



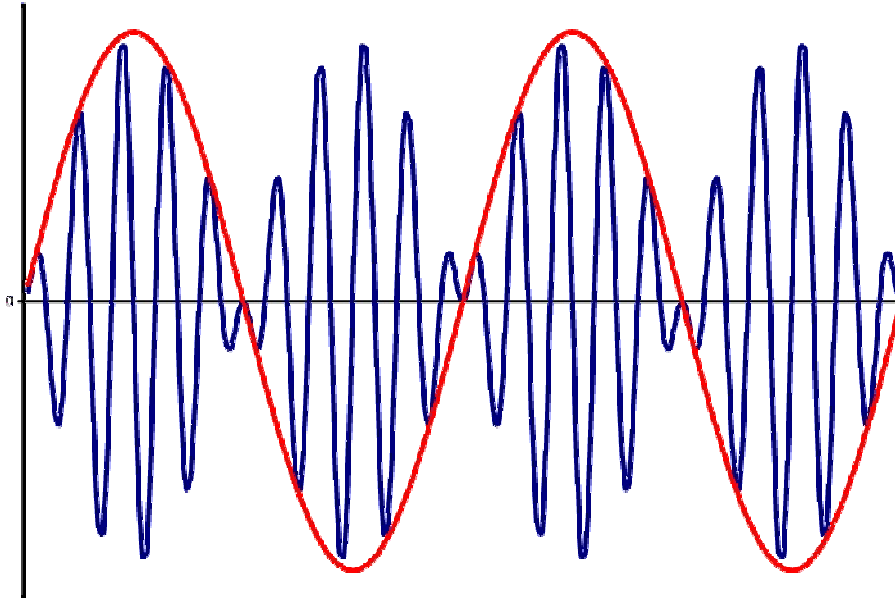
Εργαστήριο 5^ο : Διαμόρφωση Πλάτους Καταπιεσμένου Φέροντος (AM-DSBSC) και Μονής Πλευρικής Ζώνης (SSB)

Βασική Θεωρία

Διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης με καταπιεσμένο το φέρον (Double SideBand Suppressed Carrier (DSB-SC) Modulation)

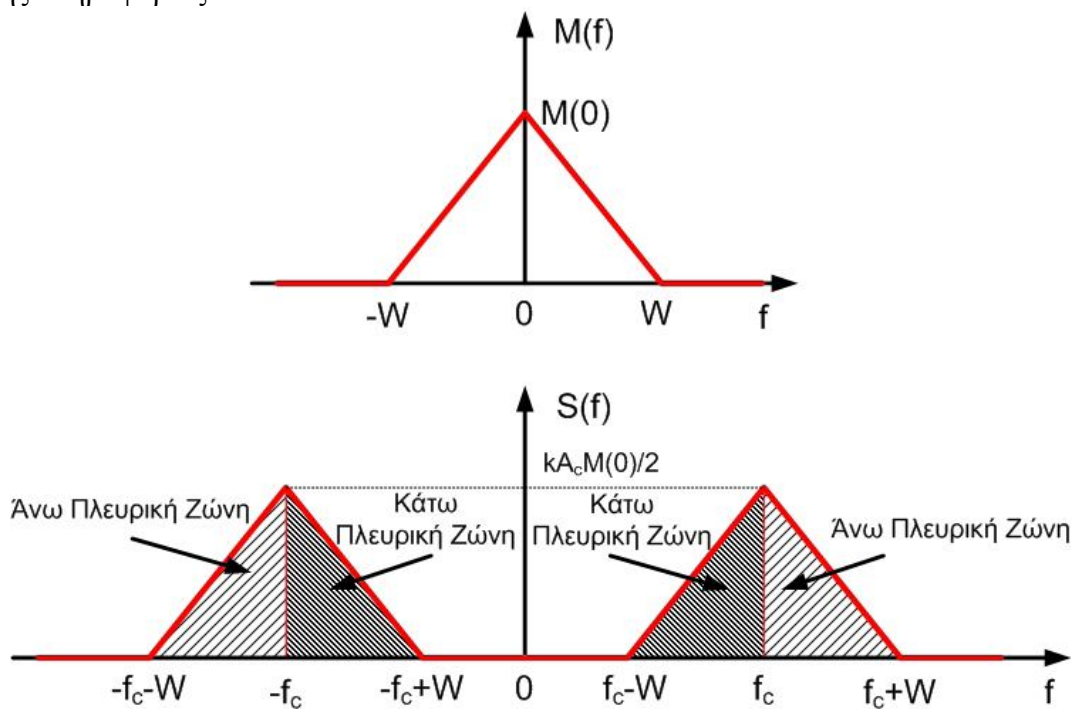
Η συνιστώσα του φέροντος στην πλήρη AM διαμόρφωση δεν περιέχει πληροφορίες και όπως έχουμε δει μέχρι τώρα, καταναλώνουμε μεγάλο ποσοστό ισχύος για την μετάδοσή του. Αν λοιπόν αφαιρεθεί ή κατασταλεί κατά τη διαμόρφωση, θα επιτύχουμε υψηλότερη απόδοση ισχύος, καθώς όλη η ισχύς θα καταναλώνεται στις πλευρικές ζώνες. Αυτού του είδους η διαμόρφωση καλείται διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης με καταπιεσμένο το φέρον (Double SideBand Suppressed Carrier (DSB-SC) Modulation).

Στην DSB-SC διαμόρφωση, δεν καταναλώνεται ισχύς για την μετάδοση του φέροντος και η διαμορφωμένη κυματομορφή υφίσταται αντιστροφή φάσης όταν το σήμα βασικής ζώνης $m(t)$ αλλάζει πρόσημο και η εικόνα του διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο του χρόνου φαίνεται στο σχήμα 1. Με κόκκινο είναι η καμπύλη του σήματος βασικής ζώνης και με μπλε το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης. Συνεπώς, αντίθετα από τη διαμόρφωση πλάτους, η περιβάλλουσα μιας κυματομορφής DSB-SC είναι διαφορετική από το σήμα βασικής ζώνης (πληροφορία).



Σχήμα 1: Διαμόρφωση AM με καταπιεσμένο το φέρον

Αν υποθέσουμε ότι το φάσμα συχνοτήτων του σήματος πληροφορίας έχει τριγωνική μορφή, μετά την διαμόρφωσή του, θα μετατοπιστεί κατά την συχνότητα του φέροντος f_c . Στο σχήμα 2 φαίνεται το φάσμα του σήματος πριν την διαμόρφωση και μετά, καθώς επίσης και οι πλευρικές ζώνες (άνω και κάτω πλευρική ζώνη). Σε μια DSB-SC μετάδοση, το φέρον κύμα δεν είναι παρόν στο φάσμα του σήματος (σε αντίθεση με την απλή AM), ενώ το εύρος ζώνης εξακολουθεί να είναι διπλάσιο του εύρους ζώνης της πληροφορίας.



Σχήμα 2 : (α) Φάσμα του σήματος βασικής ζώνης. (β) Φάσμα της κυματομορφής DSBSC

Ισχύς διαμόρφωσης DSB-SC

Η ισχύς ενός ημιτονοειδούς σήματος είναι ανάλογη προς το τετράγωνο του πλάτους του. Στην περίπτωση της DSB-SC διαμόρφωσης, δεν υπάρχει η συνιστώσα του φέροντος, έτσι όλη η ισχύς καταναλώνεται στην μετάδοση των πλευρικών ζωνών. Η συνολική ισχύς μετάδοσης ισούται με το άθροισμα της ισχύος σε κάθε πλευρική ζώνη: $P_t=2P_{sb}$. Άρα, σε αντίθεση με την απλή AM διαμόρφωση που η χρήσιμη ισχύς ήταν το πολύ 33% της συνολικής ισχύος, στην DSB-SC διαμόρφωση η ισχύς στις πλευρικές ζώνες αποτελεί το 100% της συνολικής ισχύος.

Τεχνικές Διαμόρφωσης/Αποδιαμόρφωσης DSB-SC

Η διαμόρφωση DSB-SC προκύπτει από τον πολλαπλασιασμό του φέροντος με το σήμα πληροφορίας.

Έστω φέρον της μορφής

$$s_c(t) = A_c \cos(w_c t) \quad \text{where } w_c = 2\pi f_c$$

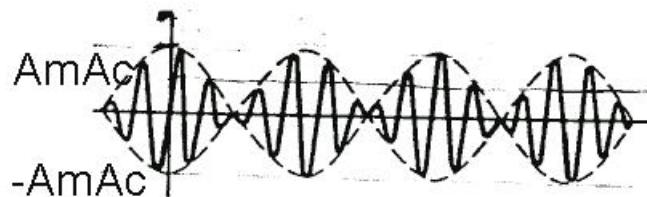
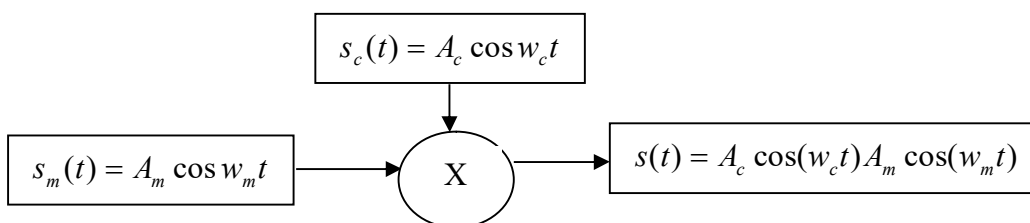
διαμορφωμένο από ένα ημιτονοειδές σήμα της μορφής

$$s_m(t) = A_m \cos w_m t \quad \text{where } w_m = 2\pi f_m$$

Το διαμορφωμένο σήμα είναι απλά το γινόμενο των δύο παραπάνω σημάτων

$$\begin{aligned} s(t) &= A_c \cos(w_c t) A_m \cos(w_m t) \\ &= \underbrace{\frac{A_m A_c}{2} \cos(w_c + w_m)t}_{USB} + \underbrace{\frac{A_m A_c}{2} \cos(w_c - w_m)t}_{LSB} \end{aligned}$$

το πλάτος του μεταβάλλεται μεταξύ των τιμών $\pm (A_m A_c)$

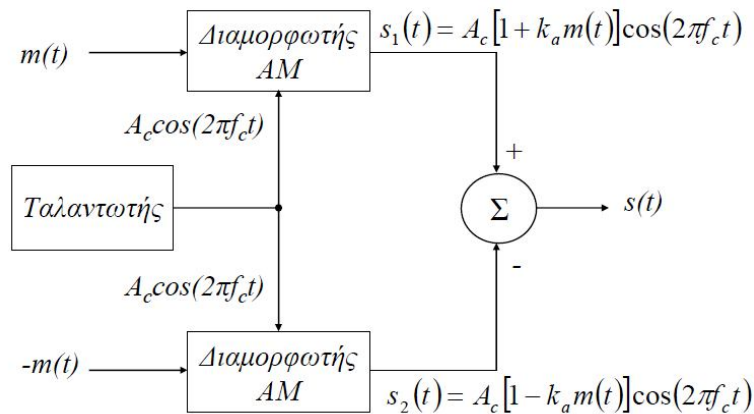


Σχήμα 3: Διαμορφωτής γινομένου

Στην πράξη, αυτό μπορούμε να το πετύχουμε με:

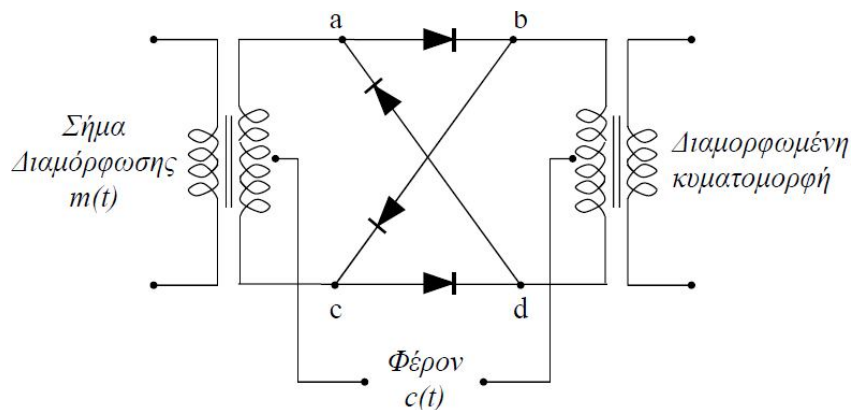
Ισοσταθμισμένο διαμορφωτή (balanced modulator), σχήμα 4

Δακτυλιοειδή διαμορφωτή (ring modulator), σχήμα 5



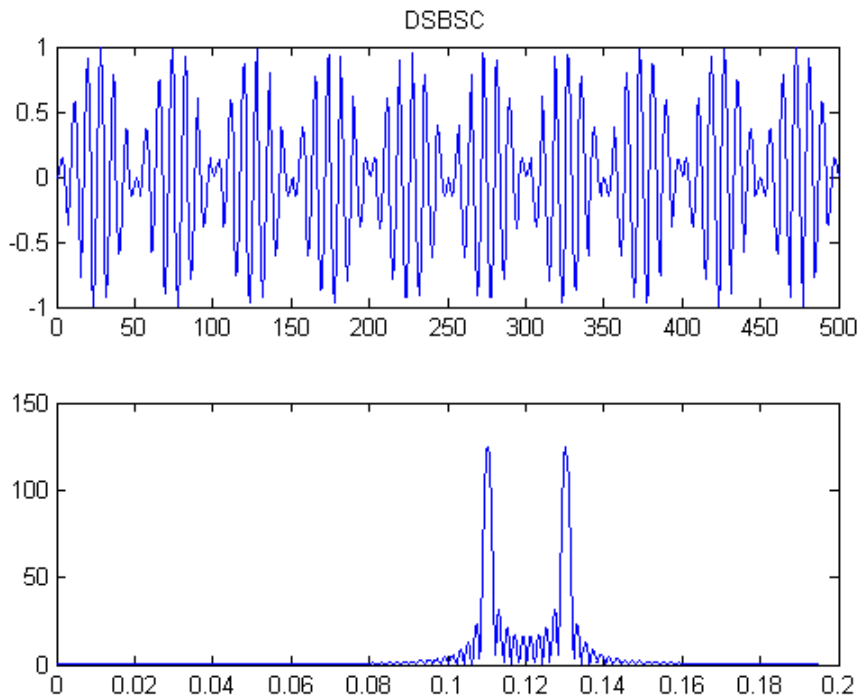
$$s(t) = s_1(t) - s_2(t) = 2k_a A_c \cos(2\pi f_c t) m(t)$$

Σχήμα 4: Ισοσταθμισμένος Διαμορφωτής



Σχήμα 5: Δακτυλιοειδής Διαμορφωτής

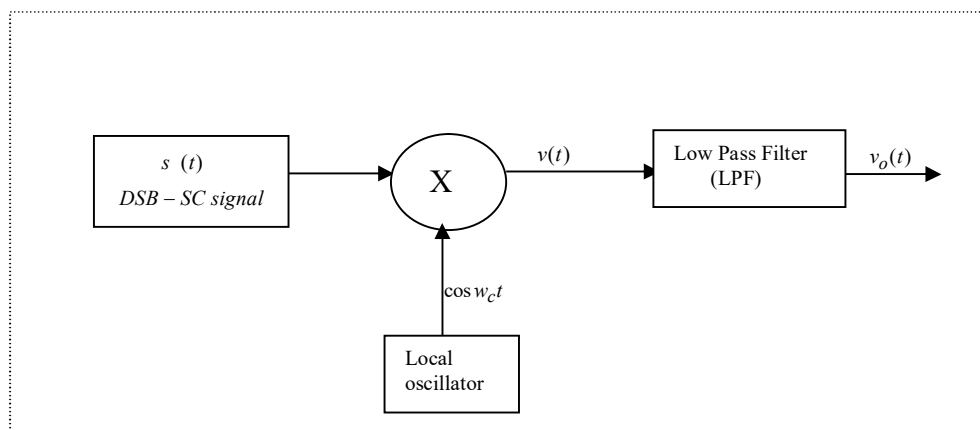
Στο σχήμα 6, έχουμε μια απεικόνιση της διαμόρφωσης DSB-SC στο πεδίο του χρόνου, όπου φαίνεται η αντιστροφή της φάσης και πιο κάτω έχουμε την φασματική ανάλυση, όπου δεν υπάρχει η συνιστώσα του φέροντος, παρά μόνο η κάτω και πάνω πλευρική ζώνη.



Σχήμα 6: Διαμόρφωση DSB-SC στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων

Αποδιαμόρφωση DSB-SC

Για την αποδιαμόρφωση του DSB-SC σήματος, δεδομένου ότι το φέρον καταστέλλεται, ο ανιχνευτής περιβάλλονσας (envelope detector) δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται σύγχρονοι (απαιτούν συγχρονισμό) αποδιαμορφωτές και το Block διάγραμμα ενός τέτοιου συστήματος φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 7: Ανιχνευτής γινομένου για αποδιαμόρφωση DSB-SC σήματος
Έχουμε,

$$\begin{aligned}
v(t) &= s(t) \cos(w_c t) = A_c \cos(w_m t) \cos(w_c t) s_m(t) \\
&= \underbrace{\frac{A_c}{2} s_m(t)}_{\text{scaled version of wanted signal}} + \underbrace{\frac{A_c}{2} \cos(2w_c t) s_m(t)}_{\text{Unwanted term (removed by LPF)}}
\end{aligned}$$

και μετά το χαμηλοπερατό φίλτρο:

$$v_o(t) = \frac{A_c}{2} s_m(t)$$

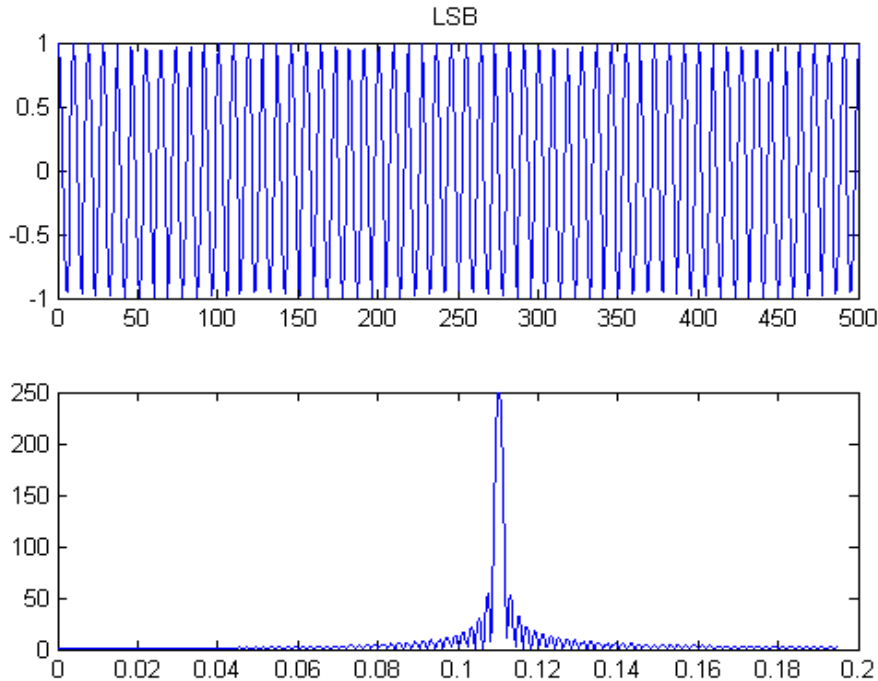
Για μια κατάλληλη ανάκτηση του σήματος θα πρέπει, $w_c \gg w_m$. Στην παραπάνω περίπτωση θα πρέπει να επιτευχθεί συγχρονισμός και στην συχνότητα και στην φάση ανάμεσα στον πομπό και στον δέκτη και επομένως η συχνότητα και η φάση του φέροντος στον πομπό θα πρέπει να είναι γνωστά στον δέκτη για την σωστή αποδιαμόρφωση.

Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (Single SideBand (SSB) Modulation)

Μέχρι τώρα είδαμε ότι η απλή διαμόρφωση AM και αυτή με καταπιεσμένο το φέρον, δημιουργούν ένα διαμορφωμένο σήμα το οποίο έχει διπλάσιο εύρος ζώνης από αυτό του σήματος πληροφορίας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να καταναλώνουμε ισχύ στην μετάδοση περιττών συνιστωσών. Η διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης, είναι μια τεχνική που αποφεύγει τον διπλασιασμό του εύρους ζώνης, μεταδίδοντας μόνο μία πλευρική ζώνη (από τις δύο), την άνω (USSB) ή την κάτω πλευρική ζώνη (LSSB).

Το κόστος που «πληρώνουμε» είναι η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του διαμορφωτή και του δέκτη. Εξ αιτίας όμως της μεγάλης αποδοτικότητας και της απαίτησης για λιγότερο εύρος ζώνης, χρησιμοποιήθηκε αρκετά σε τηλεφωνικές επικοινωνίες (μέσω τεχνικών πολυπλεξίας πολλών φωνών) και σε επικοινωνίες ραδιοερασιτεχνών.

Στο σχήμα 8 φαίνεται μια SSB διαμόρφωση, όπου στην φασματική ανάλυση, είναι παρόν μόνο η μία πλευρική ζώνη (εδώ η κάτω, LSSB), ενώ απουσιάζει η συνιστώσα του φέροντος και της δεύτερης πλευρικής ζώνης.



Σχήμα 8: Διαμόρφωση SSB στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων

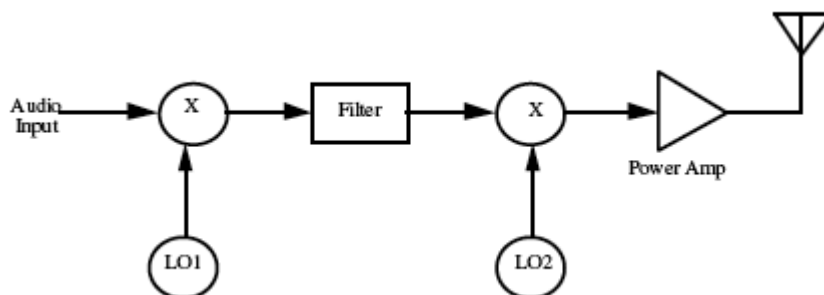
Τεχνικές παραγωγής SSB

Διαμόρφωση SSB μπορούμε να πετύχουμε με:

→ Ζωνοπερατό φίλτρο (bandpass filtering)

Με αυτή την τεχνική δημιουργούμε πρώτα ένα DSB-SC σήμα (πολλαπλασιάζοντας το σήμα βασικής ζώνης με ένα φέρον LO (local oscillator)) και στην συνέχεια εφαρμόζουμε ένα ζωνοπερατό φίλτρο, ώστε να αποκόψουμε την μία από τις δύο πλευρικές ζώνες. Αυτή η τεχνική είναι εφικτή για σχετικά μικρές τιμές συχνότητας του φέροντος και το φίλτρο πρέπει να έχει απότομη καμπύλη αποκοπής, καθώς πρέπει η μία πλευρική ζώνη να μείνει ανέπαφη, ενώ η δεύτερη να κοπεί.

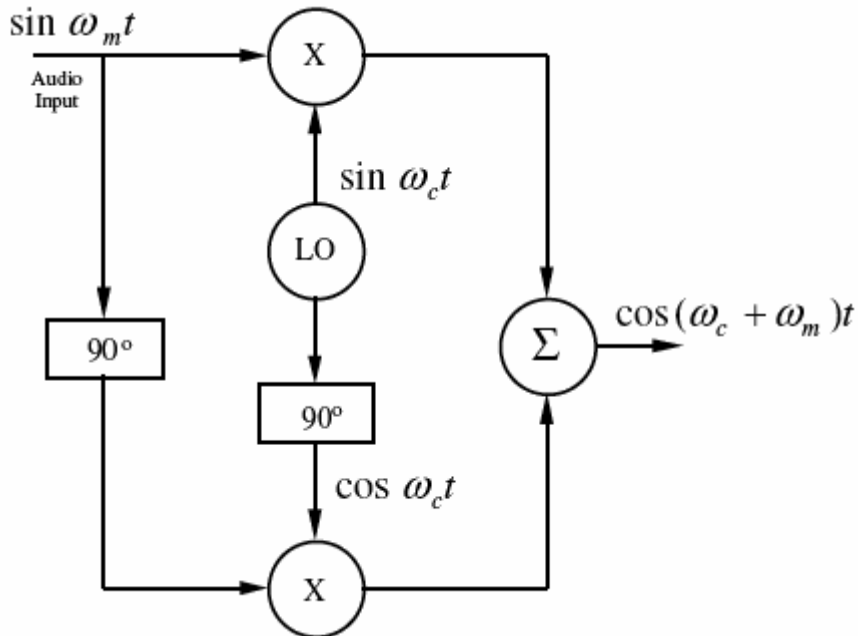
Για καλύτερα αποτελέσματα, συχνά χρησιμοποιείται η διάταξη του σχήματος 9, όπου εφαρμόζουμε αρχικά ένα φίλτρο, κατόπιν πολλαπλασιάζουμε ξανά με το φέρον (προκύπτουν πάλι δύο πλευρικές ζώνες, αλλά με μεγάλο κενό ανάμεσά τους) και στη συνέχεια ενισχύεται μόνο η μία (από έναν band-limited ενισχυτή ισχύος).



Σχήμα 9: Παραγωγή SSB με ζωνοπερατό φίλτρο

→ Διαμορφωτής Hartley

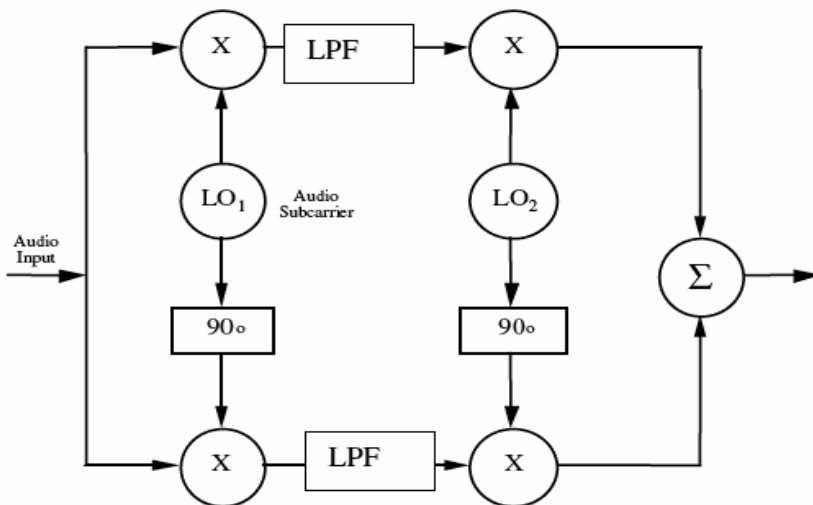
Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί ένα αντίγραφο του σήματος πληροφορίας, το οποίο έχει διαφορά φάσης 90° με το αρχικό (σχήμα 10). Αυτό πολλαπλασιάζεται με ένα αντίγραφο του φέροντος, το οποίο έχει και αυτό διαφορά φάσης 90° . Αθροίζοντας (ή αφαιρώντας) στο τέλος τις προκύπτουσες κυματομορφές, μένει μόνο η μία πλευρική ζώνη και οι άλλες ακυρώνονται.



Σχήμα 10: Διαμορφωτής Hartley

→ Διαμόρφωση Weaver

Αυτή η τεχνική μοιάζει με την διαμόρφωση Hartley, με την διαφορά ότι η διαφορά φάσης των 90° στο σήμα πληροφορίας, επιτυγχάνεται μέσω ορθογωνικής μίξης. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι δεν χρειάζεται να διατηρούμε ακριβώς διαφορά φάσης 90° σε όλο το εύρος βασικής ζώνης.



Σχήμα 11: Διαμόρφωση Weaver

Αποδιαμόρφωση SSB

Για την αποδιαμόρφωση των SSB σημάτων, χρησιμοποιείται η ίδια τεχνική με αυτήν για τα DSB-SC σήματα. Με τους αποδιαμορφωτές γινομένου, το σήμα πολλαπλασιάζεται με ένα αντίγραφο του φέροντος (όσο το δυνατόν πιο πιστό σε συχνότητα και φάση) και έτσι προκύπτουν δύο συνιστώσες, μία στην αρχική συχνότητα του σήματος πληροφορίας και μία στην διπλάσια συχνότητα του φέροντος. Η τελευταία απομακρύνεται με κατάλληλο φίλτρο. Για να επιτύχουμε συγχρονισμό στην συχνότητα και στην φάση (ώστε να έχουμε σωστή αποδιαμόρφωση) χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές, όπως PPL, COSTAS και τόνο πιλότο.

Πειραματικό μέρος

1. Δημιουργήστε δύο διαμορφώσεις Α) Διαμόρφωση ενός αρχείου ήχου με AM-DSBFC και Β) Διαμόρφωση του ίδιου αρχείου ήχου με AM-DSBSC. Η συχνότητα του φέροντος να είναι 30KHz. Κατόπιν συνδέστε έναν ανιχνευτή φάσματος και παρατηρήστε το φάσμα: Α) του αρχικού σήματος πληροφορίας, Β) της AM-DSBFC και Γ) της AM-DSBSC. **Σχολιάστε το κάθε γράφημα και εντοπίστε τις διαφορές και τις ομοιότητες μεταξύ των Β και Γ.**
2. Σε μια καινούργια επιφάνεια εργασίας δημιουργήστε μια διαμόρφωση καταπιεσμένου φέροντος με σήμα βασικής ζώνης ένα ημίτονο 1Hz και φέρον συχνότητας 10Hz. Εισάγετε ένα score με 4 εισόδους και δείτε το γράφημα: Α) του σήματος βασικής ζώνης, Β) του φέροντος, Γ) της διαμόρφωσης Δ) της διαμόρφωσης και του σήματος βασικής ζώνης (στο ίδιο γράφημα). **Σχεδιάστε τα γραφήματα και σχολιάστε συνοπτικά τι βλέπετε στο καθένα.**
3. **Ποια είναι η διαφορά του γραφήματος Δ σε σχέση με αυτό που είχατε στην διαμόρφωση AM-DSBFC;**
4. **Τι συμβαίνει στο φέρον κάθε φορά που το σήμα βασικής ζώνης αλλάζει πρόσημο (γράφημα Γ και Δ);**
5. **Το σήμα βασικής ζώνης βρίσκεται στην περιβάλλουσα του AM σήματος, όπως στην AM-DSBFC;**
6. **Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ανιχνευτή περιβάλλουσας για αποδιαμόρφωση και αν όχι, γιατί;**
7. Ρυθμίστε το σήμα βασικής ζώνης σε συχνότητα 200 Hz και το φέρον σε συχνότητα 2 KHz. **Σχεδιάστε το φάσμα της διαμόρφωσης.**
8. **Ποια η διαφορά και ποιες οι ομοιότητες με το φάσμα της AM-DSBFC;**
9. **Υλοποιήστε το πρώτο στάδιο του αποδιαμορφωτή. Πώς είναι το φάσμα (περιγράψτε) σε αυτό το σημείο; Τι συμπεραίνετε;**
10. **Τι στοιχείο θα πρέπει να συνδέσετε στην συνέχεια (και γιατί) για να πετύχετε αποδιαμόρφωση του σήματος;**
11. **Πώς είναι το φάσμα τελικά στην έξοδο του αποδιαμορφωτή (περιγράψτε);**
12. **Σχεδιάστε την απόκριση συχνότητας του φίλτρου που χρησιμοποιήσατε.**
13. **Πώς ονομάζεται η μέθοδος της αποδιαμόρφωσης που υλοποιήσατε και γιατί;**
14. **Αλλάξτε την συχνότητα του σήματος βασικής ζώνης σε 1Hz και του φέροντος σε 10Hz. Υλοποιήστε έναν αποδιαμορφωτή AM-DSBSC και σχεδιάστε/σχολιάστε τα γραφήματα στο πεδίο του χρόνου: Α) του**

- σήματος βασικής ζώνης, Β) Της διαμόρφωσης, Γ) του πρώτου σταδίου της αποδιαμόρφωσης και Δ) του τελικού σταδίου της αποδιαμόρφωσης.
15. Τι συμβαίνει όταν ο τοπικός ταλαντωτής δεν είναι συγχρονισμένος (πχ όταν η συχνότητά του είναι 20Hz αντί για 10Hz)
 16. Ποιο είναι το κύριο πλεονέκτημα και ποιο το μειονέκτημα της AM καταπιεσμένου φέροντος σε σχέση με την απλή AM.
 17. Δικαιολογήστε τα αρχικά: AM-DSBSC
 18. Αν θέλουμε να έχουμε διαμόρφωση με μικρότερο εύρος ζώνης τι λύση μπορούμε να ακολουθήσουμε και πώς μπορούμε να την υλοποιήσουμε;
 19. Υλοποιήστε μια τέτοια διαμόρφωση. Πώς την ονομάζουμε και γιατί;
 20. Σχεδιάστε το φάσμα και την κυματομορφή της και συγκρίνετέ τα με αυτά των προηγούμενων διαμορφώσεων.
 21. Εισάγετε κανάλι με AWGN θόρυβο. Επηρεάζεται και αν ναι, πώς η AM διαμόρφωση/αποδιαμόρφωση από τον θόρυβο;