

Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (QAM)

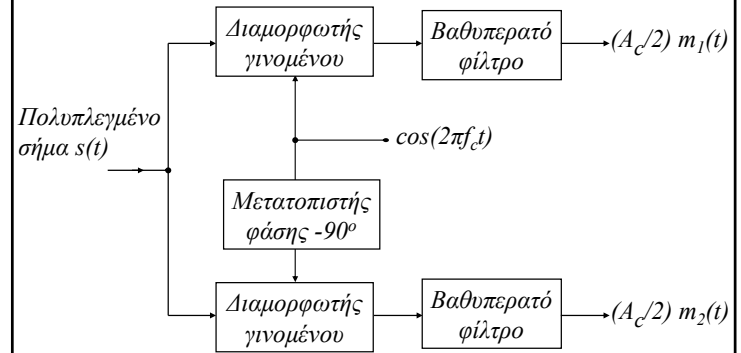
Η πολυπλεξία ορθογωνικών φερόντων (*quadrature-carrier multiplexing*) ή ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (*quadrature-amplitude modulation, QAM*) επιτρέπει σε δύο διαμορφωμένα DSBSC να καταλάβουν το ίδιο εύρος ζώνης μετάδοσης.

Είναι συνεπώς μια διάταξη εξοικονόμησης εύρους ζώνης (*bandwidth-conservation scheme*).

Γ. Αθανασιάδου

Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (QAM)

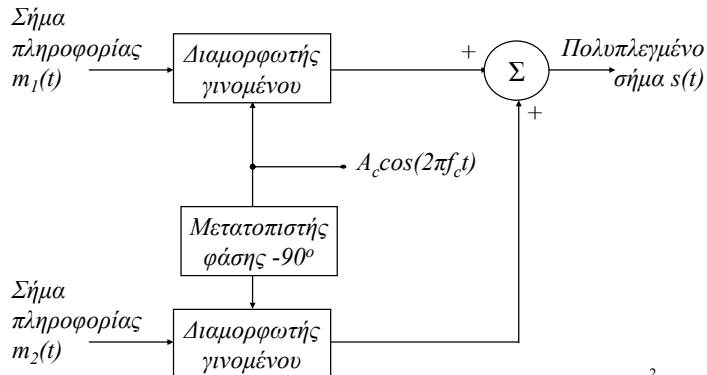
Δέκτης:



3

Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (QAM)

Πομπός:



2

Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (QAM)

$$s(t) = A_c m_1(t) \cos(2\pi f_c t) + A_c m_2(t) \sin(2\pi f_c t)$$

$$A_c m_1(t) = \text{συμφασική συνιστώσα του } s(t)$$

$$-A_c m_2(t) = \text{ορθογωνική συνιστώσα του } s(t)$$

Για να λειτουργήσει ικανοποιητικά το σύστημα πρέπει να διατηρούνται οι σωστές σχέσεις φάσης και συχνότητας μεταξύ των τοπικών ταλαντωτών που χρησιμοποιούνται στον πομπό και το δέκτη του συστήματος. (Έτσι π.χ. στην έγχρωμη τηλεόραση μεταδίδονται παλμοί συγχρονισμού.)

4

Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

Στις διαμορφώσεις AM και DSBSC η άνω και κάτω πλευρική ζώνη συνδέονται μοναδικά μεταξύ τους με την ιδιότητα της συμμετρίας γύρω από τη f_c .

Όταν μεταδίδεται μόνο η μία πλευρική ζώνη το σύστημα διαμόρφωσης αναφέρεται ως σύστημα απλής πλευρικής ζώνης (**Single-Sideband, SSB**).

Πλεονέκτημα: μειωμένη απαίτηση εύρους ζώνης και περιορισμός της υψηλής ισχύος φέροντος

Μειονέκτημα: κόστος και πολυπλοκότητα του συστήματος

Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

Περιγραφή της κυματομορφής SSB στο πεδίο του χρόνου:

Κανονικοποιημένη μορφή της SSB κυματομορφής:

$$s(t) = s_c(t)\cos(2\pi f_c t) - s_s(t)\sin(2\pi f_c t)$$

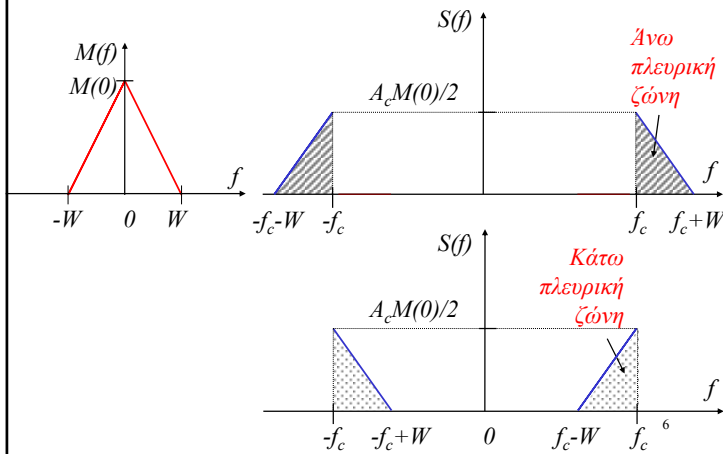
όπου:

$$S_c(f) = \begin{cases} S(f-f_c) + S(f+f_c), & -W \leq f \leq W \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

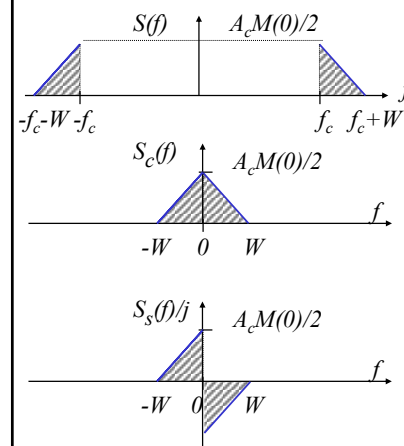
$$S_s(f) = \begin{cases} j[S(f-f_c) - S(f+f_c)], & -W \leq f \leq W \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

7

Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)



Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)



$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f)$$

$$s_c(t) = \frac{1}{2} A_c m(t)$$

$$S_s(f) = -\frac{j}{2} A_c \operatorname{sgn}(f) M(f) = \frac{1}{2} A_c \hat{M}(f)$$

$$s_s(t) = \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t)$$

Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

$$s(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

SSB κυματομορφή μόνο με την κάτω πλευρική ζώνη:

$$s(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Παράδειγμα: Διαμόρφωση από απλό τόνο

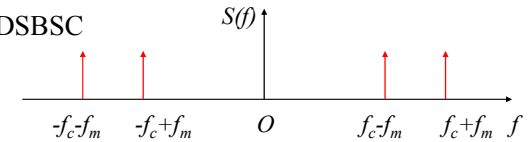
$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \Rightarrow \hat{m}(t) = A_m \sin(2\pi f_m t)$$

SSB κυματομορφή μόνο με την άνω πλευρική συχνότητα:

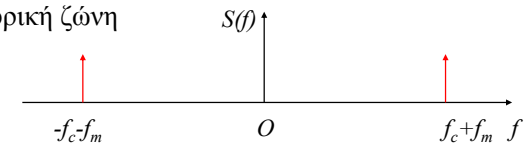
$$s(t) = \frac{1}{2} A_c A_m \cos[2\pi(f_c + f_m)t]$$

Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

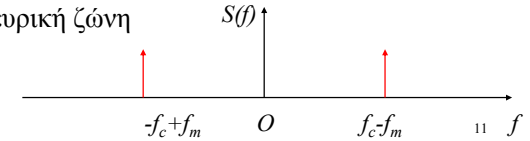
Διαμόρφωση DSBSC



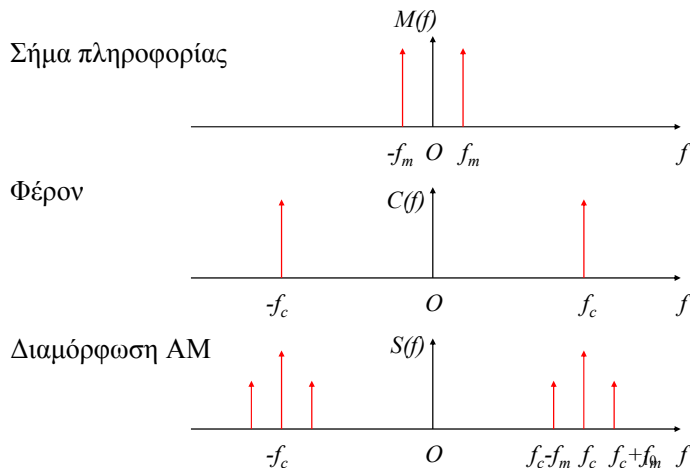
SSB άνω πλευρική ζώνη



SSB κάτω πλευρική ζώνη



Διαμόρφωση Απλής Πλευρικής Ζώνης (SSB)



Παραγωγή κυματομορφών SSB

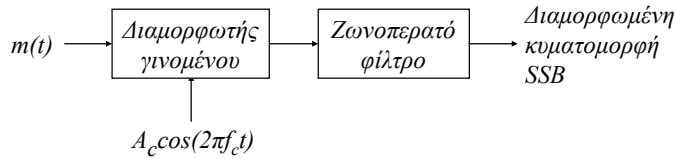
Δύο συνηθισμένες μεθόδους για την παραγωγή κυματομορφών SSB:

- Μέθοδος διευκρίνισης συχνότητας (*frequency discrimination method*)

- Μέθοδος διευκρίνισης φάσης (*phase discrimination method*)

Βασίζονται στις περιγραφές της κυματομορφής SSB στο πεδίο της συχνότητας και στο πεδίο του χρόνου αντίστοιχα.

Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διεκρίνισης συχνότητας

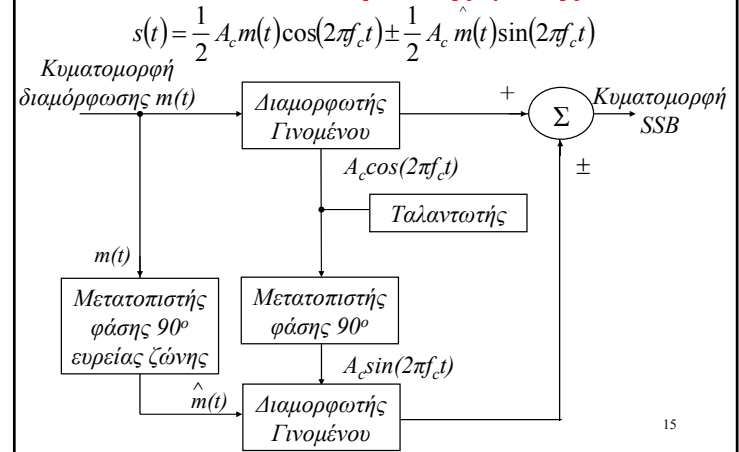


Το φίλτρο είναι σχεδιασμένο να περνά την επιθυμητή πλευρική ζώνη της κυματομορφής DSBSC στην έξοδο του διαμορφωτή και να απορρίπτει την άλλη πλευρική ζώνη.

- Το εύρος της μεταβατικής ζώνης του φίλτρου πρέπει να είναι δύο φορές η χαμηλότερη συνιστώσα συχνότητας του σήματος διαμόρφωσης. - Φίλτρο πολύ υψηλής επιλεκτικότητας.

13

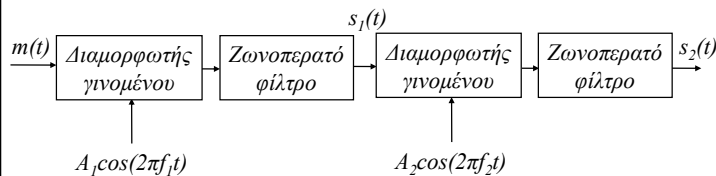
Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διεκρίνισης φάσης



15

Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διεκρίνισης συχνότητας

Για να διευκολύνουμε την απαίτηση φιλτραρίσματος χρησιμοποιούμε μια διαδικασία πολλαπλής διαμόρφωσης.



Η απαλοιφή της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης από το δεύτερο φίλτρο είναι σχετικά εύκολη αφού ο διαχωρισμός συχνοτήτων μεταξύ των πλευρικών ζωνών της κυματομορφής DSBSC είναι διπλάσιος της συχνότητας f_1 του πρώτου φέροντος.

14

Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διεκρίνισης φάσης

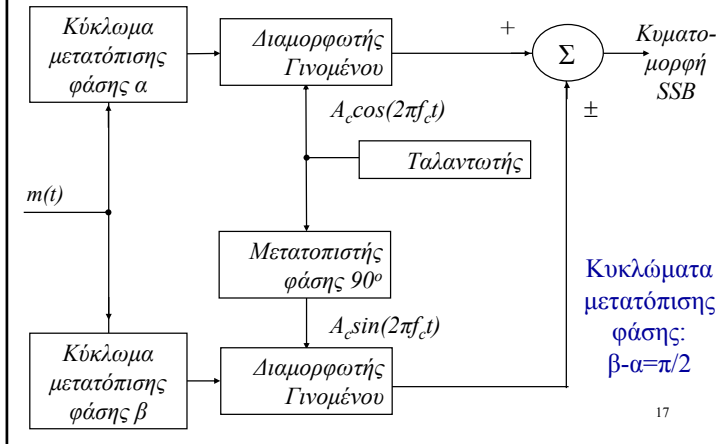
$$s(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \pm \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Για το ΜΣ Hilbert του $m(t)$ απαιτείται ένα δίκτυο που να μετατοπίζει τη γωνία φάσης κάθε συνιστώσας συχνότητας του $m(t)$ κατά 90° αλλά να αφήνει το πλάτος αμετάβλητο.

Εάν συμπεριληφθεί ένα κύκλωμα μετατόπισης φάσης σε κάθε διαδρομή διαμόρφωσης, η απαιτούμενη σταθερή διαφορά φάσης μπορεί να εν γένει να διατηρηθεί με μια επιθυμητή ανοχή σε μια οποιαδήποτε προδιαγεγραμμένη περιοχή συχνοτήτων. ->

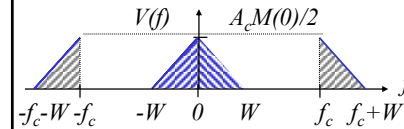
16

Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διευκρίνισης φάσης



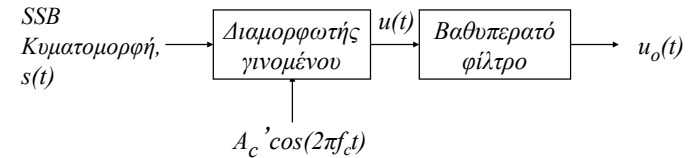
17

Αποδιαμόρφωση κυματομορφών SSB



Να μετατρέψουμε τη μεταδιδόμενη πλευρική ζώνη σε σήμα βασικής ζώνης

Ομόδυνη φώραση κυματομορφής SSB:



19

Παραγωγή κυματομορφών SSB: Μέθοδο διευκρίνισης φάσης

Ο βαθμός στον οποίο η ανεπιθύμητη πλευρική ζώνη μπορεί να απαλειφθεί εξαρτάται κυρίως από:

- 1/ την ακρίβεια ισοστάθμισης των διαμορφωτών γινομένου
- 2/ την ακρίβεια ελέγχου της σχέσης ορθογωνικής φάσης των δύο φερόντων
- 3/ τα σφάλματα στην προσέγγιση της σταθερής διαφοράς φάσης 90° μεταξύ των $m(t)$ και του ΜΣ Hilbert αυτού.

Αναμένεται εξασθένιση γύρω στα 30dB.

18

Αποδιαμόρφωση κυματομορφών SSB

$$u(t) = \frac{1}{2} A_c A_c' \cos(2\pi f_c t) \left[m(t) \cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(2\pi f_c t) \right]$$

$$= \frac{1}{4} A_c A_c' m(t) + \frac{1}{4} A_c A_c' \left[m(t) \cos(4\pi f_c t) - \hat{m}(t) \sin(4\pi f_c t) \right]$$

Στο δέκτη χρειάζεται ημιτονική κυματομορφή της σωστής συχνότητας f_c και σε σωστή σχέση φάσης με το φέρον.

Αυτό εξασφαλίζεται είτε μεταδίδοντας ένα πιλοτικό φέρον επιπρόσθετα με την επιθυμητή πλευρική ζώνη ή χρησιμοποιώντας έναν ταλαντωτή υψηλής ευστάθειας.

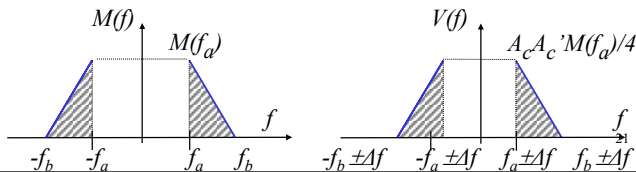
20

Αποδιαμόρφωση κυματομορφών SSB

Οποιοδήποτε σφάλμα στη συχνότητα ή στη φάση του τοπικού ταλαντωτή στο δέκτη σε σχέση με το φέρον έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραμόρφωσης στο αποδιαμορφωμένο σήμα.

Έστω σφάλμα συχνότητας Δf το προκύπτον αποδιαμορφωμένο σήμα:

$$u_0(t) = \frac{1}{4} A_c A_c' \left[m(t) \cos(2\pi\Delta f t) + \hat{m}(t) \sin(2\pi\Delta f t) \right]$$



Αποδιαμόρφωση κυματομορφών SSB

Έστω σφάλμα φάσης ϕ :

$$u_0(t) = \frac{1}{4} A_c A_c' \left[m(t) \cos(\phi) + \hat{m}(t) \sin(\phi) \right]$$

Παραμόρφωση φάσης (phase distortion)

$$V_0(f) = \frac{1}{4} A_c A_c' \left[M(f) \cos(\phi) + \hat{M}(f) \sin(\phi) \right]$$

$$\hat{M}(f) = -j \operatorname{sgn}(f) M(f)$$

$$V_0(f) = \begin{cases} \frac{1}{4} A_c A_c' M(f) \exp(-j\phi), & f > 0 \\ \frac{1}{4} A_c A_c' M(f) \exp(j\phi), & f < 0 \end{cases}$$

Φαινόμενο φωνής Ντόναλντ Ντακ - όχι ανεκτή στη μετάδοση μουσικής ή εικόνας.

Διαμόρφωση VSB

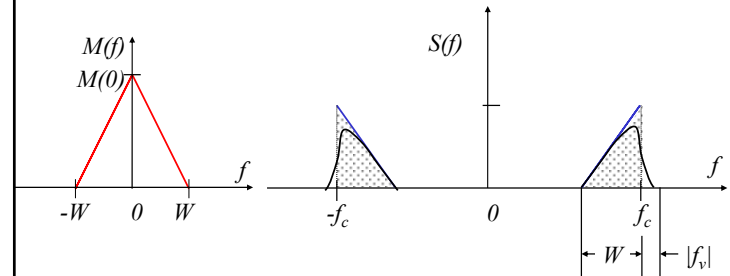
Διαμόρφωση Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης Vestigial Sideband Modulation - VSB

Όταν το σήμα βασικής ζώνης περιέχει σημαντικές συνιστώσες σε αρκετά χαμηλές συχνότητες οι άνω και κάτω πλευρικές συναντιούνται στη συχνότητα φέροντος και η χρήση SSB δεν είναι κατάλληλη.

Στη διαμόρφωση VSB περνάει σχεδόν ολόκληρη η μία πλευρική ζώνη, ενώ διατηρείται μόνο ένα ίχνος ή κατάλοιπο (vestige) της άλλης πλευρικής ζώνης.

23

Διαμόρφωση VSB

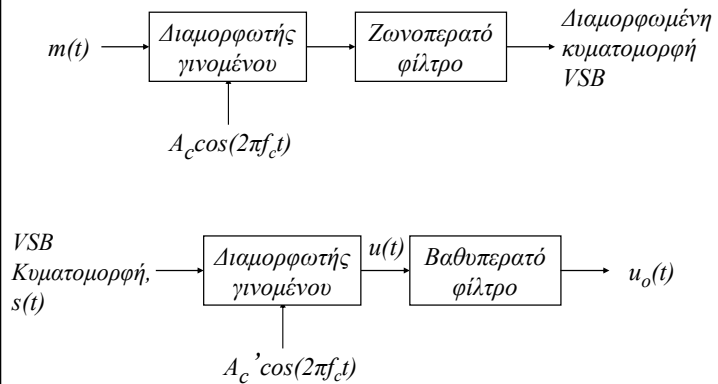


Το μεταδιδόμενο κατάλοιπο της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης αντισταθμίζεται από την επιθυμητή πλευρική ζώνη. Το εύρος ζώνης μετάδοσης που απαιτείται είναι:

$$B_T = W + f_v$$

24

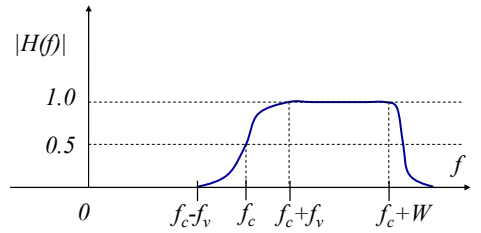
Διαμόρφωση VSB



Διαμόρφωση VSB

Για να έχει το $V_o(f)$ μία όμοια υπό κλίμακα μορφή του $M(f)$ θα πρέπει:

$$H(f - f_c) + H(f + f_c) = 2H(f_c)$$



Διαμόρφωση VSB

Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς του ζωνοπερατού φίλτρου:

$$\left. \begin{aligned} s(f) &= \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] H(f) \\ u(t) &= A_c' \cos(2\pi f_c t) s(t) \Rightarrow V(f) = \frac{A_c'}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)] \end{aligned} \right\}$$

$$\Rightarrow V(f) = \frac{A_c A_c'}{4} M(f) [H(f - f_c) + H(f + f_c)] + \frac{A_c A_c'}{4} [M(f - 2f_c) H(f - f_c) + M(f + f_c) H(f + f_c)]$$

και η έξοδος του βαθυπερατού φίλτρου:

$$\Rightarrow V_o(f) = \frac{A_c A_c'}{4} M(f) [H(f - f_c) + H(f + f_c)]$$

Διαμόρφωση VSB

Περιγραφή της κυματομορφής VSB στο πεδίο του χρόνου:

-Υπολογισμός της συμφασικής συνιστώσας:

$$S_c(f) = \begin{cases} S(f - f_c) + S(f + f_c), & -W \leq f \leq W \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f) [H(f - f_c) + H(f + f_c)]$$

Για $H(f_c) = 1/2$:

$$S_c(f) = \frac{1}{2} A_c M(f) \quad \text{και επομένως:} \quad s_c(t) = \frac{1}{2} A_c m(t)$$

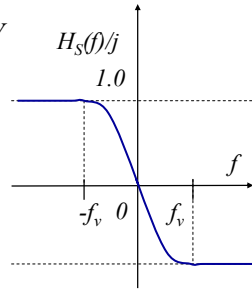
Διαμόρφωση VSB

Υπολογισμός της ορθογωνικής συνιστώσας:

$$S_s(f) = \begin{cases} j[S(f-f_c) - S(f+f_c)] & -W \leq f \leq W \\ 0 & \text{αλλώ} \end{cases}$$

$$S_s(f) = \frac{j}{2} A_c M(f) [H(f-f_c) - H(f+f_c)]$$

$$H_s(f) = j[H(f-f_c) - H(f+f_c)]$$



και επομένως:

$$s_s(t) = \frac{1}{2} A_c m_s(t)$$

29

Διαμόρφωση VSB

Η VSB έχει το πλεονέκτημα να εξοικονομεί εύρος ζώνης, ενώ ταυτόχρονα διατηρεί τα άριστα χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης διπλής πλευρικής ζώνης όσο αφορά τις χαμηλές συχνότητες της βασικής ζώνης. Έτσι είναι κατάλληλη π.χ. για τη μετάδοση τηλεοπτικών σημάτων.

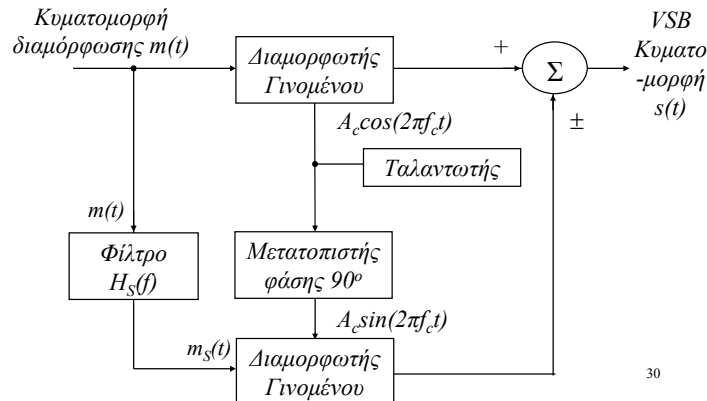
Φόραση περιβάλλουσας κυματομορφής VSB με φέρον

Στην εμπορική τηλεόραση μεταδίδεται ένα αρκετά μεγάλο μεγέθους φέρον μαζί με το διαμορφωμένο σήμα.

$$s(t) = A_c \left[1 + \frac{1}{2} k_a m(t) \right] \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} k_a A_c m_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$

Διαμόρφωση VSB

$$s(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) - \frac{1}{2} A_c m_s(t) \sin(2\pi f_c t)$$



30

Διαμόρφωση VSB: Φόραση περιβάλλουσας κυματομορφής VSB με φέρον

Έξοδος από φορατή περιβάλλουσας, $a(t)$ είναι:

$$a(t) = A_c \left\{ \left[1 + \frac{1}{2} k_a m(t) \right]^2 + \left[\frac{1}{2} k_a m_s(t) \right]^2 \right\}^{1/2} = A_c \left[1 + \frac{1}{2} k_a m(t) \right] \left\{ 1 + \left[\frac{\frac{1}{2} k_a m_s(t)}{1 + \frac{1}{2} k_a m(t)} \right]^2 \right\}^{1/2}$$

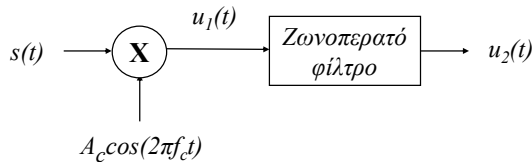
Η παραμόρφωση οφείλεται στην ορθογωνική συνιστώσα $m_s(t)$. Μπορεί να μειωθεί χρησιμοποιώντας δύο μεθόδους 1/μειώνοντας το ποσοστό διαμόρφωσης και 2/αυξάνοντας το εύρος της υπολειπόμενης πλευρικής ζώνης ώστε να μειωθεί το $m_s(t)$.

32

Μετατόπιση Συχνότητας

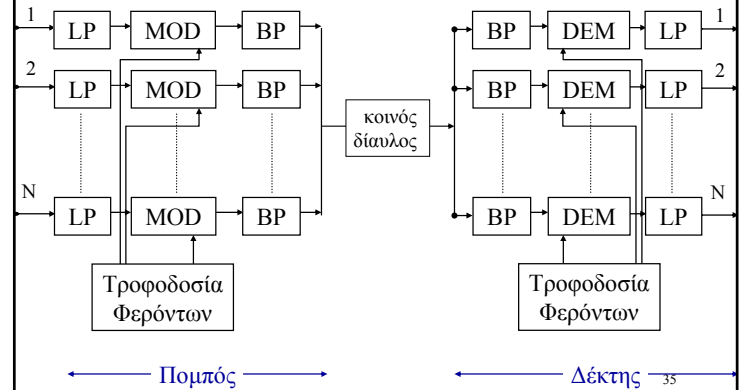
Η διάταξη που μετατοπίζει τις συχνότητες μιας διαμορφωμένης κυματομορφής ονομάζεται μίκτης (*mixer*).

Η λειτουργία από μόνη της ονομάζεται μίξη (*mixing*) ή ετεροδύναση (*heterodyning*).



33

Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)



35

Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (FDM)

Η πολυπλεξία (*multiplexing*) είναι μία τεχνική στην οποία ένας αριθμός ανεξάρτητων σημάτων μπορεί να συνδυαστεί σε σύνθετο σήμα κατάλληλο για μετάδοση σε ένα κοινό δίαυλο.

Η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στη συχνότητα αναφέρεται σαν πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (*Frequency Division Multiplexing, FDM*), ενώ η τεχνική διαχωρισμού των σημάτων στο χρόνο ονομάζεται πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (*Time Division Multiplexing, TDM*).

34

Συγχρονισμός φέροντος

Μια μέθοδος η οποία συνήθως χρησιμοποιείται για το συγχρονισμό μεταξύ του φέροντος που χρησιμοποιείται στον πομπό για διαμόρφωση και αυτού που παράγεται τοπικά στο δέκτη για αποδιαμόρφωση, είναι η μετάδοση μιας πilotικής συχνότητας (*pilot frequency*) μαζί με το εξερχόμενο σήμα.

Ο μεταδιδόμενος πιλότος χρησιμοποιείται για να διαμορφώσει ένα τοπικό ταλαντωτή στον δέκτη, ώστε να δημιουργηθούν τα φέροντα που χρησιμοποιούνται για την αποδιαμόρφωση των σημάτων πληροφορίας.

36