

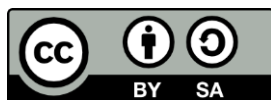
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ**

ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ 1

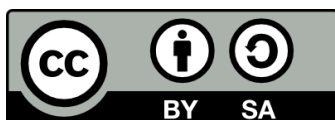
Δρ. ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ ΠΑΠΑΤΣΩΡΗΣ
Καθηγητής

ΣΕΡΡΕΣ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2015



Άδειες Χρήσης

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Το έργο αυτό αδειοδοτείται από την Creative Commons Αναφορά Δημιουργού - Παρόμοια Διανομή 4.0 Διεθνές Άδεια. Για να δείτε ένα αντίγραφο της άδειας αυτής, επισκεφτείτε <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.el>.

Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.

Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.

Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



4 Μονοπλευρικές Επικοινωνίες

Στο κεφάλαιο 2 διαπιστώσαμε ότι η διαμόρφωση ενός φορέα κατά πλάτος από ένα απλό ημιτονικό σήμα δημιουργεί τρεις διαφορετικές συχνοτικές συνιστώσες: τον φορέα του οποίου το πλάτος παραμένει σταθερό, μια συχνότητα ίση με τη διαφορά της συχνότητας του φορέα και της συχνότητας διαμόρφωσης με πλάτος που μπορεί να φθάσει μέχρι το μισό του διαμορφώνοντος σήματος, και μια συχνότητα ίση με το άθροισμα της συχνότητας του φορέα και της συχνότητας διαμόρφωσης με πλάτος που μπορεί να φθάσει επίσης μέχρι το μισό του διαμορφώνοντος σήματος. Επίσης παρατηρήσαμε ότι ο φορέας δεν μεταφέρει πληροφορία εφόσον ούτε η συχνότητα ούτε το πλάτος του αλλάζουν. Εν τούτοις, στην καθιερωμένη διαμόρφωση ΑΜ ένα μεγάλο ποσοστό της ισχύος καταναλίσκεται στο φορέα.

4.1 Διπλοπλευρική Επικοινωνία - DSB

Μία μέθοδος για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα είναι απλά με την συμπίεση του φορέα. Συμπιέζοντας το φορέα προκύπτει ένα σήμα το οποίο αποτελείται από την άνω και κάτω πλευρική ζώνη, το οποίο ονομάζεται **διπλοπλευρικό (double side band – DSB)**. Το διπλοπλευρικό σήμα είναι απλώς το αλγεβρικό άθροισμα των δύο πλευρικών ζωνών. Στην περίπτωση που το διαμορφώνον είναι ένα απλό ημιτονοειδές σήμα, το διπλοπλευρικό σήμα είναι μεν ένα ημιτονικό σήμα στη συχνότητα του φορέα, η περιβάλλουσά του όμως δεν είναι ίδια με το διαμορφώνον σήμα όπως στην περίπτωση ενός ΑΜ σήματος με φορέα. Στο πεδίο της συχνότητας το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το DSB σήμα είναι το ίδιο με αυτό του κλασικού ΑΜ σήματος.

Σήματα DSB με συμπιεσμένο φορέα παράγονται από τον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, ο οποίος όπως έχουμε ήδη αναφέρει χρησιμοποιείται στα κυκλώματα σύγχρονης ανίχνευσης. Η αποστολή του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή είναι η παραγωγή του αθροίσματος και της διαφοράς των συχνοτήτων του φορέα και της πληροφορίας και ταυτόχρονα η αναιρέση ή η ισοστάθμιση του φορέα. Η κατάργηση

του φορέα από την DSB AM διαμόρφωση συνεπάγεται σημαντική εξοικονόμηση ισχύος.

4.2 Μονοπλευρική Επικοινωνία - SSB

Μια προσεκτικότερη όμως επισκόπηση του παραγομένου DSB σήματος αποκαλύπτει ότι η βασική πληροφορία εκπέμπεται διπλά και ταυτόχρονα τόσο στην κάτω όσο και στην άνω πλευρική ζώνη. Όπως εύκολα συνάγεται περαιτέρω συμπίεση μπορεί να εφαρμοστεί σε μία από τις δύο πλευρικές ζώνες με αποτέλεσμα την παραγωγή της λεγόμενης **μονοπλευρικής διαμόρφωσης (single side band – SSB)**. Η διαμόρφωση SSB προσφέρει μια σειρά σημαντικών πλεονεκτημάτων έναντι της DSB.

Το πρώτο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι το εύρος ζώνης που καταλαμβάνει το σήμα SSB σε σχέση με αυτό που καταλαμβάνουν τα AM ή DSB σήματα είναι ακριβώς το μισό. Η εξοικονόμηση του εύρους ζώνης αφενώς επιτρέπει την εκπομπή περισσότερων σημάτων στην ίδια περιοχή συχνοτήτων, και αφετέρου μειώνει τις πιθανότητες παραμβολής μεταξύ σημάτων. Επιπροσθέτως η μείωση του εύρους ζώνης εκπομπής συνεπάγεται και την μείωση της στάθμης του θερμικού θορύβου στον αντίστοιχο δέκτη. Το δεύτερο σημαντικό πλεονέκτημα είναι ότι όλη η ισχύς που προηγουμένως είχε ο φορέας και η άλλη πλευρική ζώνη μπορεί τώρα να διοχετευθεί στην εναπομείνουσα πλευρική, παράγοντας ένα πιο ισχυρό σήμα με μεγαλύτερη ακτίνα κάλυψης. Επίσης, οι σημαντικά μικρότερες ενεργειακές απαιτήσεις της SSB ευνοούν εφαρμογές συστημάτων κινητών επικοινωνιών, διότι συνεπάγονται τη μείωση του μέγεθος των συσκευών και την αύξηση της ζωής της μπαταρίας. Το τρίτο σημαντικό πλεονέκτημα των SSB σημάτων είναι ότι η λήψη τους υποφέρει πολύ λιγότερες διακυμάνσεις απ' ότι ένα AM ή DSB σήμα. Ο λόγος για αυτό είναι ότι ο φορέας και οι πλευρικές συχνότητες μπορεί να φθάνουν στο δέκτη με χρονική και φασική διαφορά μεταξύ τους. Ο φορέας και οι πλευρικές συχνότητες επηρεάζονται διαφορετικά από την Ιονόσφαιρα με αποτέλεσμα τα ανακλώμενα κύματα να επιστρέφουν στην επιφάνεια της γης με χρονική καθυστέρηση και

διαφορετικές φάσεις. Ο συνδυασμός των κυμάτων αυτών μπορεί να οδηγήσει ακόμα και στην αλληλοαναιρέση του ωφέλιμου σήματος.

4.2.1 Κατανομή ισχύος στην SSB

Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό του σήματος SSB είναι ότι όταν δεν υπάρχει πληροφορία, δηλαδή διαμορφώνον σήμα, δεν εκπέμπεται RF ισχύς. Για το λόγο αυτό στην SSB η έξοδος του πομπού εκφράζεται σε συνάρτηση με τη **μέγιστη ισχύ περιβάλλουσας (peak envelope power – PEP)**. Η PEP είναι η μέγιστη ισχύς που αντιστοιχεί στα μέγιστα πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος και υπολογίζεται από τη γνωστή έκφραση:

$$(4.1) \quad PEP = \frac{V_{rms}^2}{R} = \frac{\left(\frac{V_{p-p}}{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}{R} = \frac{V_{p-p}^2}{8 \cdot R},$$

όπου V_{rms} και V_{p-p} η ενεργός και η από κορυφή σε κορυφή τιμή του πλάτους της τάσης, αντίστοιχα και R η αντίσταση φορτίου (συνήθως η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της κεραίας).

Η PEP ισχύς εισόδου είναι η dc ισχύς εισόδου της τελικής βαθμίδας ενίσχυσης του πομπού τη στιγμή του μεγίστου της περιβάλλουσας του διαμορφώνοντος σήματος. Τότε, η PEP δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

$$(4.2) \quad PEP = \frac{V_s}{I_{max}},$$

όπου V_s είναι η τάση τροφοδοσίας του ενισχυτή και I_{max} η μέγιστη τιμή του ρεύματος. Η μέση τιμή της ισχύος ενός SSB πομπού είναι γενικά πολύ μικρότερη από την τιμή PEP. Ειδικότερα, για την περίπτωση που το διαμορφώνον σήμα είναι ανθρώπινη ομιλία η μέση ισχύς P_{avg} κυμαίνεται μεταξύ του 25% και 33% της PEP, δηλαδή $\frac{PEP}{4} \leq P_{avg} \leq \frac{PEP}{3}$.

4.2.2 Είδη διαμόρφωσης SSB

Διάφοροι τύποι διαμόρφωσης SSB έχουν αναπτυχθεί. Οι πιο σημαντικοί παραθέτονται παρακάτω:

1. Η τυποποιημένη SSB στην οποία ο φορέας και μια πλευρική ζώνη έχουν πλήρως συμπίεσει.
2. Η μονοπλευρική διαμόρφωση συμπίεσμένου φορέα (single side band suppressed carrier – SSSC), στην οποία η μία πλευρική ζώνη έχει πλήρως αποκοπεί και ο φορέας έχει συμπίεσει σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο. Ο συμπίεσμένος φορέας μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο δέκτη ως σήμα αναφοράς, για AGC, για αυτόματο έλεγχο συχνότητας (automatic frequency control – AFC), και σε σπάνιες περιπτώσεις για την αποδιαμόρφωση της πλευρικής ζώνης. Συχνά ο συμπίεσμένος φορέας ονομάζεται και πιλοτικός (pilot carrier).
3. Η διαμόρφωση ανεξάρτητων πλευρικών (independent side band – ISB), στην οποία κάθε πλευρική ζώνη μεταφέρει διαφορετική πληροφορία ενώ ο φορέας έχει συμπίεσει σε κάποιο επιθυμητό επίπεδο. Η διαμόρφωση ISB χρησιμοποιείται κυρίως για στρατιωτικές εφαρμογές.
4. Η διαμόρφωση ασύμμετρης πλευρικής ζώνης (vestigial side band – VSB), στην οποία μεταδίδονται πλήρως ο φορέας και η μία πλευρική και συμπιέζεται εντός συγκεκριμένου εύρους συχνοτήτων η άλλη πλευρική.
5. Η μονοπλευρική διαμόρφωση συμπίεσμένου πλάτους (amplitude-compandored single side band – ACSSB). Η διαμόρφωση αυτή είναι μια παραλλαγή της SSSC στην οποία το σήμα της πληροφορίας συμπιέζεται στο πομπό και αποσυμπιέζεται στο δέκτη. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η αύξηση του δυναμικού εύρους της μετάδοσης.

4.2.3 Τυπικές Χρήσεις DSB και SSB Επικοινωνιών

Τόσο η τεχνική DSB όσο και η τεχνική SSB χρησιμοποιούνται ευρέως στις επικοινωνίες. Τα SSB σήματα χρησιμοποιούνται σε τηλεφωνικά συστήματα καθώς επίσης σε ραδιοεπικοινωνίες δύο κατευθύνσεων, όπως για παράδειγμα στη ναυτική υπηρεσία, σε στρατιωτικές εφαρμογές. Επίσης χρησιμοποιούνται ευρέως και από

ραδιοερασιτέχνες, ιδιαίτερα για την εκπομπή ερασιτεχνικού προγράμματος στη ζώνη HF.

Τα DSB σήματα χρησιμοποιούνται στις FM και TV εκπομπές για την εκπομπή στερεοφωνικών σημάτων. Επίσης βρίσκουν εφαρμογή σε μερικούς τύπους ψηφιακής διαμόρφωσης PSK (phase shift keying) για μετάδοση δυαδικών δεδομένων. Η ιδιαίτερα ασυνήθιστη μορφή διαμόρφωσης VSB απαντάται στις τηλεοπτικές εκπομπές. Το τηλεοπτικό σήμα αποτελείται από το σήμα εικόνας και το σήμα ήχου, τα οποία όμως μεταδίδονται σε διαφορετική συχνότητα φορέα. Ο φορέας του σήματος του ήχου είναι διαμορφωμένος κατά συχνότητα, αλλά το σήμα της εικόνας είναι διαμορφωμένο κατά πλάτος. Στη χώρα μας το σήμα της εικόνας καταλαμβάνει εύρος ζώνης μέχρι και 5.5MHz. Προκειμένου το εκπεμπόμενο εύρος ζώνης να διατηρηθεί σε λογικά επίπεδα, εκπέμπεται ο φορέας εικόνας αλλά η μια πλευρική ζώνη συμπιέζεται μερικώς (δηλαδή σήματα συχνότητας υψηλότερης από τους 1.25MHz αποκόπτονται), ώστε το τελικό εύρος ζώνης να μην ξεπερνά τους 7MHz. Η απόσταση μεταξύ των φορέων εικόνας και ήχου είναι σταθερή στους 5.5MHz.

4.3 Παραγωγή SSB

Για την παραγωγή σημάτων SSB απαιτείται κατά πρώτον η συμπίεση ή η πλήρης αποκοπή του φορέα και κατά δεύτερον η πλήρης αποκοπή μιας πλευρικής ζώνης. Η αποκοπή του φορέα επιτυγχάνεται με τον ισοσταθμισμένο διαμορφωτή, μια διάταξη της οποίας η αρχή λειτουργίας παρουσιάζεται στο Σχήμα 4-1. Στο κύκλωμα αυτό, ο φορέας εφαρμόζεται στις πύλες των Q1 και Q2 συμφασικά. Έτσι, η τάση στις πύλες των Q1 και Q2 παρακολουθεί το πρόσημο της τάσης RF, αλληλοαναιρώντας στον μετασχηματιστή εξόδου T₂ τα ιδίου πλάτους αλλά αντίθετου προσήμου προκύπτοντα ρεύματα, οδηγώντας πρακτικά στην συμπίεση του φορέα. Όσον αφορά στο διαμορφώνον σήμα, αυτό εφαρμόζεται στις δύο πύλες με τον συμβατικό τρόπο εφαρμογής σε έναν push-pull ενισχυτή, δηλαδή η τάση του διαμορφώνοντος εφαρμόζεται στις δύο πύλες με αντίθετο πρόσημο. Το αποτέλεσμα είναι ροή

ρεύματος ίδιας κατεύθυνσης ανεξάρτητα της πολικότητας της τάσης εισόδου και επομένως δεν υπάρχει αναίρεση στην έξοδο του κυκλώματος.



Σχήμα 4-1. Διάγραμμα και αρχή λειτουργίας ισοσταθμισμένου διαμορφωτή με FET.

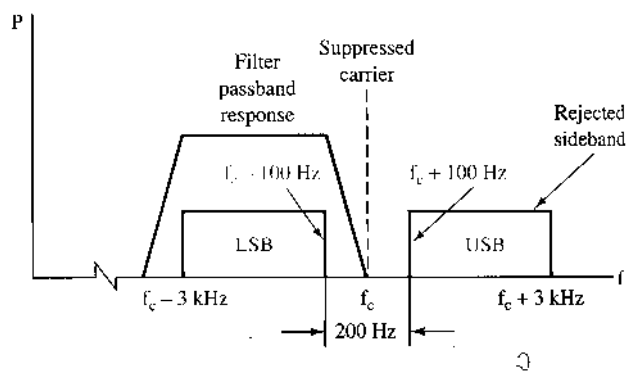
Όταν το διαμορφώνον και ο φορέας εφαρμόζονται ταυτόχρονα, είτε το ένα είτε το άλλο FET άγει ισχυρά, ανάλογα με το ποιο είναι ορθά πολωμένο από την τάση του διαμορφώνοντος (Ουσιαστικά η τάση του διαμορφώνοντος ενεργεί ως μεταβλητή πόλωση). Λόγω της λειτουργίας των FET στην μη γραμμική περιοχή λειτουργίας, στην έξοδο του κυκλώματος εμφανίζονται το άθροισμα και η διαφορά των συχνοτήτων του φορέα και του διαμορφώνοντος, δηλαδή έχουμε την παραγωγή ενός DSB σήματος.

Η επίτευξη μεγάλης συμπίεσης του φορέα με το κύκλωμα του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή με διακριτά στοιχεία είναι πάρα πολύ δύσκολη λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών των FETs. Η επίτευξη τρανζίστορ με τα ίδια χαρακτηριστικά δεν είναι ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα στα ολοκληρωμένα κυκλώματα διότι αυτά κατασκευάζονται πάνω στο ίδιο υπόστρωμα. Έτσι πλέον τα κυκλώματα

ισοσταθμισμένων διαμορφωτών υλοποιούνται με ολοκληρωμένα, όπως για παράδειγμα το IC LM1596 της National Semiconductor Corp.

4.3.1 Φίλτρα SSB

Μετά την απόρριψη του φορέα από το κύκλωμα του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή απαιτείται η απόρριψη της μιας εκ των δύο πλευρικών ζωνών για την παραγωγή σήματος SSB. Η απόρριψη απαιτεί την χρήση ενός φίλτρου με ιδιαίτερα μεγάλη κλίση αποκοπής, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται στο Σχήμα 4-2.



Σχήμα 4-2. Συμπίεση πλευρικής ζώνης για την παραγωγή σήματος SSB.

Το τυπικό εύρος ζώνης της ανθρώπινης ομιλίας εκτείνεται από 100Hz έως 3kHz. Επομένως, η άνω και κάτω πλευρική ζώνη του DSB σήματος απέχουν μεταξύ τους 200Hz. Ο συντελεστής οξύτητας του φίλτρου Q εξαρτάται από την συχνότητα του φορέα f_c , το εύρος ζώνης που διαχωρίζει τις δύο πλευρικές ζώνες Δf και βέβαια από το επιθυμητό επίπεδο απόσβεσης της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης. Δίδεται δε από την σχέση:

$$(4.3) \quad Q = \frac{f_c \cdot \sqrt{\log_{10}^{-1}\left(\frac{SL}{20}\right)}}{4 \cdot \Delta f},$$

όπου SL είναι το επιθυμητό επίπεδο συμπίεσης της ζώνης σε dB. Όπως βλέπουμε ο παράγοντας οξύτητας Q είναι ανάλογος της συχνότητας και ακόμα και για την περίπτωση της κλασσικής ραδιοφωνίας μεσαίων κυμάτων απαιτούνται εξαιρετικά υψηλές τιμές του Q (100,000 και πλέον!). Επομένως, η χρήση κρυσταλλικών φίλτρων

για την συμπίεση της πλευρικής ζώνης είναι επιβεβλημένη και μάλιστα σε μια βολική συχνότητα, όπως π.χ. 100kHz. Στη συνέχεια, το SSB σήμα μεταφέρεται με την διαδικασία της μίξης στη συχνότητα του φορέα στην οποία και εκπέμπεται. Είναι φανερό ότι τόσο οι SSB πομποί, όσο και οι δέκτες απαιτούν πολύ ευαίσθητα και ιδιαίτερα επιλεκτικά ζωνοδιαβατά φίλτρα στην περιοχή συχνοτήτων από 100kHz έως 500kHz. Οι απαιτήσεις αυτές ικανοποιούνται από κρυσταλλικά, κεραμικά και μηχανικά φίλτρα όπως επίσης και από φίλτρα επιφανειακού ακουστικού κύματος (surface acoustic wave – SAW).

4.3.1.1 Υλοποίηση πομπού SSB με τη μέθοδο του φίλτρου

Στο Σχήμα 4-3 παρουσιάζεται ένα μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού πομπού SSB, που χρησιμοποιεί ισοσταθμισμένο διαμορφωτή για την παραγωγή του σήματος DSB και φίλτρα για την απόρριψη της μιας εκ των δύο πλευρικών ζωνών.



Σχήμα 4-3. Μπλοκ διάγραμμα πομπού SSB.

Για λόγους απλότητας στην είσοδο του πομπού εφαρμόζεται ένας τόνος συχνότητας 2kHz. Ο τόνος αυτός ενισχύεται και στη συνέχεια μειγνύεται με ένα φορέα 100kHz σε έναν ισοσταθμισμένο διαμορφωτή. Η έξοδος του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή, δηλαδή οι συχνότητες 98kHz και 102kHz, φιλτράρεται για να προκύψει το SSB σήμα, το οποίο μειγνύεται και πάλι μέσω ενός ισοσταθμισμένου διαμορφωτή στην

επιθυμητή συχνότητα μετάδοσης (3MHz στο παράδειγμα αυτό). Στην έξοδο του ισοσταθμισμένου διαμορφωτή έχουμε και πάλι ένα DSB σήμα, του οποίου όμως το εύρος ζώνης που διαχωρίζει τις δύο πλευρικές του είναι τώρα περίπου 200kHz. Η απομάκρυνση της μιας εκ των δύο πλευρικών μπορεί πια να επιτευχθεί με τη χρήση ενός απλού LC φίλτρου, αφού ο απαιτούμενος συντελεστής Q είναι αρκετά χαμηλός.

4.3.2 Παραγωγή SSB με τη μέθοδο της φάσης

Ένας εναλλακτικός τρόπος παραγωγής SSB είναι με την μέθοδο της φάσης. Η μέθοδος της φάσης βασίζεται στο γεγονός ότι η άνω και κάτω πλευρικές ζώνες ενός σήματος AM διαφέρουν στο πρόσημο της γωνίας φάσης των. Αυτό σημαίνει ότι η ολισθήση φάσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εξάλειψη μιας πλευρικής του DSB σήματος. Η αρχή λειτουργίας του ολισθητή φάσης παρουσιάζεται στο Σχήμα 4-4.



Σχήμα 4-4. Παραγωγή SSB με την μέθοδο της φάσης.

Έστω ότι το διαμορφώνον είναι ένα καθαρό συνημιτονικό σήμα. Τότε στην έξοδο του 1^{ου} ισοσταθμισμένου διαμορφωτή θα έχουμε:

(4.4)

$$f_{DSB1}(t) = \cos(2\pi f_i \cdot t) \cdot \cos(2\pi f_c \cdot t) = \frac{1}{2} [\cos(2\pi(f_c + f_i) \cdot t) + \cos(2\pi(f_c - f_i) \cdot t)],$$

όπου f_i και f_c οι συχνότητες της πληροφορίας και του φορέα, αντίστοιχα. Με ανάλογο τρόπο και μετά την ολίσθηση φάσης των αρχικών σημάτων κατά 90° , στην έξοδο του 2^{ου} ισοσταθμισμένου διαμορφωτή θα έχουμε:

$$(4.5) f_{DSB2}(t) = \sin(2\pi f_i \cdot t) \cdot \sin(2\pi f_c \cdot t) = \frac{1}{2} [\cos(2\pi(f_c - f_i) \cdot t) - \cos(2\pi(f_c + f_i) \cdot t)],$$

και προσθέτοντας τα δύο DSB σήματα προκύπτει:

$$(4.6) f_{DSB1}(t) + f_{DSB2}(t) = \cos(2\pi(f_c - f_i) \cdot t),$$

που είναι ουσιαστικά ένα SSB σήμα. Στη συνέχεια το σήμα οδηγείται στην είσοδο ενός γραμμικού ενισχυτή όπου ενισχύεται και τελικά εκπέμπεται από την κεραία.

Η παραγωγή SSB με τη μέθοδο της φάσης έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα σε σχέση με την μέθοδο του φίλτρου:

1. Δεν χρειάζονται ακριβά φίλτρα υψηλού Q.
2. Υπάρχει μεγαλύτερη ευελιξία ως προς την επιλογή της μιας ή της άλλης πλευρικής ζώνης.
3. Η παραγωγή της SSB καθίσταται δυνατή ακριβώς στην απαιτούμενη συχνότητα μετάδοσης και επομένως δεν υφίσταται ανάγκη για ενδιάμεσους ισοσταθμισμένους διαμορφωτές.
4. Ο χειρισμός των σημάτων πληροφορίας χαμηλού συχνοτικού περιεχομένου είναι πολύ πιο εύκολος διότι δεν υπάρχει απαίτηση για φίλτρα υψηλού Q.

Παρά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου της φάσης έναντι της μεθόδου με τα φίλτρα, έχει κι ένα σημαντικό μειονέκτημα, το οποίο συνίσταται στη σχεδίαση του δικτύου που ολισθαίνει τη φάση κατά 90° . Η ολίσθηση της φάσης του φορέα κατά 90° πραγματοποιείται πολύ εύκολα καθότι ο φορέας είναι ένα σήμα μιας και μόνο συχνότητας. Στην περίπτωση όμως της πληροφορίας, είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επιτευχθεί ολίσθηση φάσης ακριβώς 90° για όλες τις συχνοτικές συνιστώσες που την απαρτίζουν. Η ολίσθηση φάσης είναι μια ιδιαίτερα κρίσιμη παράμετρος αφού για παράδειγμα ολισθαίνοντας τη φάση μιας συχνότητας κατά 88° (λάθος μόνο 2°) έχει ως αποτέλεσμα την συμπίεση της πλευρικής συνιστώσας μόνο κατά 30dB αντί φυσικά της πλήρους αποκοπής που είναι επιθυμητό. Οι σύγχρονες όμως τεχνολογίες

κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αντιμετωπίζουν ολοένα και πιο αποτελεσματικά το πρόβλημα ολίσθησης ολόκληρης ζώνης συχνοτήτων, καθιστώντας τη χρήση της μεθόδου της φάσης για την παραγωγή SSB ολοένα και πιο δελεαστική.

4.4 Αποδιαμόρφωση SSB

Στο Σχήμα 4-5 παρουσιάζονται τρία ημιτονικά σήματα πληροφορίας διαφορετικού πλάτους και συχνότητας και οι αντίστοιχα παραγόμενες κυματομορφές AM, DSB και SSB. Η περιβάλλουσα της DSB μοιάζει με την AM περιβάλλουσα πλήρως ανορθωμένη, ενώ η συχνότητά της είναι διπλάσια αυτής της AM περιβάλλουσας.



Σχήμα 4-5. Κυματομορφές AM, DSB, και SSB για ημιτονικό διαμορφώνον σήμα.

Στο Σχήμα 4-5(d) απεικονίζονται οι παραγόμενες κυματομορφές SSB, οι οποίες είναι καθαρά ημιτονικά σήματα, των οποίων οι συχνότητες είναι είτε το άθροισμα είτε η διαφορά των συχνοτήτων της πληροφορίας και του φορέα. Επομένως, σε ένα δέκτη SSB θα πρέπει κατά κάποιο τρόπο να επανακτηθεί ο φορέας για να καταστεί δυνατή η ανάκτηση της πληροφορίας. Ένας απλός τρόπος για να υλοποιήσουμε ένα SSB δέκτη είναι να χρησιμοποιήσουμε ένα μείκτη όμοιο με αυτόν που χρησιμοποιείται σε ένα τυπικό δέκτη ΑΜ. Όπως έχουμε πει ο μείκτης είναι μια μη γραμμική διάταξη και η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή θα πρέπει να είναι ίση με την συχνότητα του φορέα. Το Σχήμα 4-6 επιδεικνύει την χρήση ενός μείκτη ως αποδιαμορφωτή κυματομορφής SSB.



Σχήμα 4-6. Χρήση ενός μείκτη ως αποδιαμορφωτή σήματος SSB.

Έστω ότι η συχνότητα εισόδου είναι f_{SSB} και $f_{LO} = f_c$. Στην έξοδο του μείκτη θα έχουμε τις συχνότητες $f_{SSB} \pm f_{LO}$, ενώ στην έξοδο του φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων την συχνότητα της πληροφορίας f_i . Η τεχνική αυτή προϋποθέτει την απόλυτη ταύτιση της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή με την συχνότητα του φορέα του σήματος SSB. Εάν οι συχνότητες αυτές δεν είναι ίδιες, τότε η συχνότητα της πληροφορίας δεν θα ανακτηθεί σωστά. Γι αυτό το λόγο οι τοπικοί ταλαντωτές των δεκτών SSB διαθέτουν εξελιγμένα συστήματα αυτόματου ελέγχου συχνότητας (automatic frequency control – AFC). Ο αυτόματος έλεγχος συχνότητας επιτυγχάνεται απλά κι αποτελεσματικά με την προσθήκη ενός πιλοτικού φορέα στο σήμα SSB (οπότε έχουμε πρακτικά SSSC διαμόρφωση). Εναλλακτικά, υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης πολύπλοκων κυκλωμάτων αποκλειστικά στο δέκτη ή η χρήση διατάξεων συνθετών συχνότητας (frequency synthesizers).

4.4.1 Δέκτες SSB

Ένα μπλοκ διάγραμμα ενός τυπικού δέκτη SSB φαίνεται στο Σχήμα 4-7.



Σχήμα 4-7. Μπλοκ διάγραμμα δέκτη SSB.

Στην ουσία, ο δέκτης SSB είναι όμοιος με ένα υπερετεροδύνο δέκτη AM, έχοντας ενισχυτές RF και IF, μείκτες, ανιχνευτή και ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων. Ο συμβατικός ανιχνευτής διόδου έχει αντικατασταθεί από έναν επιπλέον μείκτη και τον αντίστοιχο τοπικό ταλαντωτή. Η εισαγωγή του φορέα στο συγκεκριμένο δέκτη γίνεται στη βαθμίδα της ανίχνευσης, αν και θεωρητικά η εισαγωγή του μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σημείο πριν την αποδιαμόρφωση.

4.5 Προβλήματα

- 1) Ένα σήμα AM έχει ισχύ 1kW όταν είναι πλήρως διαμορφωμένο. Ποια η ισχύς του αν μεταδοθεί ως SSB σήμα;
- 2) Μια SSB μετάδοση οδηγεί μια τάση 121V p-p στην είσοδο κεραίας εμπέδησης 50Ω. Υπολογίστε την PEP.
- 3) Υπολογίστε το Q ενός φίλτρου για την μετατροπή ενός σήματος DSB σε SSB, δεδομένου ότι η συχνοτική 'απόσταση' μεταξύ των δύο πλευρικών ζωνών είναι 300Hz. Το επιθυμητό επίπεδο συμπίεσης φορέα συχνότητας 1.6MHz είναι 60dB. Πως θα μπορούσε η τιμή του Q που προσδιορίσατε να μειωθεί;
- 4) Παραθέστε τις συχνοτικές συνιστώσες ενός σήματος AM συχνότητας φορέα 1MHz διαμορφωμένο από καθαρό ημιτονικό σήμα 1kHz. Ποιο το συχνοτικό

περιεχόμενο αν το ΑΜ σήμα μετατραπεί σε SSB άνω πλευρικής ζώνης¹; Εάν ο φορέας είναι περιττός γιατί απαιτείται η αναπαραγωγή του στο δέκτη SSB;

¹ Το σήμα αυτό ονομάζεται USB (upper side band).