέχεται σε ένα κύμα διαμορφωμένο AM ή FM με συχνότητα φέροντος f_c και συχνότητα διαμόρφωσης f_m
- Αποτελείται από ένα τροφοδοτικό απλής ανόρθωσης με φίλτρο εξομάλυνσης RC και έναν πυκνωτή για να κόψει τη DC συνιστώσα του αποδιαμορφωμένου σήματος

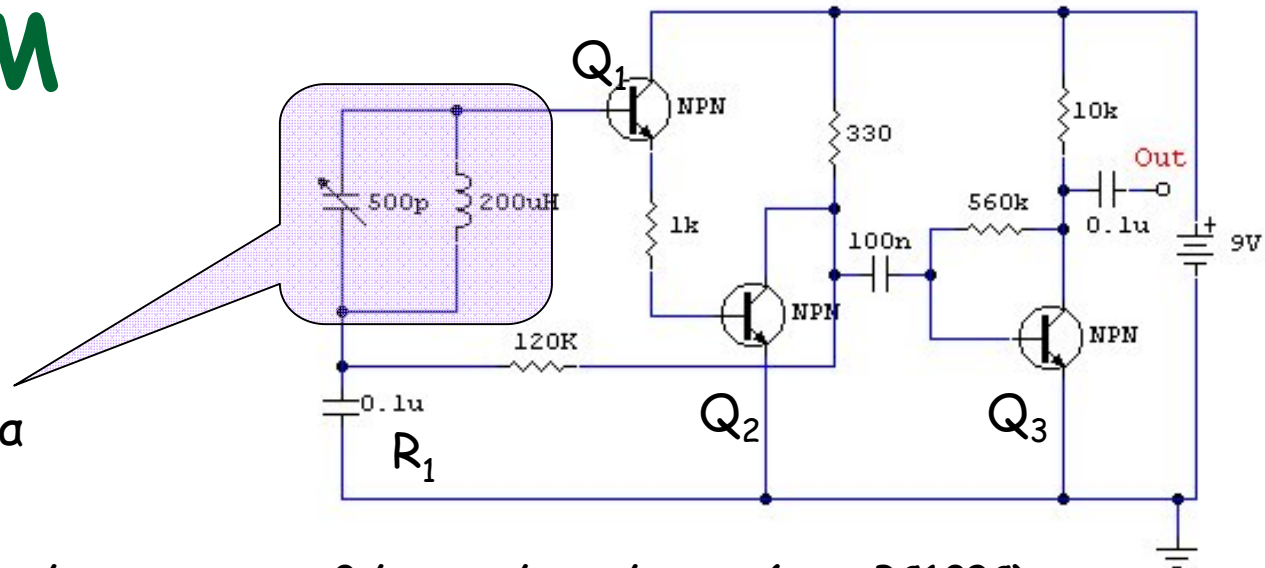


$$\frac{1}{f_c} \ll RC \ll \frac{1}{f_m}$$



Δέκτης AM

Συντονισμένο κύκλωμα
Tank circuit



Οποιοδήποτε transistor μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτό το κύκλωμα (π.χ. BC109C). Το συντονισμένο κύκλωμα RC σχεδιάστηκε για μεσαία κύματα. Έχει χρησιμοποιηθεί ένα πηνία φερίτη και ένας μεταβλητός πυκνωτής από ένα παλιό ραδιόφωνο το οποίο συντονίζονταν στις συχνότητες 550 - 1600kHz. Τα Q1 και Q2 δημιουργούν ένα ζεύγος transistor με υψηλό κέρδος και πολύ υψηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του συντονισμένου κυκλώματος. Η αντίσταση 120k είναι αντίσταση ανάδρασης μεταξύ της εξόδου του Q2 και της εισόδου του συντονισμένου κυκλώματος. Η τιμή της επηρεάζει τη συνολική απόκριση του κυκλώματος. Με μεγάλη ανάδραση το κύκλωμα μπορεί να γίνει ασταθές δημιουργώντας θόρυβο "howling sound". Ανεπάρκεια ανάδρασης μπορεί να κάνει το δέκτη κουφό "deaf". Αν το κύκλωμα ταλαντώσει τότε η τιμή της R1 μπορεί να μειωθεί, έστω 68k. Αν υπάρχει έλλειψη ευαισθησίας ξανά-αυξάνουμε την R1 περίπου στα 150k. Το transistor Q3 έχει διπλό σκοπό, αποδιαμορφώνει το φέρον RF, ενώ την ίδια στιγμή ενισχύει το audio σήμα. Το επίπεδο Audio κυμαίνεται ανάλογα με την ένταση του σταθμού λήψης αλλά μια τυπική τιμή είναι 10-40 mV. Αυτή μπορεί να οδηγήσει ευθείας ακουστικά υψηλής σύνθετης αντίστασης ή μπορεί να τροφοδοτήσει τον κατάλληλο σχυτή.

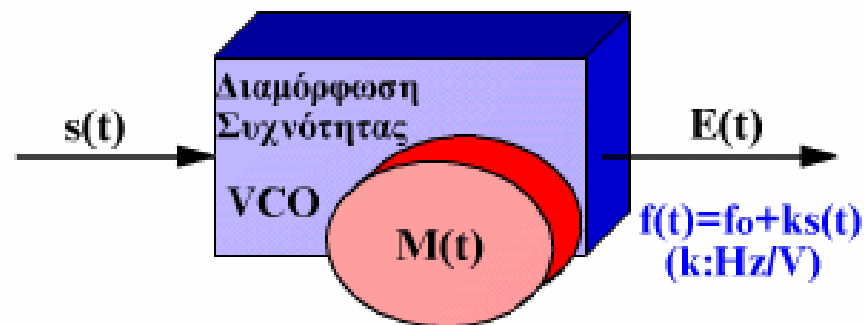


Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation)

- Δεύτερη μεθοδολογία για αναλογικές διαμορφώσεις
- Το σήμα πληροφορίας $s(t)$ αποτυπώνεται στη συχνότητα του φέροντος, το οποίο έχει σταθερό πλάτος.

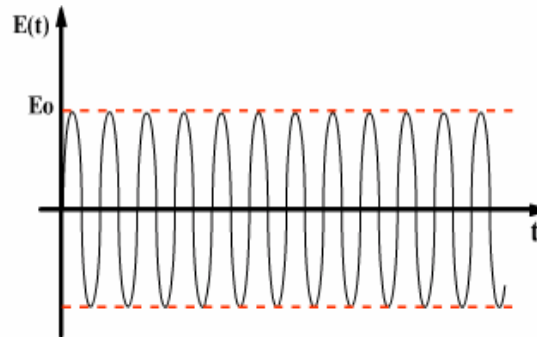
$$f(t) = f_0 + ks(t)$$

όπου $f(t)$ η στιγμιαία συχνότητα του φέροντος.

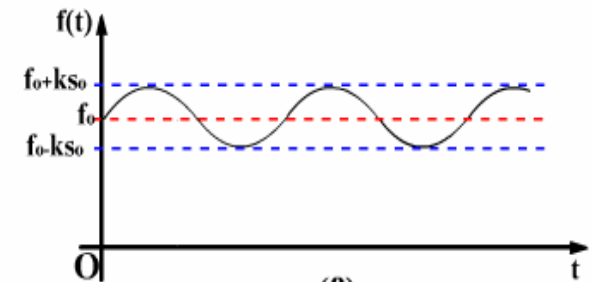
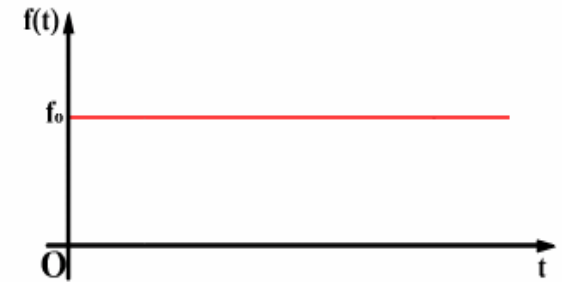


Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)

Αν $s(t)=0$ τότε $f(t)=f_0$
 και
 $E(t)=M(t)=E_0 \sin(\omega_0 t)$



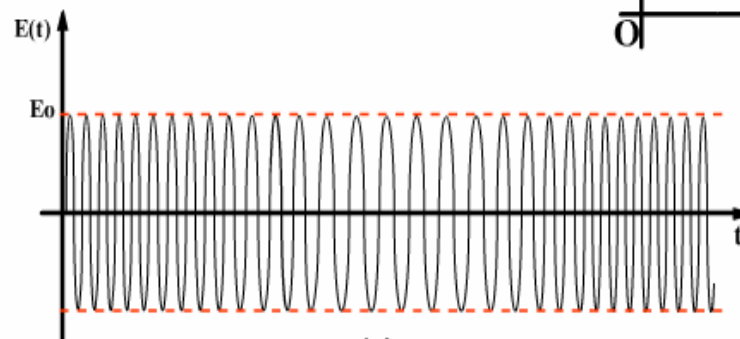
(α)



(β)

$$s(t) = S_0 \cdot \sin(\Omega \cdot t) \quad f(t) = f_0 + k \cdot S_0 \cdot \sin(\Omega \cdot t)$$

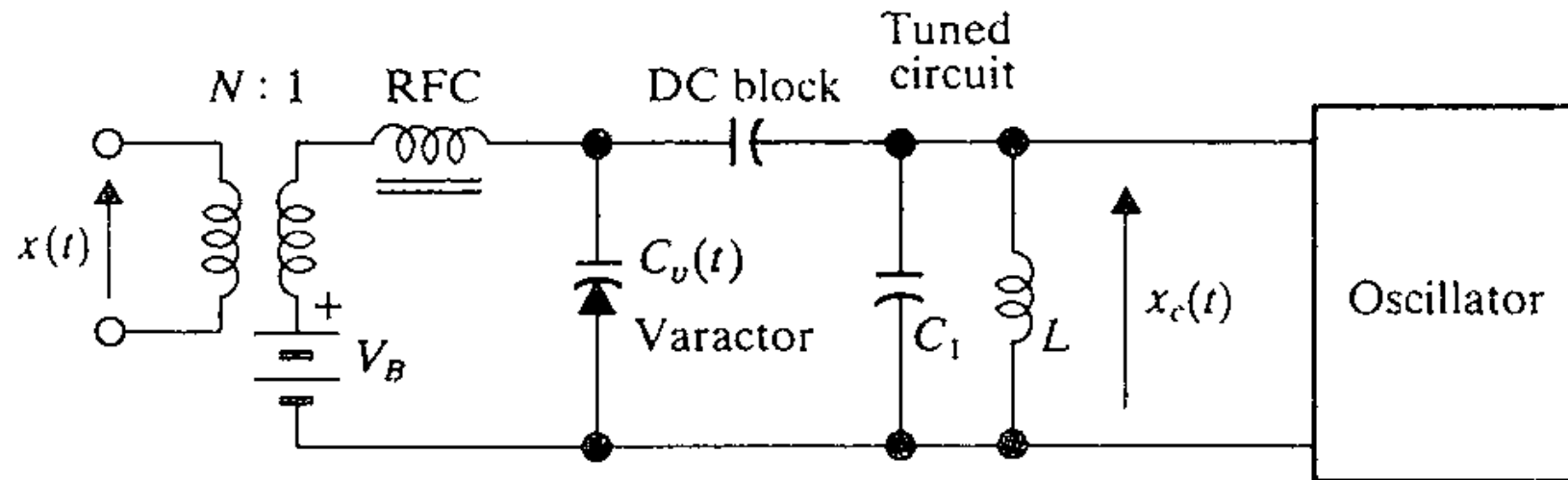
Δf_{\max}



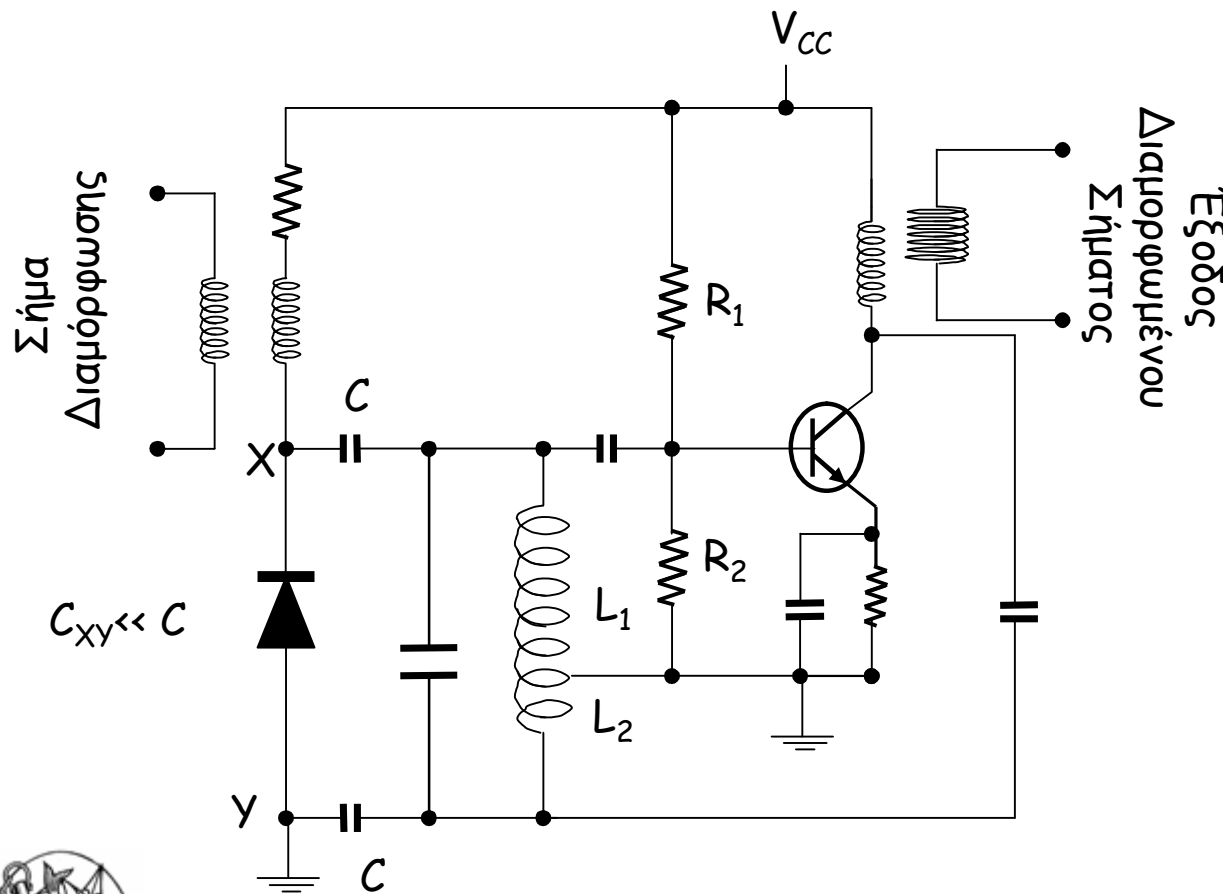
(γ)



Ένα πρακτικό κύκλωμα διαμορφωτή FM



Διαμορφωτής Varactor (Διαμορφωτής Συχνότητας)



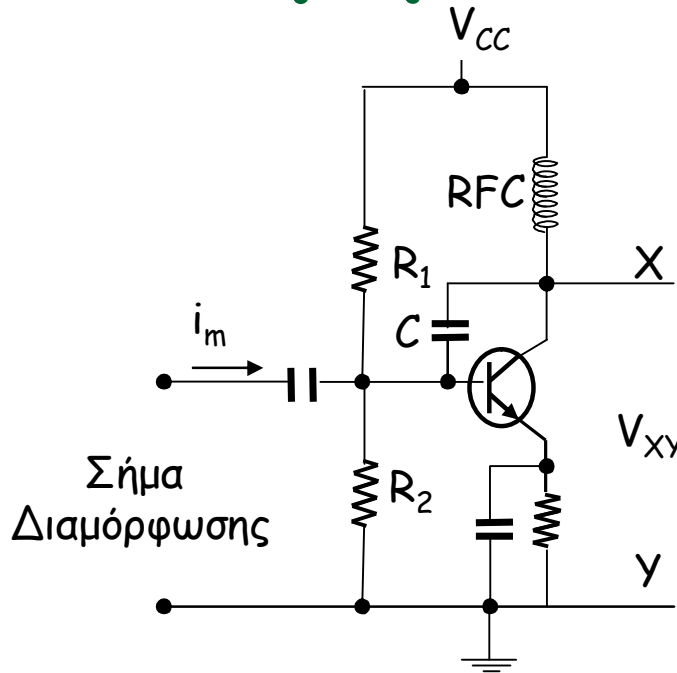
Το σήμα διαμόρφωσης συχνότητας εισάγεται στον ταλαντωτή από τον οποίο πηγάζει η συχνότητα του φέροντος κύματος.

Ο διαμορφωτής του σχήματος χρησιμοποιεί μια δίοδο Varactor ή Varicap.

Η συχνότητα εξόδου ενός ταλαντωτή που χρησιμοποιεί συντονισμένο κύκλωμα LC εξαρτάται από την χωρητικότητα. (Αν μεταβληθεί το C μεταβάλλεται και η συχνότητα ταλάντωσης)



Διαμορφωτής Αντιδράσεως



- Το κύκλωμα αυτό στους ακροδέκτες του XY συμπεριφέρεται σαν πυκνωτής του οποίου η χωρητικότητα είναι συνάρτηση της πόλωσης βάσης του BJT.
- Δηλαδή το παρόν κύκλωμα αντικαθιστά στο προηγούμενο σχήμα το κύκλωμα της διόδου στα σημεία XY και V_{CC}

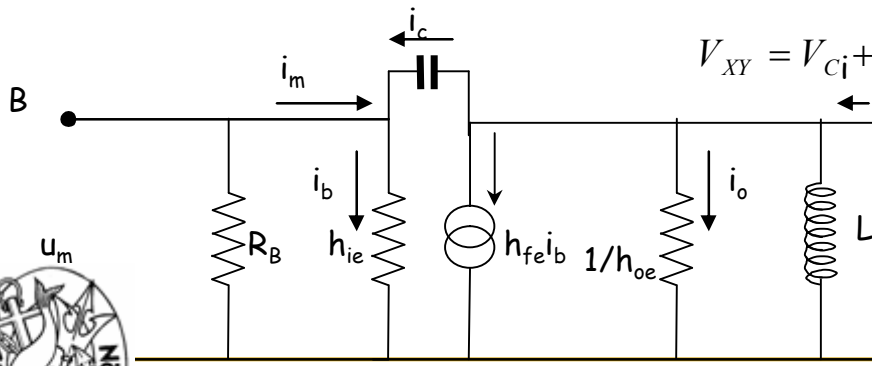
$$I = I_L + I_c + I_b h_{fe} + I_o \xrightarrow{L\omega \gg \frac{1}{h_{oe}} \Rightarrow I_L \ll I_o} I = I_c + I_b h_{fe} + I_o \xrightarrow{i_m = 0 \Rightarrow i_c = i_b}$$

$$I = I_c (1 + h_{fe}) + I_o \rightarrow Y_{out} = \frac{I}{V_{XY}} = \frac{I_c}{V_{XY}} (1 + h_{fe}) + \frac{I_o}{V_{XY}} \quad (1)$$

$$Y_{out} = \frac{I}{V_{XY}} = \frac{1 + h_{fe}}{h_{ie} + \frac{1}{j\omega c}} + h_{oe} \rightarrow Y_{out} = \frac{j\omega c (1 + h_{fe})}{j\omega c h_{ie} + 1} + h_{oe} \quad \frac{h_{oe} \approx 0, h_{fe} \gg 1, h_{ie} \ll \frac{1}{c\omega}}$$

$$Y_{out} \cong j\omega c h_{fe}$$

$$V_{XY} = V_{C_i} + V_{h_{ie}} \rightarrow V_{XY} = I_c \frac{1}{j\omega c} + I_b h_{ie} \xrightarrow{I_c = I_b} \frac{I_c}{V_{XY}} = \frac{1}{h_{ie} + \frac{1}{j\omega c}} \quad (1)$$



- Αποδεικνύεται ότι η τάση V_{XY} με το ρεύμα I έχουν διαφορά φάσης επιπορείας. Από το ισοδύναμο του ενισχυτή προκύπτει
- ότι η αγωγιμότητα εξόδου είναι χωρητική και ανάλογη του κέρδους ρεύματος του BJT.



Αποδιαμορφωτές Συχνότητας

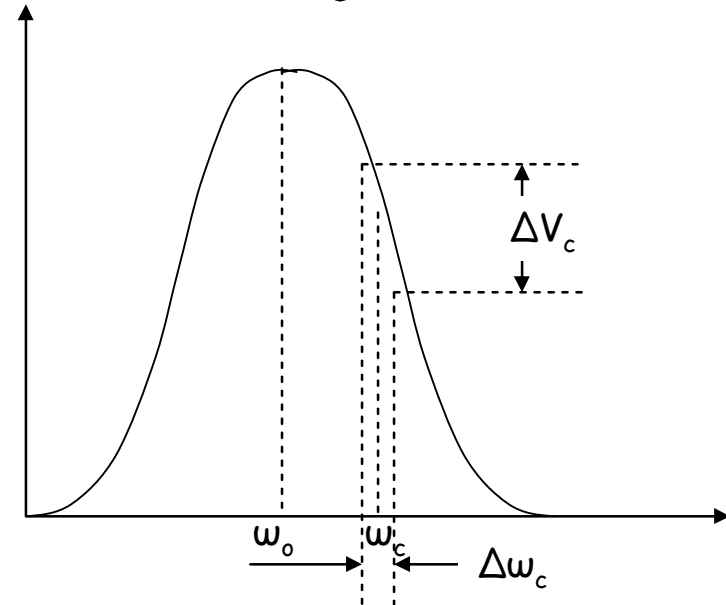
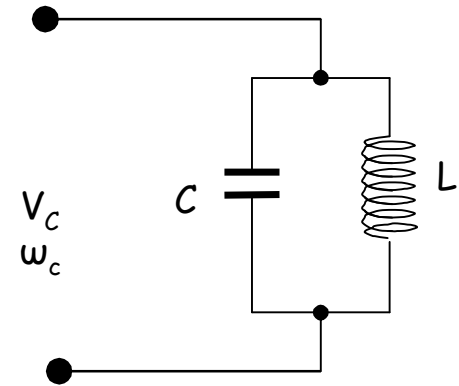
- Η αποδιαμόρφωση συχνότητας γίνεται με τη βοήθεια των κυκλωμάτων φώρασης (ΑΜ) που περιγράψαμε εάν προηγηθεί ένα κύκλωμα το οποίο μετατρέπει τη διαμόρφωση συχνότητας σε διαμόρφωση πλάτους
- Κυκλώματα αποδιαμόρφωσης συχνότητας:
 - Φωρατής κλίσεως
 - Διευκρινιστής
 - Αποδιαμορφωτής λόγου (ratio detector)



Αποδιαμόρφωση Συχνότητας: Φωρατής Κλίσεως

- Αν ένα κύκλωμα LC συντονιστεί σε μια συχνότητα ω_0 έτσι ώστε η συχνότητα του φέροντος ω_c να είναι λίγο μεγαλύτερη από την ω_0 τότε η μεταβολή της τάσης ΔV_c στα άκρα του κυκλώματος, θα είναι ανάλογη της μεταβολής της συχνότητας $\Delta\omega_c$.
- Το κύκλωμα συνδέεται με έναν απλό φωρατή AM και προκύπτει αποδιαμόρφωση του σήματος FM.
- Επειδή η κλίση της καμπύλης συντονισμού δεν είναι σταθερή, αυτός ο τύπος φωρατή προκαλεί μεγάλη παραμόρφωση. Χρησιμοποιείται μόνο όταν η απόκλιση συχνότητας είναι πολύ μικρή.
- Για μεγάλες αποκλίσεις συχνότητας χρησιμοποιούνται άλλα κυκλώματα φωρατών.

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$$



Σύγκριση των διαμορφώσεων AM και FM

- Η ισχύς του πομπού στην AM (και SSB) δεν είναι σταθερή και εξαρτάται από το ποσοστό διαμόρφωσης m ή το πλάτος του σήματος διαμόρφωσης $s(t)$. Στην FM η ισχύς εκπομπής είναι σταθερή. Αυτό σημαίνει ευκολία στην κατασκευή του πομπού. Στην FM δεν απαιτείται ενίσχυση ισχύος του $s(t)$.
- Στην AM η ισχύς της φασματικής συνιστώσας του φέροντος, που δεν είναι ωφέλιμη ισχύς, αποτελεί το μεγαλύτερο ποσοστό της ολικής ισχύος του σήματος. Είναι πάντοτε πολύ μεγαλύτερη από την ισχύ των πλευρικών ζωνών, που είναι η ωφέλιμη. Άρα έχουμε, σπατάλη ισχύος. Στην FM η αρχική ισχύς κατανέμεται σε όλο το φάσμα και η ισχύς της φασματικής συνιστώσας του φέροντος είναι ένα μέρος της ολικής ισχύος. Έχουμε λοιπόν καλύτερη αξιοποίηση της ισχύος στην FM από ό,τι στην AM.
- Στην περίπτωση της AM, αν ενισχύσουμε το σήμα μετά τη διαμόρφωση, πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ενισχυτές που δεν εισάγουν παραμόρφωση, γιατί η πληροφορία μας βρίσκεται στις μεταβολές του πλάτους του σήματος. Αντίθετα στην FM, αν υπάρξει παραμόρφωση, δεν είναι καταστροφική, γιατί η πληροφορία μας βρίσκεται στη συχνότητα του φέροντος. Μπορούμε λοιπόν στην FM να χρησιμοποιήσουμε ως τελικό στάδιο ενισχυτή τάξης C, που έχει μεγάλη απόδοση.
- Μειονέκτημα στην FM μπορεί να θεωρηθεί το γεγονός ότι το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου φέροντος είναι πολύ μεγαλύτερο από το αντίστοιχο εύρος της AM. Όμως όσον αφορά το θόρυβο, λόγω ακριβώς αυτού του μεγάλου εύρους, η FM παρουσιάζει σημαντικό πλεονέκτημα. Αποδεικνύεται ότι για τις συνήθεις τιμές του m_f στην ραδιοφωνία, αυτό το πλεονέκτημα φτάνει σχεδόν 18 dB. Δηλαδή, ο λόγος 'σήμα/θόρυβο' στην FM είναι 64 φορές καλύτερος σε σύγκριση με το λόγο 'σήμα/θόρυβο' στην AM ($18 \text{ dB} = 10 \log 64$). Γι' αυτό η FM διαμόρφωση και εκπομπή προσφέρεται, για να απολαύσουμε μουσική πολύ πιο καλής ποιότητας από ό,τι στην AM.



Εφαρμογές AM - FM

- **Εφαρμογή 1:** Ένα βασικό σήμα της μορφής $s(t)=10\sin(2\pi 103t)$ διαμορφώνει φέρον $M(t) = 15\sin(2\pi 106t)$. Να προσδιοριστεί το ποσοστό διαμόρφωσης και το φάσμα που προκύπτει (Οι συχνότητες δίνονται σε Hz, τα πλάτη σε Volt).
 - $m = S_0/M_0 = 10/15 = 2/3 = 0,66$ ή 66%
 - Το φάσμα περιλαμβάνει δύο φασματικές ακτίνες στις συχνότητες 106 - 103 Hz = 999 kHz και 106 + 103 Hz = 1001 kHz. Έχουν πλάτος $S_0/2 = 5$ Volt.
- **Εφαρμογή 2:** Ένα βασικό σήμα της μορφής $s(t) = 10\sin(2\pi 103t) + 8\sin(2\pi 4.103t)$ διαμορφώνει κατά πλάτος ένα φέρον $M(t) = 10\cos(2\pi 106t)$. Να σχεδιαστεί το φάσμα.
 - Το σήμα $s(t)$ περιέχει δύο φασματικές ακτίνες στις συχνότητες 1 kHz (με πλάτος 10V) και 4 kHz (με πλάτος 8 V). Η φασματική ακτίνα του φέροντος είναι στη συχνότητα 1 MHz και έχει πλάτος 10V.
 - Με τη διαμόρφωση προκύπτουν συνολικά τέσσερις φασματικές ακτίνες. Δύο στις συμμετρικές συχνότητες 999 kHz και 1001 kHz με πλάτος 5 V και δύο στις συμμετρικές συχνότητες 996 kHz και 1004 kHz με πλάτος 4 Volt.
- **Εφαρμογή 3:** Πόσοι ραδιοφωνικοί σταθμοί FM μπορούν να υπάρξουν στη ζώνη συχνοτήτων από 88 έως 108 MHz στην ίδια γεωγραφικά περιοχή;
 - Θεωρώντας ότι η απόσταση μεταξύ των ραδιοφωνικών σταθμών είναι 200 kHz, τότε έχουμε:
 - $N = (108 - 88) \text{ MHz} / 0,2 \text{ MHz} = 100$.

