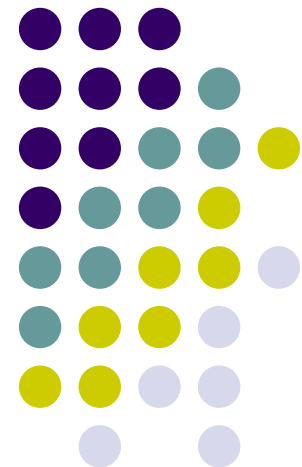
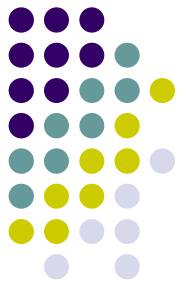


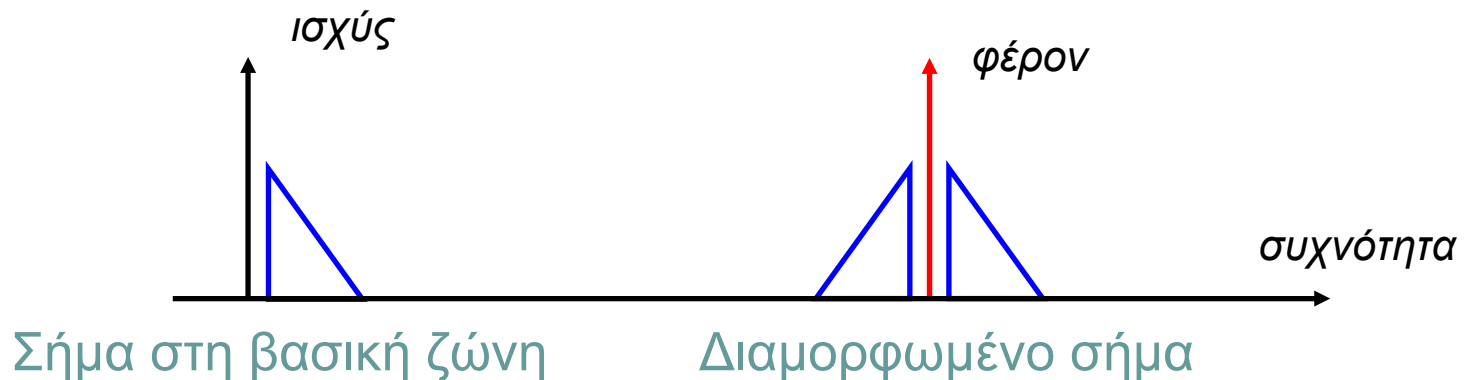
Γραμμική διαμόρφωση φέροντος κύματος

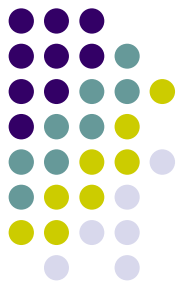




Επικοινωνία στη βασική ζώνη

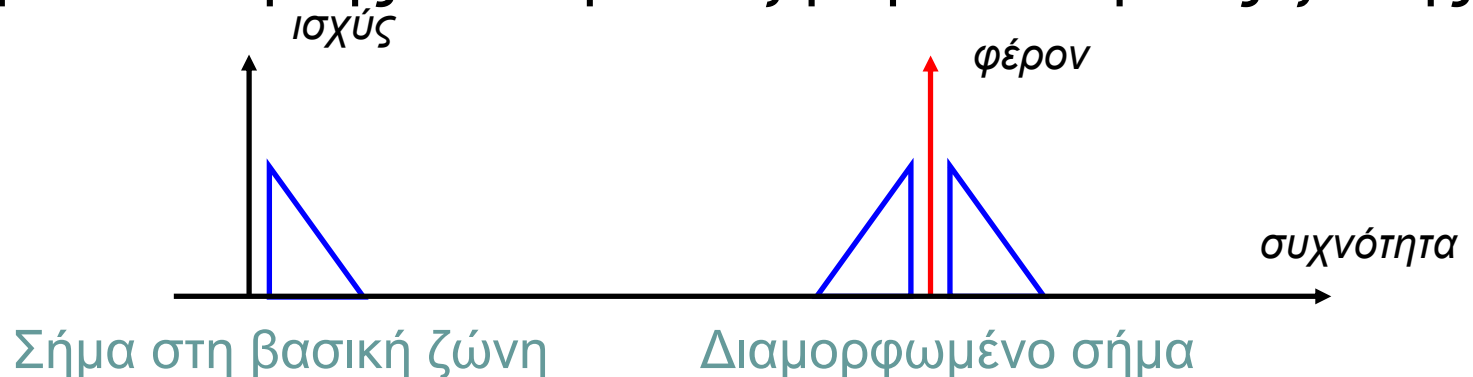
- Επικοινωνία στη βασική ζώνη (baseband) χρησιμοποιείται σε
 - Συνδρομητικούς βρόχους (PSTN)
 - Συστήματα PCM μεταξύ τηλεφωνικών κέντρων



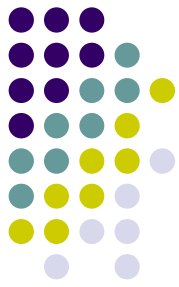


Διαμόρφωση φέροντος κύματος

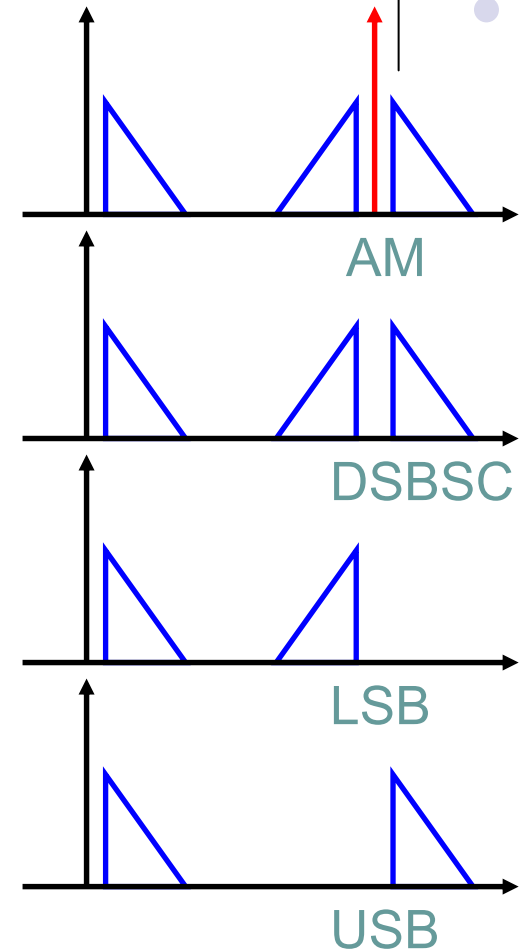
- Η διαμόρφωση CW (Carrier Wave) χρησιμοποιείται για να μετακινηθεί το φάσμα σε άλλη περιοχή ώστε να γίνει εφικτή
 - η χρήση διαφορετικών ραδιοσυχνοτήτων
 - η ασύρματη επικοινωνία
 - η πολυπλεξία διαφόρων σημάτων
 - η βελτίωση της SNR με αύξηση του εύρους ζώνης



Είδη γραμμικής διαμόρφωσης CW

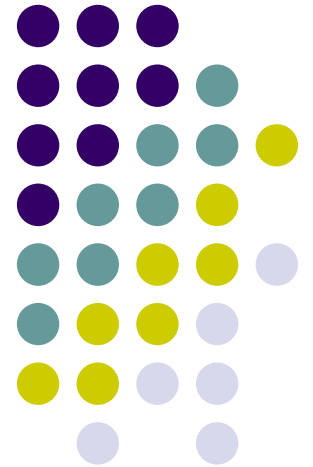


- Amplitude modulation (AM)
- Double-sideband modulation suppressed carrier (DSBSC)
- Single sideband amplitude modulation (SSB)
 - Lower sideband (LSB)
 - Upper sideband (USB)

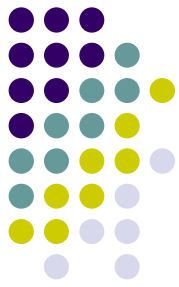


Διαμόρφωση πλάτους

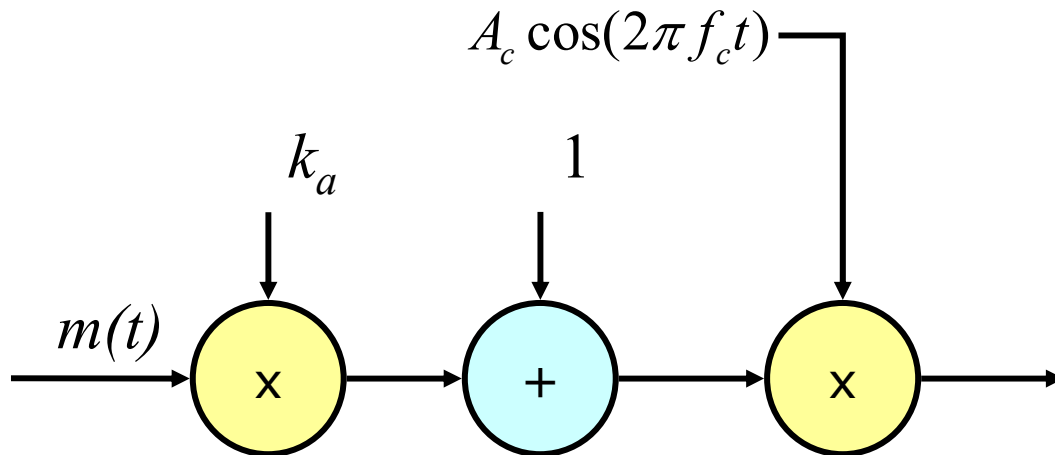
Amplitude Modulation (AM)



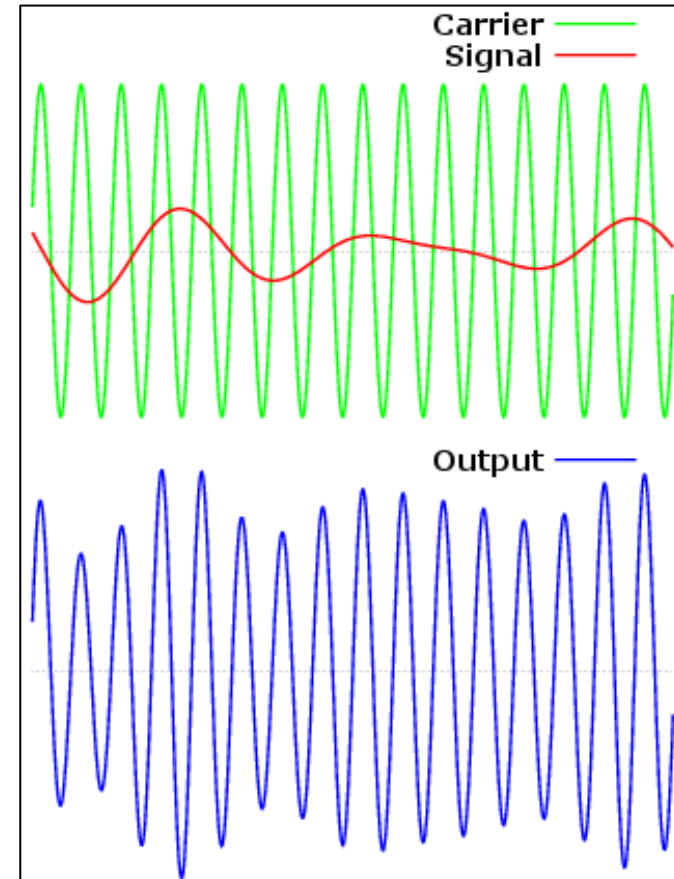
Σήμα AM στο πεδίο του χρόνου

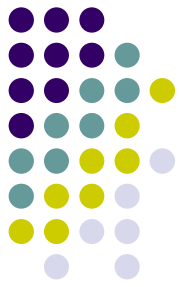


- Φέρον $c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$
- Αναλογικό βαθυπερατό σήμα ισχύος $m(t)$
- Διαμορφωμένο κατά AM



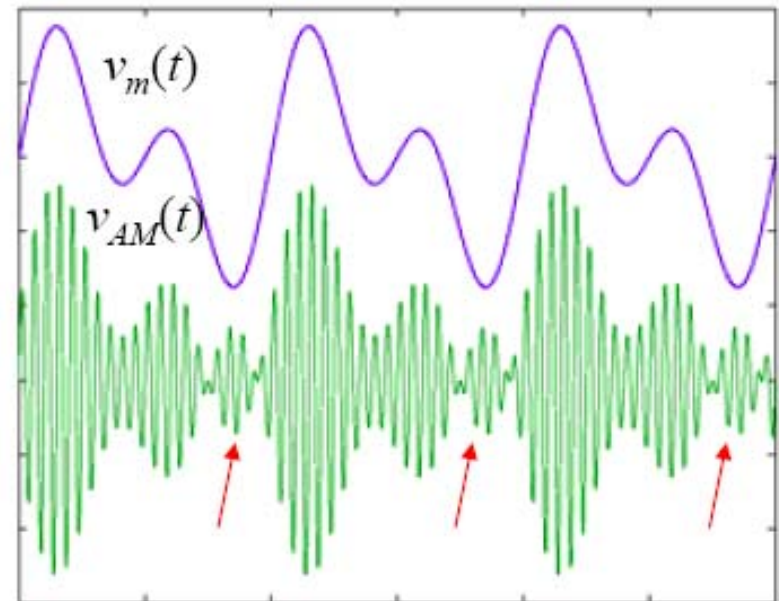
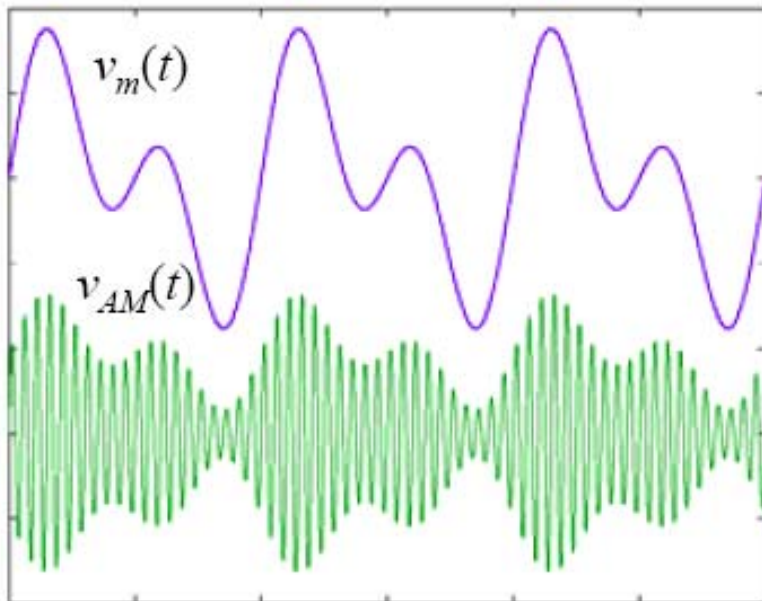
$$s(t) = A_c[1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



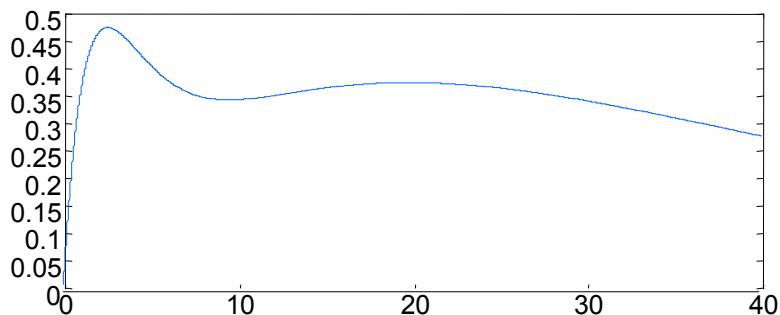


Διαμόρφωση πλάτους

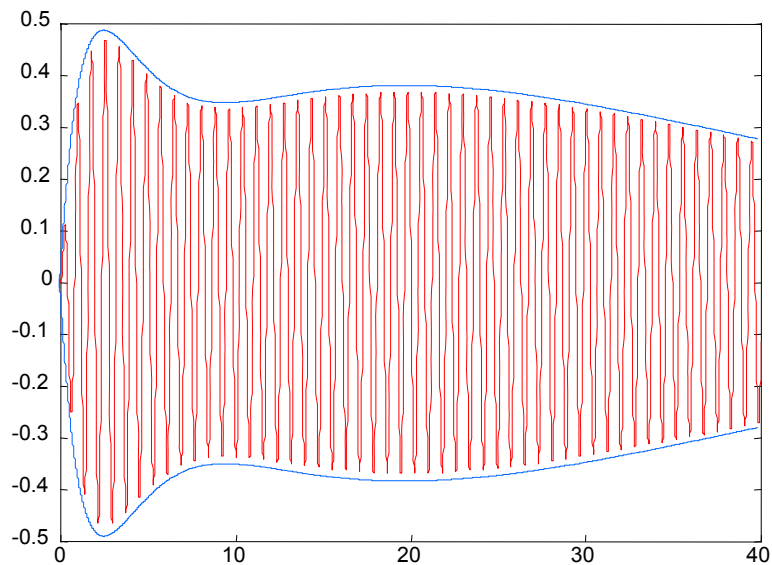
- Η σταθερά 1 προστίθεται στο σήμα
 - Για απλοποίηση της αποδιαμόρφωσης
 - Φωρατής περιβάλλουσας
 - Οδηγεί σε μεγάλη σπατάλη ισχύος



Παράδειγμα 1

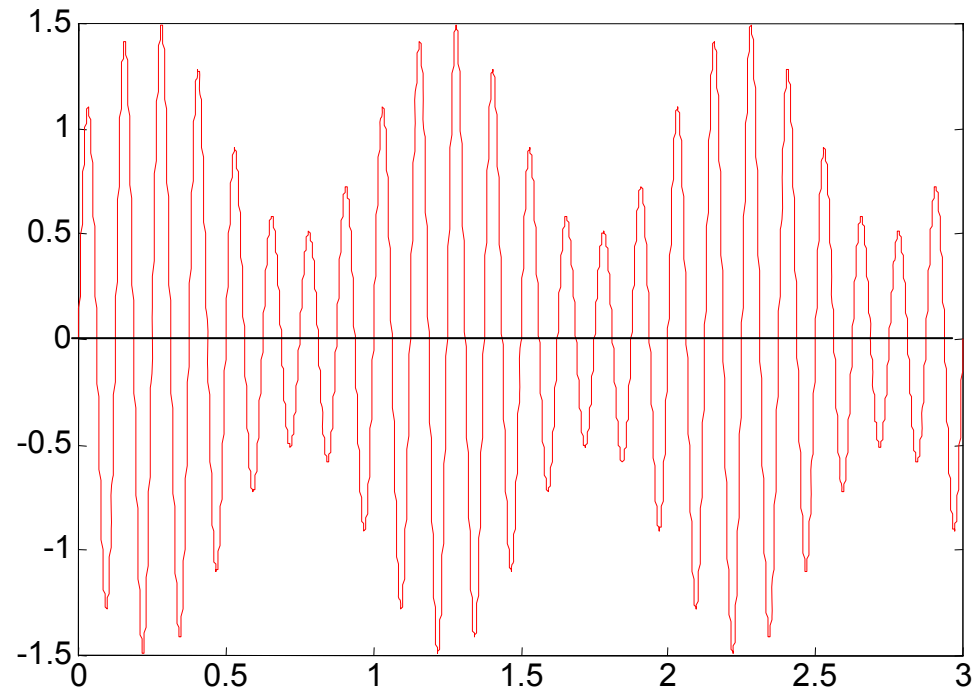
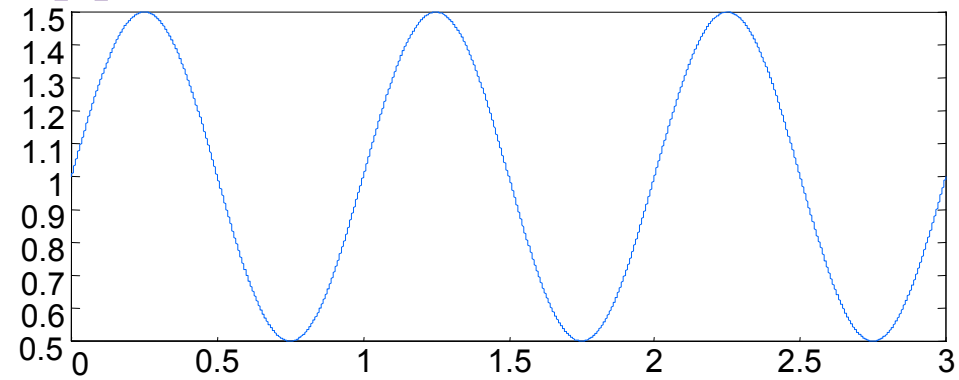
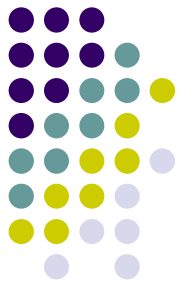


$$x(t) = \frac{t}{2} \exp\left(-\frac{t}{2}\right) + \frac{t}{20} \exp\left(-\frac{t}{20}\right)$$

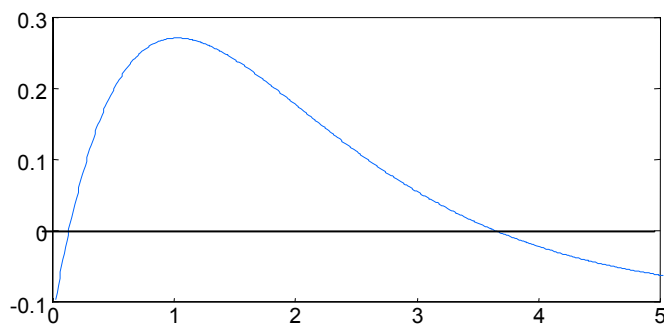
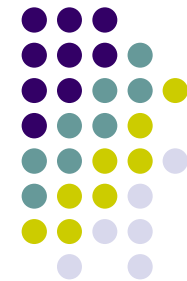


$$y(t) = x(t) \sin(8t)$$

Παράδειγμα 2

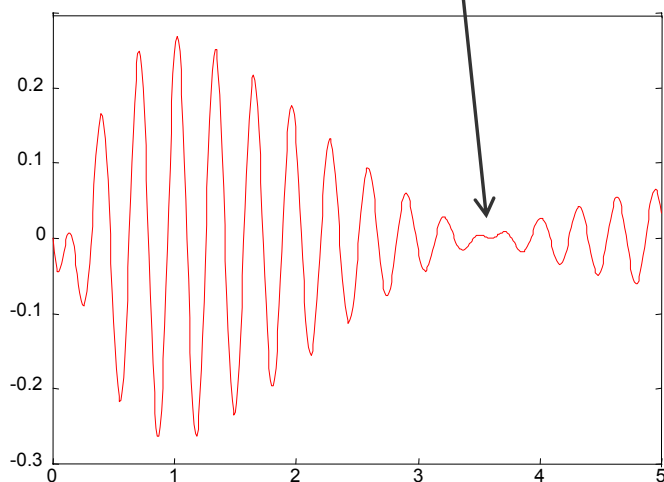


Παράδειγμα 3



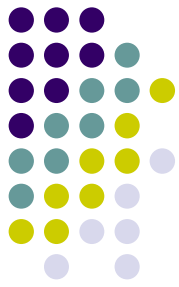
$$x(t) = t \exp(-t) - 0.1$$

Αναστροφή φάσης



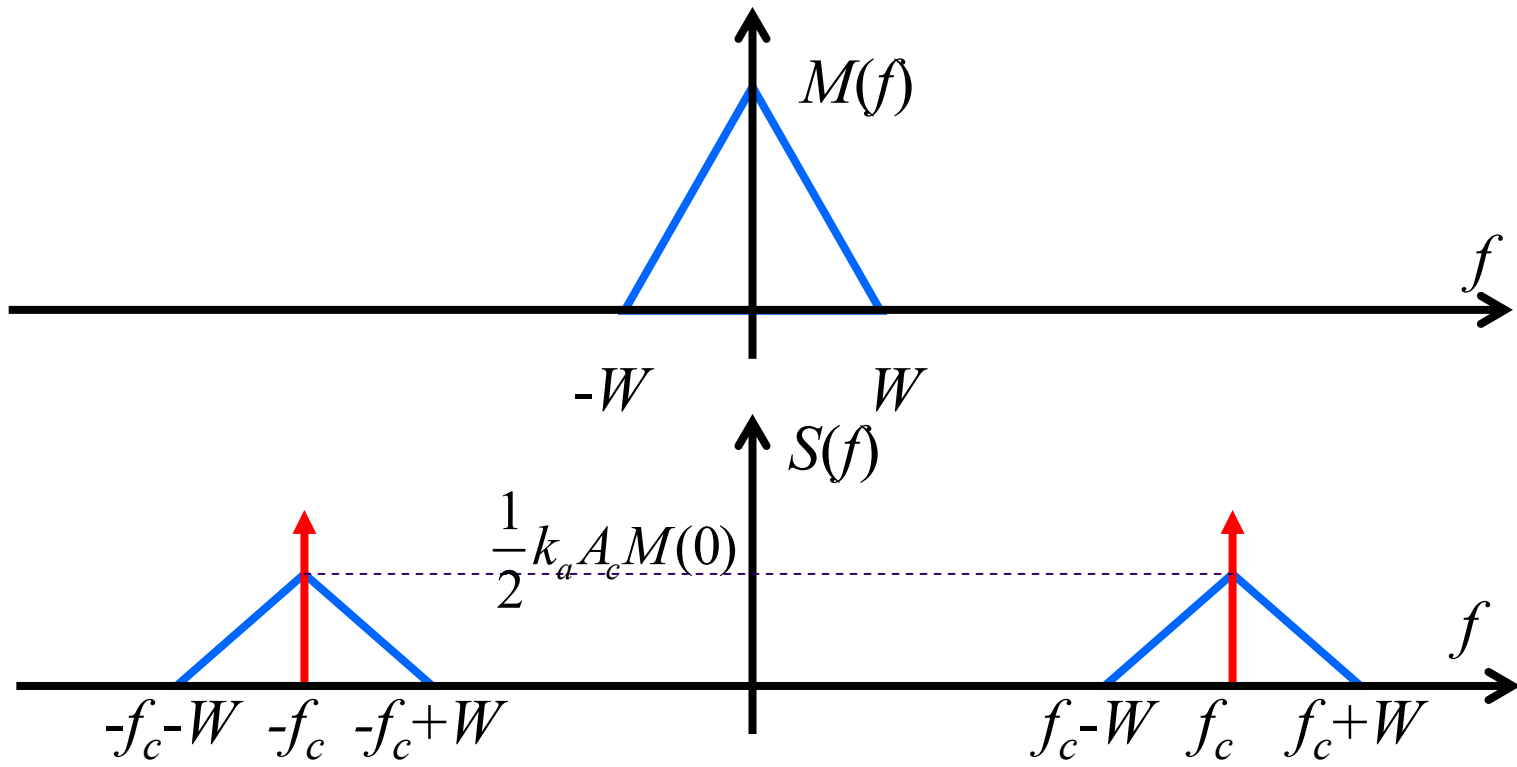
$$x(t) = [t \exp(-t) - 0.1] \sin(2t)$$

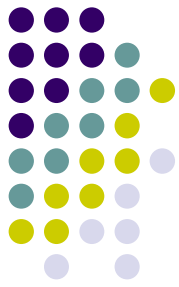
Φάσμα σήματος AM



- Το διαμορφωμένο σήμα έχει δύο φορές το εύρος ζώνης του $m(t)$, $B_T=2W$

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





Διαμόρφωση ΑΜ από απλό τόνο

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$$

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

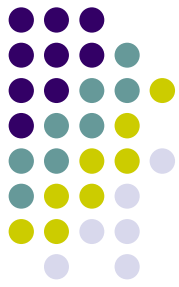
$$= A_c [1 + k_a A_m \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \Rightarrow$$

$$s(t) = A_c [1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t),$$

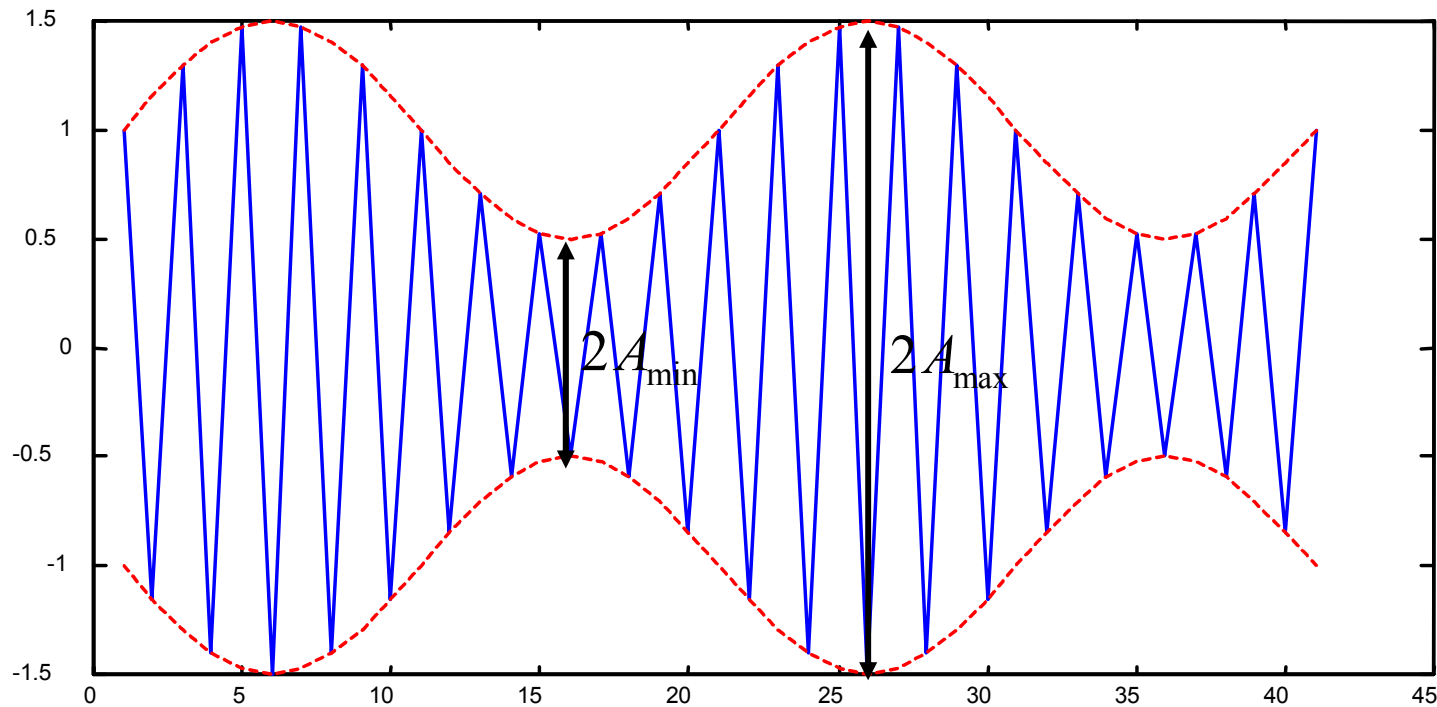
$$\mu = k_a A_m$$

- Οι ακραίες τιμές της περιβάλλουσας είναι:

$$\left. \begin{aligned} A_{\max} &= A_c (1 + \mu) \\ A_{\min} &= A_c (1 - \mu) \end{aligned} \right\} \Rightarrow \mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$$

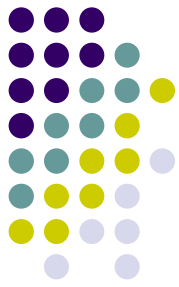


Δείκτης διαμόρφωσης

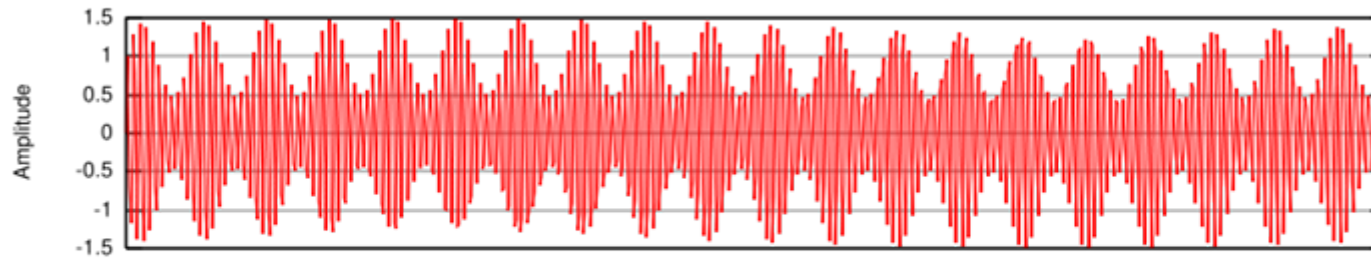


- Ο δείκτης διαμόρφωσης $\mu = \frac{A_{\max} - A_{\min}}{A_{\max} + A_{\min}}$ πρέπει να είναι μικρότερος του 1

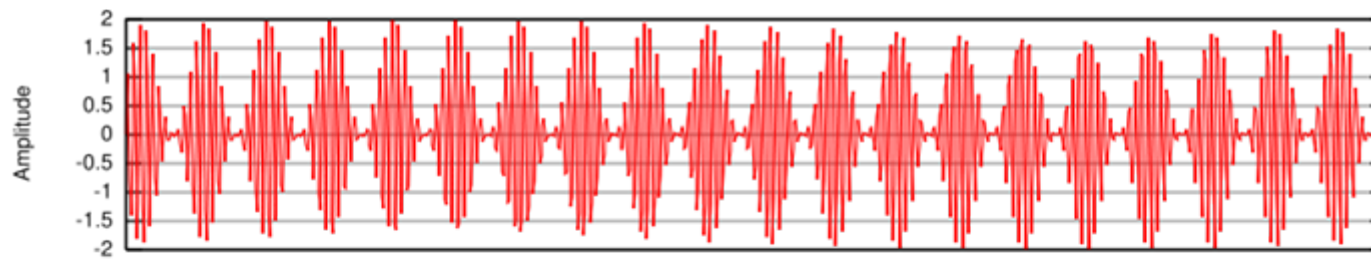
Δείκτης διαμόρφωσης



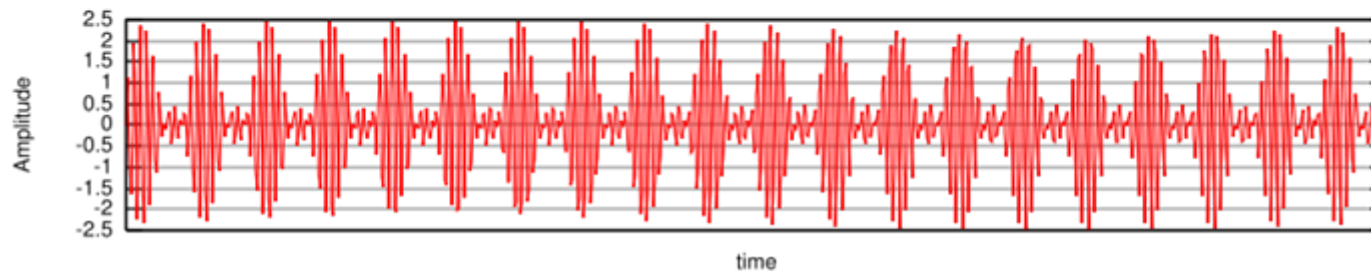
50% Modulation

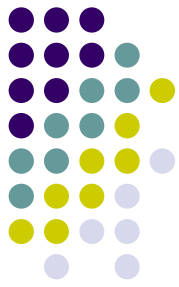


100% Modulation

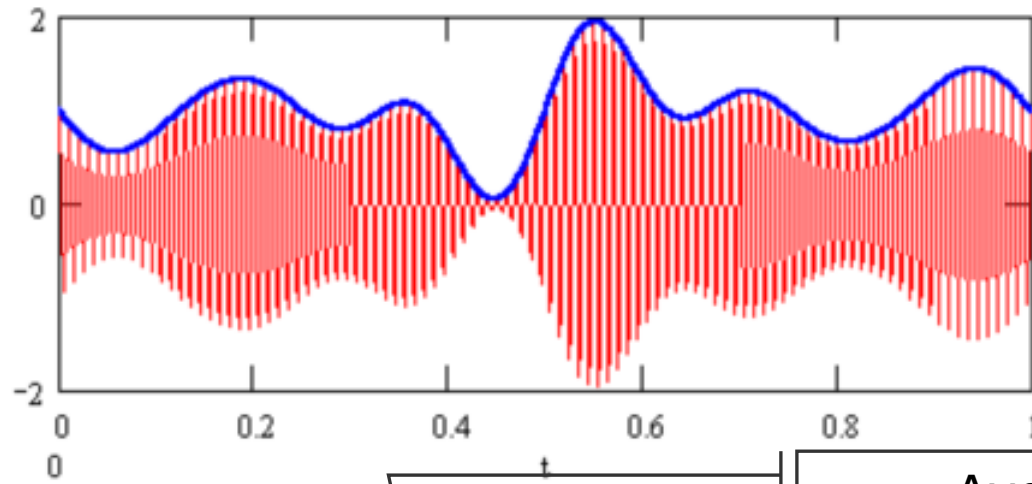


150% Modulation



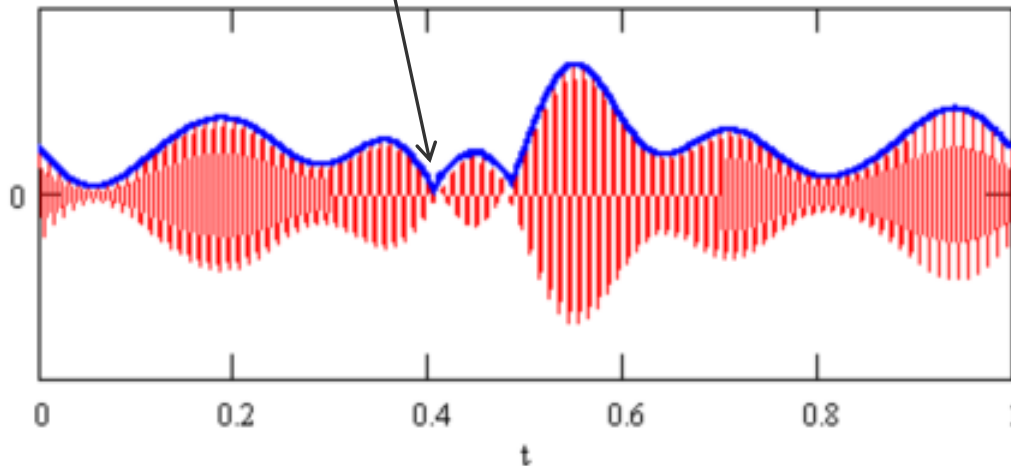


Δείκτης διαμόρφωσης

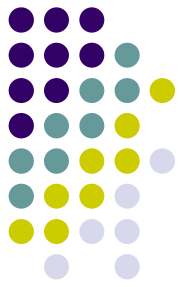


$\mu=1$

Αναστροφή φάσης



$\mu=1,2$



Φάσμα σήματος ΑΜ από απλό τόνο

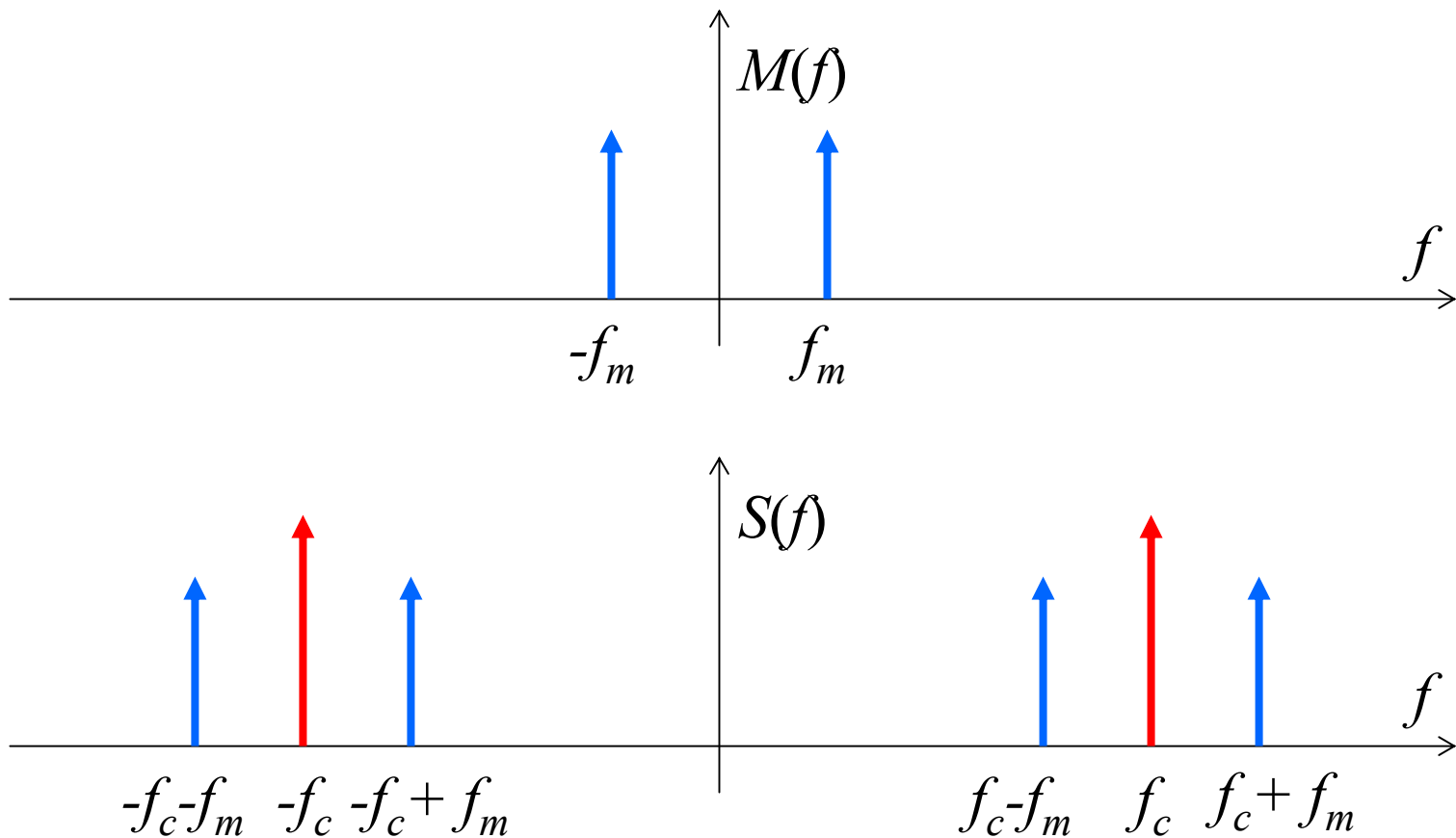
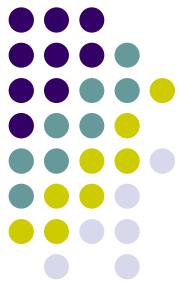
$$s(t) = A_c[1 + \mu \cos(2\pi f_m t)] \cos(2\pi f_c t) \Rightarrow$$

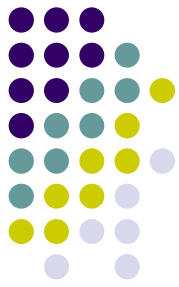
$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + A_c \mu \cos(2\pi f_m t) \cos(2\pi f_c t) \Rightarrow$$

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{\mu A_c}{2} \cos[2\pi(f_m + f_c)t] + \frac{\mu A_c}{2} \cos[2\pi(f_c - f_m)t] \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} S(f) = & \frac{A_c}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] + \\ & + \frac{\mu A_c}{4} [\delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c + f_m)] + \\ & + \frac{\mu A_c}{4} [\delta(f - f_c + f_m) + \delta(f + f_c - f_m)] \end{aligned}$$

Φάσμα σήματος AM από απλό τόνο





Ισχύς σήματος AM

- Αναλογικό βαθυπερατό σήμα ισχύος $m(t)$

$$M(f) \triangleq 0, f > W, \quad P_m = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} |m(t)|^2 dt$$

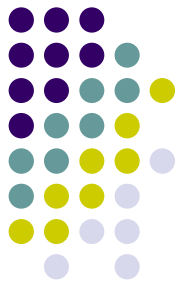
- Διαμορφωμένο κατά AM

$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t), \quad f_c \gg W$$

$$k_a m(t) \geq -1, \quad |k_a m(t)| < 1,$$

$$x(t) = \frac{m(t)}{\max |m(t)|}, \quad s(t) = A_c [1 + \mu x(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

- $\mu = \text{δείκτης διαμόρφωσης} \leq 1$



Ισχύς σήματος AM

- Ισχύς διαμορφωμένου σήματος

$$P_s = \frac{A_c^2}{2} P_m$$

$$P_m = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} (1 + \mu x(t))^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} (1 + \mu^2 x^2(t)) dt$$
$$= 1 + \mu^2 P_x \Rightarrow$$

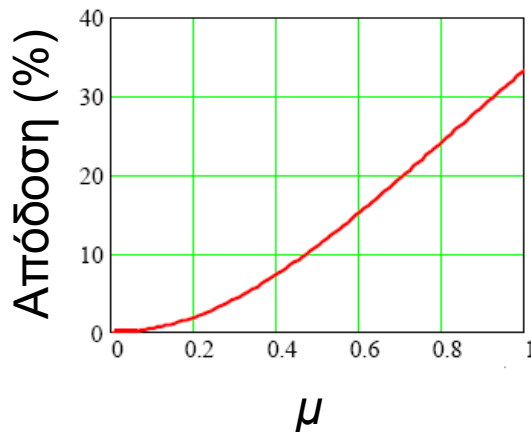
$$P_s = \frac{A_c^2}{2} + \frac{A_c^2}{2} \mu^2 P_x = P_c + 2P_{sb}$$

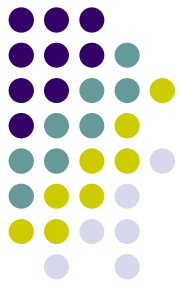
- Ισχύς φέροντος $P_c = \frac{A_c^2}{2}$ Ισχύς πλευρικών $P_{sb} = \left(\frac{\mu A_c}{2} \right)^2 P_x$

Απόδοση ισχύος

Για ημιτονικό
σήμα

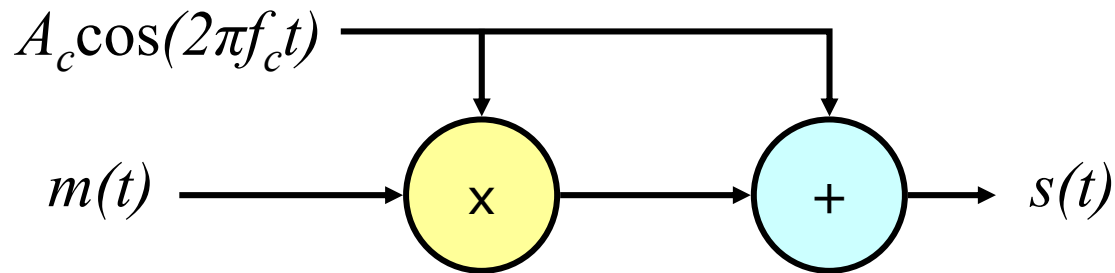
- Συντελεστής απόδοσης = $\frac{\mu^2 P_x}{1 + \mu^2 P_x} = \frac{\mu^2}{2 + \mu^2}$
- Η απόδοση ισχύος στη διαμόρφωση AM είναι μικρή
 $\mu^2 P_x \leq 1 \Rightarrow P_c \geq \frac{1}{2} P_s, \quad P_{sb} \leq \frac{1}{4} P_s$
- Περίπου 33% στην καλύτερη περίπτωση





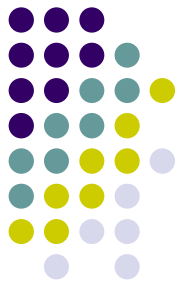
Παραγωγή σημάτων AM

- Διαμορφωτής γινομένου

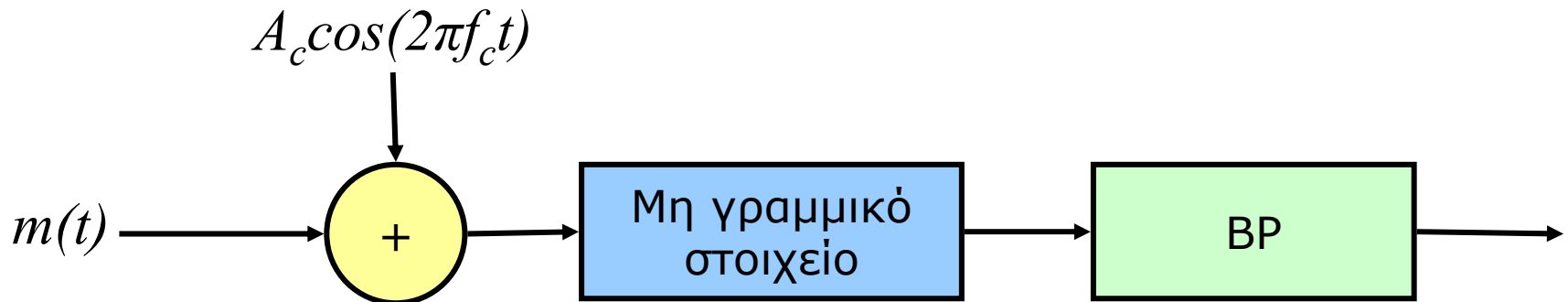


- Οι πολλαπλασιαστές δύσκολα κατασκευάζονται σε υλικό

Πρακτικές μέθοδοι διαμόρφωσης AM



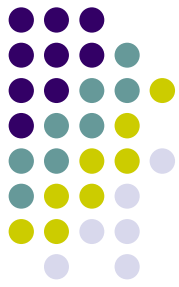
- Στην πράξη τα σήματα AM παράγονται με χρήση μη γραμμικών στοιχείων



- Διαμορφωτής τετραγωνικού νόμου
- Διαμορφωτής διακόπτη

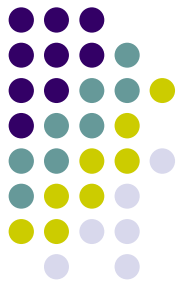
$s(t)$

Διαμορφωτής τετραγωνικού νόμου

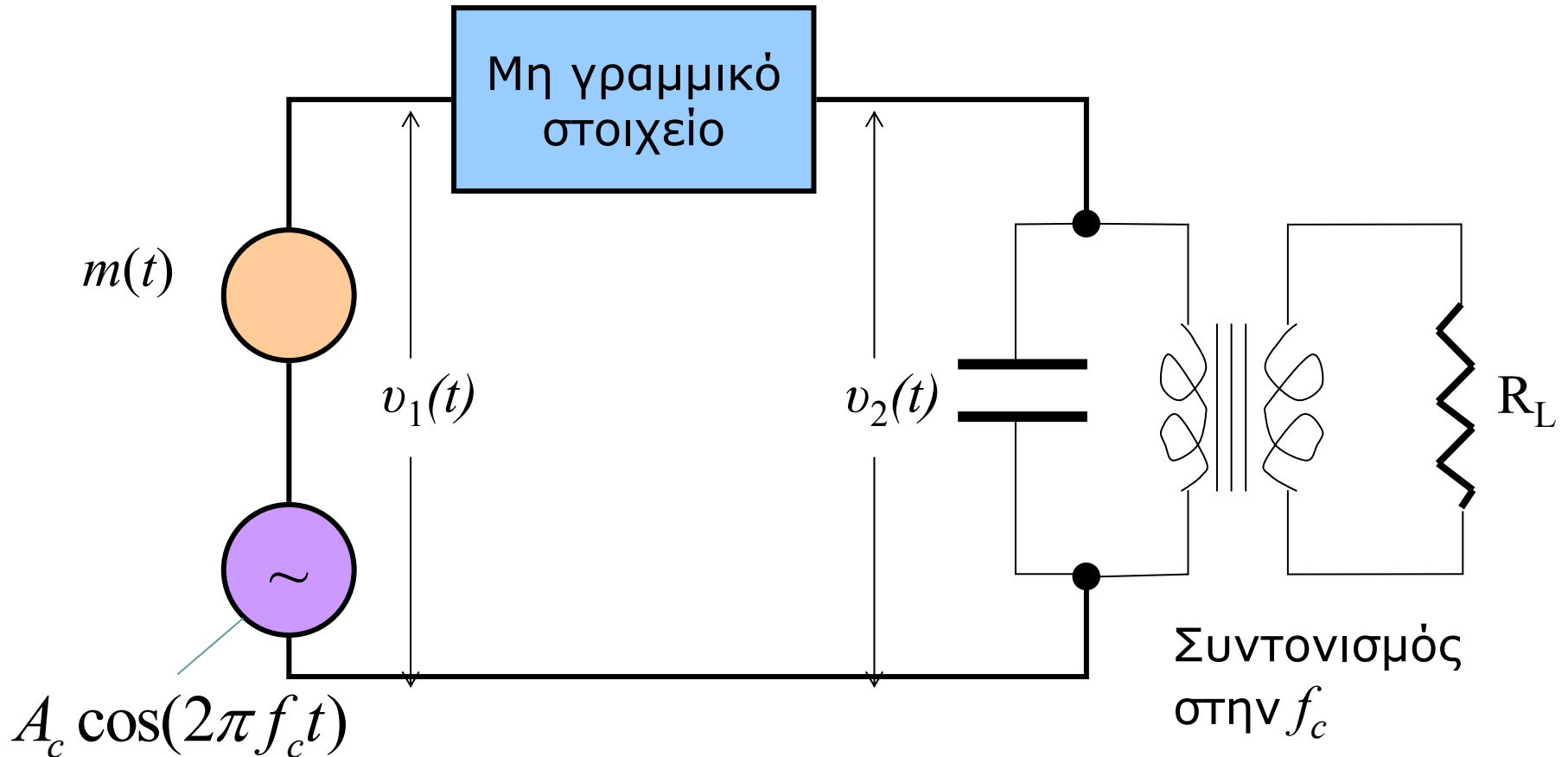


- Αποτελείται από:
 - Αθροιστή του φέροντος και του προς διαμόρφωση σήματος
 - Μη γραμμικό στοιχείο
 - Ζωνοπερατό φίλτρο

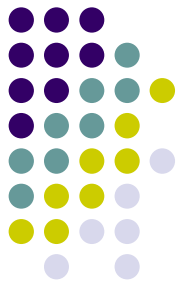
Διαμορφωτής τετραγωνικού νόμου



$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 v_1^2(t)$$



Διαμορφωτής τετραγωνικού νόμου



$$v_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$

$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 v_1^2(t) =$$

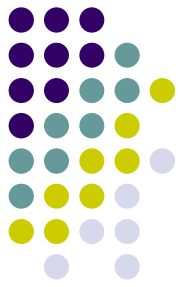
$$= a_1 A_c \cos(2\pi f_c t) + a_1 m(t) +$$

$$+ a_2 A_c^2 \cos^2(2\pi f_c t) + a_2 m^2(t) + 2a_2 A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) \Rightarrow$$

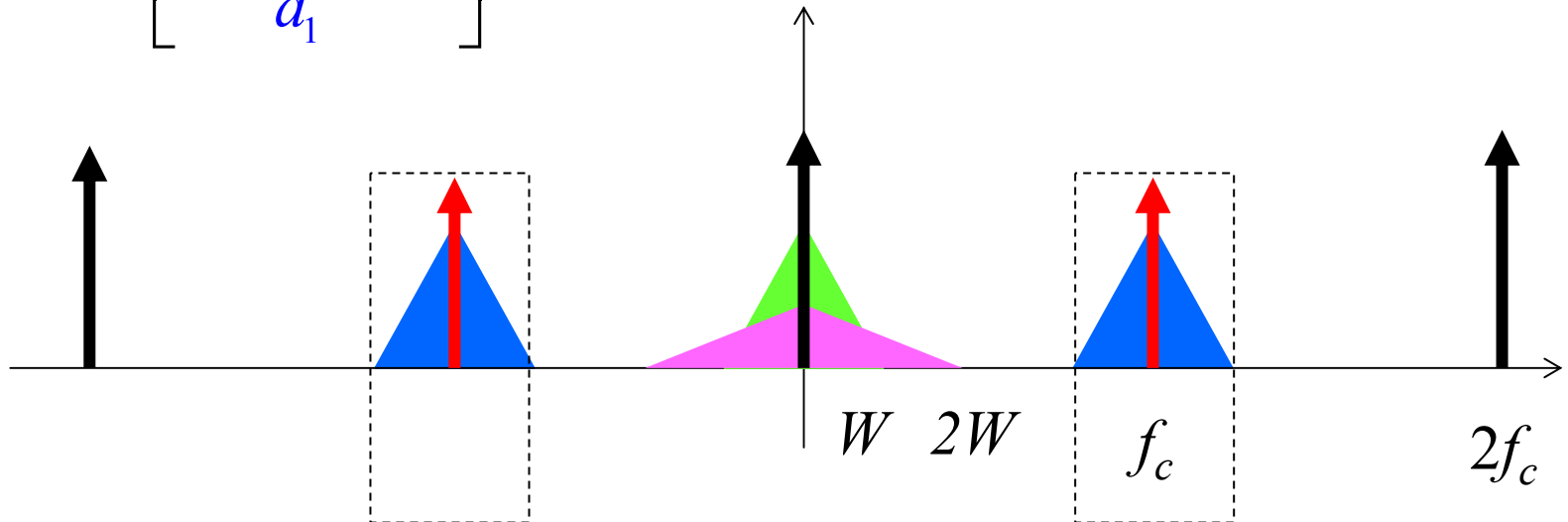
$$v_2(t) = a_1 A_c \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

$$+ a_1 m(t) + a_2 m^2(t) + a_2 A_c^2 \cos^2(2\pi f_c t)$$

Διαμορφωτής τετραγωνικού νόμου



$$v_2(t) = a_1 A_c \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t) + a_1 m(t) + a_2 m^2(t) + a_2 A_c^2 \cos^2(2\pi f_c t)$$

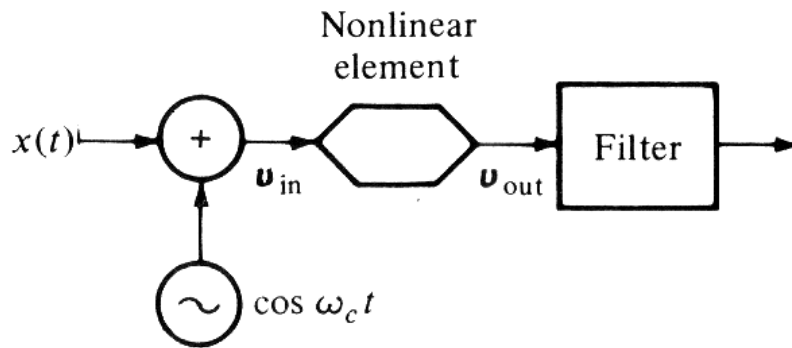
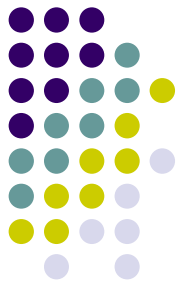


- Με ζωνοπερατό φίλτρο εύρους ζώνης $2W$ και κεντρική συχνότητα f_c λαμβάνουμε

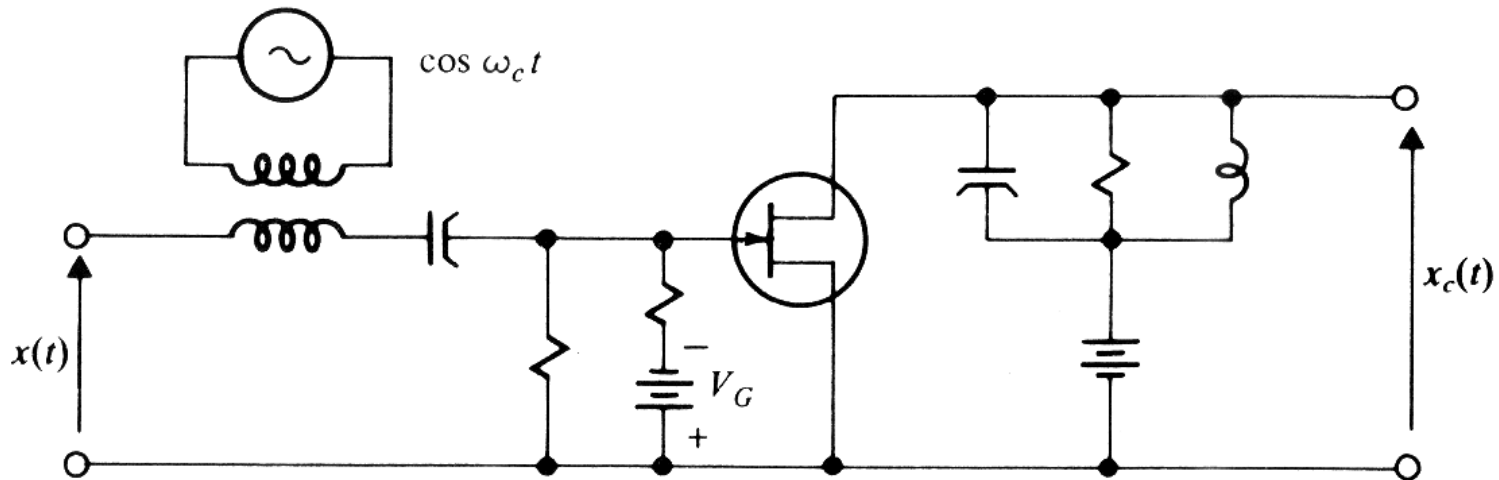
$$a_1 A_c \left[1 + \frac{2a_2}{a_1} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

- εφόσον $f_c > 3W$

Υλοποίηση με τρανζίστορ

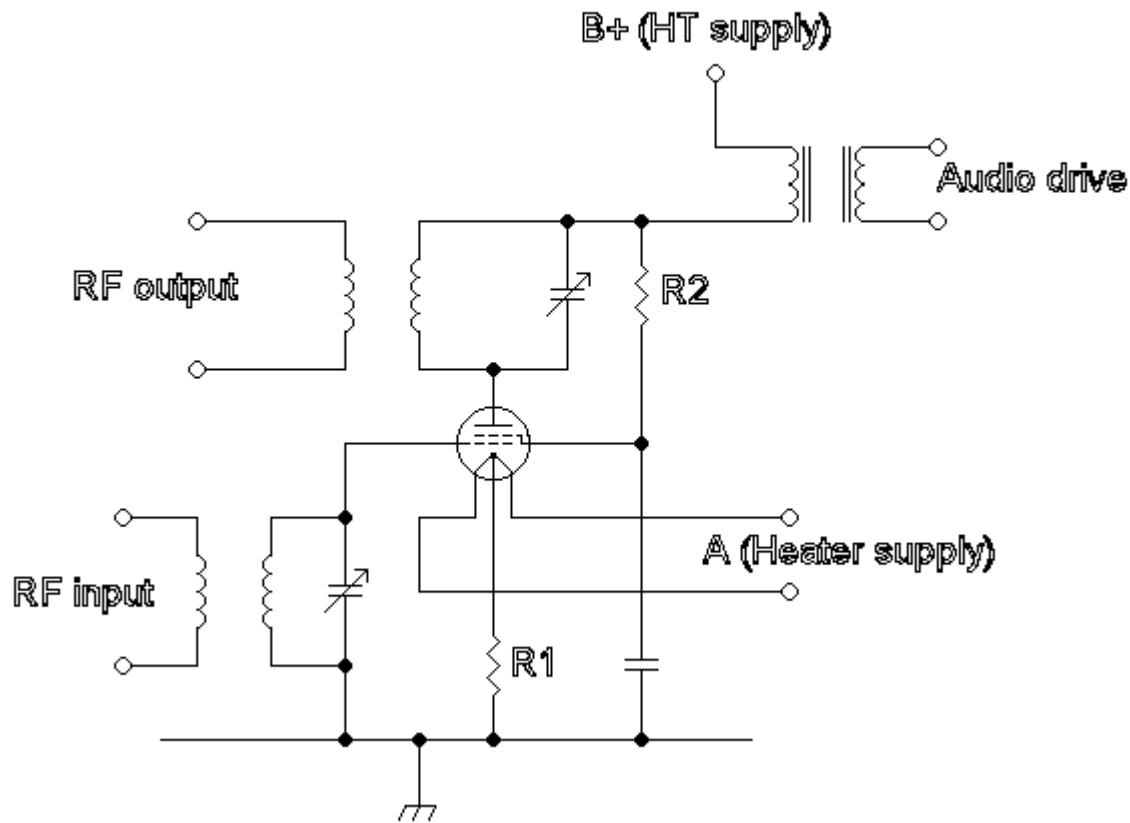
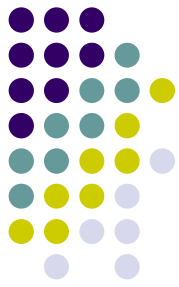


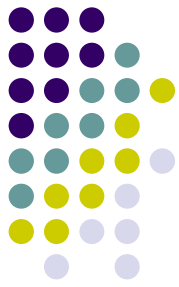
(a)



(b)

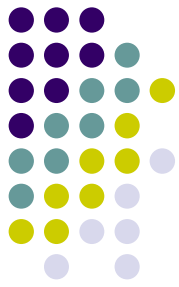
Υλοποίηση με λυχνία





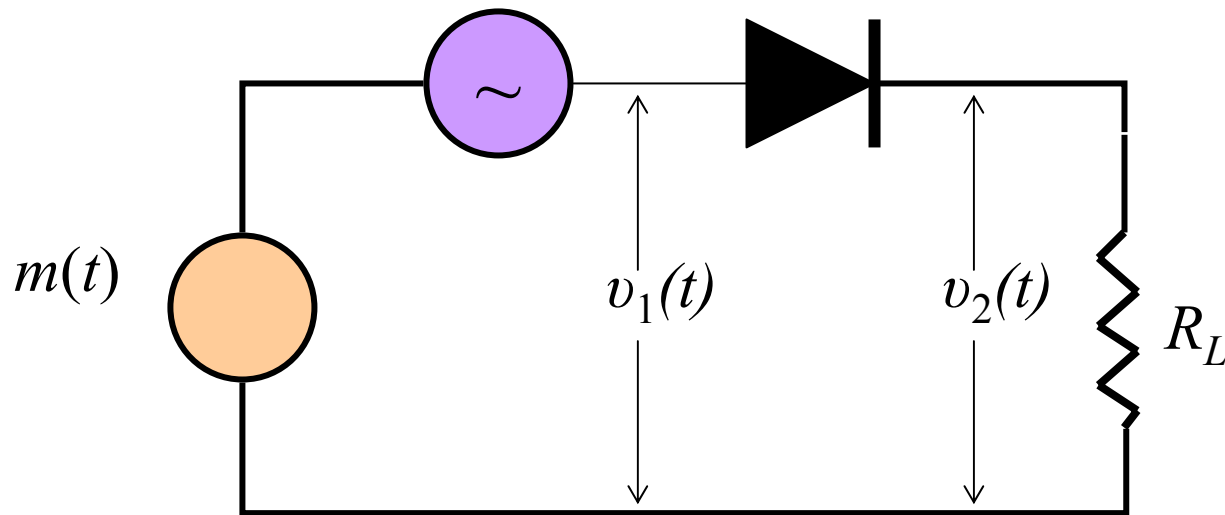
Διαμορφωτής διακόπτη

- Αποτελείται από:
 - Αθροιστή του φέροντος και του προς διαμόρφωση σήματος
 - Δίοδο
 - Ζωνοπερατό φίλτρο



Διαμορφωτής διακόπτη

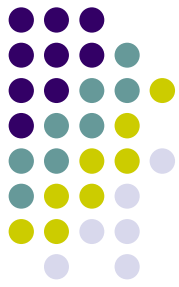
$$c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)$$



$$v_1(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)$$

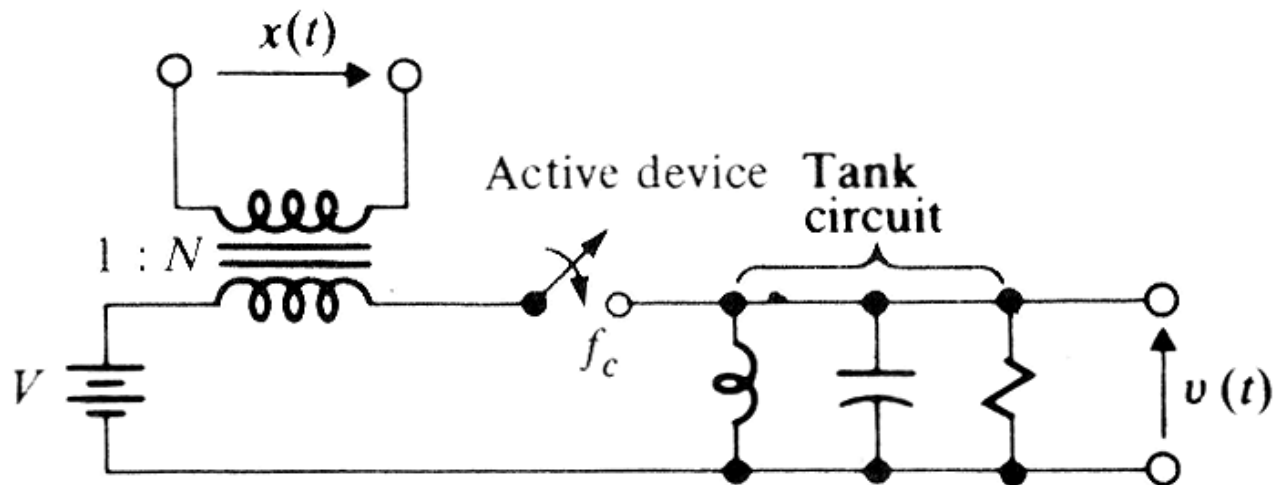
$$|m(t)| \ll A_c \Rightarrow$$

$$v_2(t) \approx \begin{cases} v_1(t), & c(t) > 0 \\ 0 & c(t) \leq 0 \end{cases}$$



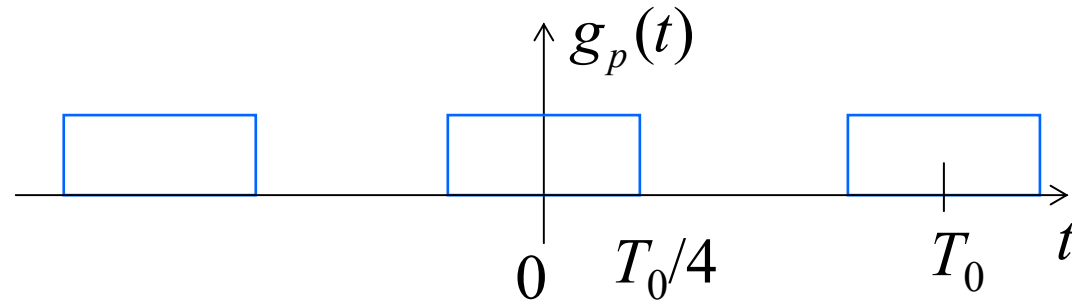
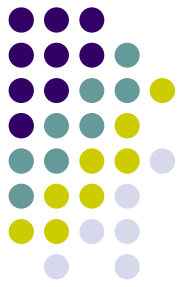
Διαμορφωτής διακόπτη

- Το φίλτρο στους διαμορφωτές τετραγωνικού νόμου εισάγει απώλειες ισχύος
 - Για εκπομπή απαιτείται περαιτέρω ενίσχυση ισχύος
- Στον διαμορφωτή διακόπτη το σήμα μπορεί να έχει υψηλή ισχύ



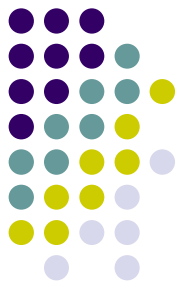
(a)

Διαμορφωτής διακόπτη



$$v_2(t) \approx v_1(t) \times g_p(t)$$

$$g_p(t) = \frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi(2n-1)f_c t]$$



Διαμορφωτής διακόπτη

$$v_2(t) = [A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)] \times \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos 2\pi(2n-1)f_c t \right] \Rightarrow$$

$$v_2(t) = [A_c \cos(2\pi f_c t) + m(t)] \times \left[\frac{1}{2} + \frac{2}{\pi} \cos(2\pi f_c t) - \frac{2}{\pi} \frac{1}{3} \cos(6\pi f_c t) + \dots \right] \Rightarrow$$

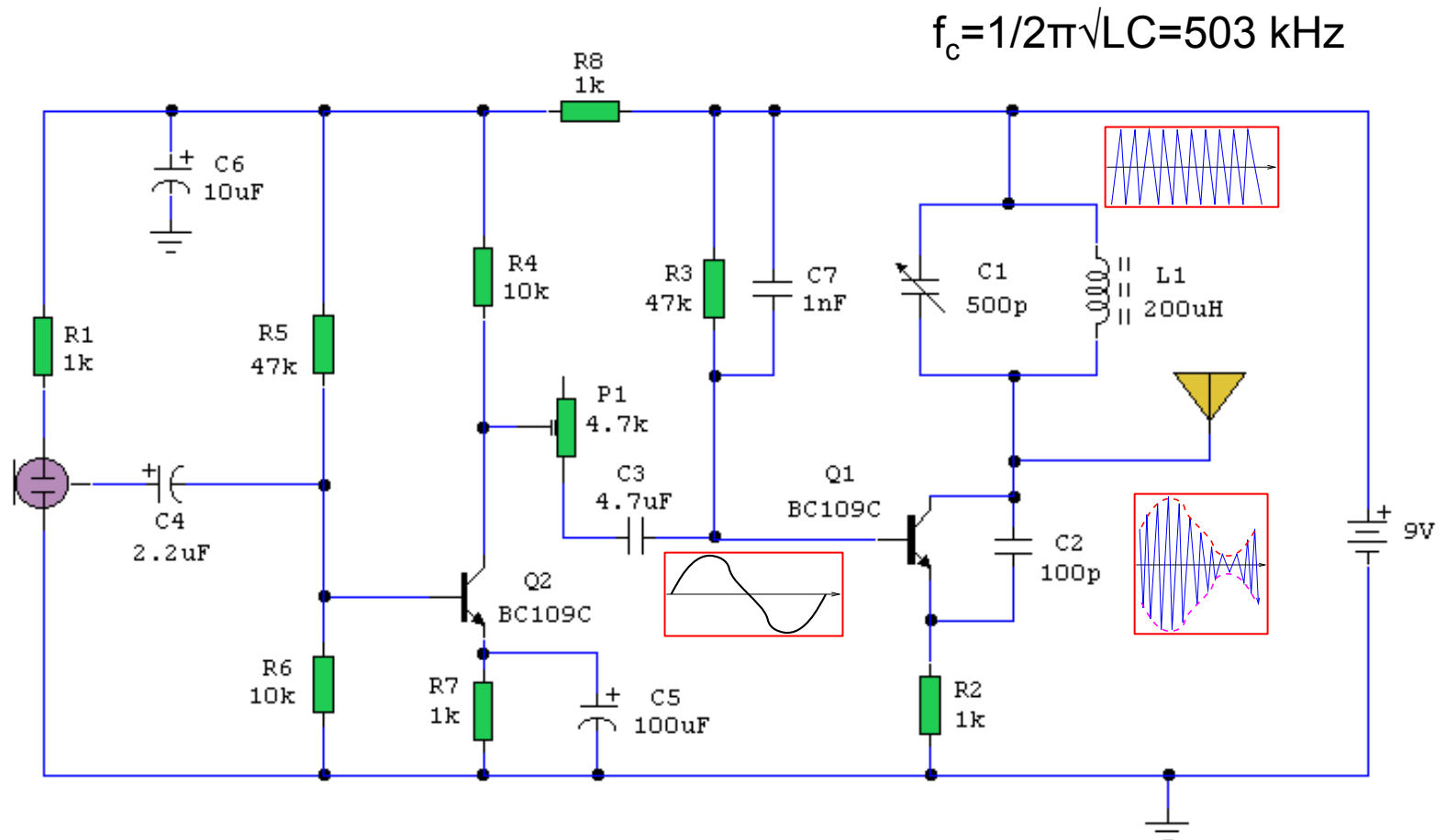
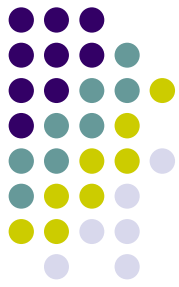
$$v_2(t) = \frac{1}{2} A_c \cos(2\pi f_c t) + \frac{2A_c}{\pi} \cos^2(2\pi f_c t) - \frac{2A_c}{3\pi} \cos(2\pi f_c t) \cos(6\pi f_c t) + \dots$$
$$+ \frac{1}{2} m(t) + \frac{2}{\pi} m(t) \cos(2\pi f_c t) + \dots$$

- Η επιθυμητή συνιστώσα

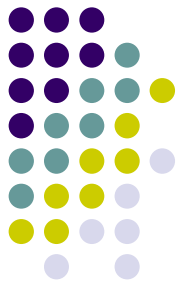
$$\frac{A_c}{2} \left[1 + \frac{4}{\pi A_c} m(t) \right] \cos(2\pi f_c t)$$

- λαμβάνεται με ζωνοπερατό φίλτρο εύρους ζώνης $2W$ και κεντρική συχνότητα f_c (εφόσον $f_c > 2W$)

Κύκλωμα απλού πομπού AM

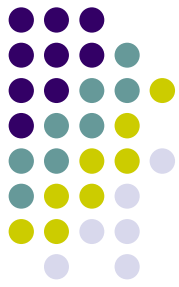


Λεπτομέρειες



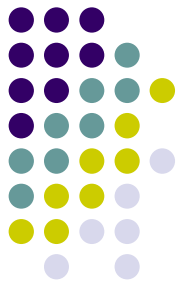
- Το προηγούμενο κύκλωμα παράγει διαμόρφωση AM για σήμα φωνής
 - Η εκπομπή χωρίς άδεια είναι παράνομη
- Το κύκλωμα έχει δύο μέρη
 - Τον ενισχυτή ηχητικών σημάτων
 - Τον ταλαντωτή RF
- Το κύκλωμα L1 και C1 ταλαντώνεται σε συχνότητες της περιοχής 500 kHz to 1600 kHz
 - Η συχνότητα εκπομπής ρυθμίζεται από τον μεταβλητό πυκνωτή C1
- Το Q1 χρειάζεται αρνητική ανάδραση για να δημιουργήσει την ταλάντωση
- Το Q2 ενισχύει το σήμα του μικροφώνου
- Ο δείκτης διαμόρφωσης ρυθμίζεται από την αντίσταση P1.
- Δεν απαιτείται κεραία (30 cm σύρματος αρκούν)

Αποδιαμόρφωση σημάτων AM



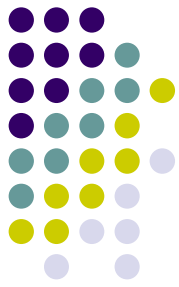
- Συμβιβασμός μεταξύ επίδοσης και πολυπλοκότητας (κόστους)
 - Φωρατής τετραγωνικού νόμου
 - Φωρατής περιβάλλουσας

Αποδιαμόρφωση σημάτων AM

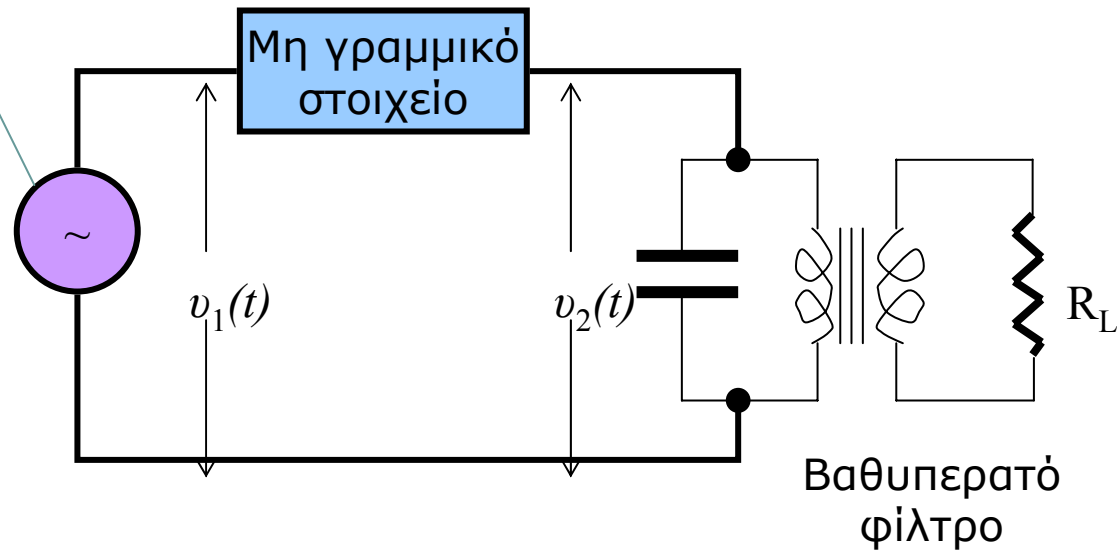


- Ο φωρατής τετραγωνικού νόμου υψώνει το σήμα στο τετράγωνο και μετά το περνά από βαθυπερατό φίλτρο
 - Παραμένουσα παραμόρφωση ανάλογη προς το $m^2(t)$
 - Μη ομόδυνος (non coherent)
 - Δεν απαιτείται στο δέκτη η φάση του φέροντος
- Ο φωρατής περιβάλλουσας αποδιαμορφώνει την περιβάλλουσα του $s(t)$
 - Κυκλωματικά απλός (αντιστάσεις, πυκνωτής, δίοδος)
 - Δουλεύει χωρίς παραμόρφωση μόνο εάν $|km(t)| \leq 1$
 - Μη ομόδυνος

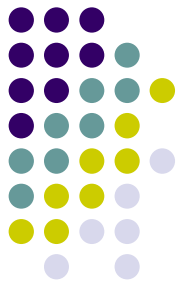
Φωρατής τετραγωνικού νόμου



$$v_1(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



Φωρατής τετραγωνικού νόμου



$$v_1(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

$$v_2(t) = a_1 v_1(t) + a_2 v_1^2(t) =$$

$$= a_1 A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) + a_2 \left(A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) \right)^2$$

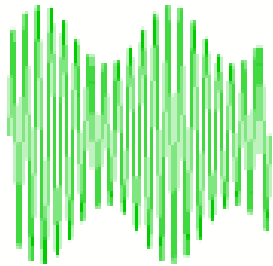
$$= a_1 A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t) + \frac{1}{2} a_2^2 A_c^2 [1 + k_a^2 m^2(t) + 2k_a m(t)] \times (1 + \cos 4\pi f_c t)$$

$$= a_2^2 A_c^2 k_a m(t) + \frac{1}{2} a_2^2 A_c^2 k_a^2 m^2(t) + \dots$$

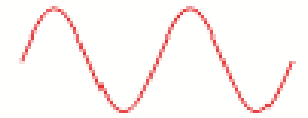
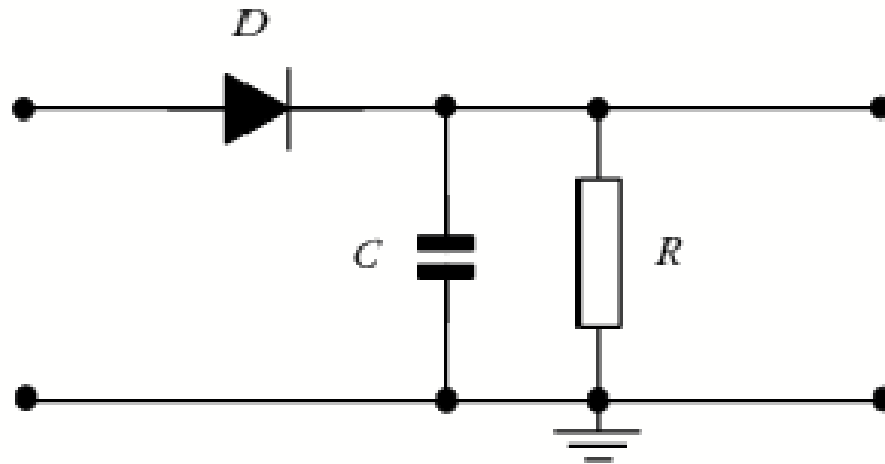
- μετά τη διάβαση από το βαθυπερατό φίλτρο παραμένει η ζητούμενη συνιστώσα και μια παραμόρφωση ανάλογη του $m^2(t)$

$$\Rightarrow \frac{S}{N} = \frac{2}{k_a m(t)}$$

Φωρατής περιβάλλουσας

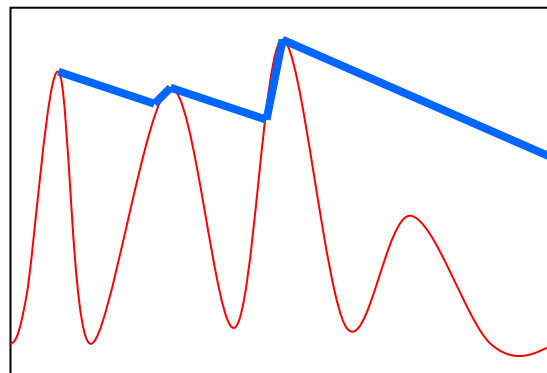
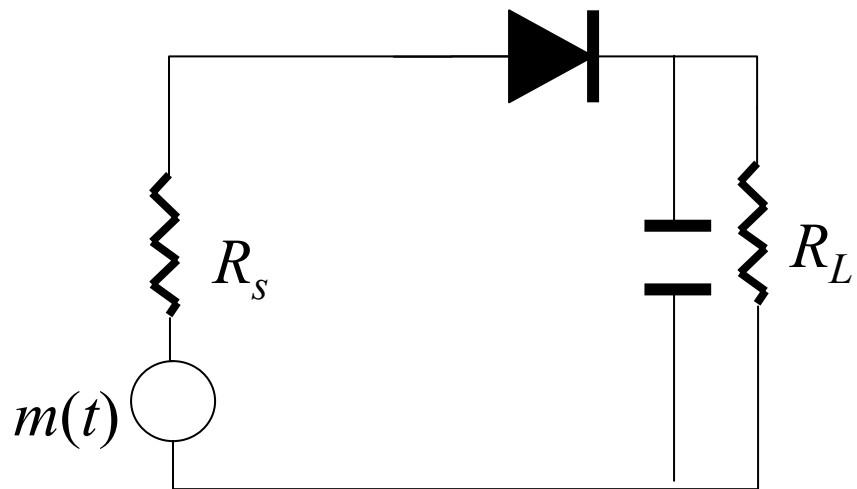


Σήμα $s(t)$

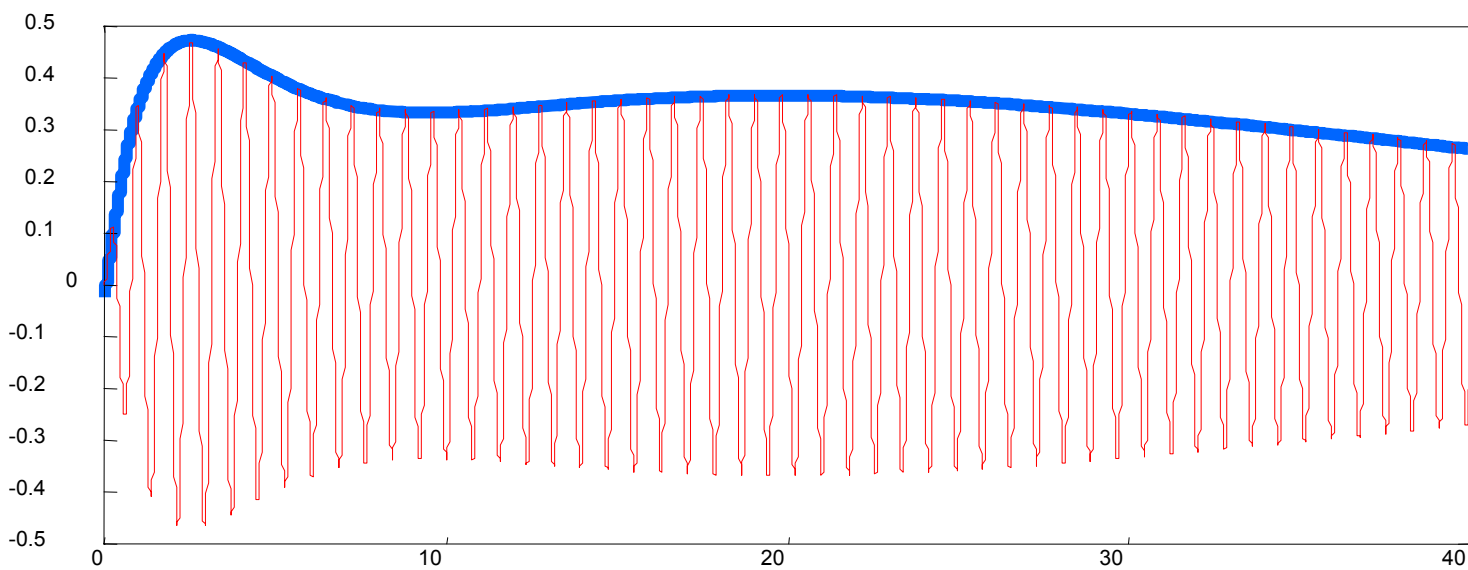
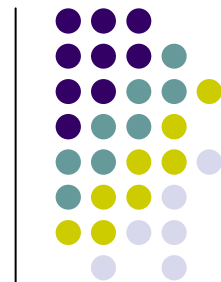


Έξοδος $m(t)$

- Δουλεύει μόνο εάν $|k_a m(t)| \leq 1$

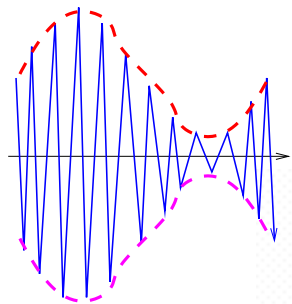


$$\frac{1}{f_c} \ll R_L C \ll \frac{1}{W}$$

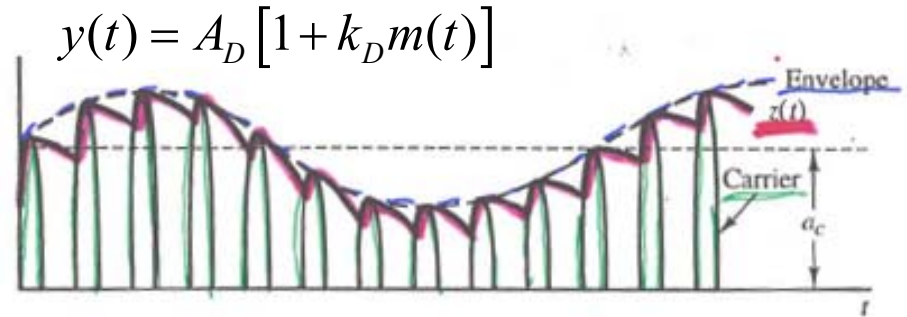
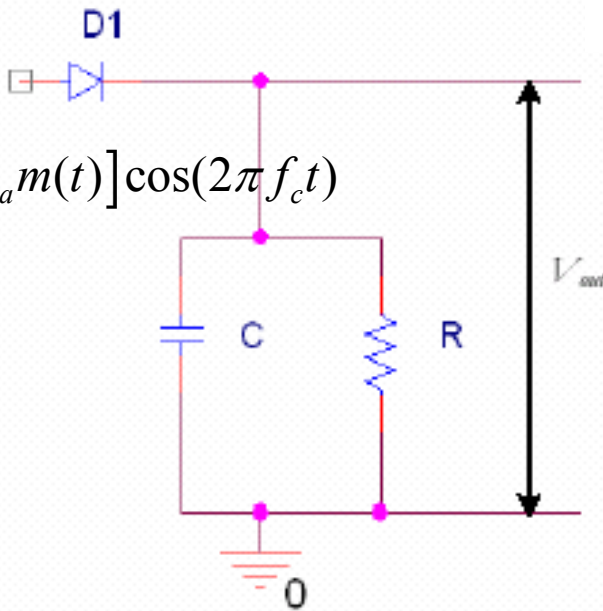


$$R_s C \ll \frac{1}{f_c}$$

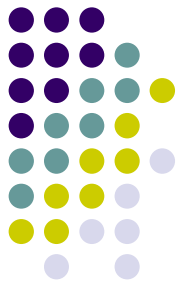
Εξηγήσεις



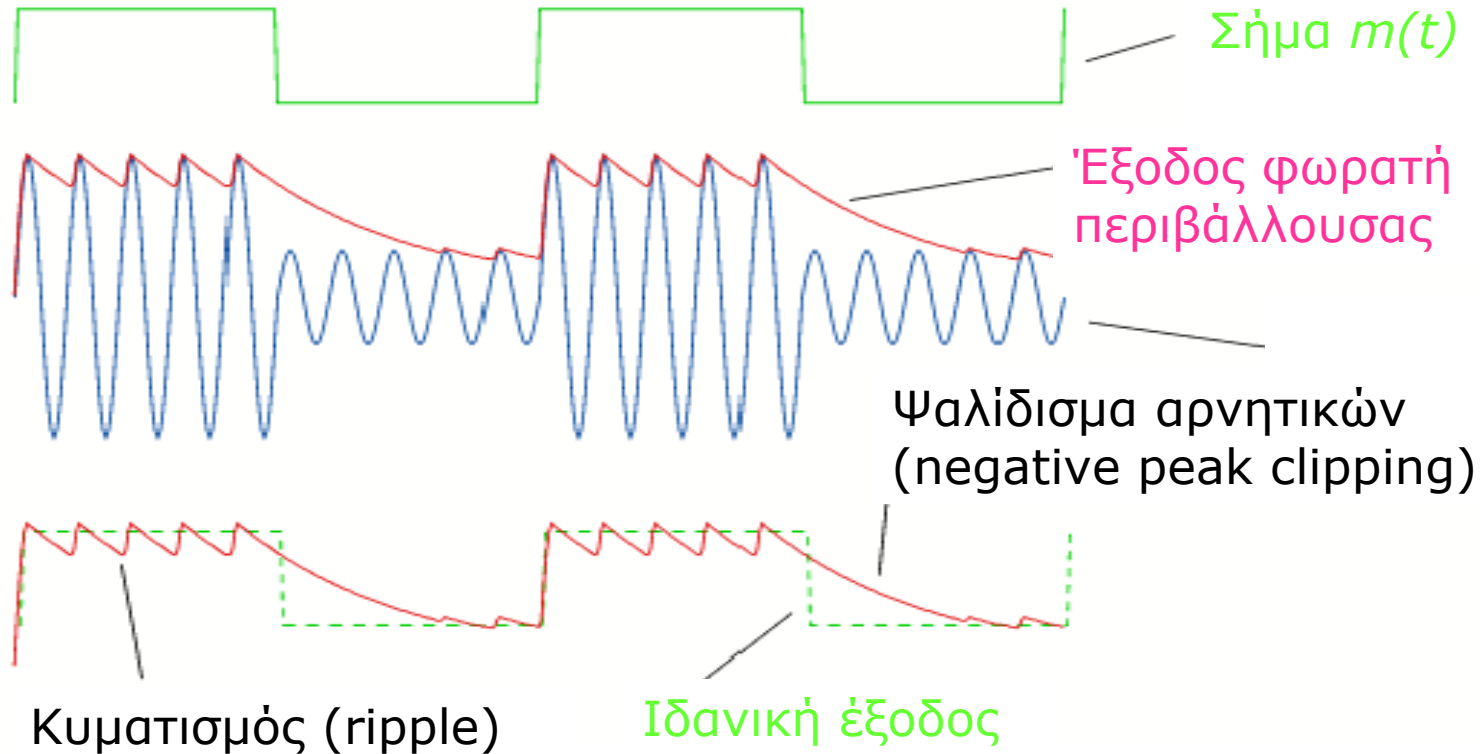
$$s(t) = A_c [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$



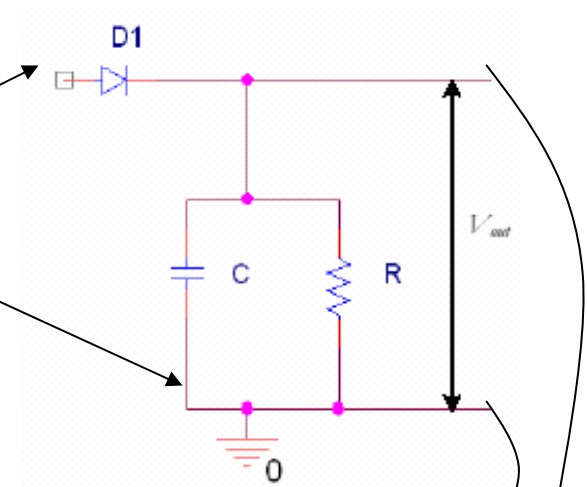
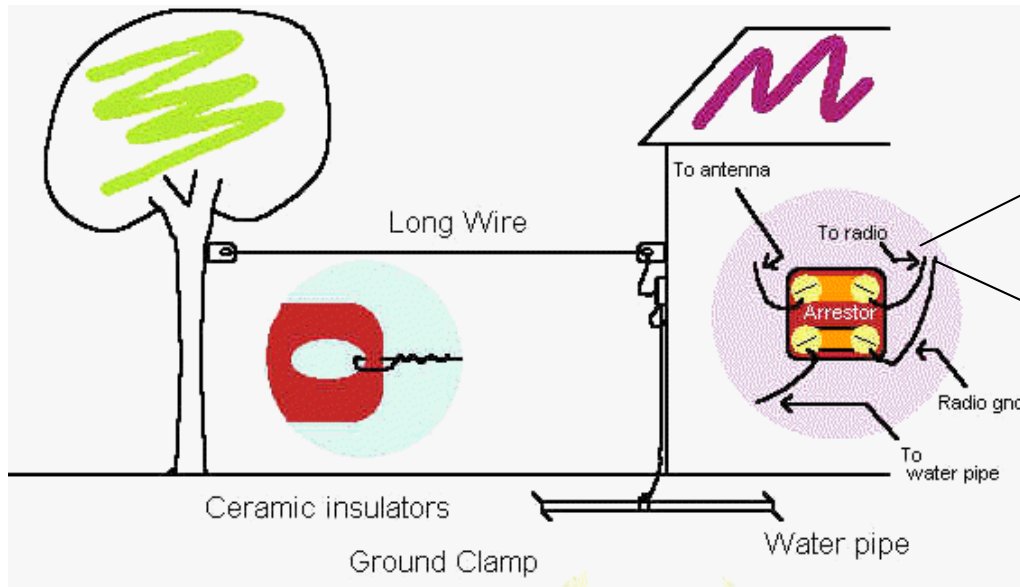
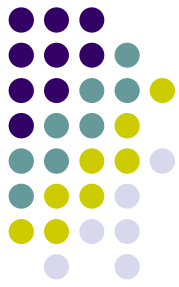
- Η δίοδος D1 κόβει το αρνητικό μέρος του σήματος AM
- Όταν το σήμα μετά την D1 είναι θετικό, φορτίζεται ο C
- Όταν το σήμα μετά την D1 είναι αρνητικό, αποφορτίζεται ο C
- Τελικά, η $y(t)$ είναι περίπου η περιβάλλουσα του $s(t)$
- Το $m(t)$ λαμβάνεται μετά από την αφαίρεση της συνιστώσας DC με πυκνωτή



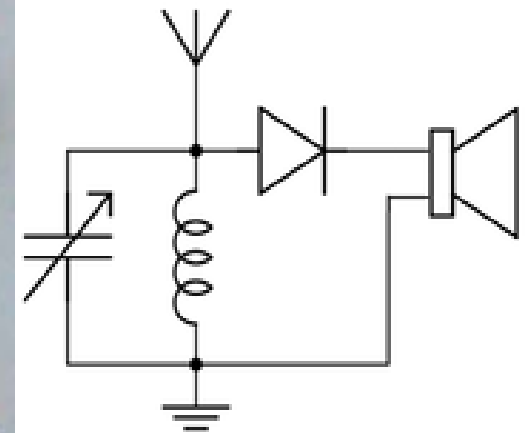
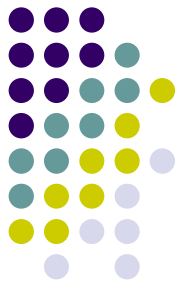
Φωρατής περιβάλλουσας



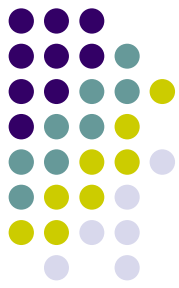
Απλός δέκτης AM

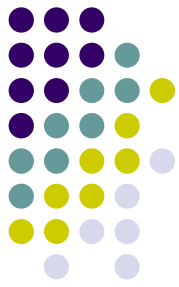


Απλός δέκτης AM



Οι πρώτες δίοδοι για ραδιόφωνα

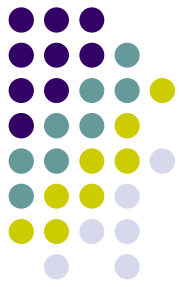




Συμβατική διαμόρφωση AM

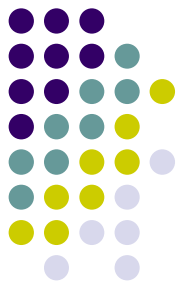
- Πλεονεκτήματα
 - Πολύ απλή αποδιαμόρφωση (φωρατής περιβάλλουσας)
 - “Γραμμική” διαμόρφωση
- Μειονεκτήματα
 - Μικρή απόδοση ισχύος
 - Διπλασιάζει το εύρος ζώνης

Ιστορία της ραδιοφωνίας AM



- Το πρώτο πείραμα ραδιοφωνικής εκπομπής AM
 - 21/12/1906
 - Reginald Fessenden (Καναδός)
 - Φέρον 50 kHz
 - Brant Rock, MA , ΗΠΑ



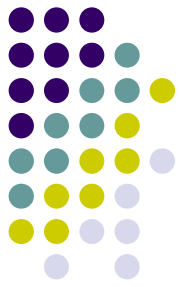


Ιστορία της ραδιοφωνίας AM

- Ο πρώτος εμπορικός ραδιοφωνικός σταθμός AM στον κόσμο
 - 1919, XWA στο Montreal, Καναδάς
 - Φέρον 940 kHz
 - Ισχύς 50 kW

CINW (AM) AM 940 MONTREAL Your news. Your views.	
City of license	Montreal, Quebec
Branding	The New 940 Montreal
Slogan	Your news. Your views.
First air date	December 1, 1919
Frequency	940 kHz (AM)
Format	News/Talk
Power	50 kW
Former callsigns	CIQC (1991-1999) CFCF (1920-1991) XWA (1919-1920)
Owner	Corus Entertainment
Website	http://www.940montreal.com

Ιστορία της ραδιοφωνίας AM

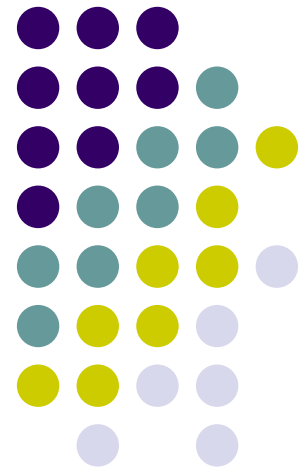


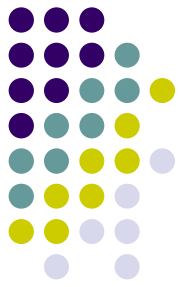
- Ο πρώτος εμπορικός ραδιοφωνικός σταθμός AM στις ΗΠΑ
 - 1920, KDKA στο Pittsburgh, PA.
 - Φέρον 1020 kHz
 - Ισχύς 50 kW
- Υπάρχουν περί τους 16.000 σταθμούς AM

KDKA-AM	
	
Broadcast area	Pittsburgh, PA
Branding	"NEWSRADIO 1020 KDKA"
Slogan	"The Voice of Pittsburgh"
First air date	1920
Frequency	1020 (kHz)
Format	News/Talk
ERP	50,000 watts
Class	A
Owner	CBS Radio
Sister stations	KDKA, WDSY, WTZN, WZPT part of CBS Corp. cluster with TV stations KDKA & WPCW
Website	kdkaradio.com

Διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης με καταπιεσμένο φέρον

Double Sideband Suppressed
Carrier (DSBSC)





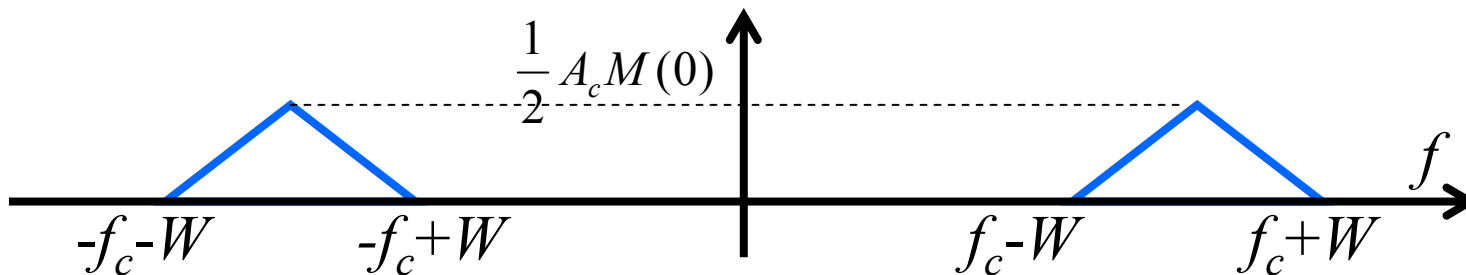
Διαμόρφωση DSBSC

- Η μετάδοση του φέροντος αποτελεί σπατάλη ισχύος
- Αφαίρεση του προσθετικού σταθερού όρου
- Το διαμορφωμένο σήμα είναι

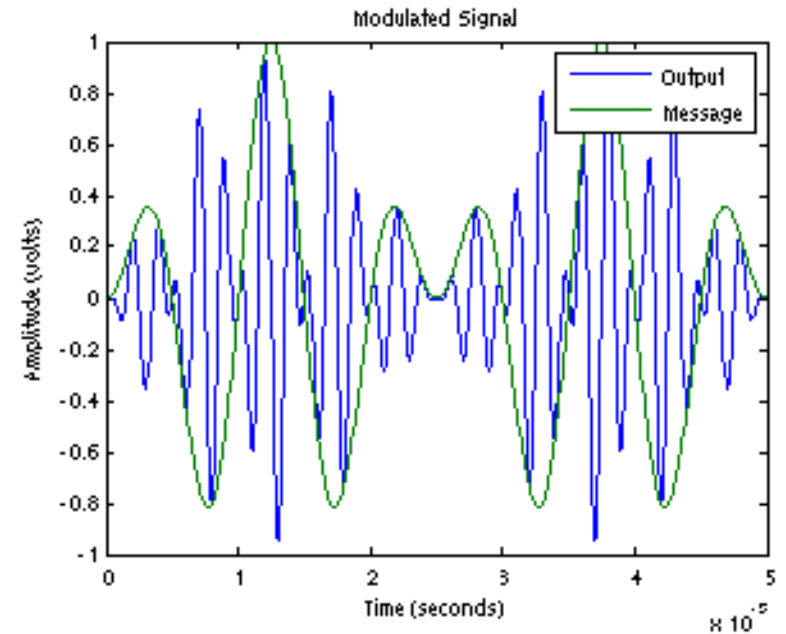
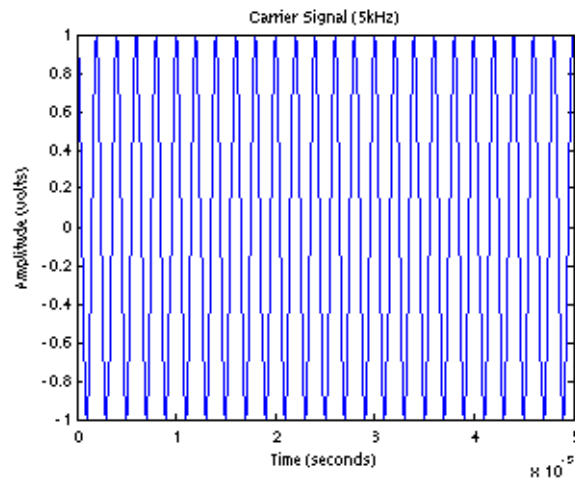
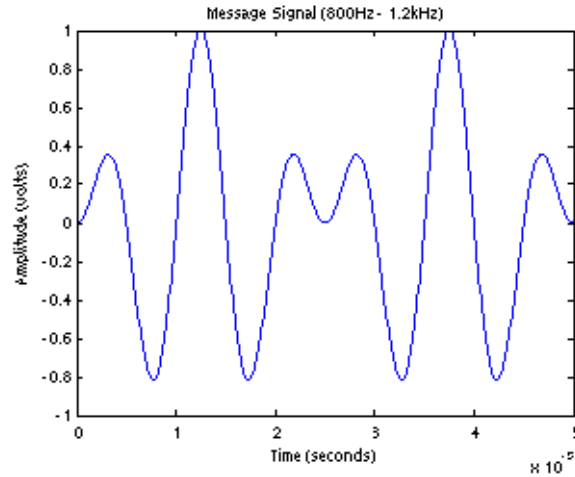
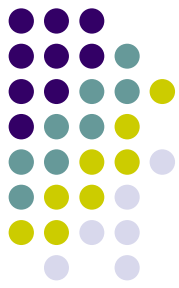
$$s(t) = c(t)m(t) = A_c \cos(2\pi f_c t)m(t)$$

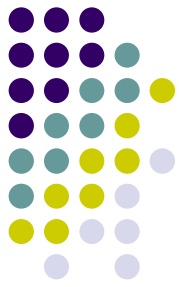
- Στο πεδίο συχνότητας

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



Διαμόρφωση DSBSC





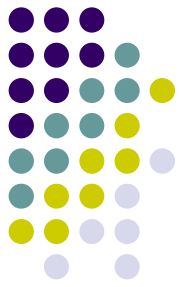
Φάσμα σήματος DSBSC

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

$$\begin{aligned} R_s(\tau) &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} s(t) s(t - \tau) dt \\ &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} A_c^2 m(t) m(t - \tau) \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c (t - \tau)) dt \\ &= \frac{A_c^2}{2} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} m(t) m(t - \tau) [\cos(4\pi f_c t - 2\pi f_c \tau) + \cos(2\pi f_c \tau)] dt \\ &= \frac{A_c^2}{2} R_m(\tau) \cos(2\pi f_c \tau) \end{aligned}$$

διότι

$$\frac{1}{T} \int_{-T/2}^{+T/2} m(t) m(t - \tau) \cos(4\pi f_c t - 2\pi f_c \tau) dt = 0$$

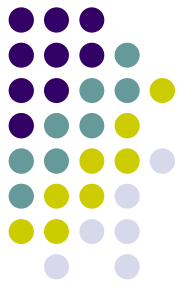


Ισχύς σήματος DSBSC

$$\begin{aligned} S_s(f) &= \mathbb{E} \left[\frac{A_c^2}{2} R_m(\tau) \cos(2\pi f_c \tau) \right] \\ &= \frac{A_c^2}{2} [S_m(f - f_c) + S_m(f + f_c)] \end{aligned}$$

$$P_s = R_s(0) = \frac{A_c^2}{2} R_m(0) = \frac{A_c^2}{2} P_m = 2P_{sb}$$

$$P_{sb} = \left(\frac{A_c}{2} \right)^2 P_m$$



Ισχύς σήματος DSBSC

- Για σταθερό μέγιστο πλάτος σήματος A_{max} και κανονικοποιημένο σήμα $x(t)$ μοναδιαίου πλάτους

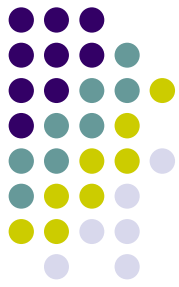
$$\text{AM, } A_{max} = 2A_c$$

$$\text{DSB, } A_{max} = A_c$$

- Η ισχύς πλευρικής ζώνης στη DSB είναι **τετραπλάσια** αυτής της AM

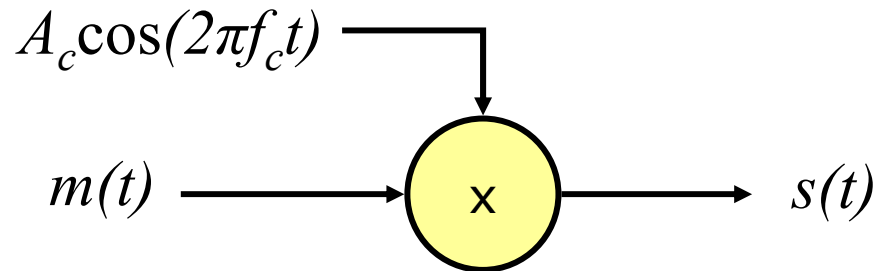
$$\text{AM, } P_{sb} / A_{max}^2 = P_x / 16$$

$$\text{DSB, } P_{sb} / A_{max}^2 = P_x / 4$$



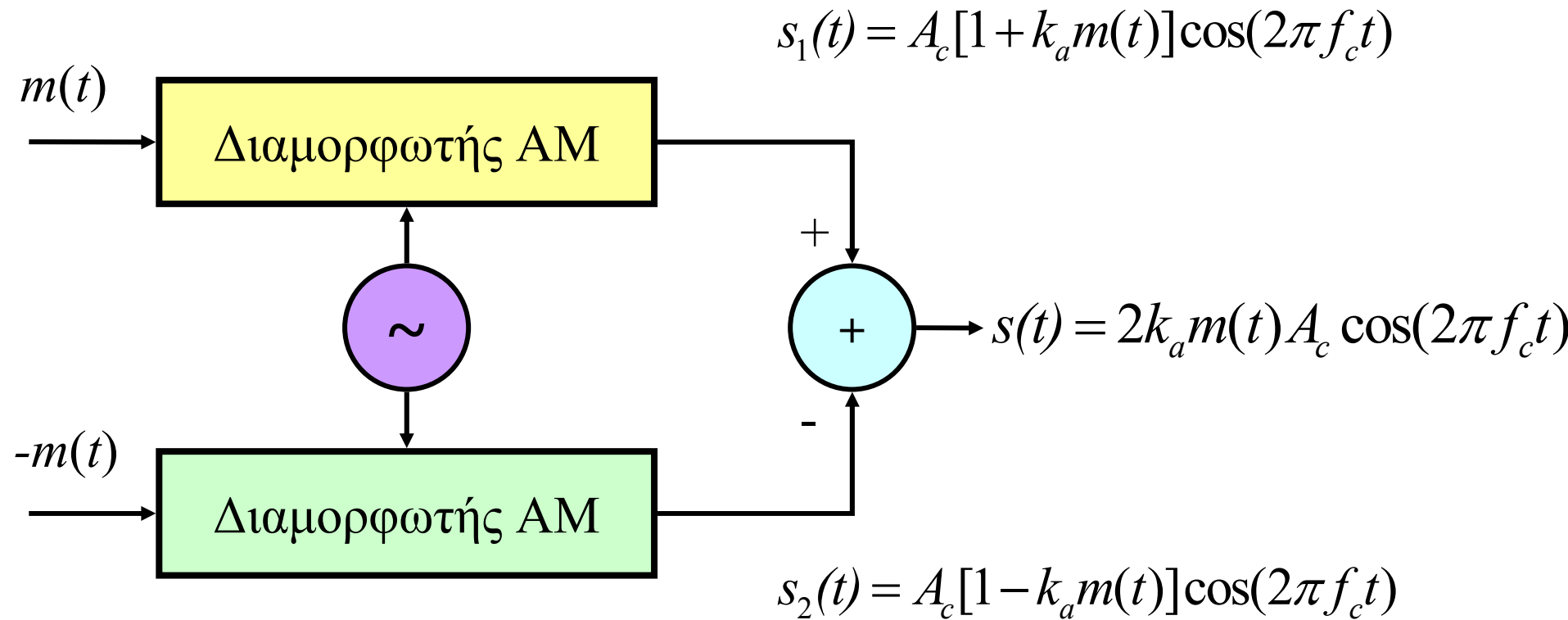
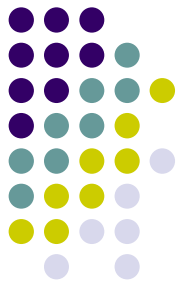
Παραγωγή σήματος DSBSC

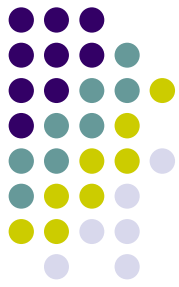
- Μπορεί να παραχθεί με διαμορφωτή γινομένου



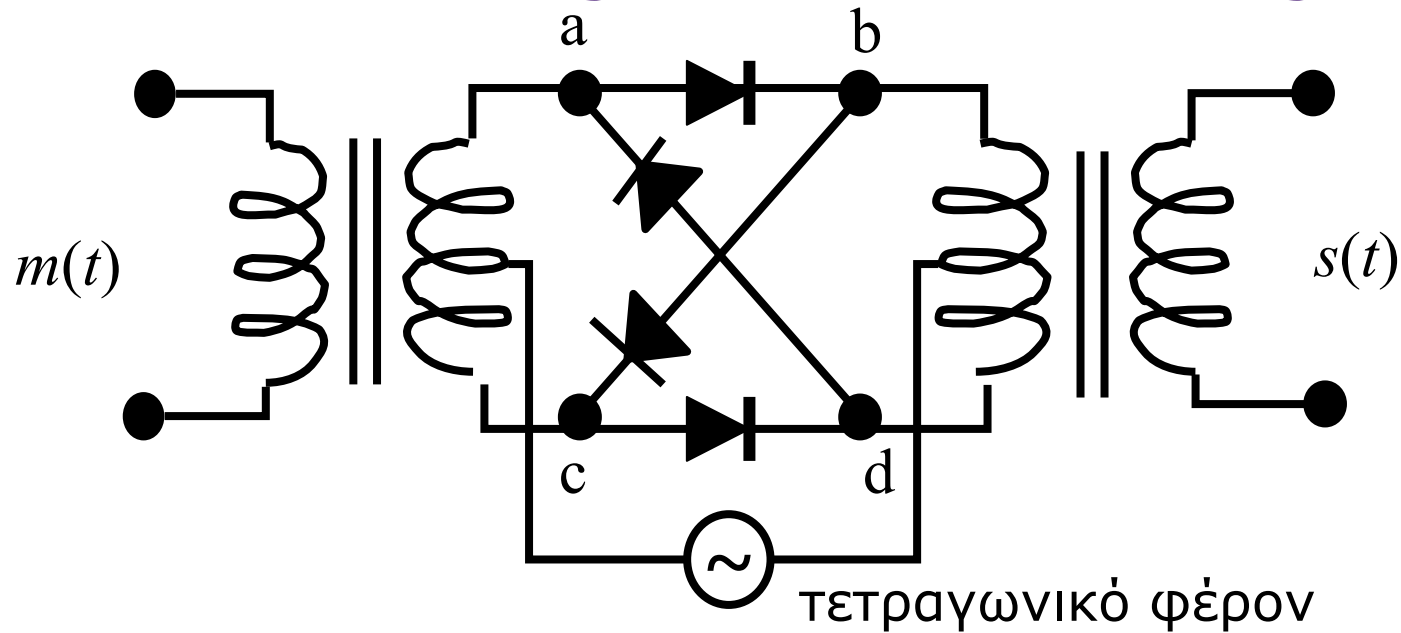
- Πρακτικοί διαμορφωτές
 - Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής
 - Δακτυλιοειδής διαμορφωτής

Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής

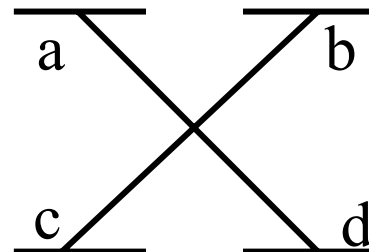
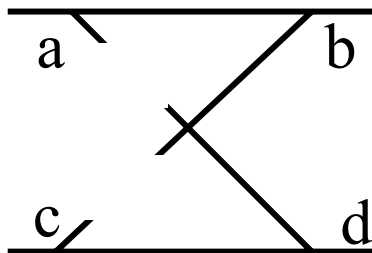


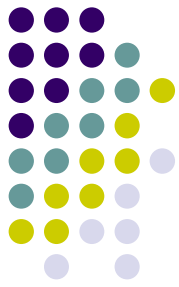


Δακτυλιοειδής διαμορφωτής



- Ανάλογα με την πολικότητα του φέροντος έχουμε

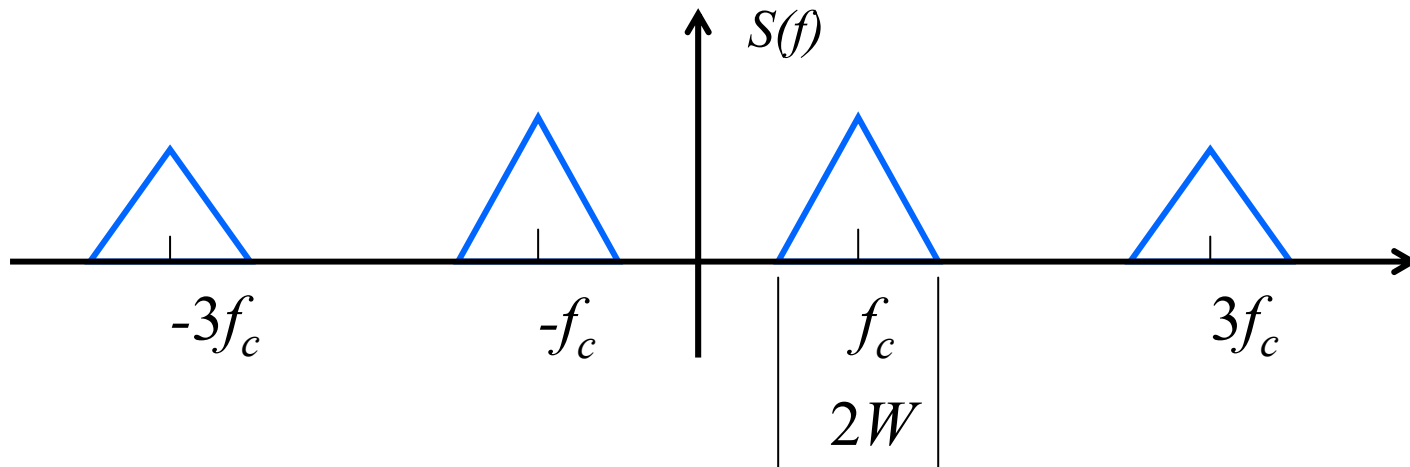




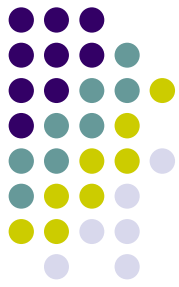
Δακτυλιοειδής διαμορφωτής

$$c(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi(2n-1)f_c t]$$

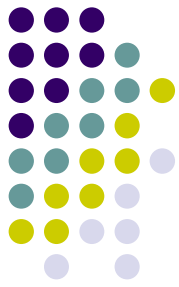
$$s(t) = c(t)m(t) = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{2n-1} \cos[2\pi(2n-1)f_c t] m(t)$$



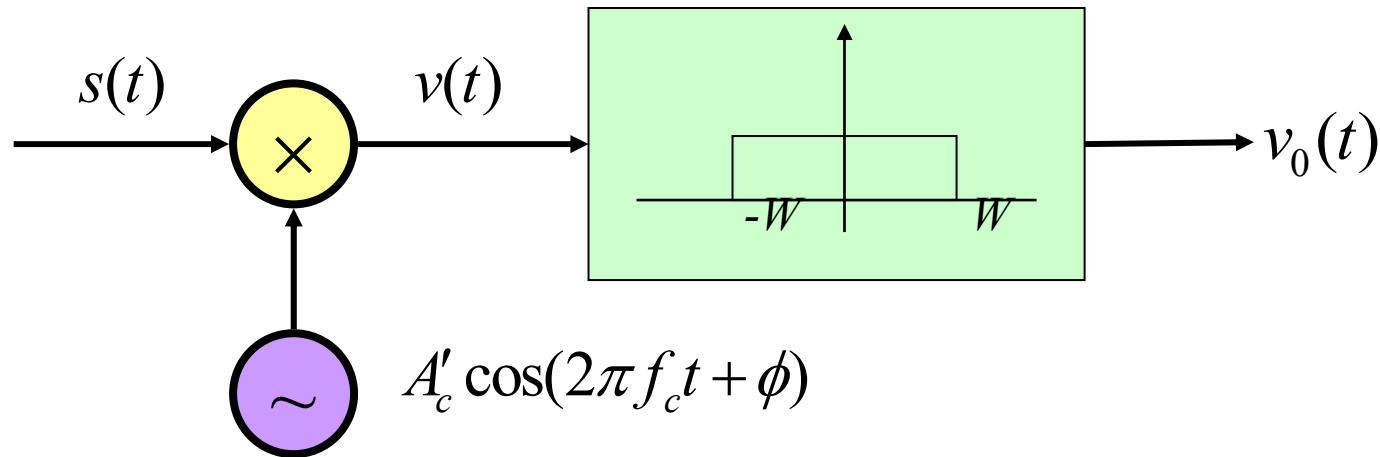
Αποδιαμόρφωση σημάτων DSBSC



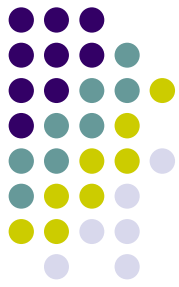
- Η διαμόρφωση DSBSC αποτελεί βελτίωση σε σχέση με την AM σε βάρος όμως της πολυπλοκότητας του δέκτη
 - Τα σήματα AM αποδιαμορφώνονται εύκολα με φωρατή περιβάλλουσας
 - Κυκλωματικά απλός, αλλά απαιτεί την ύπαρξη φέροντος
- Στην DSBSC απαιτείται **ομόδυνη** αποδιαμόρφωση
 - Τοπικός ταλαντωτής στην ίδια συχνότητα με το φέρον
 - Η ανάκτηση της φάσης του φέροντος είναι το δυσκολότερο πρόβλημα για την υλοποίηση των δεκτών



Ομόδυνη αποδιαμόρφωση

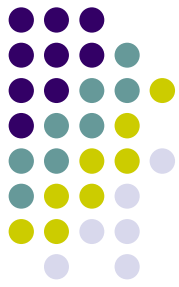


$$\begin{aligned} v(t) &= A'_c \cos(2\pi f_c t + \phi) s(t) \\ &= A'_c \cos(2\pi f_c t + \phi) s(t) A_c \cos(2\pi f_c t) m(t) \\ &= \frac{1}{2} A_c A'_c \cos(4\pi f_c t + \phi) m(t) + \frac{1}{2} A_c A'_c m(t) \cos \phi \Rightarrow \\ v_0(t) &= \frac{1}{2} A_c A'_c m(t) \cos \phi \end{aligned}$$



Ομόδυνη αποδιαμόρφωση

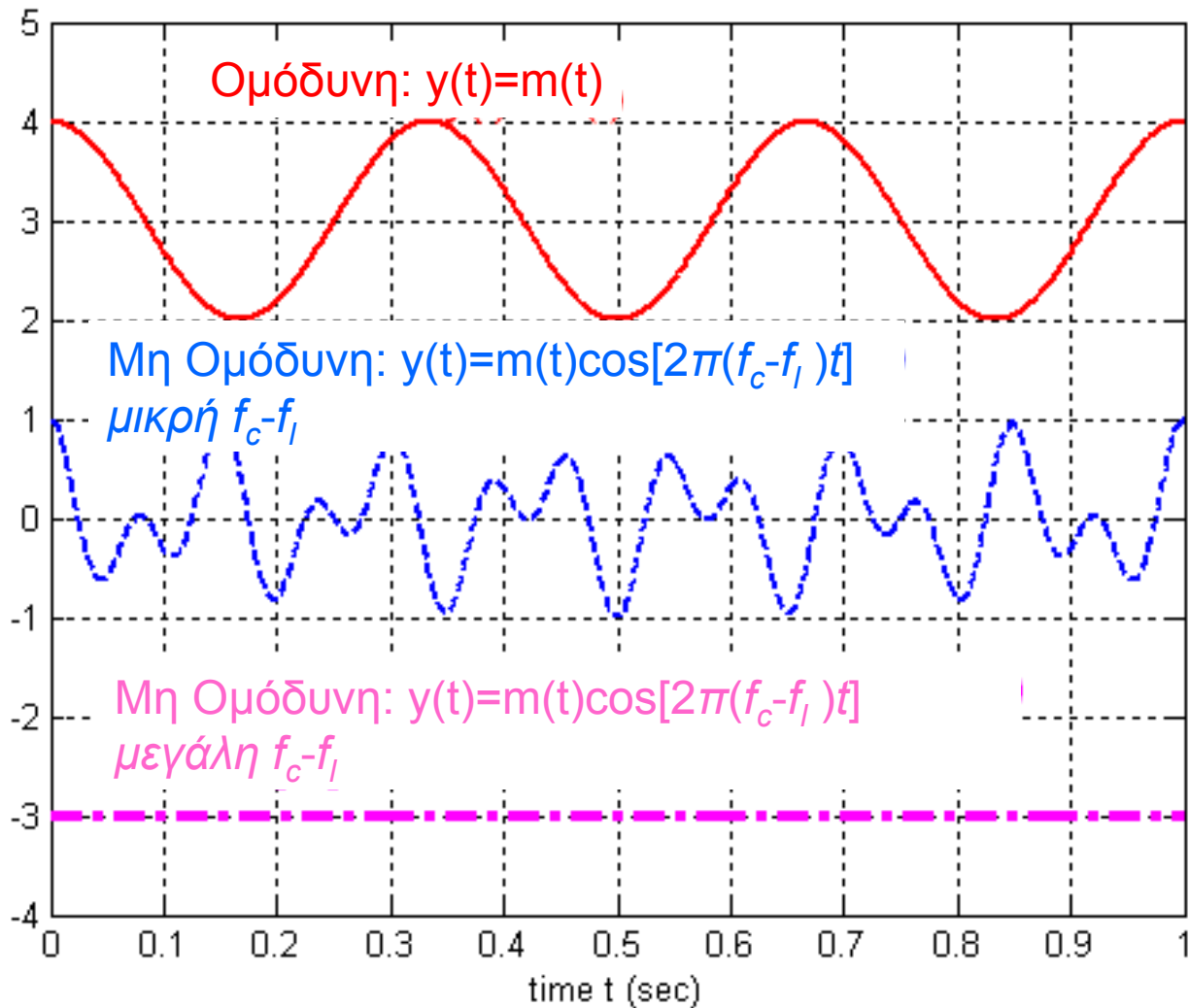
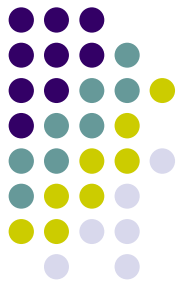
- Το αποδιαμορφωμένο σήμα περιέχει την επιθυμητή συνιστώσα $m(t)$ πολλαπλασιασμένη με $\cos(\varphi)$
 - το συνημίτονο της απόκλισης φάσης μεταξύ του τοπικού και του φέροντος που χρησιμοποιήθηκε για τη διαμόρφωση
 - Εάν $\varphi = \pm\pi/2$, $v_0(t) = 0$
 - Απαιτείται $\varphi \approx 0$!

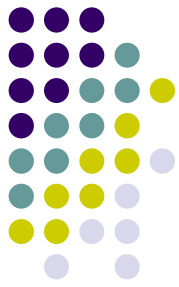


Ομόδυνη αποδιαμόρφωση

- Εάν συχνότητα f_i του τοπικού ταλαντωτή διαφέρει από αυτή του φέροντος f_c
 - το αποδιαμορφωμένο σήμα περιέχει την επιθυμητή συνιστώσα $m(t)$ πολλαπλασιασμένη με τον χρονικά μεταβαλλόμενο όρο $\cos[2\pi(f_c - f_i)t]$
 - Απαιτείται $f_c = f_i$

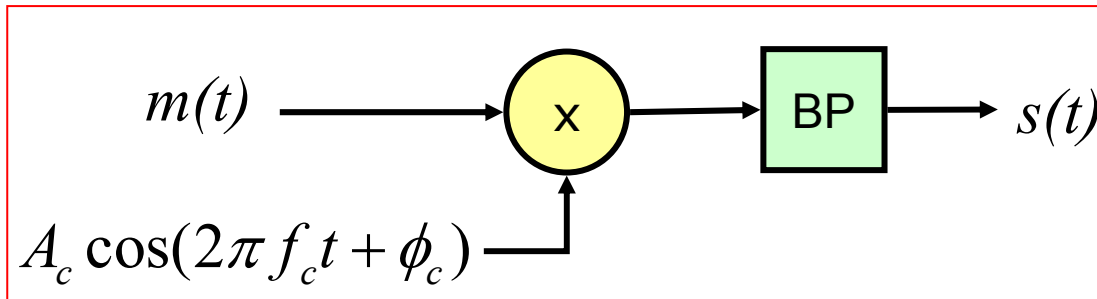
Παράδειγμα





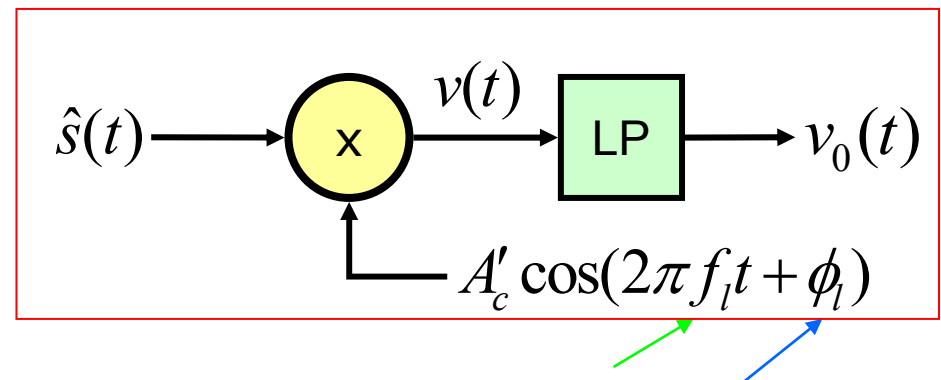
Ανάκτηση φέροντος

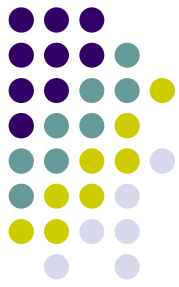
- Ο δέκτης πρέπει να παράγει φέρον της ίδιας συχνότητας και φάσης με αυτό που χρησιμοποιήθηκε για τη διαμόρφωση του λαμβανόμενου σήματος



Ολίσθηση των παραμέτρων των ηλεκτρονικών στοιχείων
→ διαφορετικές f_c και f_l

Καθυστέρηση διάδοσης,
διαφορετικός τοπικός χρονισμός
→ διαφορές της φάσης των δύο φερόντων



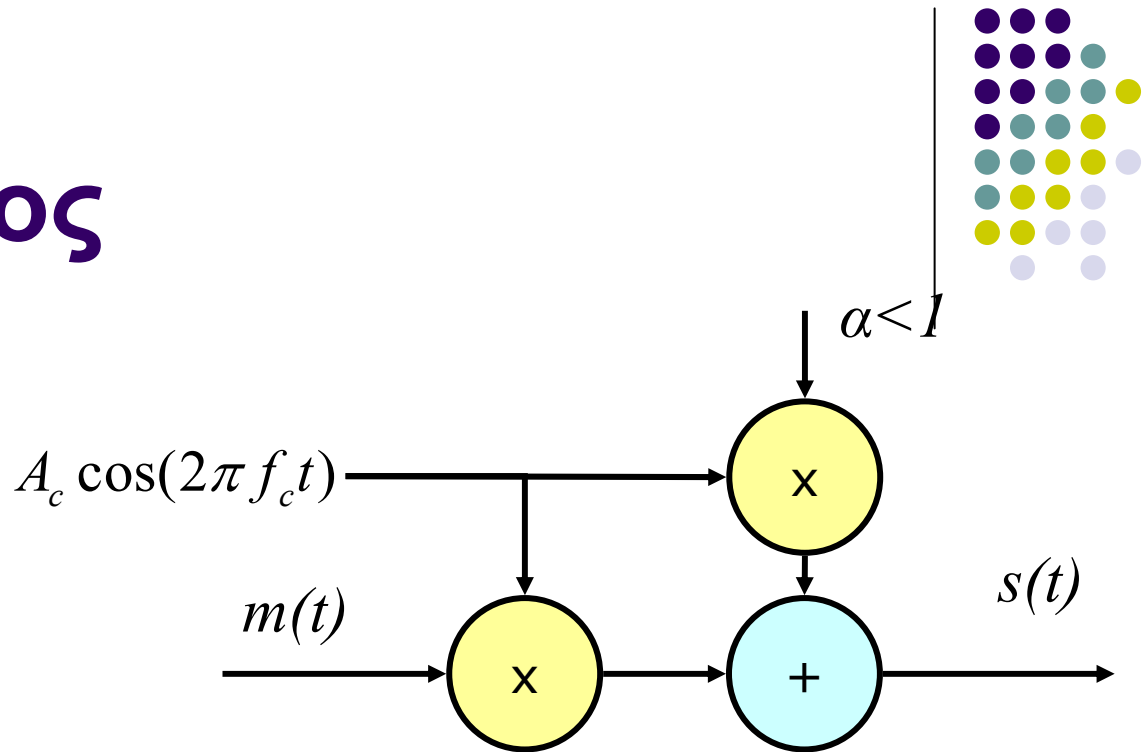


Ανάκτηση φέροντος

- Τόνος πιλότος
 - Ο πομπός στέλνει τόνο πιλότο
 - Ο δέκτης εκτιμά τη σωστή συχνότητα και φάση από τον τόνο πιλότο
- Δέκτης Costas
 - Χρησιμοποιεί VCO και ανάδραση για να ανακτήσει τη φάση του φέροντος
- Βρόχος τετραγωνισμού
 - Χρησιμοποιεί PLL για να παρακολουθήσει τη φάση της διπλάσιας συχνότητας

Τόνος πιλότος

- Διαμορφωτής

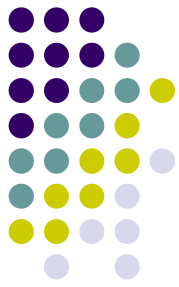


- Διαμορφωμένο σήμα

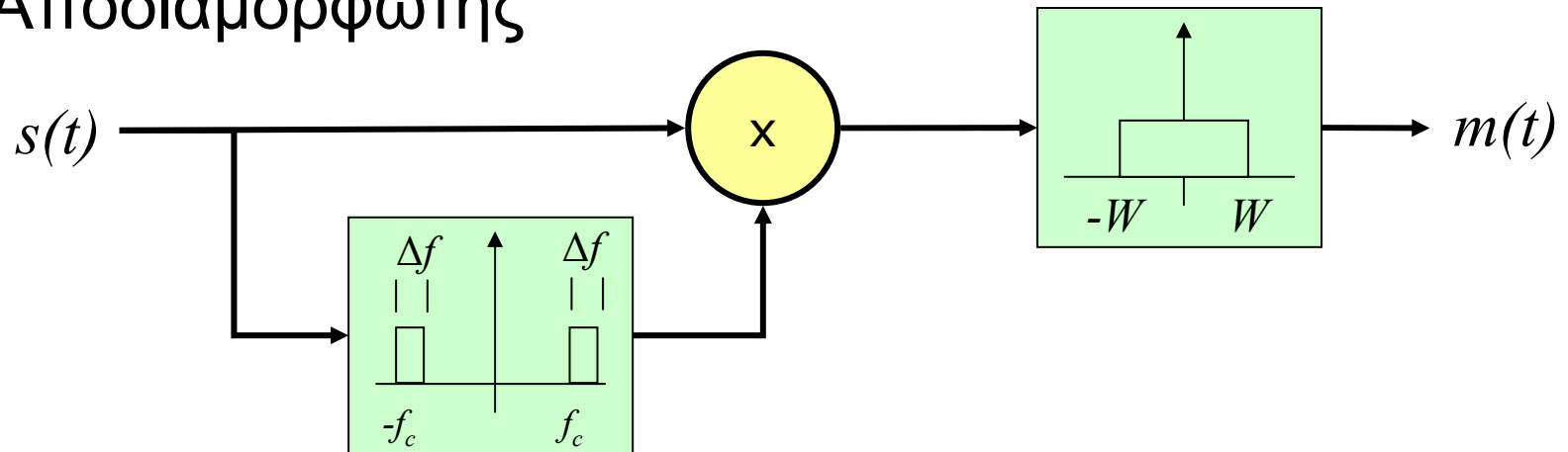
$$s(t) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t) + A_p \cos(2\pi f_c t)$$

- Τι διαφέρει από AM και DSBSC;

Τόνος πιλότος



- Αποδιαμορφωτής



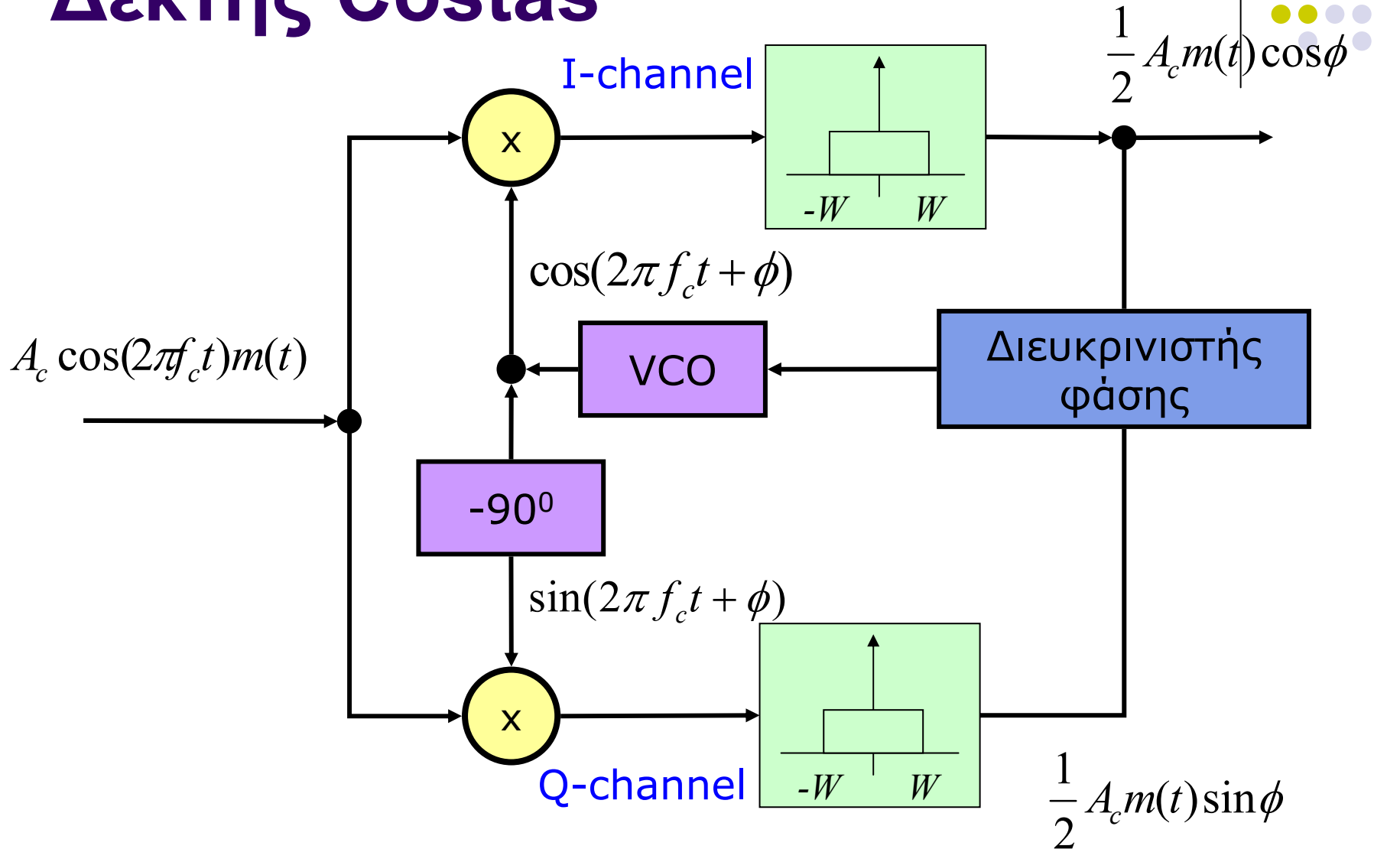
- Λαμβανόμενο σήμα

$$\hat{s}(t) = \hat{A}_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) + \hat{A}_p \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

- Τοπικό φέρον

$$\hat{A}_p \cos(2\pi f_c t + \phi)$$

Δέκτης Costas



Δέκτης Costas (U.S. Patent 3,047,660 to John P. Costas)

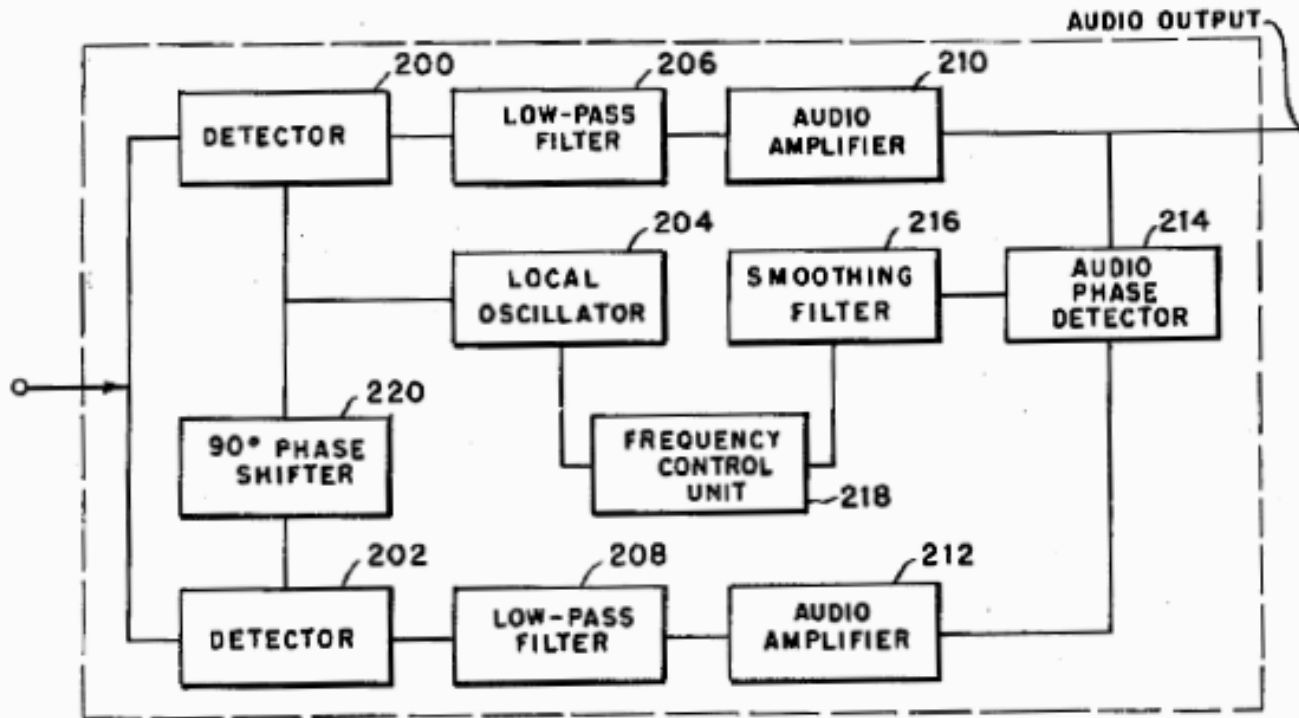
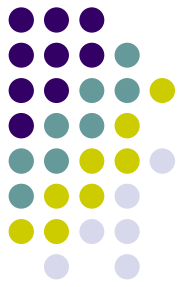
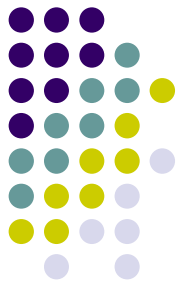


FIG. 5

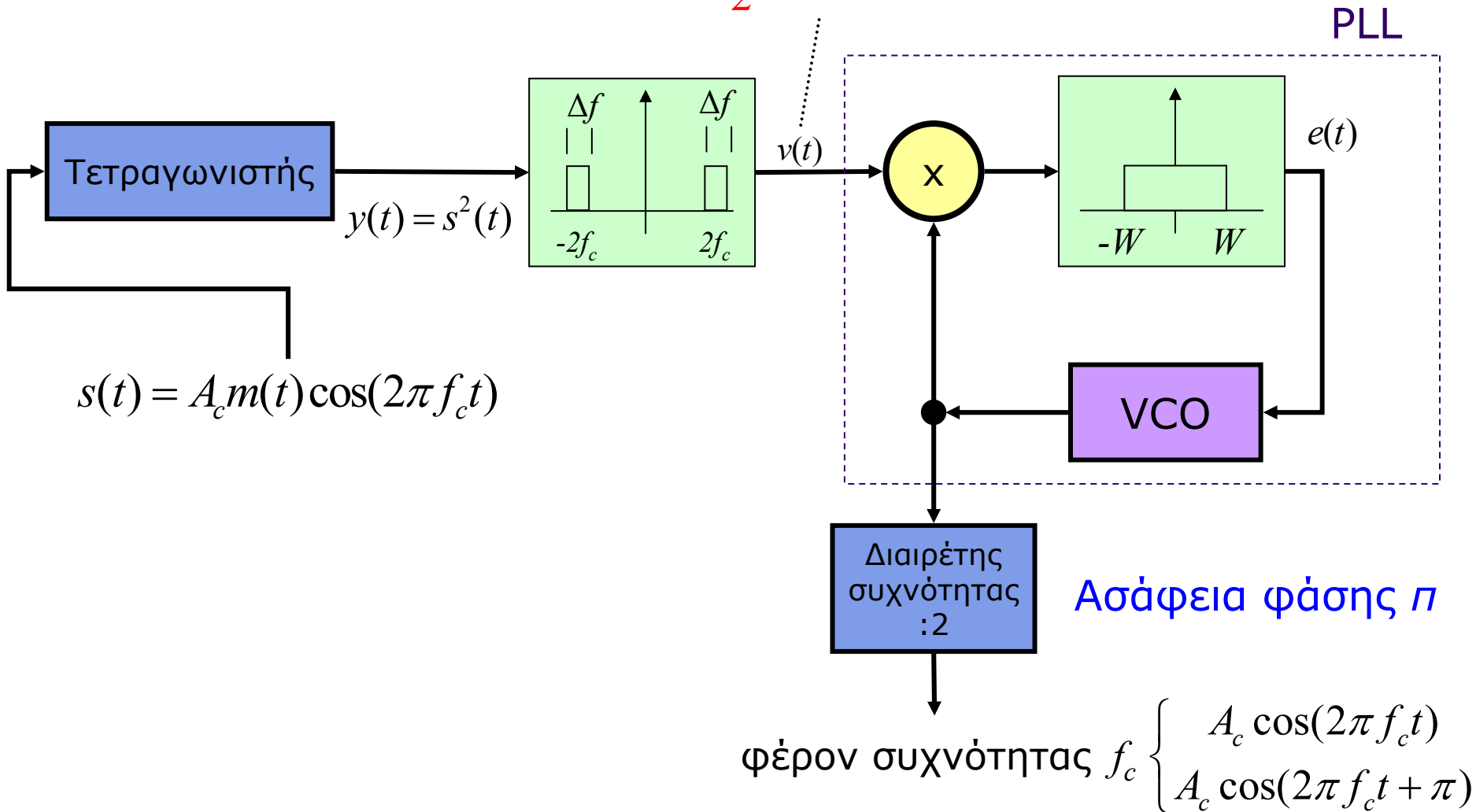
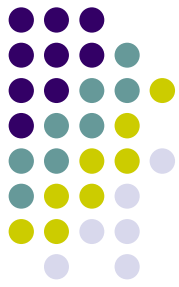


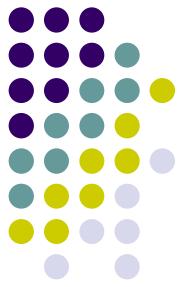
Δέκτης Costas

- Σκοπός: Να διατηρηθεί $\varphi \approx 0$
 - Ο VCO (voltage-controlled oscillator) παρέχει το τοπικό φέρον
 - Εάν το τοπικό φέρον δεν είναι σωστό, οι έξοδοι είναι συνάρτηση της φάσης φ
 - Ο διευκρινιστής φάσης παράγει μια τάση περίπου ανάλογη της φ
 - Ο VCO θα αλλάξει φάση/συχνότητα, μέχρις ότου οι έξοδοι συγχρονισθούν, ώστε $\varphi = 0$

Βρόχος τετραγωνισμού

$$v(t) = \frac{A_c^2}{2} E \Delta f \cos(4\pi f_c t)$$





Διαμόρφωση DSBSC

- Πλεονεκτήματα
 - Υψηλή απόδοση ισχύος
- Μειονεκτήματα
 - Διπλασιάζει το εύρος ζώνης
 - Πολύπλοκη αποδιαμόρφωση
 - Απαιτείται η ανάκτηση του φέροντος
 - Τόνος πιλότος για απλοποίηση της αποδιαμόρφωσης