

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1ο Τμήμα (Α - Κ): Αμφιθέατρο 4, Νέα Κτίρια ΣΗΜΜΥ

Διαμόρφωση Πλάτους - 2

- 3.5: Μέθοδοι Διαμόρφωσης Απλής & Υπολειπόμενης (Υποτυπώδους) Πλευρικής Ζώνης (Single-Sideband, SSB & Vestigial-Sideband, VSB Methods of Modulation)
- 3.6: Εκπομπή VSB Αναλογικής & Ψηφιακής Τηλεόρασης (VSB Transmission of Analog & Digital TV)
- 3.7: Μετατόπιση Συχνότητας (Frequency Translation)
- 3.8: Πολυπλεξία Συχνότητας (Frequency-Division Multiplexing)

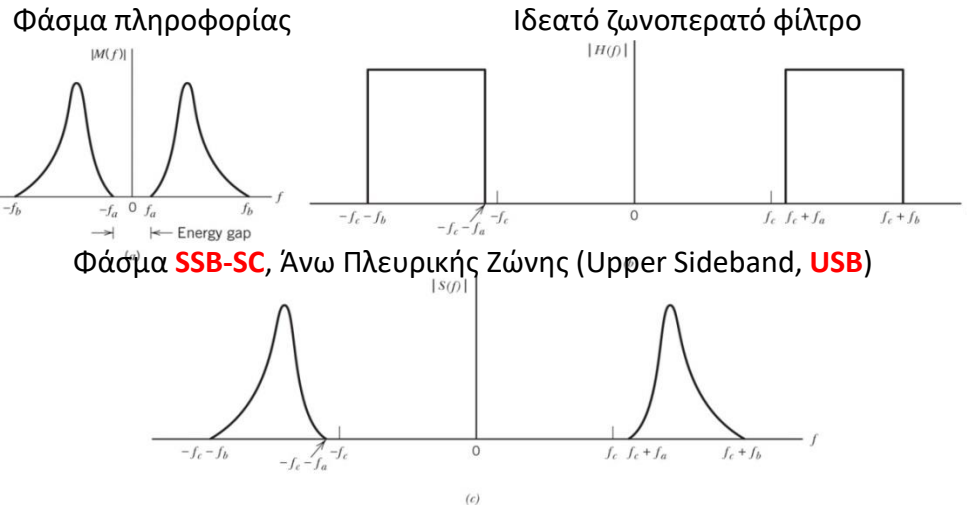
καθ. Βασίλης Μάγκλαρης
maglaris@netmode.ntua.gr
www.netmode.ntua.gr

Παρασκευή 15/3/2019

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

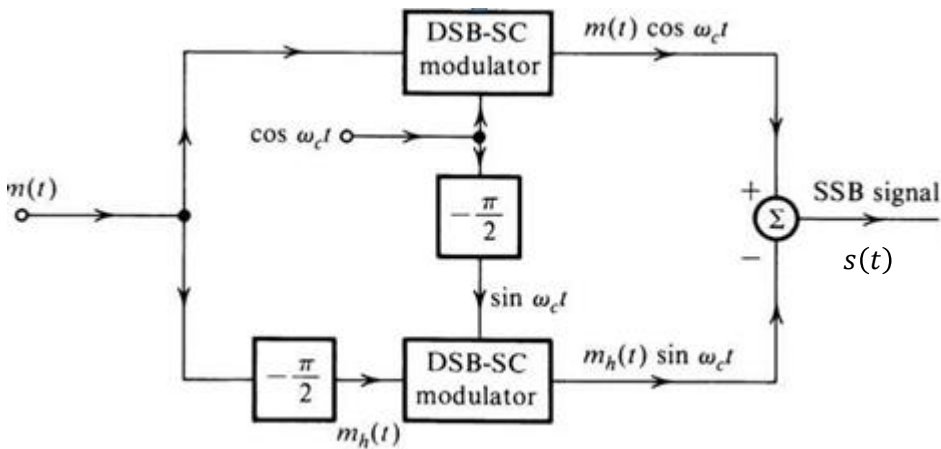
3.5 Μέθοδοι Απλής & Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης (1/5)

Single-Sideband Modulation - Suppressed Carrier (SSB-SC)



- Παραδοχή ενεργειακού κενού σε χαμηλές συχνότητες (π.χ. φωνή σε συχνότητες < 300 Hz)
- Αποκοπή ενός πλευρικού λοβού με Εφαρμογή Ζωνοπερατού Φίλτρου, π.χ. με ζώνη διέλευσης $(f_c + f_a, f_c + f_b)$ για αποκοπή του κάτω πλευρικού λοβού
- Αποδιαμόρφωση coherent detection μέσω pilot carrier ή ταλαντωτές απόλυτα συγχρονισμένους ως προς συχνότητα και φάση
- Παραμόρφωση λόγω διαφοροποίησης φάσης: Donald Duck voice effect

SSB-SC, USB Modulator



Σήμα διαμορφωμένο κατά SSB-SC, USB:

$$s(t) = A_c[m(t) \cos(2\pi f_c t) - m_h(t) \sin(2\pi f_c t)]$$

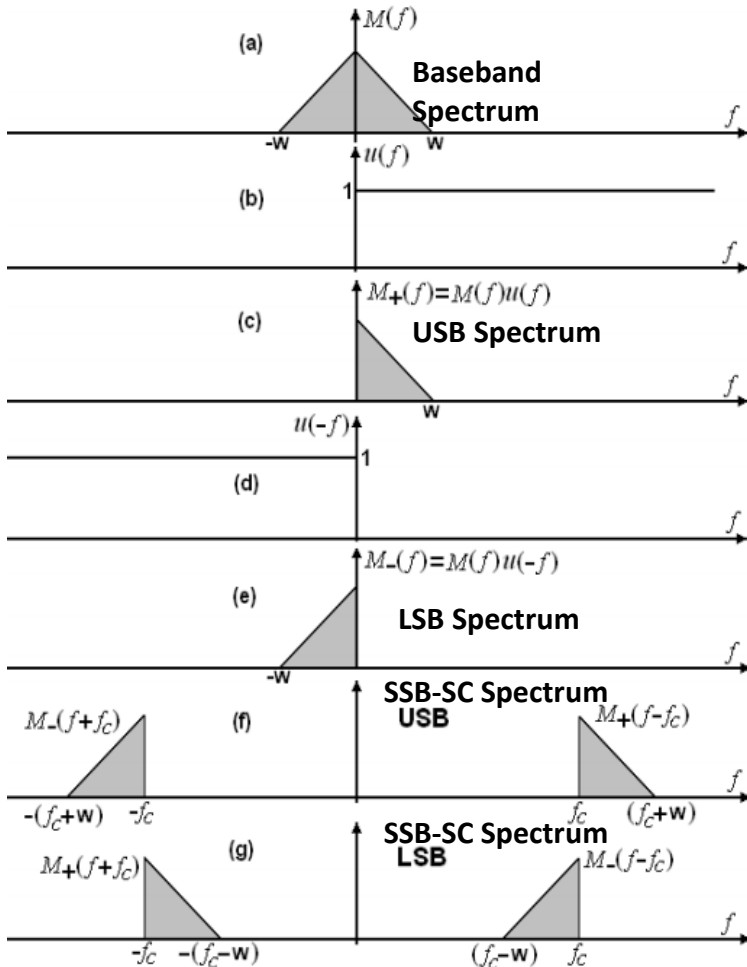
ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

3.5 Μέθοδοι Απλής & Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης (2/5)

Ανάλυση SSB-SC*

USB: Upper Sideband

LSB: Lower Sideband



Μετασχηματισμός Hilbert (MH):

$$m_h(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{m(\tau)}{t - \tau} d\tau = m(t) * \frac{1}{\pi t}$$

$$\frac{1}{\pi t} \leftrightarrow -j \operatorname{sgn}(f) = \begin{cases} -j = e^{-\frac{j\pi}{2}}, & f > 0 \\ j = e^{\frac{j\pi}{2}}, & f < 0 \end{cases}$$

$$m_h(t) \leftrightarrow M_h(f) = M(f)[-j \operatorname{sgn}(f)] = \begin{cases} M(f)e^{-\frac{j\pi}{2}}, & f > 0 \\ M(f)e^{\frac{j\pi}{2}}, & f < 0 \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{Φάσμα USB: } M_+(f) &= M(f) \cdot u(f) = M(f) \frac{1}{2} [1 + \operatorname{sgn}(f)] \\ &= \frac{1}{2} [M(f) + jM_h(f)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Φάσμα LSB: } M_-(f) &= M(f) \cdot u(-f) = M(f) \frac{1}{2} [1 - \operatorname{sgn}(f)] \\ &= \frac{1}{2} [M(f) - jM_h(f)] \end{aligned}$$

Φάσμα SSB-SC, USB:

$$\begin{aligned} S(f) &= A_c [M_+(f - f_c) + M_-(f + f_c)] \\ &= \frac{A_c}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] \\ &\quad - \frac{A_c}{2j} [M(f - f_c) - M(f + f_c)] \end{aligned}$$

Σήμα διαμορφωμένο κατά SSB-SC, USB:

$$s(t) = A_c [m(t) \cos(2\pi f_c t) - m_h(t) \sin(2\pi f_c t)]$$

Φίλτρο **MH**:

Μετατόπιση Φάσης

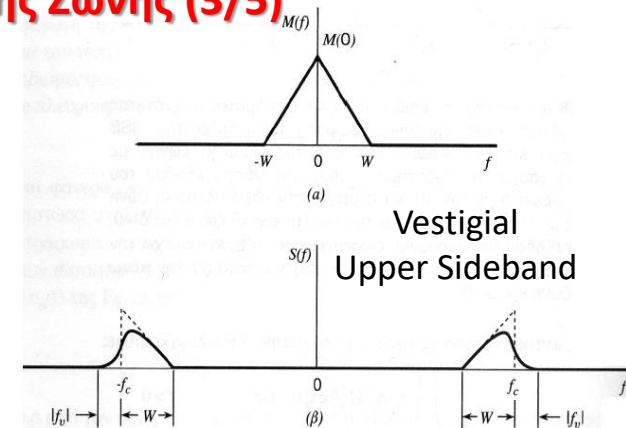
Συχνοτήτων $f > 0$ κατά $-\frac{\pi}{2}$

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

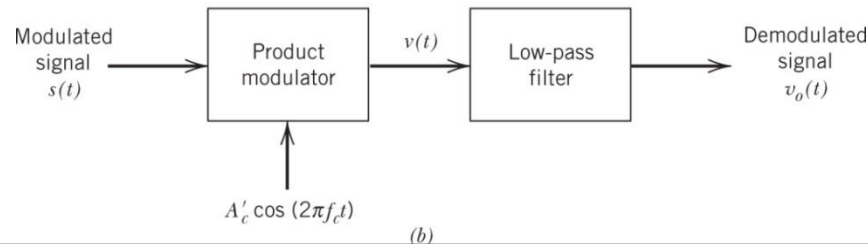
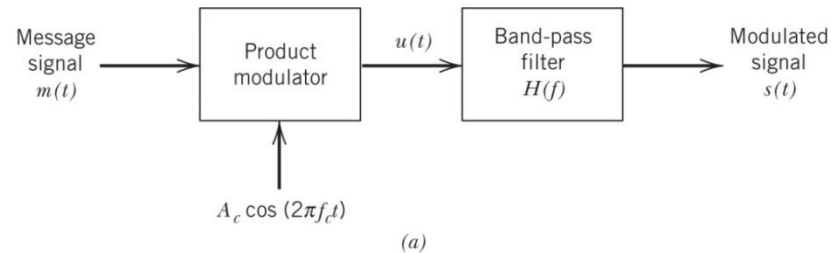
3.5 Μέθοδοι Απλής & Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης (3/5)

Vestigial-Sideband Modulation, VSB

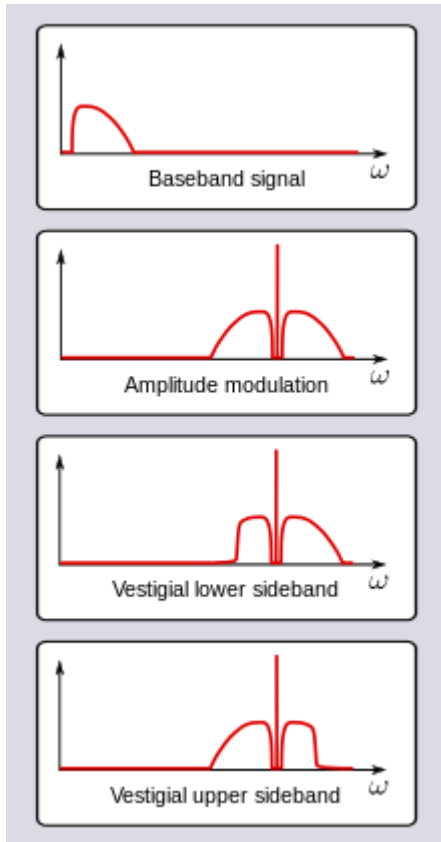
- Επέκταση του SSB-SC με την προσθήκη μικρού τμήματος (vestige, ίχνους) και της 2^{ης} sideband, κατάλληλα διαμορφωμένου για ακριβέστερη ανάκτηση του αρχικού σήματος
- Μεγαλύτερη απαίτηση bandwidth από SSB-SC (~25%)
- Για baseband σήμα ζώνης W οι απαιτήσεις bandwidth είναι: $2W$ για **DSB-SC**, W για **SSB-SC** και $\sim 1.25W$ για **VSB**



Πομπός: Το σήμα $m(t)$ διαμορφώνεται κατά DSB-SC στο $u(t)$ και μέσω ζωνοπερατού φίλτρου $H(f)$ παράγει το σήμα VSB $s(t)$



Δέκτης: Το σήμα VSB $s(t)$ αποδιαμορφώνεται με coherent detector στο $v(t)$ το οποίο περνά από βαθυπερατό φίλτρο με κατάλληλη εξισορρόπηση (equalization) προς το $v_o(t)$ για την προσέγγιση του $m(t)$

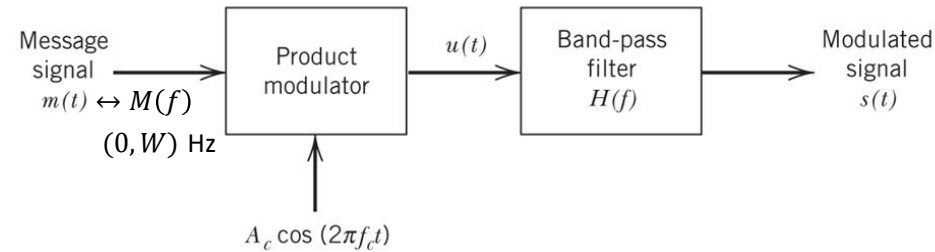


ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

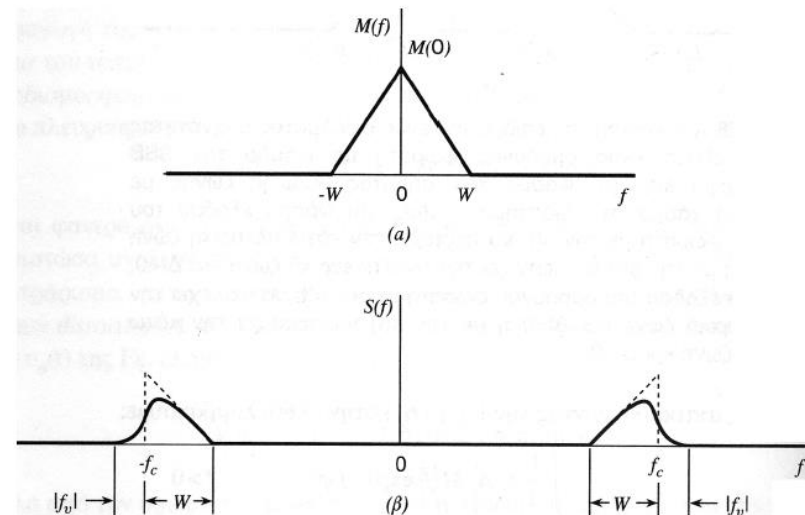
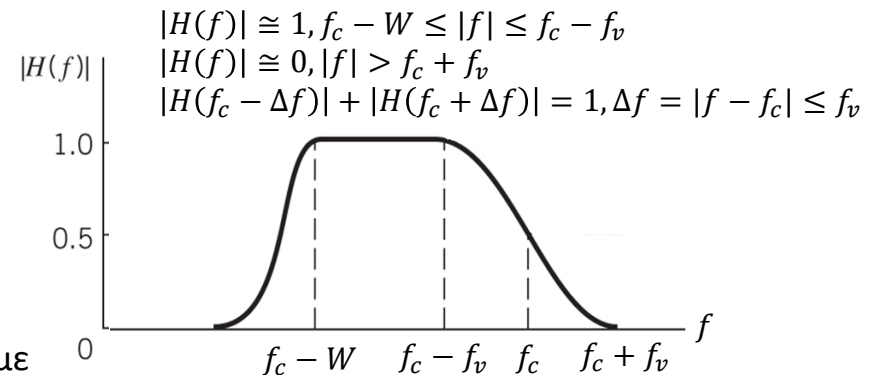
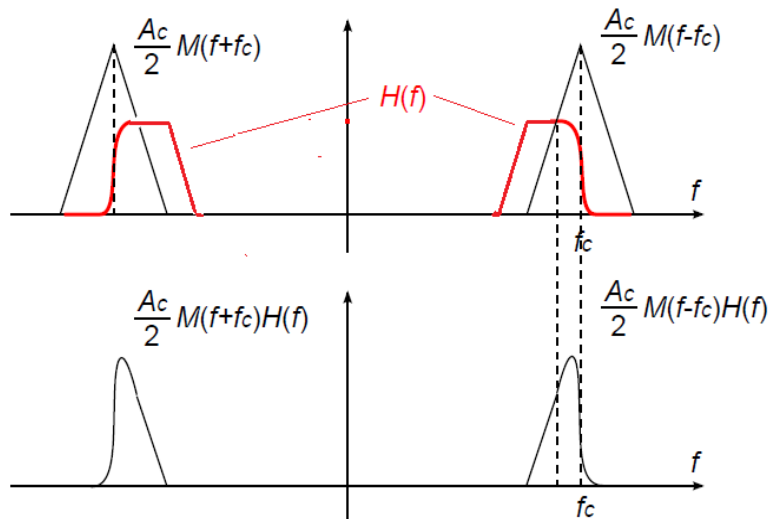
3.5 Μέθοδοι Απλής & Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης (4/5)

Vestigial-Sideband Modulation, VSB - Πομπός

Πομπός: Το σήμα $m(t)$ διαμορφώνεται κατά DSB-SC στο $u(t)$ και μέσω ζωνοπερατού φίλτρου $H(f)$ παράγει το σήμα VSB $s(t)$



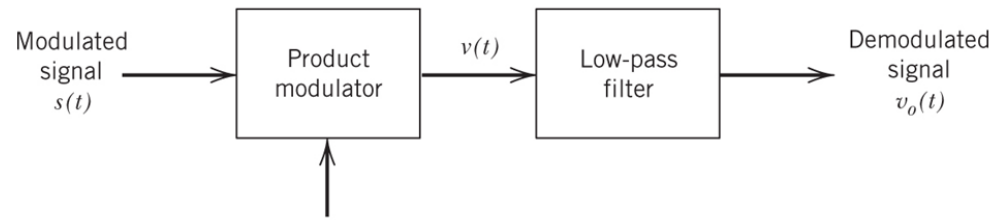
Το φίλτρο $H(f)$ δημιουργεί σήμα τύπου SSB-LSB στη ζώνη $(f_c - W, f_c)$ αλλά αφήνει πρόσθετο υπόλοιπο (**vestige**) του λοβού USB στις συχνότητες $(f_c, f_c + f_v)$ με κατάλληλη εξισορρόπηση κέρδους (**equalization**)



$$m(t) \leftrightarrow M(f), \quad u(t) \leftrightarrow U(f), \quad s(t) \leftrightarrow S(f)$$

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

Δέκτης: Το σήμα VSB $s(t)$ αποδιαμορφώνεται με coherent detector στο $v(t)$ το οποίο περνά από βαθυπερατό φίλτρο με κατάλληλη εξισορρόπηση (equalization) προς το $v_0(t)$ για την προσέγγιση του $m(t)$



$$v(t) = A'_c \cos(2\pi f_c t) s(t) \leftrightarrow V(f) = \frac{A'_c}{2} [S(f - f_c) + S(f + f_c)]$$

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

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

Με βαθυπερατό **φίλτρο αποδιαμόρφωσης**:

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

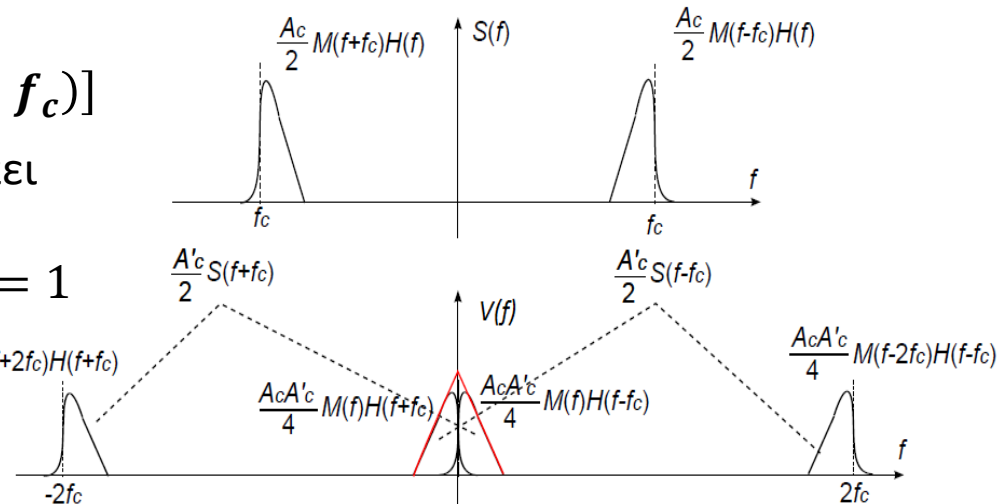
Για να είναι η $v_0(t)$ ανάλογη της $m(t)$ πρέπει

$$H(f - f_c) + H(f + f_c) = C \triangleq 1 \quad \forall f$$

$$\Rightarrow H(-f_c) + H(f_c) = 2H(f_c) = 1$$

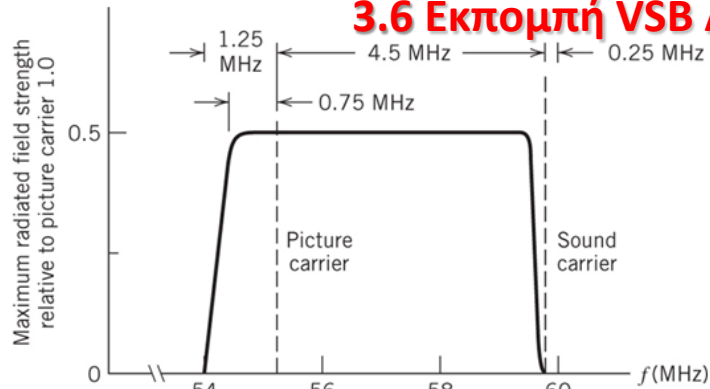
Με κατάλληλα ρυθμισμένο $H(f)$:

$$v_0(t) = \frac{A_c A'_c H(f_c)}{2} m(t)$$

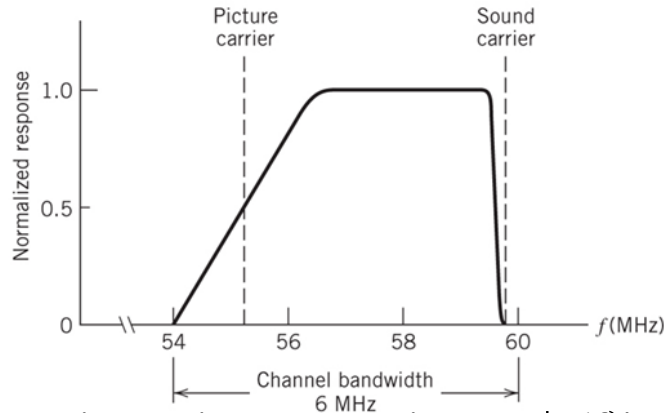


ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

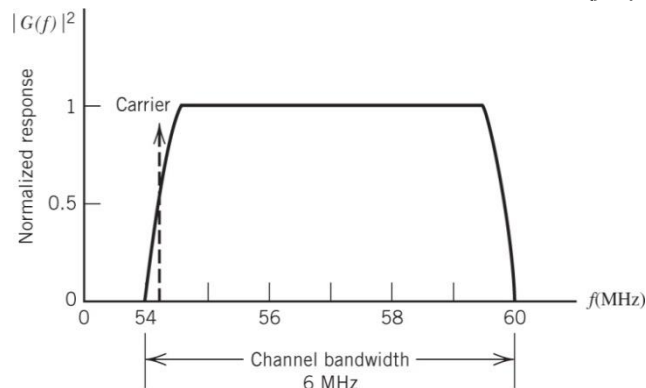
3.6 Εκπομπή VSB Αναλογικής & Ψηφιακής Τηλεόρασης



Φάσμα Πλάτους Αναλογικού Τηλεοπτικού Σήματος
(Μετάδοση VSB με 25% πρόσθετο υπόλοιπο LSB)



Απόκριση Φίλτρου Αποδιαμόρφωσης $|H(f)|$



Φάσμα Πλάτους Ψηφιακού Τηλεοπτικού Σήματος

Baseband Video Signal: ~ 6MHz με διαμόρφωση VSB εικόνας (πάνω σε Picture Carrier) και ήχου (FM σε Sound Carrier)

Ειδικές απαιτήσεις μετάδοσης αναλογικής TV με κανάλια 6MHz σε συχνότητες VHF/UHF (30MHz - 300MHz / 300MHz - 3GHz):

1. Μεγάλο εύρος συχνοτήτων video (1.25 MHz κάτω του Picture Carrier, 4.5 MHz άνω του Picture Carrier)
2. Ιδιαίτερη σημασία των χαμηλών συχνοτήτων για πιστότητα εικόνας
3. Απλότητα στην ανάκτηση του αρχικού σήματος στον δέκτη

⇒ Χρήση **VSB** και μετάδοση **carrier** για **envelope detection**

Ειδικές απαιτήσεις μετάδοσης ψηφιακής HDTV:

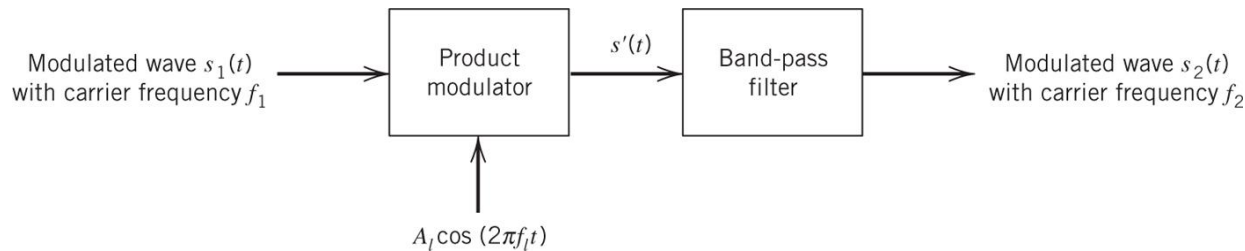
1. Συμβατότητα με αναλογικά κανάλια εύρους 6MHz για μετάδοση ενοποιημένου ψηφιακού σήματος video – audio (~ 20 Mbps)
2. Απλότητα και πιστότητα στην ανάκτηση του σήματος στον δέκτη με δυνατότητες ευφυΐας λόγω ψηφιακής τεχνολογίας

⇒ Χρήση **VSB** και μετάδοση χαμηλής έντασης **carrier**

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

3.7 Μετατόπιση Συχνότητας

Μείκτης (Mixer)



Frequency Translation (frequency changing, mixing, heterodyning)

Σήμα $m(t)$ bandwidth W διαμορφώνει κατά DSB-SC φέρον συχνότητας $f_1 \gg W$

Ο μείκτης λαμβάνει σήμα $s_1(t) = m(t)A_c \cos(2\pi f_1 t)$ και το μετατοπίζει σε φέρον συχνότητας f_2

$$f_1 \rightarrow f_2 = f_1 + f_l$$

όπου $f_l > 0$ η συχνότητα τοπικού ταλαντωτή για τη μετατόπιση της συχνότητας του φέροντος

$$\begin{aligned} s_1(t) &= m(t)A_c \cos(2\pi f_1 t) \rightarrow s'(t) \rightarrow s_2(t) \\ s'(t) &= s_1(t) \times A_l \cos(2\pi f_l t) = \frac{1}{2} A_c A_l m(t) [\cos(2\pi(f_1 + f_l)t) + \cos(2\pi(f_1 - f_l)t)] \\ s_2(t) &= \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \cos(2\pi(f_1 + f_l)t) = \frac{1}{2} A_c A_l m(t) \cos(2\pi f_2 t) \end{aligned}$$

μέσω ζωνοπερατού φίλτρου που προωθεί τις συχνότητες περί την $f_2 = f_1 + f_l$ ενώ αποκόπτει τις συχνότητες περί την $f_1 - f_l$

Η όλη διαδικασία είναι **γραμμική** και διατηρεί τη σχέση πλευρικών ζωνών (sidebands) του σήματος ως προς το φέρον

ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ & ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ – 1ο Τμήμα

3.8 Πολυπλεξία Διάρθρωσης Συχνότητας, FDM

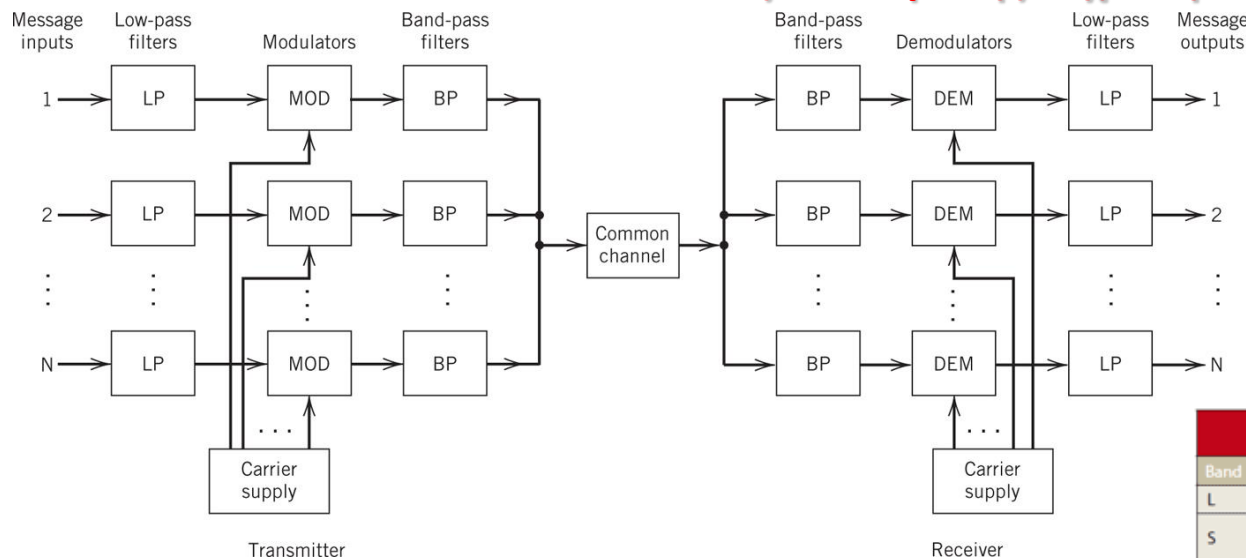


TABLE 1: MICROWAVE LETTER BAND DESIGNATIONS

Band	Frequency range	Applications
L	1 to 2 GHz	Satellite, navigation (GPS, etc.), cellular phones
S	2 to 4 GHz	Satellite, SiriusXM radio, unlicensed (Wi-Fi, Bluetooth, etc.), cellular phones
C	4 to 8 GHz	Satellite, microwave relay
X	8 to 12 GHz	Radar
K _u	12 to 18 GHz	Satellite TV, police radar
K	18 to 26.5 GHz	Microwave backhaul
K _s	26.5 to 40 GHz	Microwave backhaul
Q	30 to 50 GHz	Microwave backhaul
U	40 to 60 GHz	Experimental, radar
V	50 to 75 GHz	New WLAN, 802.11ad/WiGig
E	60 to 90 GHz	Microwave backhaul
W	75 to 110 GHz	Automotive radar
F	90 to 140 GHz	Experimental, radar
D	110 to 170 GHz	Experimental, radar

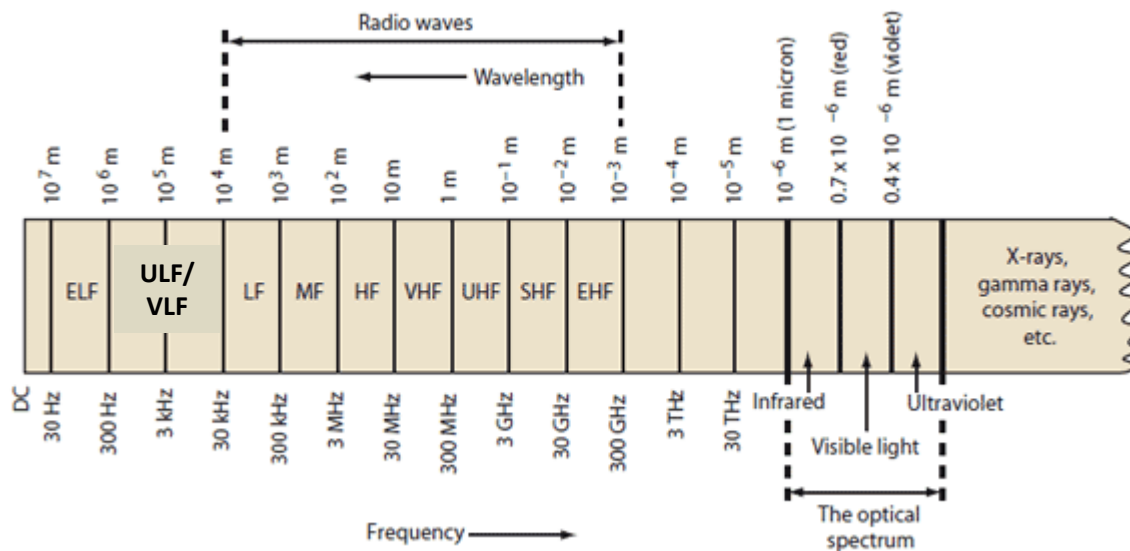


TABLE 2: STANDARD DEFINITIONS OF RADIO SPECTRUM SEGMENTS

Name	Frequency range	Applications
Low frequency	30 to 300 kHz	Navigation, time standards
Medium frequency	300 kHz to 3 MHz	Marine/aircraft navigation, AM broadcast
High frequency (shortwave)	3 to 30 MHz	Broadcasting, mobile radio, amateur radio
Very high frequency	30 to 300 MHz	Landmobile, FM/TV/broadcast, amateur radio
Ultra-high frequency	300 MHz to 3 GHz	Cell phones, mobile radio, WLAN, personal-area networks (PANs)
Super-high frequency	3 to 30 GHz	Satellite, radar, backhaul, TV
Extremely high frequency	30 to 300 GHz	Satellite, radar, backhaul, experimental

