Διαμόρφωση απλής πλευρικής ζώνης (single-sideband SSB)

Διαμόρφωση κατά πλάτος (Ι)

$$\mathrm{c(t)} = \mathrm{A}\cos(2\pi f_c t) \qquad x(t) = [1 + km(t)]$$

$$s(t) = x(t)A\cos(2\pi f_c t)$$

$$s(t) = A[1 + km(t)]\cos(2\pi f_c t)$$

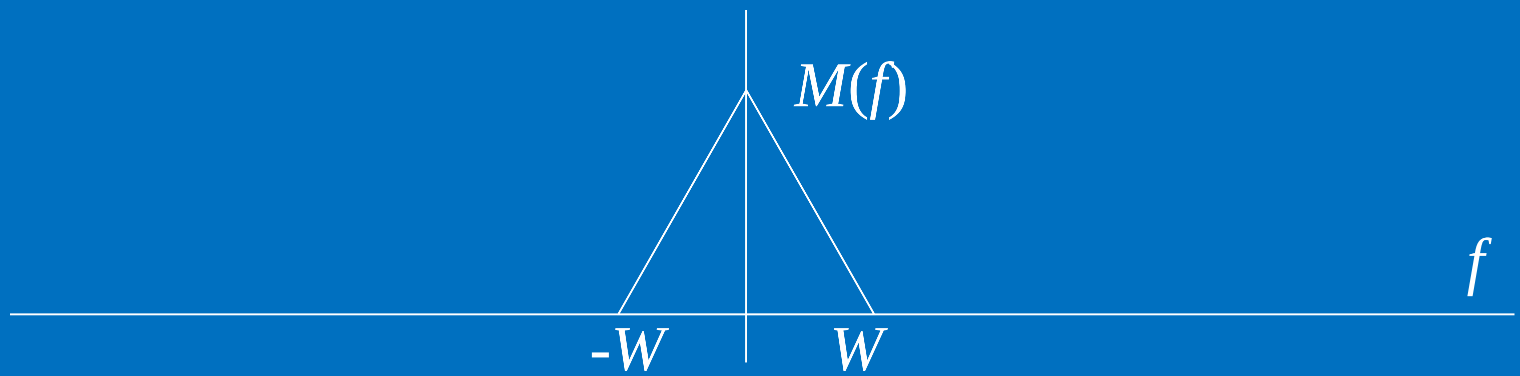
$$|km(t)| < 1 \Rightarrow -1 < km(t) < 1 \Rightarrow 0 < 1 + km(t) < 2$$

m(t): σήμα βασικής ζώνης (σήμα διαμόρφωσης)
c(t): φέρον σήμα
s(t): διαμορφωμένο σήμα
k: ευαισθησία πλάτους διαμορφωτή
Διαμόρφωση: κάποιο χαρακτηριστικό του φέροντος (π.χ. πλάτος) μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα διαμόρφωσης
Ποσοστό Διαμόρφωσης: Απόλυτη τιμή του *km(t)* πολλαπλασιασμένη επί 100

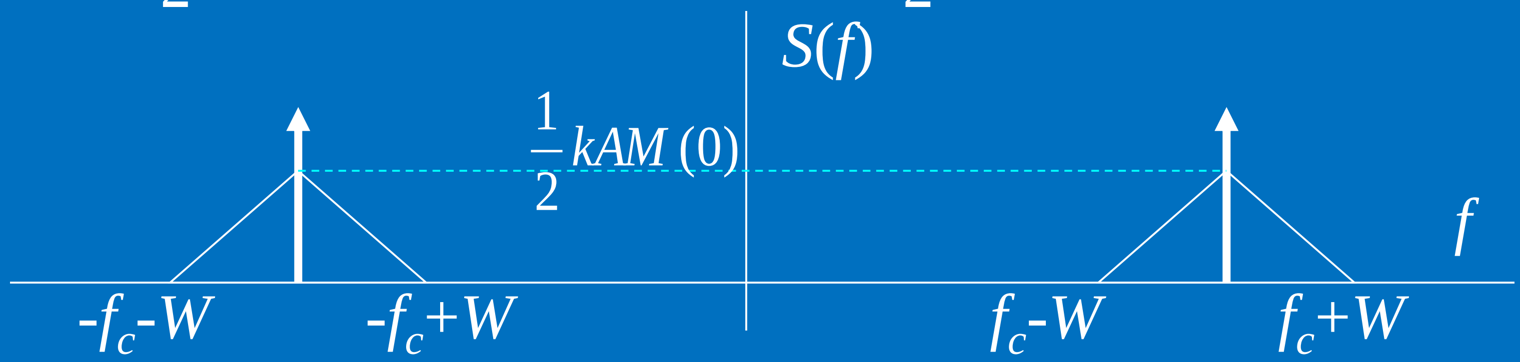
Διαμόρφωση κατά πλάτος

$$s(t) = x(t)\cos(2\pi f_c t) \qquad x(t) = A[1 + km(t)]$$

$$|km(t)| < 1 \Rightarrow -1 < km(t) < 1 \Rightarrow 0 < 1 + km(t) < 2$$



$$S(f) = \frac{A}{2}\left[\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)\right] + \frac{kA}{2}\left[M(f - f_c) + M(f + f_c)\right]$$



Διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης με καταπιεσμένο φέρον (DSBSC)

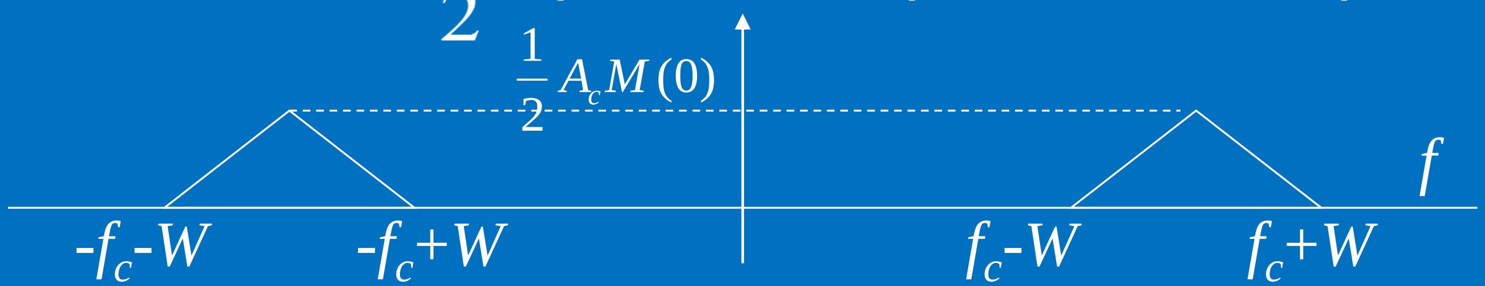
Αρχική παρατήρηση: Η μετάδοση του φέροντος αποτελεί *σπατάλη ισχύος*.

Για να αποφευχθεί μεταδίδεται μόνο το

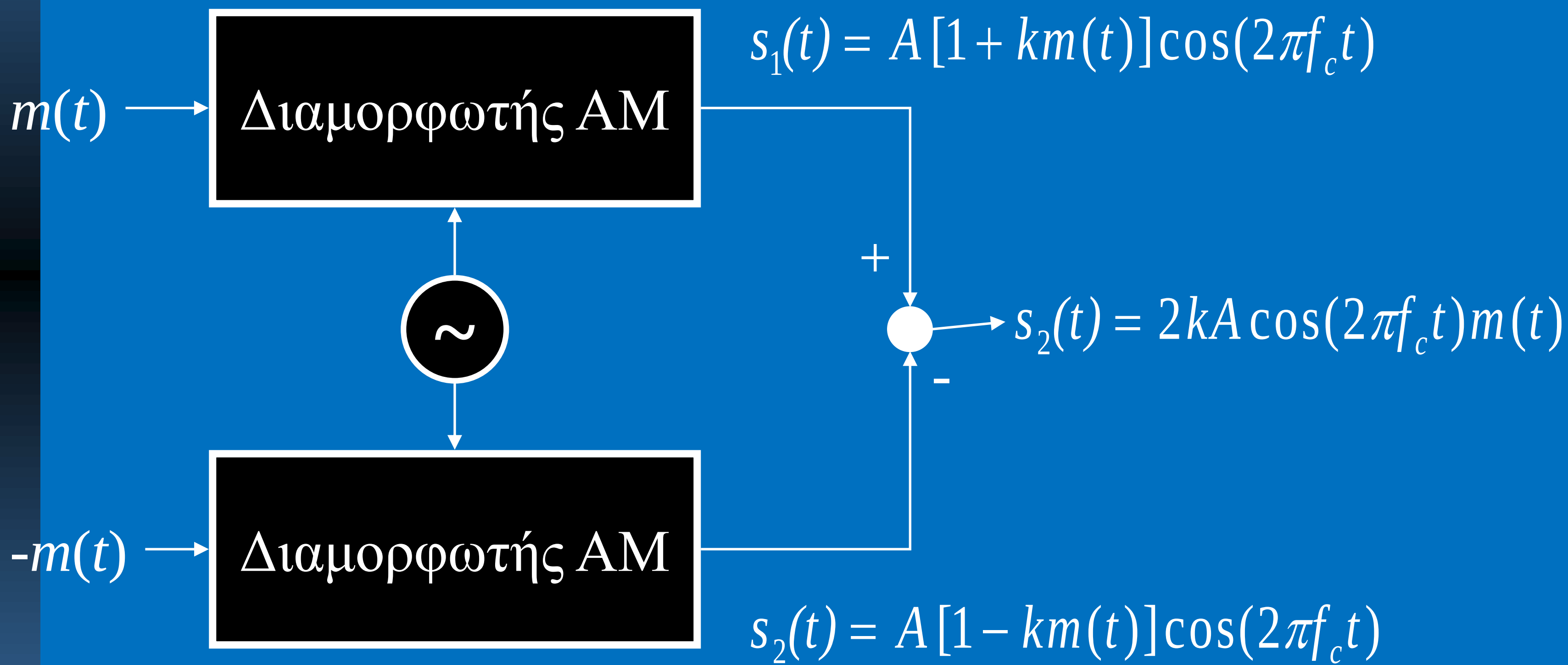
$$s(t) = c(t)m(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)m(t)$$

και στο πεδίο της συχνότητας

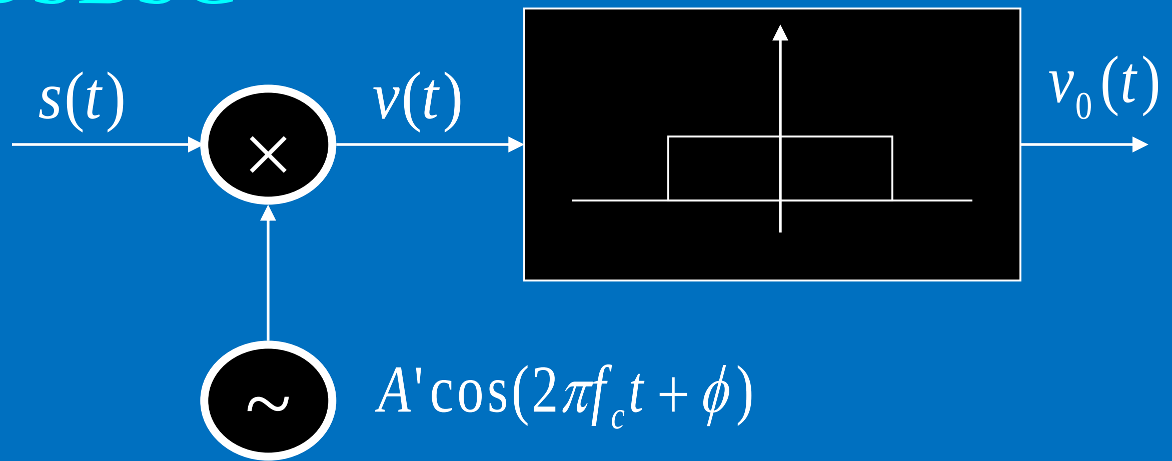
$$S(f) = \frac{1}{2}A_c[M(f - f_c) + M(f + f_c)]$$



Ισορροπημένος διαμορφωτής DSBSC



Ομόδυνη αποδιαμόρφωση κυματομορφών DSBSC



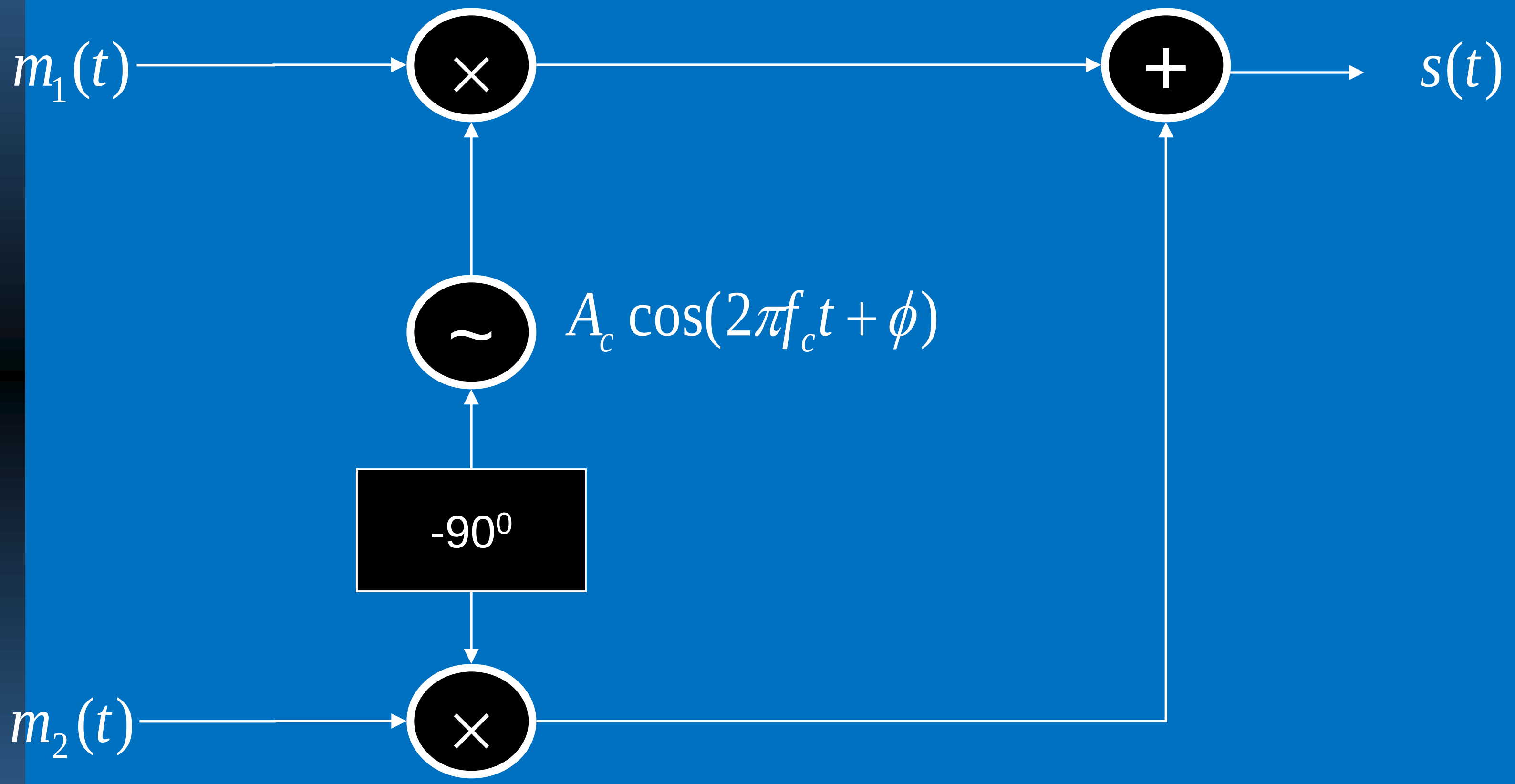
$$v(t) = A'_c \cos(2\pi f_c t + \varphi) s(t) =$$

$$= A'_c \cos(2\pi f_c t + \varphi) A_c \cos(2\pi f_c t) m(t) =$$

$$= \frac{1}{2} A_c A'_c \cos(4\pi f_c t + \varphi) m(t) + \frac{1}{2} A_c A'_c m(t) \cos\varphi$$

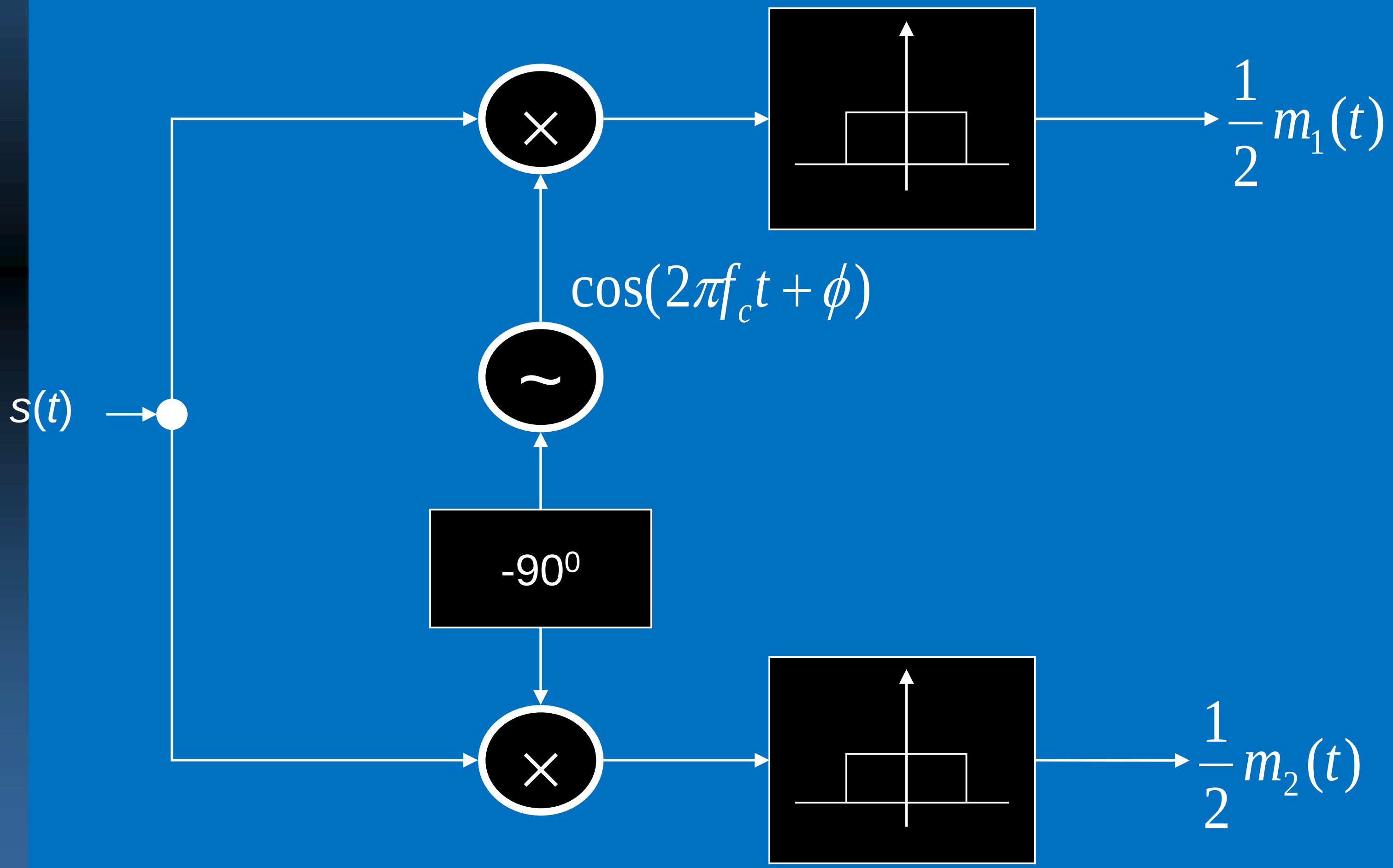
$$\Rightarrow \boxed{v_0(t) = \frac{1}{2} A_c A'_c m(t) \cos\varphi}$$

Ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM)



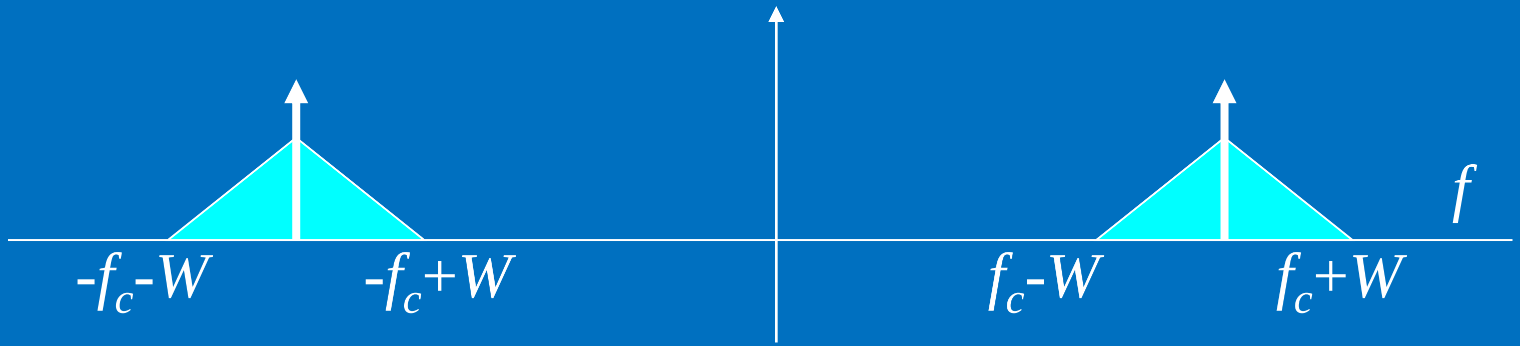
Σήμα εξόδου: $s(t) = A_c m_1(t)\cos(2\pi f_c t + \phi) + A_c m_2(t)\sin(2\pi f_c t + \phi)$

Ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους (QAM): Αποδιαμορφωτής

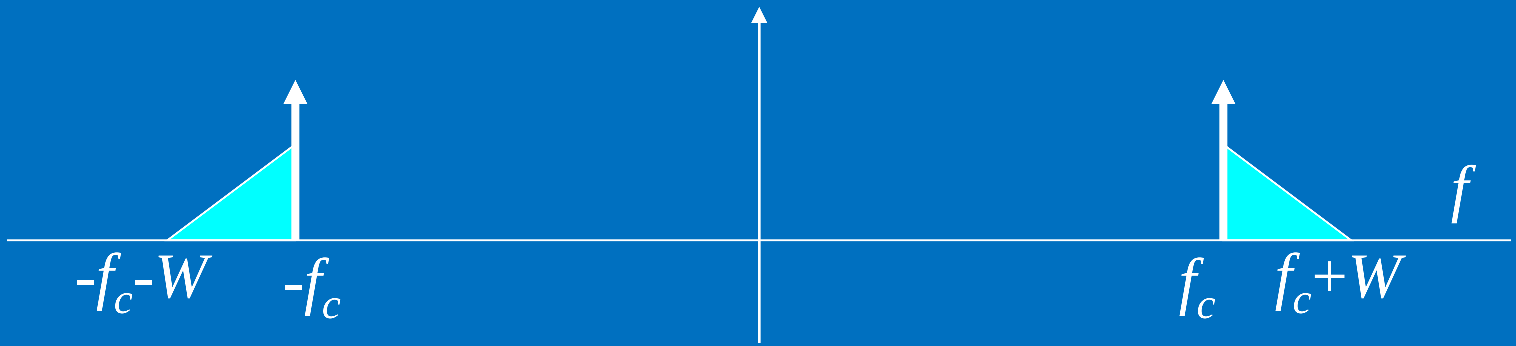


Σε τι χρειάζεται η διαμόρφωση απλής πλευρικής (SSB);

Η διαμόρφωση διπλής πλευρικής οδηγεί σε φάσμα ως εξής:



Στις δυο πλευρές εκατέρωθεν της συχνότητας $\pm f_c$ περιέχεται η ίδια πληροφορία. Θα ήταν αρκετό να στείλουμε π.χ. το σήμα



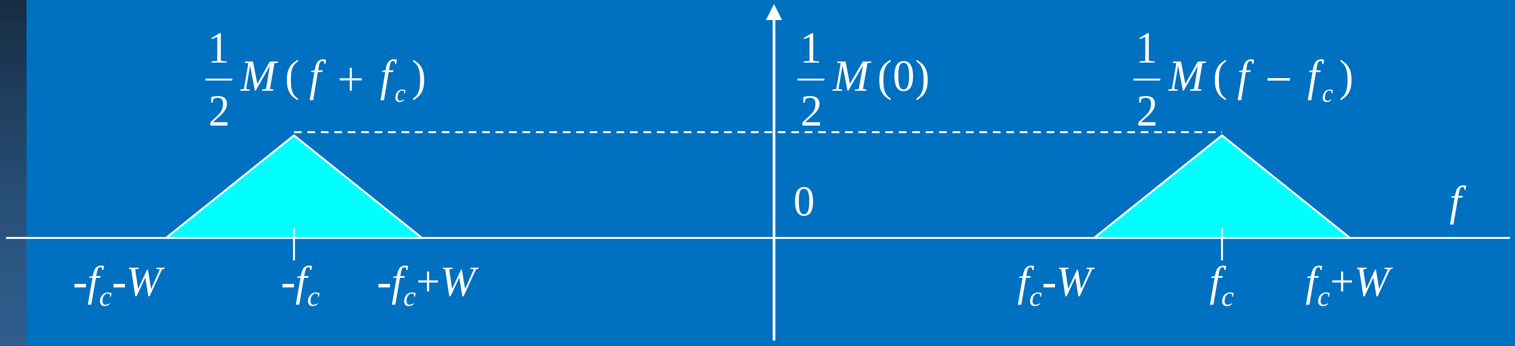
Δημιουργία του σήματος SSB (I)

Αρχίζουμε με ένα σήμα DSBSC:

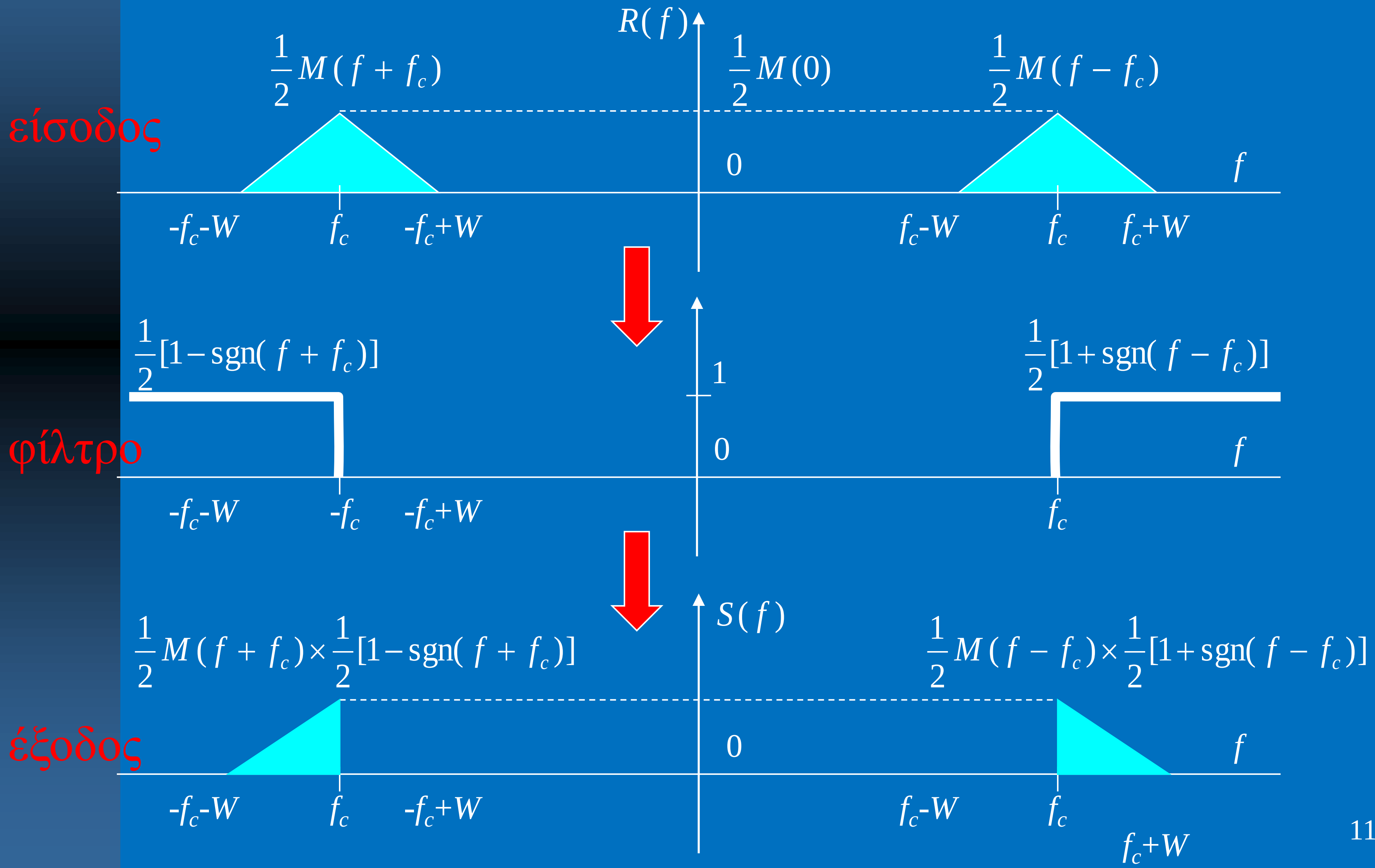
$$r(t) = m(t)\cos 2\pi f_c t = \frac{1}{2}m(t)e^{j2\pi f_c t} + \frac{1}{2}m(t)e^{-j2\pi f_c t}$$

Στο πεδίο της συχνότητας είναι

$$R(f) = \frac{1}{2}M(f - f_c) + \frac{1}{2}M(f + f_c)$$



Δημιουργία του σήματος SSB (II)



Υπολογισμόςτης παράστασης του σήματος SSB

$$S(f) = \frac{1}{4}M(f - f_c)[1 + sgn(f - f_c)] + \frac{1}{4}M(f + f_c)[1 - sgn(f + f_c)]$$

$$\Rightarrow 2s(t) = \frac{1}{2}m(t)e^{j2\pi f_c t} + \frac{1}{2}m(t)e^{-j2\pi f_c t}$$

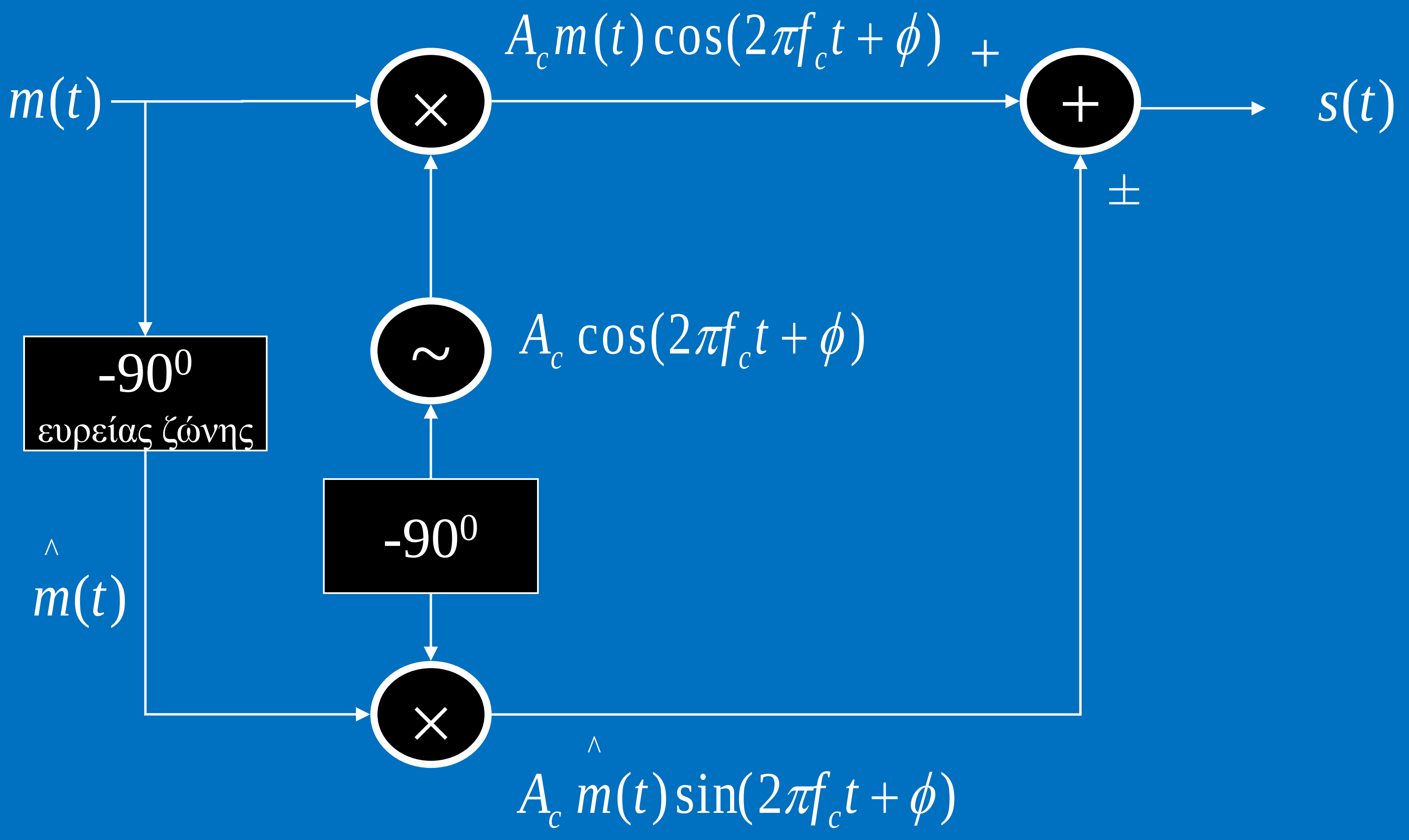
$$-\frac{1}{2j}F^{-1}\{-jsgn(f - f_c)M(f - f_c)\}$$

$$+\frac{1}{2j}F^{-1}\{-jsgn(f + f_c)M(f + f_c)\}$$

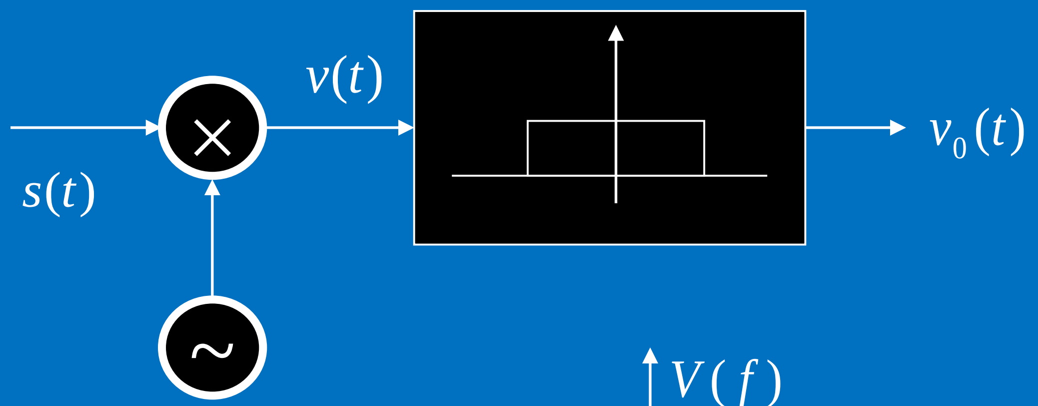
$$\Rightarrow 2s(t) = \frac{1}{2}m(t)e^{j2\pi f_c t} + \frac{1}{2}m(t)e^{-j2\pi f_c t} - \frac{1}{2j}\hat{m}(t)e^{j2\pi f_c t} + \frac{1}{2j}\hat{m}(t)e^{-j2\pi f_c t}$$

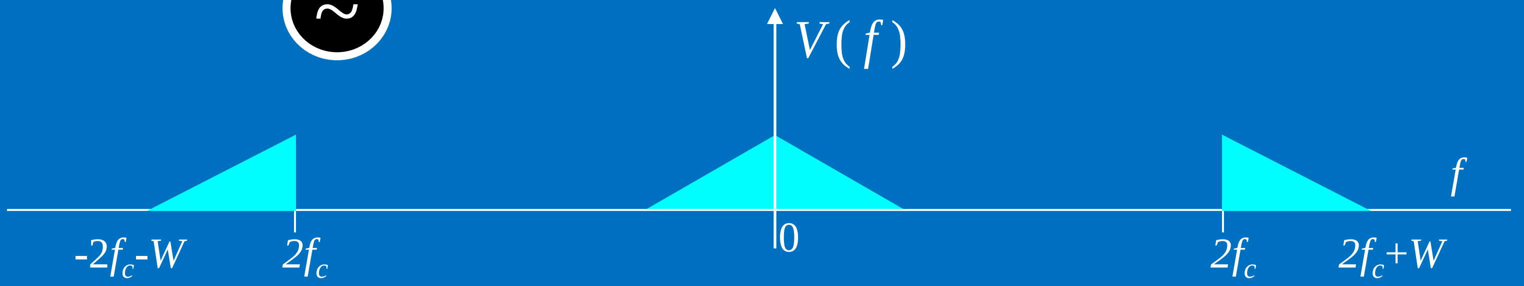
$$\Rightarrow s(t) = \frac{1}{2}m(t)\cos 2\pi f_c t - \frac{1}{2}\hat{m}(t)\sin 2\pi f_c t$$

Παραγωγή SSB με διευκρίνιση φάσης (διαμορφωτής Hartley)



Ομόδυνη φώραση SSB



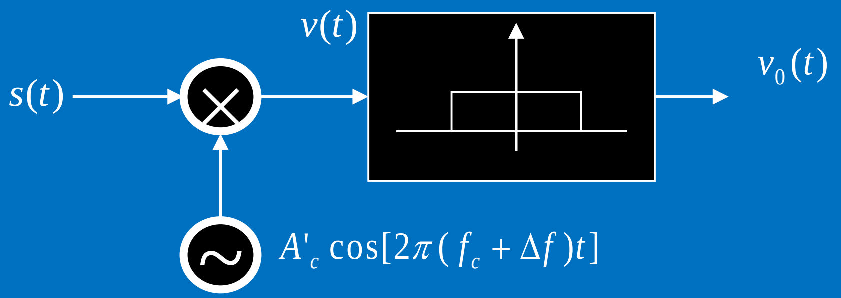


$$v(t) = \frac{1}{2} A'_c\, A_c \cos(2\pi f_c t)[m(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t)] =$$

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

$$\Rightarrow v_0(t) = \frac{1}{4} A'_c\, A_c m(t)$$

Ομόδυνη φώραση SSB με σφάλμα συχνότητας

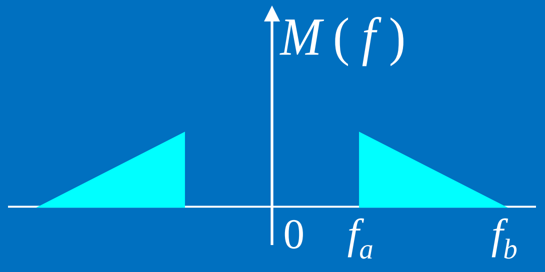


$$v(t)=\frac{1}{2}A'_c\cos[2\pi(f_c+\Delta f)t]A_c[m(t)\cos(2\pi f_c t)-\hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t)]=$$

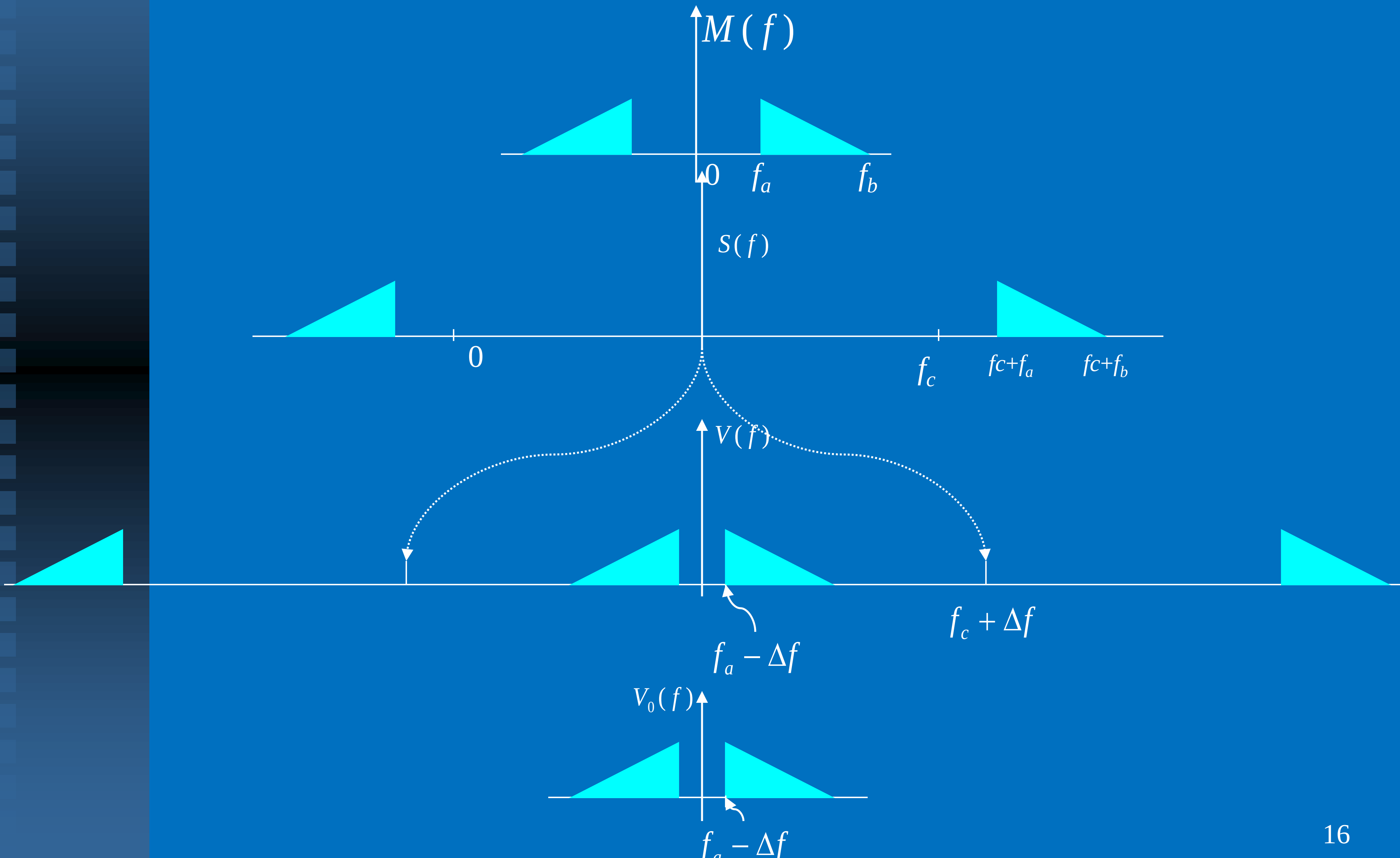
$$=\frac{1}{4}A'_c A_c m(t)\cos(2\pi\Delta f t)+\frac{1}{4}A'_c A_c m(t)\cos[2\pi(2f_c+\Delta f)t]$$

$$-\frac{1}{4}A'_c A_c \hat{m}(t)\sin[2\pi(2f_c+\Delta f)t]+\frac{1}{4}A'_c A_c \hat{m}(t)\sin 2\pi\Delta f t]=$$

$$\Rightarrow v_0(t)=\frac{1}{4}A'_c A_c m(t)\cos(2\pi\Delta f t)+\frac{1}{4}A'_c A_c \hat{m}(t)\sin 2\pi\Delta f t]$$



Ομόδυνη φώραση SSB με σφάλμα συχνότητας (ΙΙ)



Ομόδυνη φώραση SSB με σφάλμα φάσης

$$v(t) = \frac{1}{2} A'_c \cos(2\pi f_c t + \phi) A_c [m(t)\cos(2\pi f_c t) - \hat{m}(t)\sin(2\pi f_c t)] =$$

$$v_0(t) = \frac{1}{4} A'_c A_c m(t)\cos\phi + \frac{1}{4} A'_c A_c \hat{m}(t)\sin\phi$$

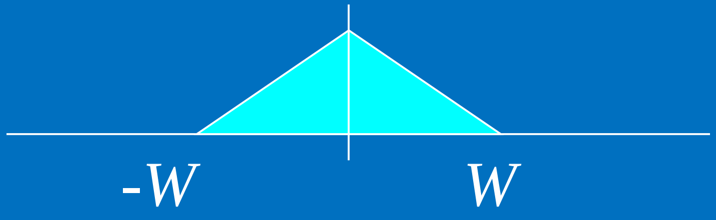
Ορισμένες παρατηρήσεις για το SSB

- Η δημιουργία φίλτρων με απότομο πέρασμα από της ζώνη διέλευσης στη ζώνη φραγής είναι δύσκολη.
- Η διαμόρφωση SSB είναι κατάλληλη όταν το φασματικό περιεχόμενο του σήματος είναι αμελητέο σε μια ζώνη γύρω από το μηδέν, όπως π.χ. συμβαίνει στη φωνή.
- Όταν αυτό δεν συμβαίνει, όπως στο τηλεοπτικό και στο τηλεγραφικό σήμα, η κάτω άκρη της άνω πλευρικής και η άνω άκρη της κάτω πλευρικής συναντώνται γύρω από τη συχνότητα του φέροντος.
- Το γεγονός αυτό κάνει προβληματική την αποδιαμόρφωση.

VSB (Vestigial sideband modulation) Διαμόρφωση υπολειπόμενης πλευρικής ζώνης

Σε αυτό το είδος διαμόρφωσης, που μοιάζει με το SSB, κάθε πλευρική υπερβαίνει λίγο τη συχνότητα φέροντος προκειμένου να υλοποιηθεί πιο εύκολα το φίλτρο αποκοπής της άλλης πλευρικής. Το μεταδιδόμενο κατάλοιπο της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης αντισταθμίζει την ποσότητα που αφαιρείται από την επιθυμητή πλευρική ζώνη. Το εύρος ζώνης μετάδοσης που απαιτείται είναι: $B_T = W + f_v$

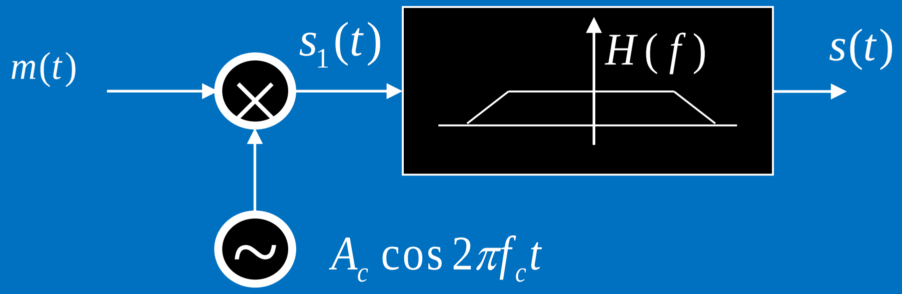
Αν το αρχικό σήμα έχει φάσμα



το διαμορφωμένο σήμα (κάτω πλευρικής) έχει ως εξής:

Συνθήκη για το βαθυπερατό φίλτρο (I)

Η διαμόρφωση VSB επιτυγχάνεται από διέλευση DSBSC μέσω κατάλληλου φίλτρου H(f)



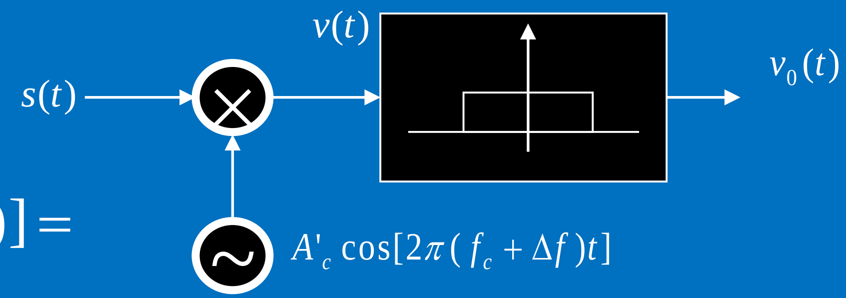
$$s_1(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t)$$

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

Θέλουμε να βρούμε την H(f) ώστε το S(f) να ορίζει ντο φάσμα της επιθυμητής VSB κυματομορφής s(t).

Συνθήκη για το βαθυπερατό φίλτρο (II)

Αποδιαμόρφωση:



$$V(f) = \frac{A'_c}{2}[S(f - f_c) + S(f + f_c)] =$$

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

$$+ \frac{A_c A'_c}{4}[M(f - 2f_c)H(f - f_c) + M(f + 2f_c)H(f + f_c)]$$

Μετά το φίλτρο:

$$V_0(f) = \frac{A_c A'_c}{4} M(f)[H(f - f_c) + H(f + f_c)]$$

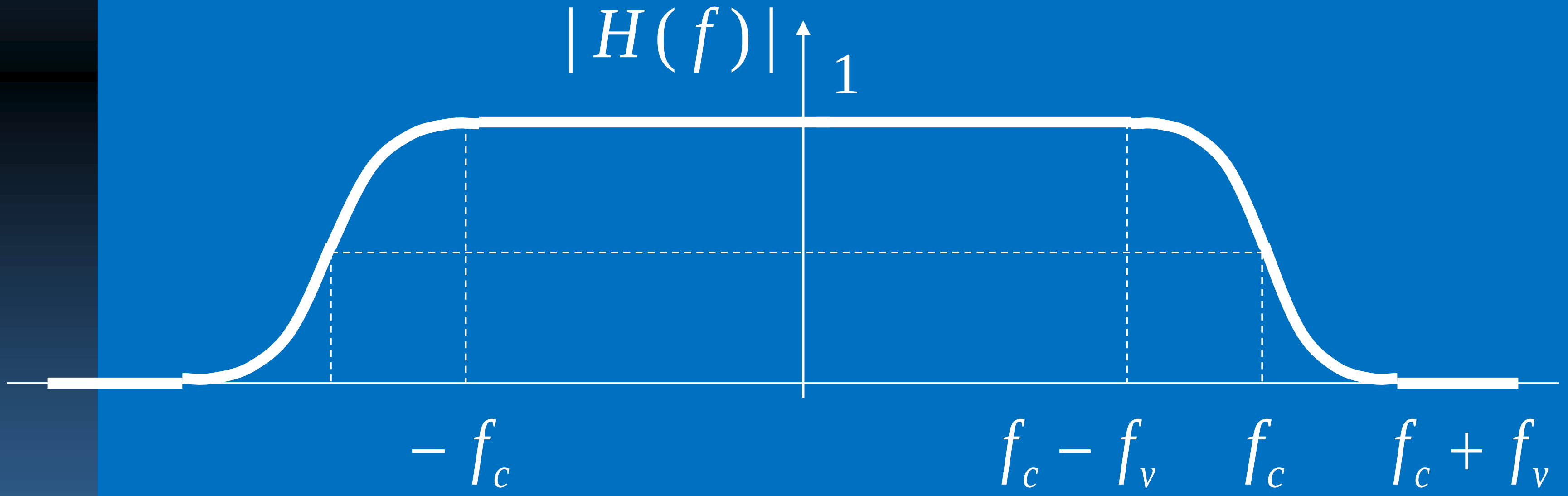
Άρα η συνθήκη είναι

$$H(f - f_c) + H(f + f_c) = \sigma\tau\alpha\theta.(= e^{-j2\pi f \tau_0})$$

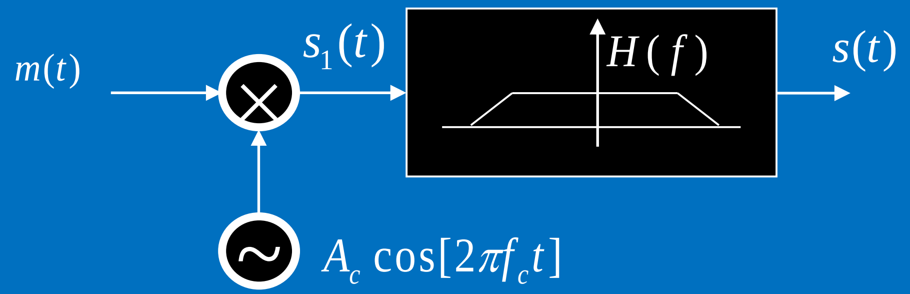
(για $|f| < W$)

Συνθήκη για το βαθυπερατό φίλτρο (ΙΙΙ)

$$H(f - f_c) + H(f + f_c) = \sigma\tau\alpha\theta.$$



Έκφραση του διαμορφωμένου σήματος VSB (I)



$$s(t) = h(t) * A_c m(t) \cos 2\pi f_c t =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) a(t-\tau) \cos[2\pi f_c (t-\tau)] d\tau =$$

$$= \cos 2\pi f_c t \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) a(t-\tau) \cos 2\pi f_c \tau d\tau + \sin 2\pi f_c t \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) a(t-\tau) \sin 2\pi f_c \tau d\tau =$$

$$= \frac{1}{2} a_c(t) \cos 2\pi f_c t + \frac{1}{2} a_s(t) \sin 2\pi f_c t$$

όπου

$$a_c(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) a(t-\tau) \cos 2\pi f_c \tau d\tau$$

$$a_s(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau) a(t-\tau) \sin 2\pi f_c \tau d\tau$$

Έκφραση του διαμορφωμένου σήματος VSB (II)

$$a_c(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)a(t-\tau)\cos 2\pi f_c \tau d\tau$$

Στο πεδίο της συχνότητας

$$a_c(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)a(t-\tau)\cos 2\pi f_c \tau d\tau$$

$$A_c(f) = 2A(f) \times \frac{1}{2}[H(f-f_c) + H(f+f_c)] \Rightarrow$$

$$\frac{A_c(f)}{A(f)} = H(f-f_c) + H(f+f_c) = 1 \Rightarrow$$

$$a_c(t) = a(t)$$

Έκφραση του διαμορφωμένου σήματος VSB (III)

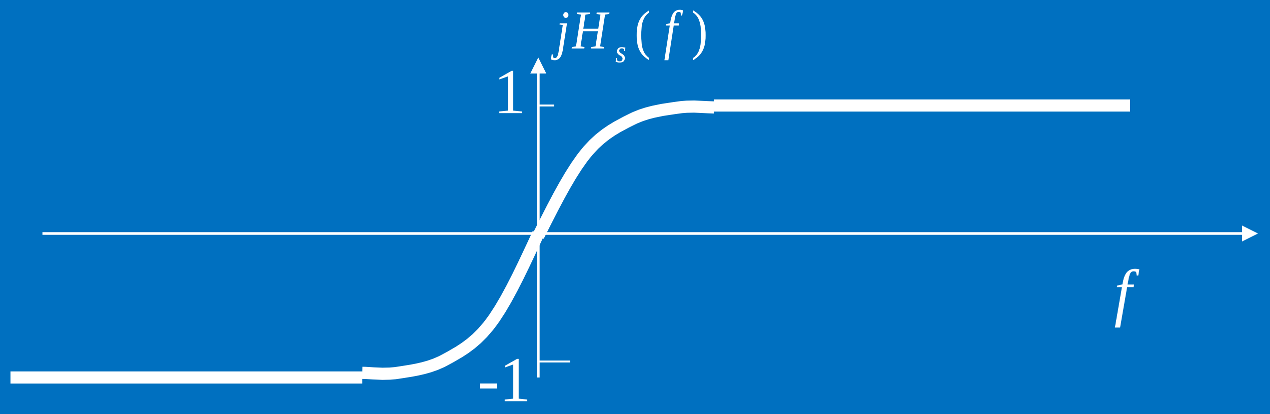
$$a_s(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)a(t-\tau)\sin 2\pi f_c \tau d\tau$$

Στο πεδίο της συχνότητας

$$a_c(t) = 2\int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)a(t-\tau)\sin 2\pi f_c \tau d\tau$$

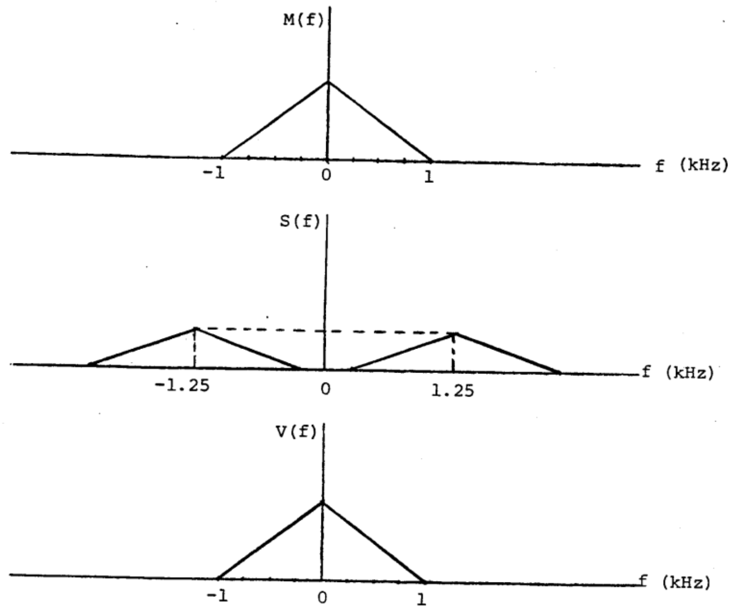
$$A_s(f) = 2A(f)\times\frac{1}{2j}[H(f-f_c)-H(f+f_c)] \Rightarrow$$

$$\frac{A_s(f)}{A(f)} = \frac{1}{j}[H(f-f_c)-H(f+f_c)]$$



Παράδειγμα

- Θεωρείστε σήμα βασικής ζώνης με εύρος W=1kHz. Έστω κυματομορφή DSBSC που εφαρμόζεται μετά σε ομόδυνο φωρατή. Θεωρώντας άριστο συγχρονισμό μεταξύ φερόντων διαμορφωτή και φωρατή βρείτε το φάσμα εξόδου όταν:
- a) fc=1.25 kHz
- b) fc=0.75 kHz
  - Για να αποφευχθεί επικάλυψη πρέπει fc>=1kHz



(b) For the case when $f_c = 0.75$, the respective spectra are as follows: