

Ψηφιακές Διαμορφώσεις

Μετάδοση με Διαμορφωμένο Φορέα

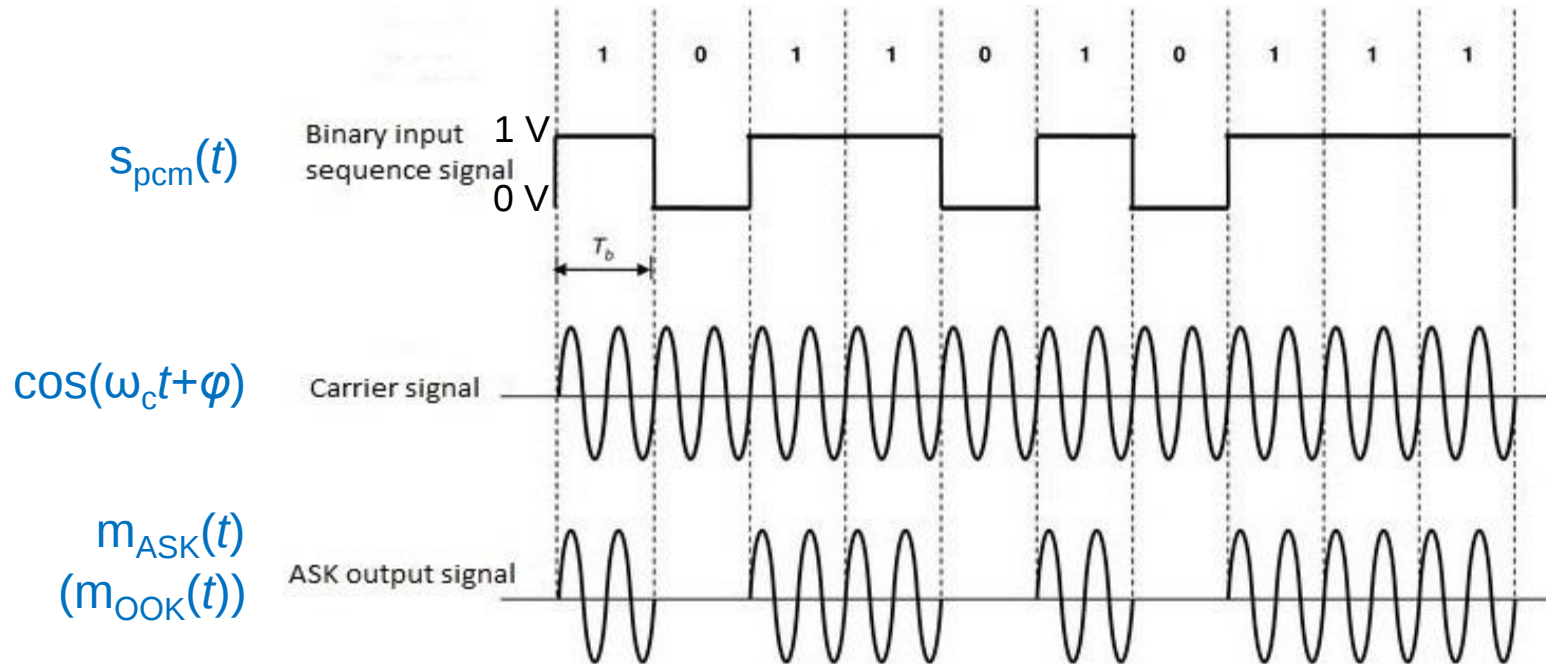
Γενικά

- Μετάδοση βασικής ζώνης μέχρι 20 km (π.χ. ομιλία, 300 – 3400 Hz, δεν μπορεί να μεταδοθεί).
- Χρησιμοποιούνται (συν)ημιτονικοί φορείς. Οι παράμετροι των φορέων (**πλάτος, συχνότητα, φάση**) διαμορφώνονται (are modulated/keyed) από το ψηφιακό πληροφοριακό σήμα, που θέλουμε να μεταδώσουμε.
- Επικρατεί ο όρος **keyed**, από την χειροκίνητη τηλεγραφία (keying in marks and spaces).
- Οι αναλογικές διαμορφώσεις AM, FM, PM, μετονομάζονται (αντίστοιχα) σε:
Amplitude Shift Keying (ASK) ή **On-Off keying (OOK)**
Frequency Shift Keying (FSK)
Phase Shift Keying (PSK)
- Δημιουργούνται επιπρόσθετες διαμορφώσεις με συνδυασμό των ανωτέρω.
Π.χ. **Quadrature (ή Quaternary) Phase Shift Keying (QPSK)**.
Ορθογώνια διαμόρφωση πλάτους (**Quadrature Amplitude modulation - QAM**)

ASK (Amplitude Shift Keying) ή OOK (On-Off Keying)



- $m_{ASK}(t) = s_{pcm}(t) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi)$



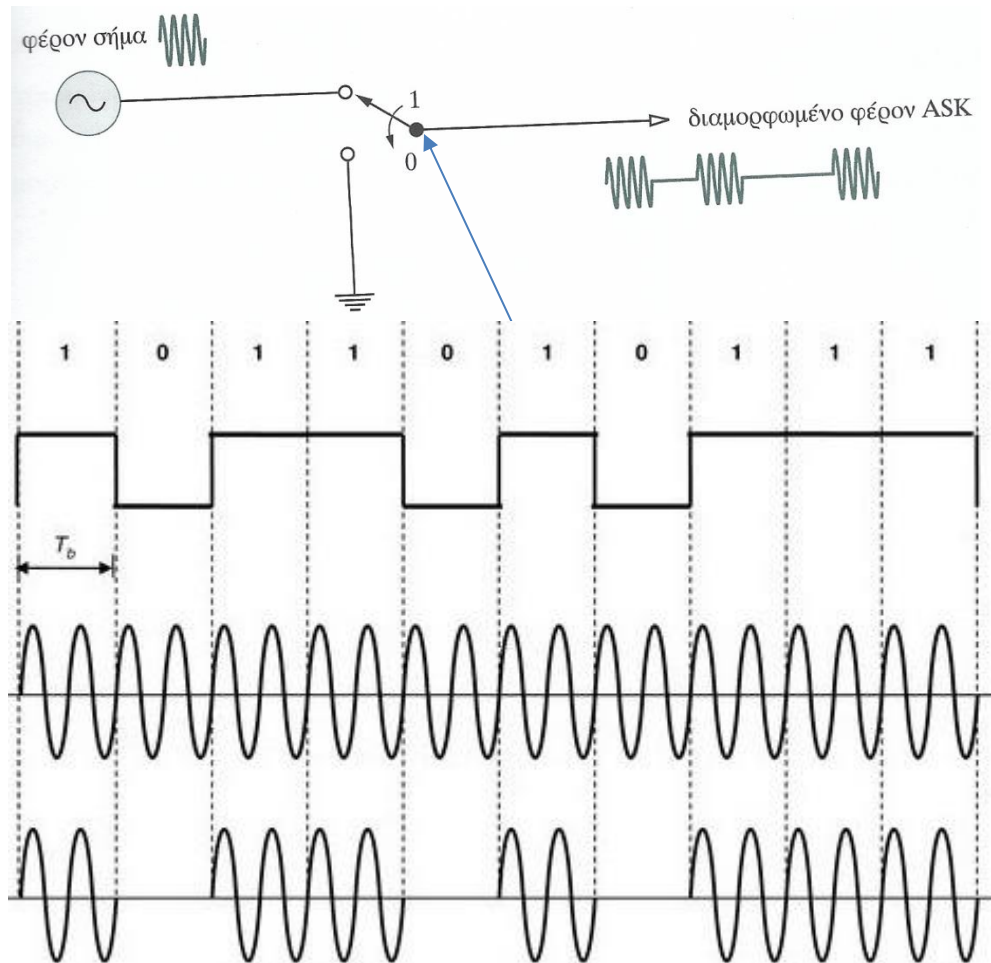
ΠΟΜΠΟΣ ASK/OOK - ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

ΠΟΜΠΟΣ ASK/OOK

Μια διαφορετική θεώρηση
Διακόπτης ON-OFF
ελεγχόμενος από το PCM

Ψηφιακό πληροφοριακό
σήμα (π.χ. PCM)

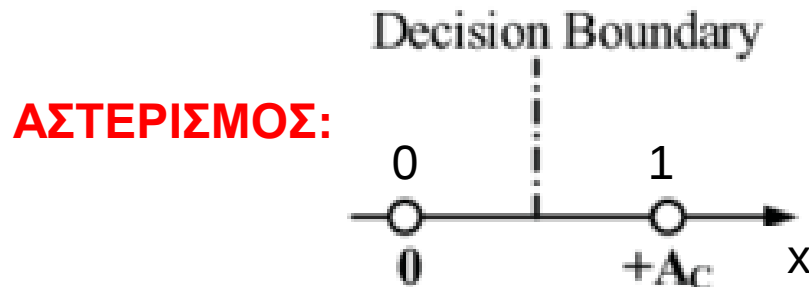
$m_{ASK}(t)$
($m_{OOK}(t)$)



$$m_{ASK}(t) = \begin{cases} A_c \cos(2\pi f_c t + \varphi) & \text{για το λογικό 1} \\ 0 & \text{για το λογικό 0} \end{cases}$$

ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ASK

- Ο Αστερισμός (*constellation*) είναι έναν γραφικός τρόπος συσχετισμού των συμβόλων εξόδου με τα bits που αντιπροσωπεύει κάθε σύμβολο σε ένα σύστημα ψηφιακής διαμόρφωσης. Ο αστερισμός είναι η γραφική παράσταση της φάσης και του σχετικού πλάτους, σε πολικές συντεταγμένες (**πολικό διάγραμμα**).
- **Πλάτος του συμβόλου:** μετριέται ως απόσταση από την αρχή των αξόνων. Τα σύμβολα που έχουν το ίδιο πλάτος έχουν την ίδια απόσταση από την αρχή των αξόνων (θεωρήστε ότι βρίσκονται πάνω σε κύκλο).
- **Φάση του συμβόλου:** 0° είναι κατά μήκος του θετικού άξονα x . Η φάση αυξάνεται με αριστερόστροφη κίνηση. Όλα τα σύμβολα με την ίδια φάση βρίσκονται στο ίδιο τμήμα γραμμής που έχουν την ίδια γωνία (φάση) με τον θετικού (ημι-)άξονα x .
- Τα πιθανά σύμβολα εξόδου: αντιπροσωπεύονται με κουκκίδες (κυκλάκια) και δίπλα σε αυτά γράφουμε τα bit που αντιπροσωπεύουν.



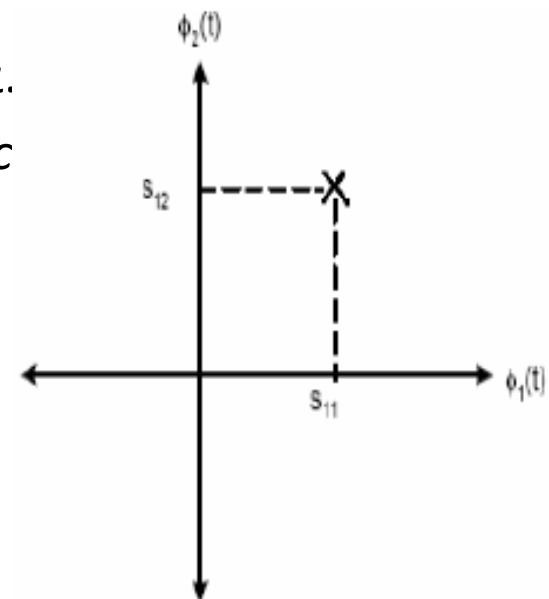
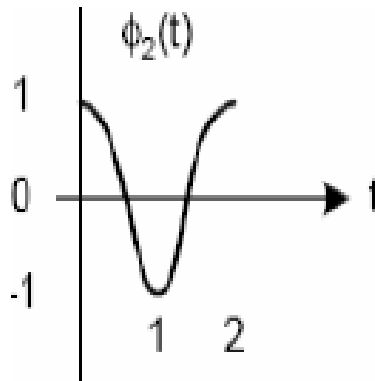
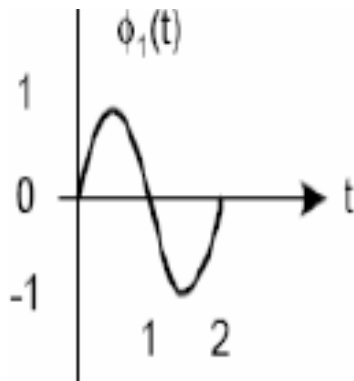
ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ – ΔΥΟ ΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ (1)

- Ορθοκανονικές συναρτήσεις: Εσωτερικό γινόμενο 0 και Ενέργεια 1.

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \phi_i(t) \phi_j(t) dt = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases}$$

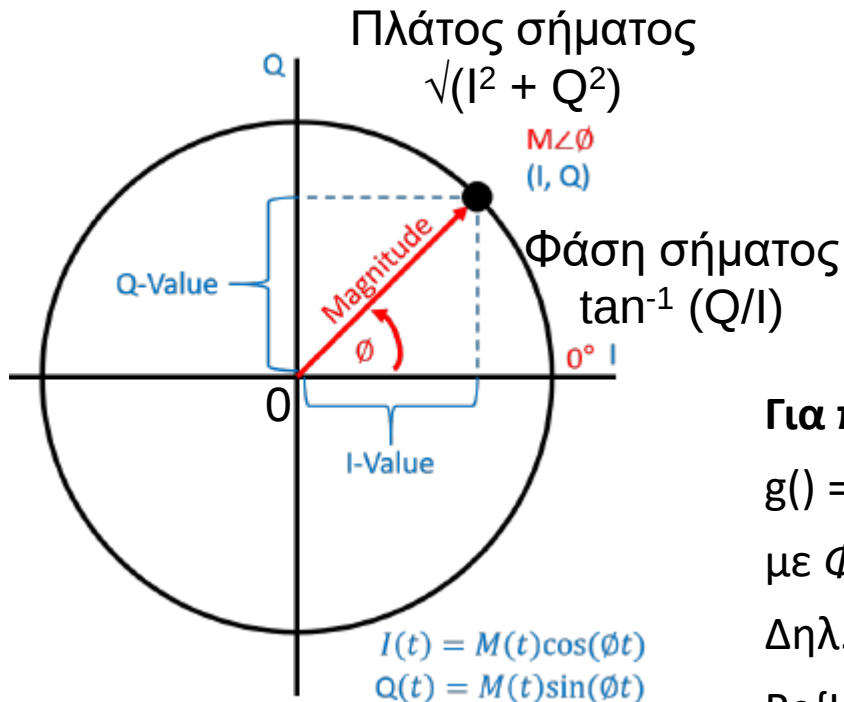
Π.χ. $\Phi_1(t) = A \sin(2\pi f_0 t)$, $\Phi_2(t) = A \cos(2\pi f_0 t)$ είναι ορθογώνιες (ανεξαρτήτως πλάτους), ενώ με πλάτος $\sqrt{2/T}$, $T = 1/f_0$ είναι ορθοκανονικές.

- Ένα σήμα μπορεί να αναλυθεί σε δύο ορθοκανονικές συνιστώσες συναρτήσεις ή να παρασταθεί ως η συνισταμένη δύο (ή περισσότερων) ορθοκανονικών συναρτήσεων, όπως ένα διάνυσμα μπορεί να αναλυθεί σε δύο κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες.
- Q (**Quadrature**) καλείται η συμφασική συνιστώσα.
- I (**In-phase**) καλείται η συμφασική συνιστώσα με c

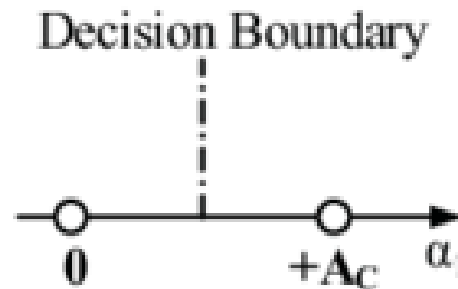


ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΙ – ΔΥΟ ΛΟΓΙΑ ΠΕΡΙΣΣΟΤΕΡΑ (2)

Η παρουσίαση των διαφόρων σημάτων ως διανύσματα σε **Πολικό Διάγραμμα** (όπως τα ανωτέρω), δείχνοντας μόνο το άκρον κάθε διανύσματος (με **bullet**) λέγονται **διάγραμμα αστερισμού** (constellation diagram) – ή απλά **αστερισμός**. Χρησιμοποιείται κατά κόρον στα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα.



ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ ΟΟΚ



Για πραγματικό σήμα $s(t) = \text{Re}\{g(t)\exp(j\omega t)\}$

$$g(t) = I + jQ = |g(t)| \exp\{j\phi(t)\} = \sqrt{I^2 + Q^2} \exp\{j\phi(t)\}$$

$$\text{με } \phi(t) = \tan^{-1}(Q/I)$$

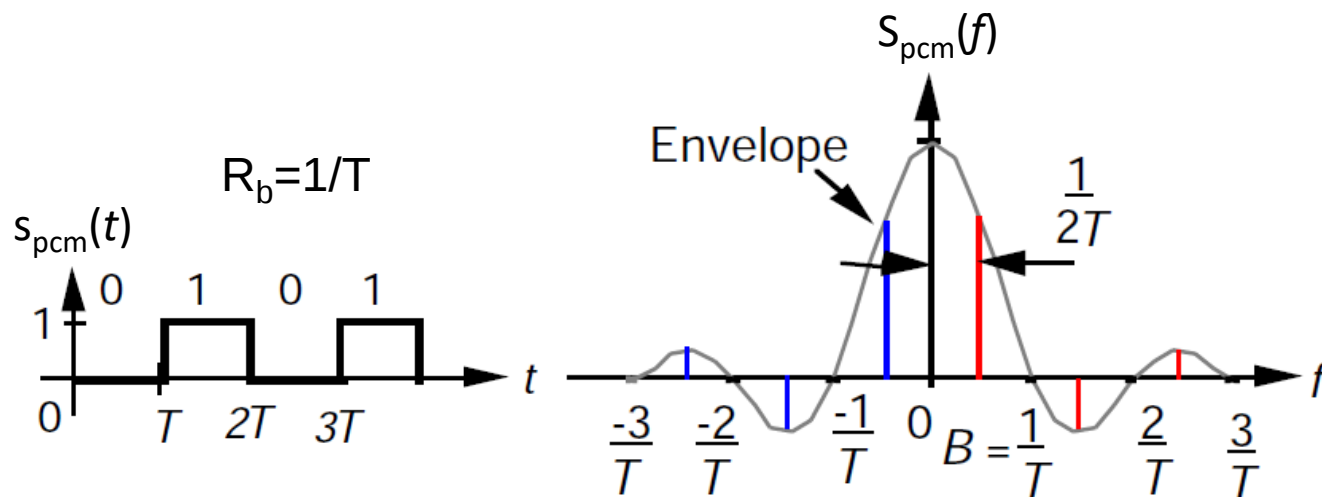
$$\text{Δηλ. } s(t) = \text{Re}\{(I + jQ)(\cos(\omega t) + j\sin(\omega t))\} =$$

$$\text{Re}\{I\cos(\omega t) - Q\sin(\omega t)\} \Rightarrow s(t) = I\cos(\omega t) - Q\sin(\omega t)$$

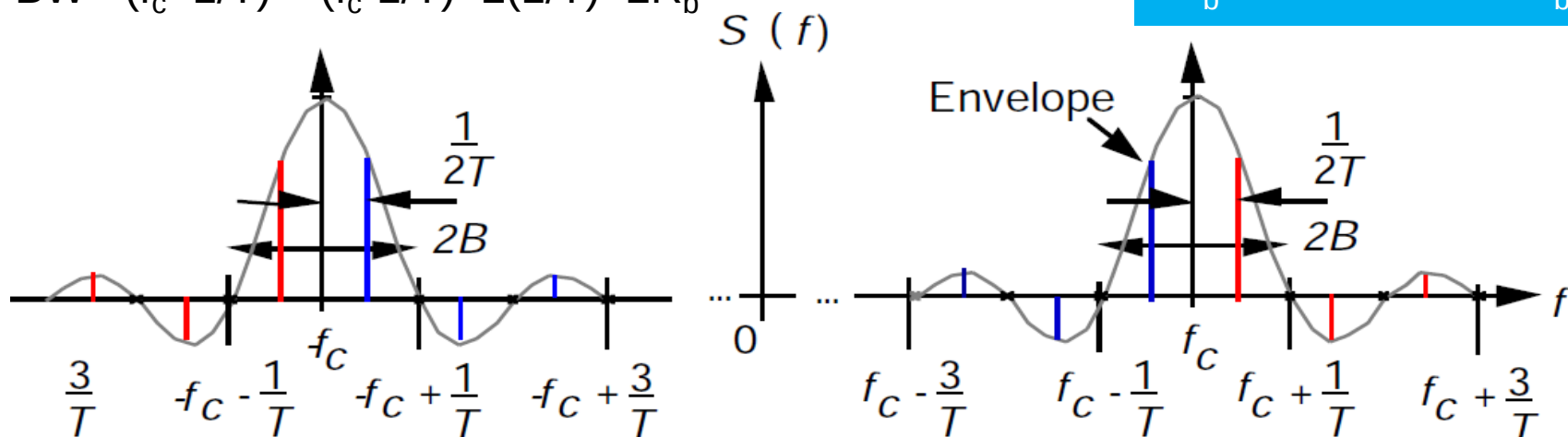
$$I = \sqrt{I^2 + Q^2} \cos(\phi(t)) \text{ και } Q = \sqrt{I^2 + Q^2} \sin(\phi(t))$$

ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ASK/OOK

- $$m_{\text{ASK}}(t) = s_{\text{pcm}}(t) \cdot \cos(\omega_c t + \varphi) \xrightarrow{\text{M.F.}} \frac{1}{2} [S_{\text{pcm}}(f - f_c) + S_{\text{pcm}}(f + f_c)]$$



$$BW = (f_c + 1/T) - (f_c - 1/T) = 2(1/T) = 2R_b$$



Bandwidth ASK BW

$$BW = 2B_{\text{pcm}}$$

Για Binary PCM

$$R_b/B_{\text{pcm}} = 2/(1+r) \Rightarrow$$

$$B_{\text{pcm}} = (1+r)R_b/2$$

$$BW = 2[(1+r)R_b/2] \Rightarrow$$

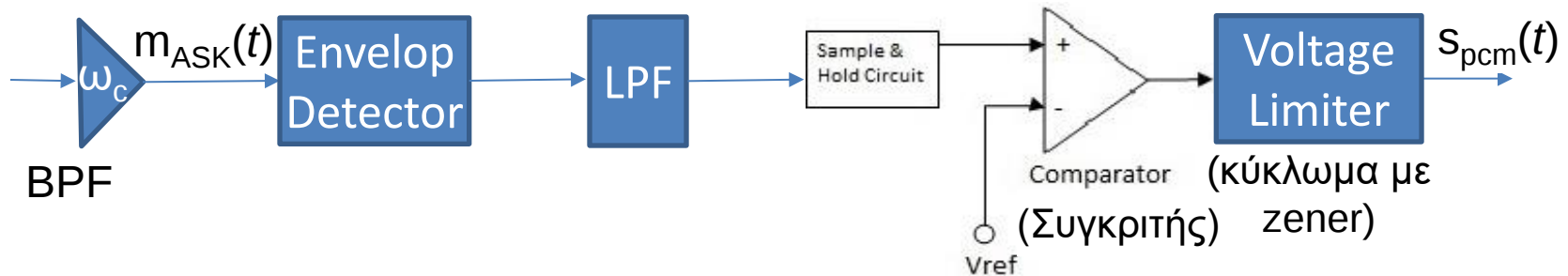
$$BW = (1+r)R_b$$

$r \equiv$ roll-off factor

$R_b \equiv$ data rate $= 1/T_b$

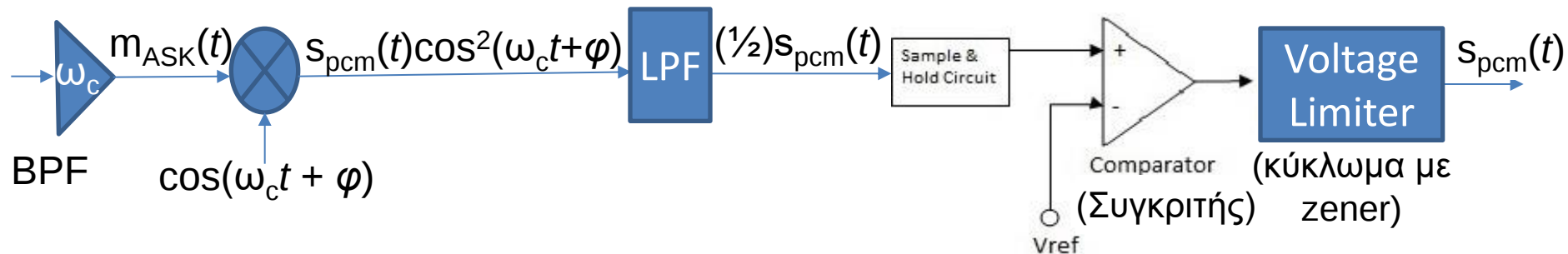
ΔΕΚΤΗΣ ASK/OOK

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΛΗΠΤΗΣ (non-coherent ASK/OOK demodulator)



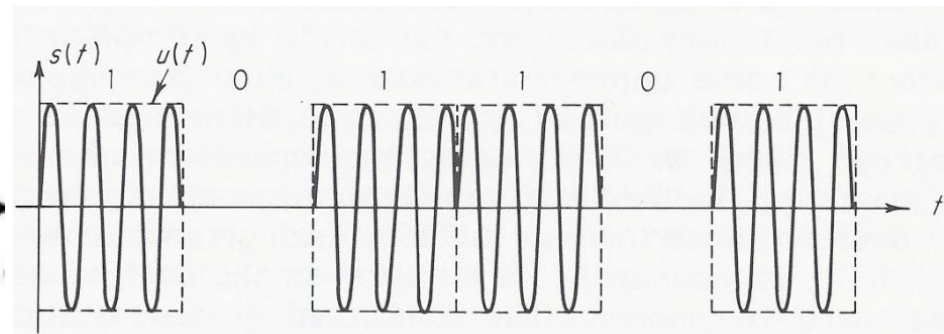
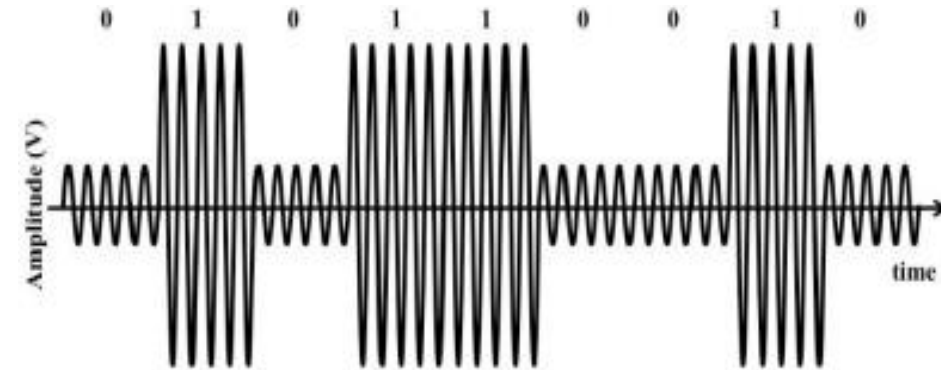
Μικρό κόστος δέκτη αλλά απαιτείται μεγάλο SNR_i (φαινόμενο κατωφλίου)

ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΛΗΠΤΗΣ (coherent ASK/OOK demodulator)

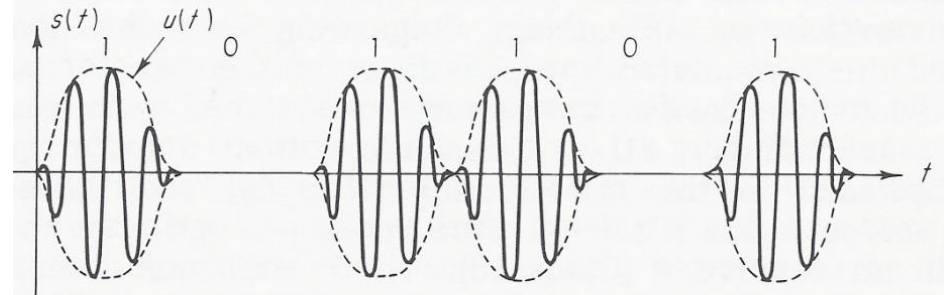


Μεγάλο κόστος σύγχρονου δέκτη αλλά η απόδοση του δέκτη είναι πολύ καλή.

Παράδειγμα σημάτων ASK/OOK και θορύβου



(a) Rectangular pulses



(b) Shaped pulses



(c) Bandpass noise

Υπέρ και Κατά της Διαμόρφωσης ASK

ΥΠΕΡ

- Το σήμα είναι αρκετά απλό για να δημιουργηθεί στον πομπό και να ανιχνευθεί στον δέκτη.

ΚΑΤΑ

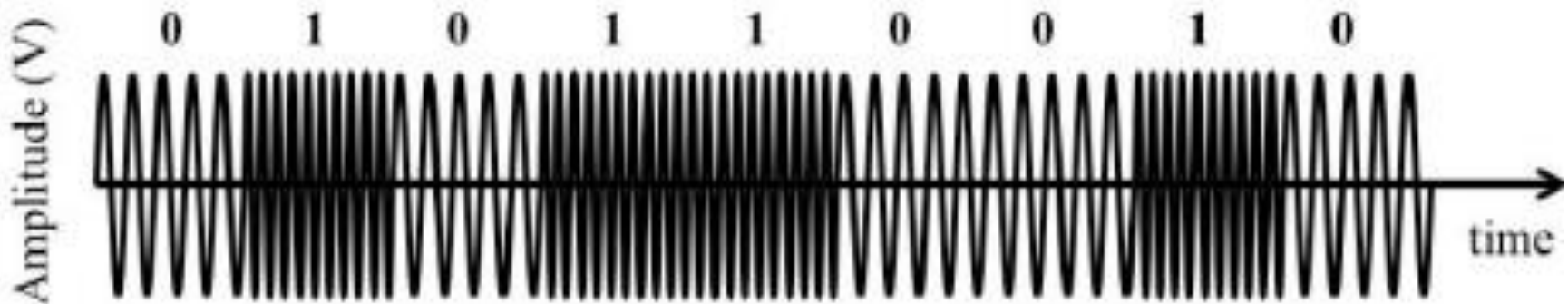
- Έχει πολύ χαμηλή απόδοση εύρους ζώνης (δηλ. μικρή φασματική απόδοση bps/Hz).
- Το παραγόμενο σήμα είναι εξαιρετικά ευαίσθητο στον θόρυβο (απαιτείται μεγάλο SNR).
- Δεν είναι κατάλληλο για μετάδοση δεδομένων με υψηλό ρυθμό μετάδοσης bit.

ASK μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω οπτικών ινών

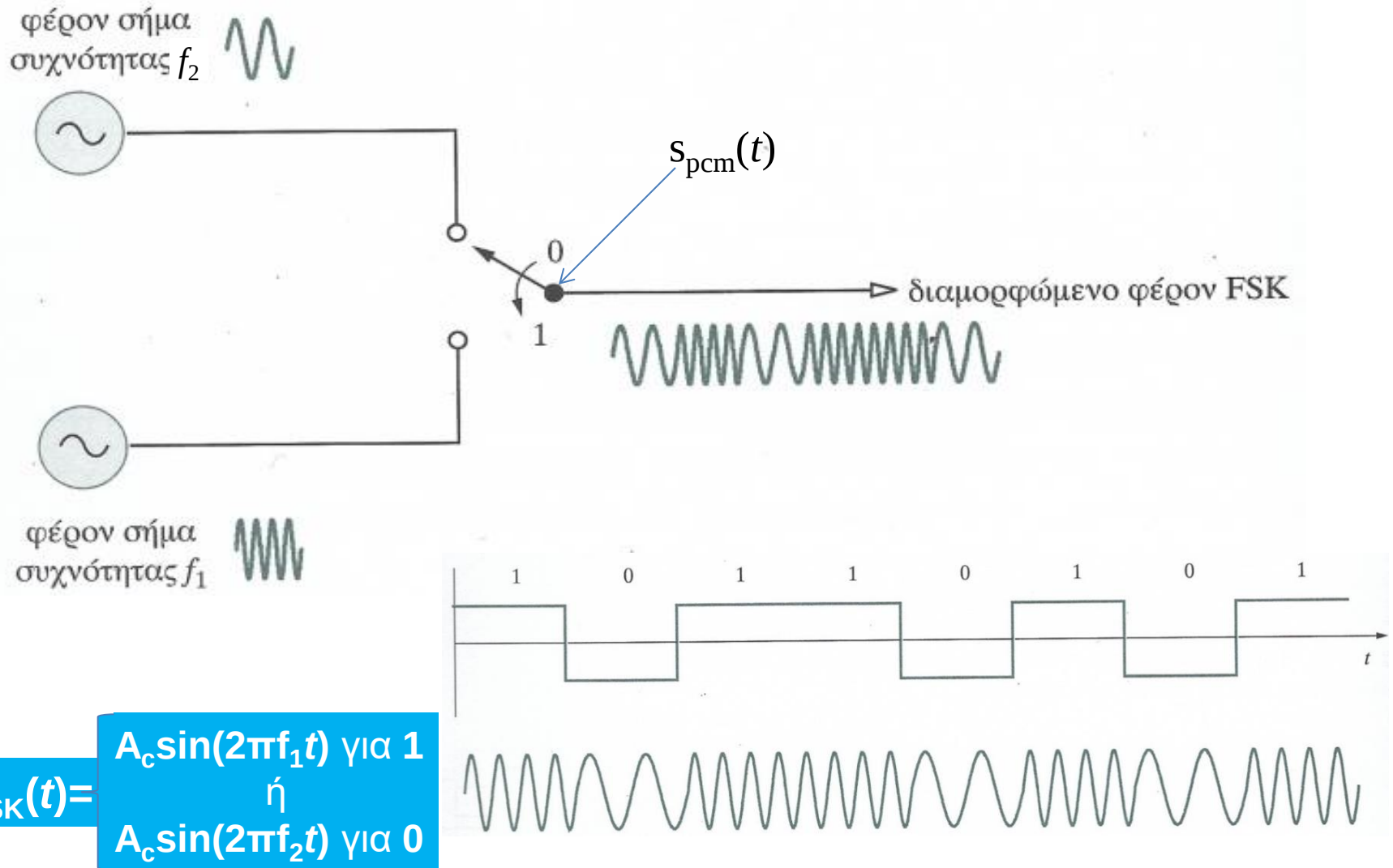
Σύστημα FSK (Frequency Shift Keying)



- $m_{\text{FSK}}(t) = A \cos(\omega_c t + K_{\text{FM}} \int s_{\text{pcm}}(t) dt + \varphi)$
- $\omega_i(t) = \omega_c + K_{\text{FM}} s_{\text{pcm}}(t) = \omega_c \pm K_{\text{FM}} = \omega_c \pm \Omega$ αφού $s_{\text{pcm}}(t) = \pm 1$ (binary coding)
- $m_{\text{FSK}}(t) = A \cos(\omega_c \pm \Omega)t = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t) & \text{για «1» (mark)} \\ A \cos(2\pi f_2 t) & \text{για «0» (space)} \end{cases}$



ΠΟΜΠΟΣ FSK - ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ



$m_{FSK}(t)$: Εκφράζει το σήμα FSK για την διάρκεια 1 bit μόνον

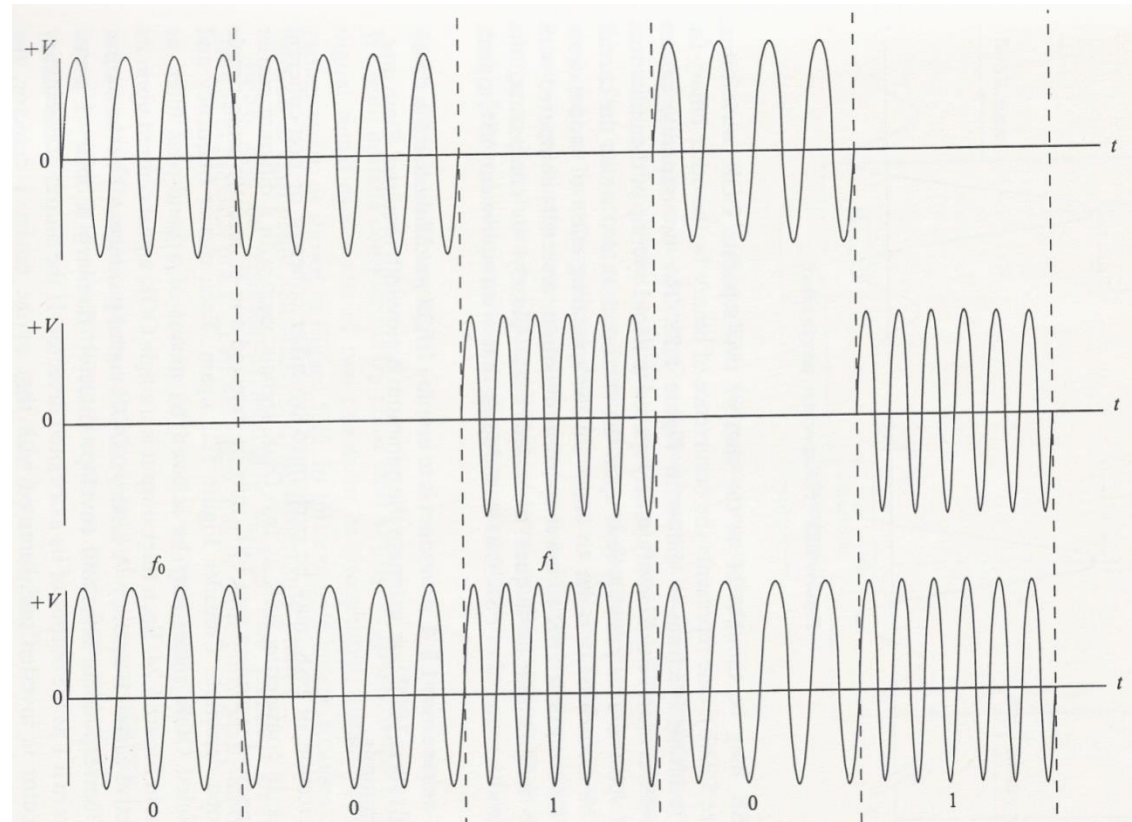
Σύγκριση Binary FSK με OOK

$$m_{\text{FSK}}(t) = \begin{cases} A_c \sin(2\pi f_1 t) & \text{για } 1 \\ \text{ή} \\ A_c \sin(2\pi f_2 t) & \text{για } 0 \end{cases}$$

$$m_{\text{OOK1}}(t)$$

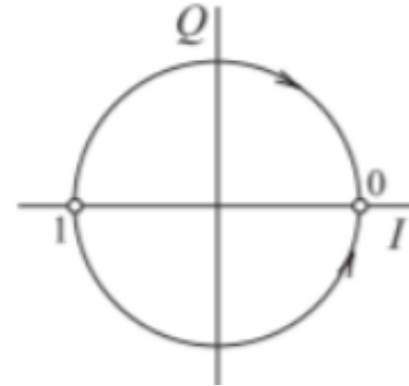
$$m_{\text{OOK2}}(t)$$

$$m_{\text{FSK}}(t) = m_{\text{OOK1}}(t) + m_{\text{OOK2}}(t)$$



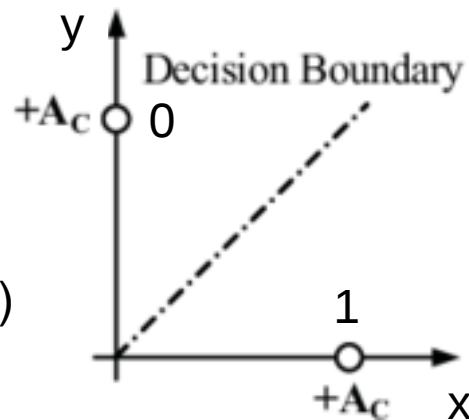
ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ FSK

$$m_{\text{FSK}}(t) = \begin{cases} A_c \sin(2\pi f_1 t) & \text{για } 1 \\ A_c \sin(2\pi f_2 t) & \text{για } 0 \end{cases}$$



ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ:

(Με ψευδο-φάσορες)



Orthogonal
FSK

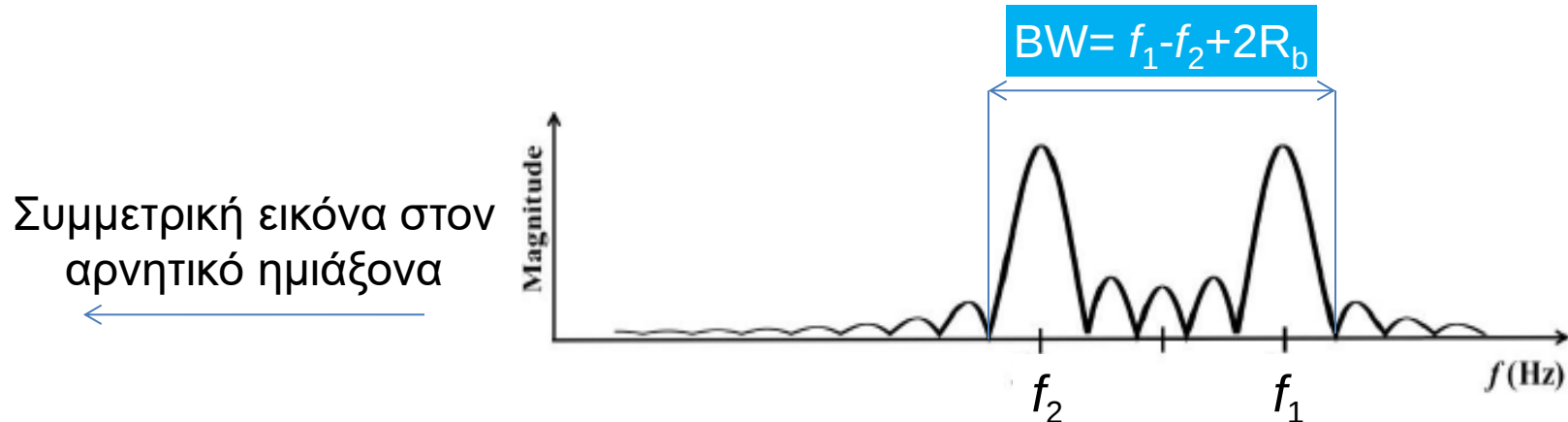
$$\int s(f_1)s(f_2)dt=0$$

Στην διάρκεια T_b

$$f_1 - f_2 = kR_b$$

ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ FSK

- Το ελάχιστο εύρος (βασικής) ζώνης ενός bit είναι ίσον με $1/T_b = R_b$. Το εύρος του σήματος (binary) FSK είναι $BW = f_1 + R_b - (f_2 - R_b) \Rightarrow BW = f_1 - f_2 + 2R_b$ όπου οι συχνότητες φέροντος f_1, f_2 πρέπει να είναι απέχουν μεταξύ τους τουλάχιστον $2R_b$. Δηλ. **$BW > 4R_b$**



Μειονέκτημα FSK: μεγάλο εύρος εύρος BW

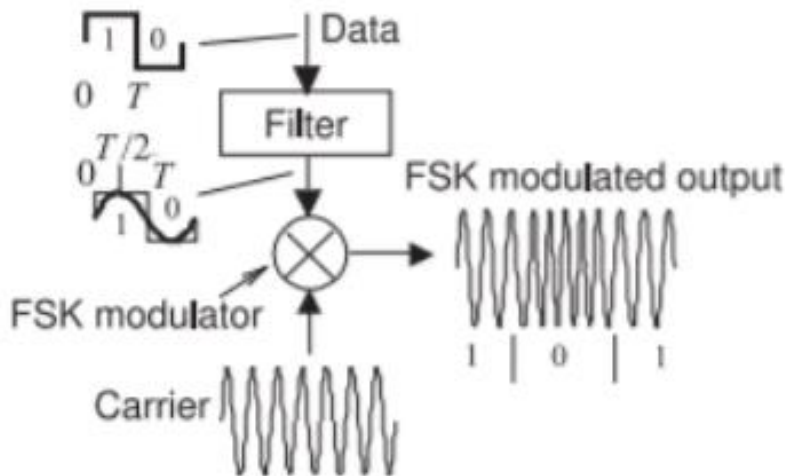
Η f_1 ονομάζεται *mark* (“1”) και η f_2 *space* (“0”) – σήματα Morse.

ITU-T v.21 FSK modem 300 bps (full duplex):

Mark 1180 Hz – Space 980 Hz (Tx δηλ. εκπομπή)

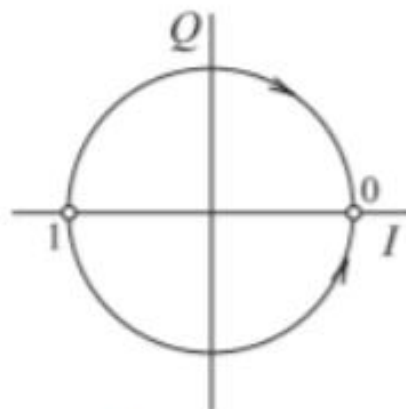
Mark 1850 Hz – Space 1650 Hz (Rx δηλ. λήψη)

ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ FSK (ξανά!)

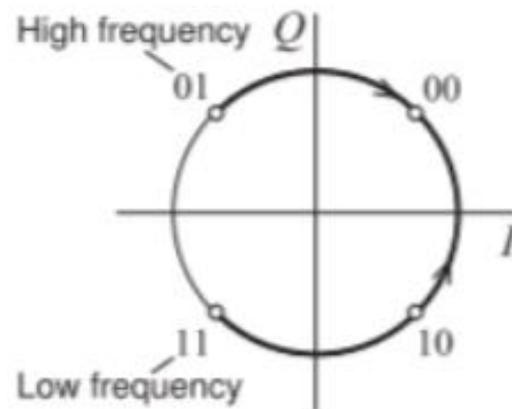


Στο GSM (2η Γενιά Ασύρματων Δικτύων) το εύρος ζώνης συχνοτήτων ανά χρήστη είναι 200 KHz και ο φορέας 1 GHz.

Συνήθως τα bits τα λαμβάνουμε ανά δύο και οι συχνότητες των τεσσάρων συμβόλων είναι: $(1 \text{ GHz} \pm 33.25 \text{ kHz})$ και $(1 \text{ GHz} \pm 16.62 \text{ kHz})$.



(a) Two-state FSK

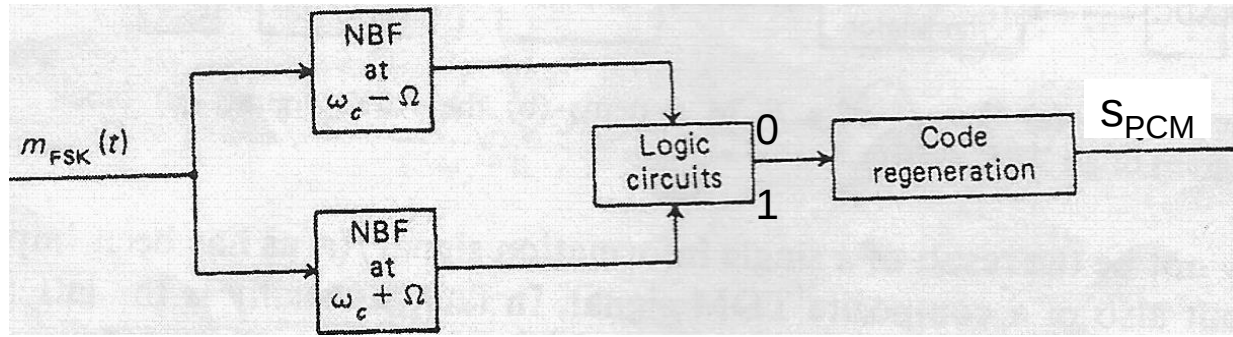


(b) Four-state FSK

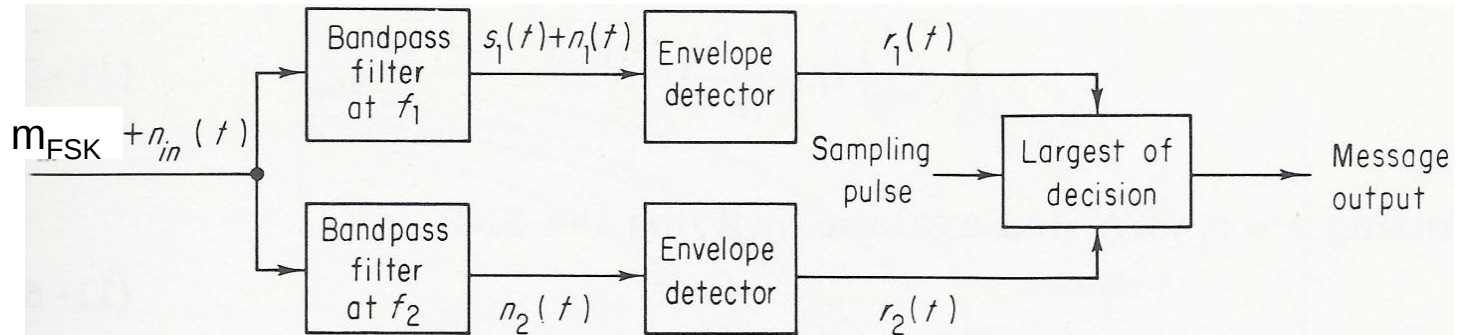
ΔΕΚΤΗΣ FSK

ΑΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΛΗΠΤΗΣ (non-coherent FSK demodulator)

Δέκτης με
καλά
συντονισμένα
φίλτρα

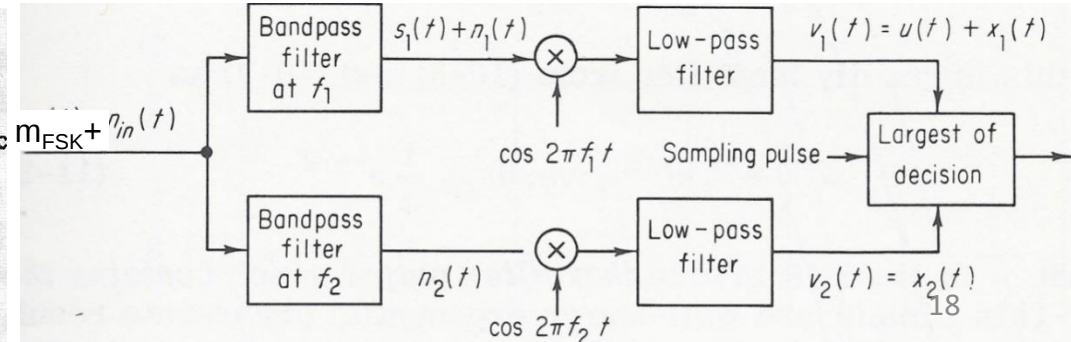
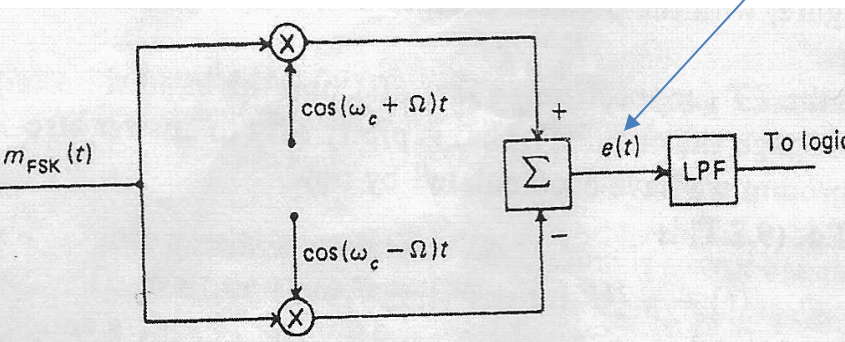


Δέκτης με
κορυφο-
φωρατή



ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΛΗΠΤΗΣ (coherent FSK demodulator)

Έστω $m_{FSK}(t) = A_c \cos(\omega_c - \Omega)t \Rightarrow e(t) = A_c \cos(\omega_c - \Omega)t \cos(\omega_c + \Omega)t - A_c \cos^2(\omega_c - \Omega)t = -A_c/2 - (A_c/2)\cos 2(\omega_c + \Omega)t + (A_c/2)[\cos(2\omega_c)t + \cos(2\Omega)t] \Rightarrow -A_c/2$ αρνητική τιμή (λογικό -1) στην έξοδο LPF



Υπέρ και Κατά της Διαμόρφωσης FSK

ΥΠΕΡ

- Το FSK είναι λιγότερο ευαίσθητο σε σφάλματα από το ASK. Ο δέκτης αναζητά συγκεκριμένες αλλαγές συχνότητας, και έτσι η επίδραση του θορύβου είναι πολύ μικρή.
- Προτιμάται για ταχύτητες < 1200 bps.

ΚΑΤΑ

- Χειρότερο BER σε κανάλι AWGN σε σύγκριση με PSK.
- Χρησιμοποιεί μεγαλύτερο εύρος ζώνης από ASK και PSK και επομένως, έχει μικρότερη φασματική αποδοτικότητα.

Πολλές εφαρμογές σε συχνότητες RF σε τηλεφωνικά κέντρα.

Τα τηλέφωνα cordless (DECT) χρησιμοποιούν FSK.

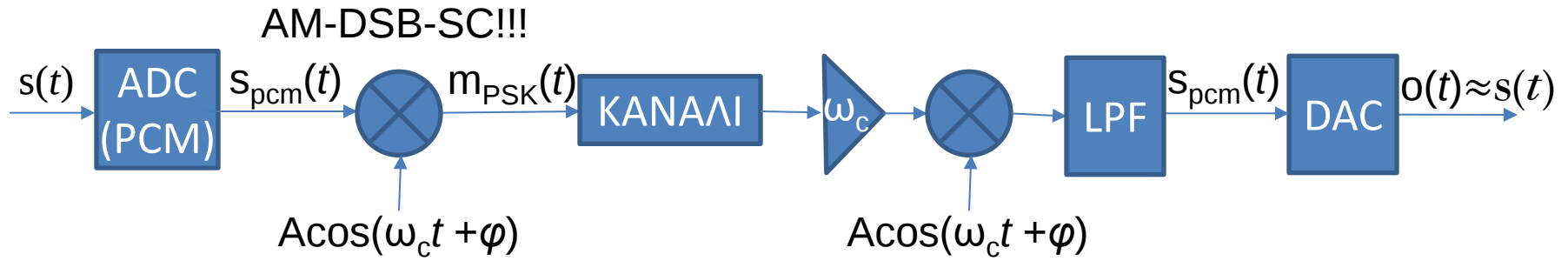
FSK χρησιμοποιείται στα modems για dial-up σύνδεση στο Διαδίκτυο από το σπίτι μας (καλούμε έναν τηλεφωνικό αριθμό):

ITU-T v.21 FSK modem 300 bps (full duplex):

Mark 1180 Hz – Space 980 Hz (Tx)

Mark 1850 Hz – Space 1650 Hz (Rx)

Σύστημα PSK (Phase Shift Keying)

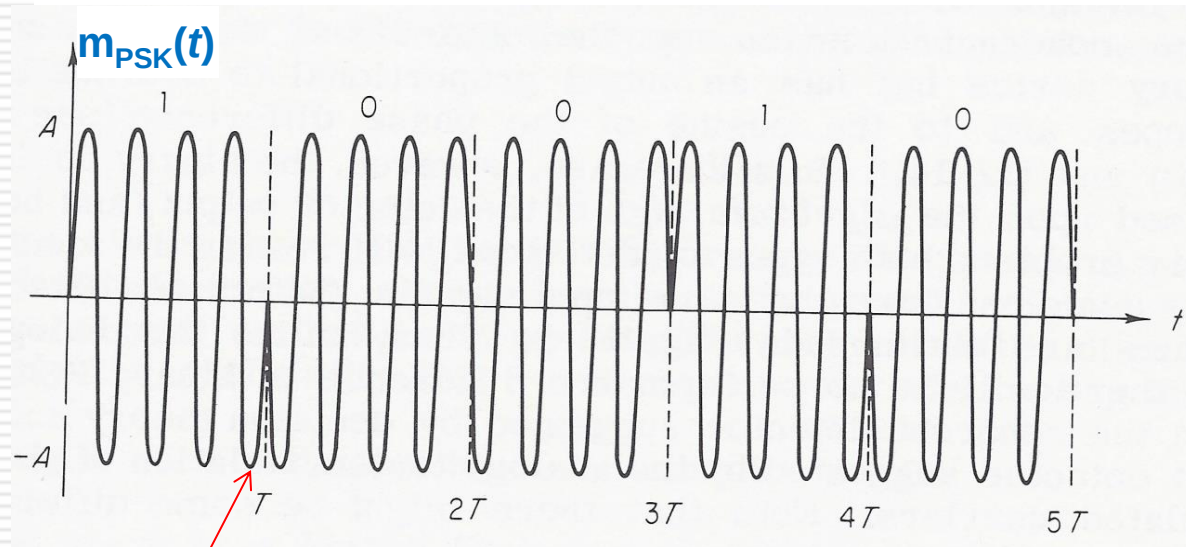
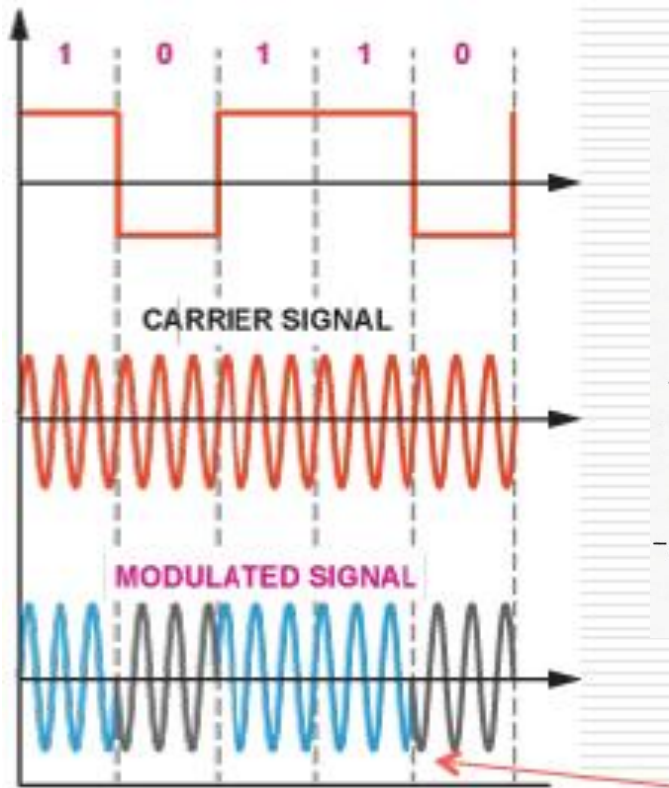


- $m_{PSK}(t) = A \cdot \cos(\omega_c t + K_{PM} s_{pcm}(t))$ όπου $s_{pcm}(t) = \pm 1$
- Ρύθμισε την συσκευή PM ώστε $K_{PM} = 0$ όταν $s_{pcm}(t) = 1$ και $K_{PM} = \pi$ όταν $s_{pcm}(t) = -1$
- Τότε $m_{PSK}(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(\omega_c t) & \text{όταν } s_{pcm}(t) = 1 \\ A \cdot \cos(\omega_c t + \pi) = -A \cdot \cos(\omega_c t) & \text{όταν } s_{pcm}(t) = -1 \end{cases}$

ή

- $m_{PSK}(t) = A \cdot s_{pcm}(t) \cdot \cos(\omega_c t)$
- Δηλαδή το σήμα (binary) PSK δημιουργείται από διαμορφωτή AM-DSB-SC

Σήμα PSK

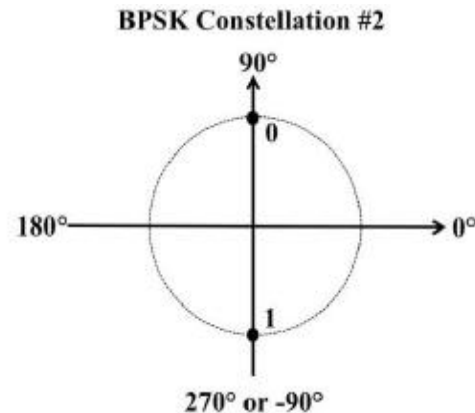
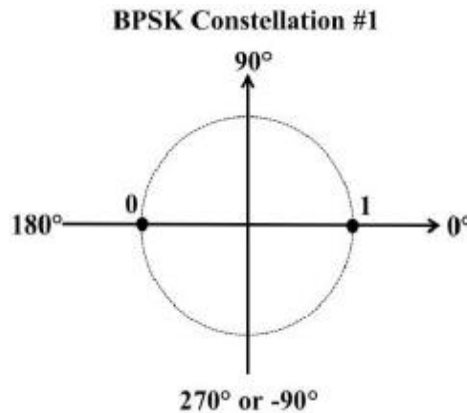


Διαφορά φάσης 180° μεταξύ του «0» και του «1»

Αστερισμός PSK

$$m_{\text{PSK}}(t) = \begin{cases} A \cdot \cos(\omega_c t) & \text{για λογικό 1} \\ A \cdot \cos(\omega_c t + \pi) = -A \cos(\omega_c t) & \text{για λογικό 0} \end{cases}$$

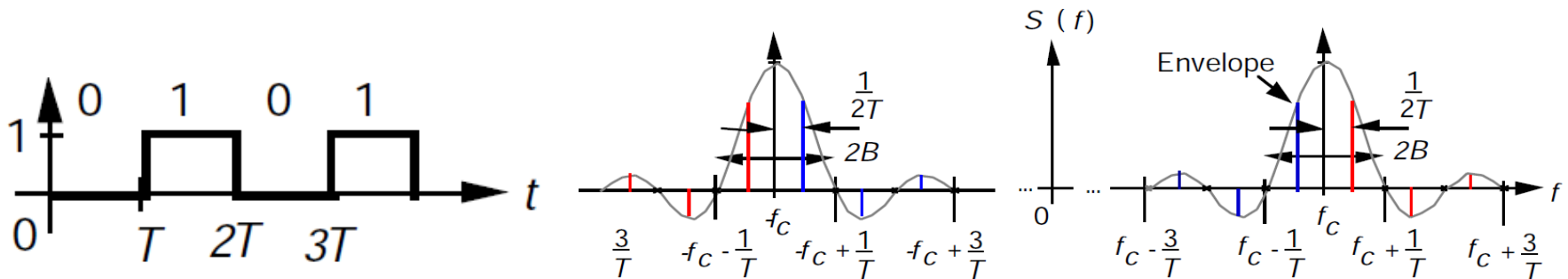
ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΣ:



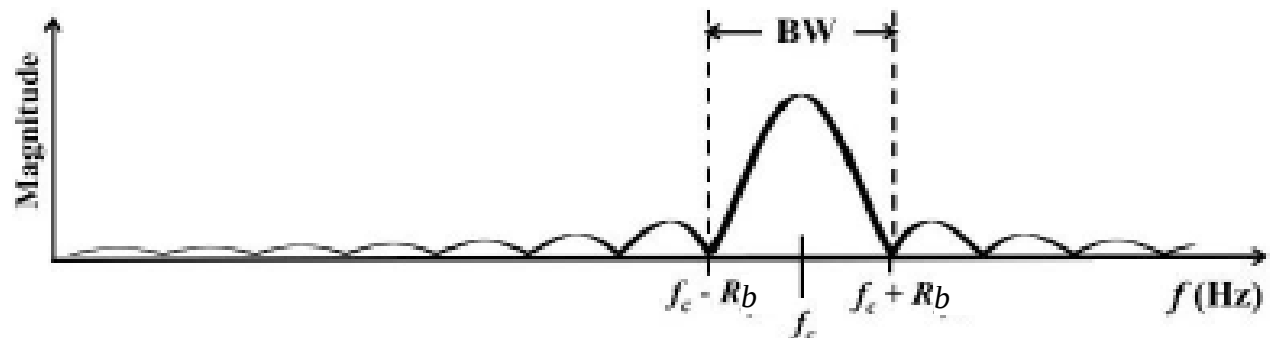
*Πομπός και Δέκτης
πρέπει να έχουν τον
ίδιο αστερισμό !*

ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ PSK

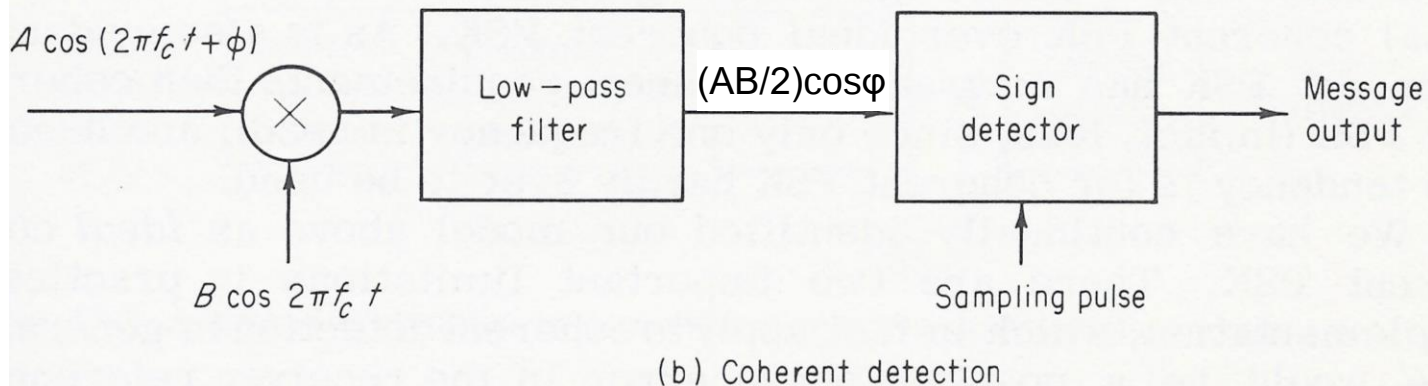
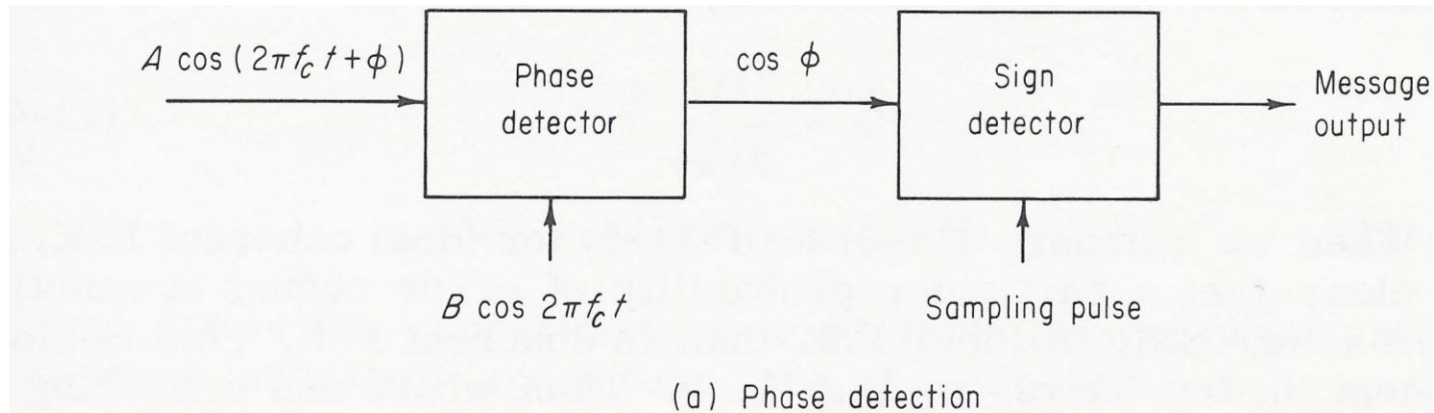
- Εύρος ζώνης B-PSK ίδιο με ASK, αφού και τα δύο στην ουσία είναι σήματα AM-DSB-SC.



Συμμετρική εικόνα στον αρνητικό ημιάξονα



ΔΕΚΤΗΣ PSK



Έστω $\mathbf{m}_{\text{PSK}} = +A \cos(\omega_c t)$ (δηλ. $\phi=0$) $\Rightarrow e(t) = A \cos(\omega_c t) B \cos(\omega_c t) = AB \cos^2(\omega_c t)$ στην έξοδο του πολλαπλασιαστή. Στην έξοδο του LPF: **$AB/2$** Volts, θετική τιμή, λογικό 1.

Έστω $\mathbf{m}_{\text{PSK}} = -A \cos(\omega_c t)$ (δηλ. $\phi=\pi$) $\Rightarrow e(t) = -A \cos(\omega_c t) B \cos(\omega_c t) = -AB \cos^2(\omega_c t)$ στην έξοδο του πολλαπλασιαστή. Στην έξοδο του LPF: **$-AB/2$** Volts, αρνητική τιμή, λογικό 0.

Υπέρ και Κατά της Διαμόρφωσης PSK

ΥΠΕΡ

- Καλύτερη φασματική απόδοση σε συχνότητες RF από FSK.
- Ίδιο εύρος ζώνης με το ASK, αλλά λιγότερο ευαίσθητο σε σφάλματα.
- Μπορούμε να επιτύχουμε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων χρησιμοποιώντας τροποποιήσεις της PSK: π.χ. QPSK (2 bits ανά αστερισμό), 16-QAM (4 bits ανά αστερισμό) κ.λ.π.

ΚΑΤΑ

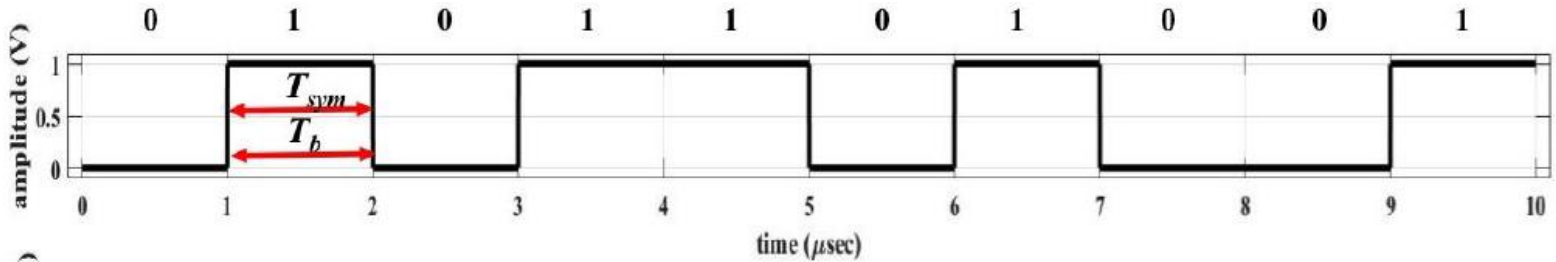
- Η απόδοση εύρους ζώνης του PSK είναι μικρότερη σε σύγκριση με την ASK.
- Η αποκωδικοποίηση στον δέκτη απαιτεί σύνθετους αλγορίθμους.
- Διαμορφώσεις υψηλότερου επιπέδου όπως το QPSK και 16-QAM είναι πιο ευαίσθητες στις διαφορές φάσης.
- Αν το σήμα αναφοράς (φορέας) δεν είναι σταθερό, δημιουργούνται σφάλματα στην αποδιαμόρφωση.

Συνήθεις χρήσεις της διαμόρφωσης PSK:
Bluetooth, RFID και οπτικές επικοινωνίες

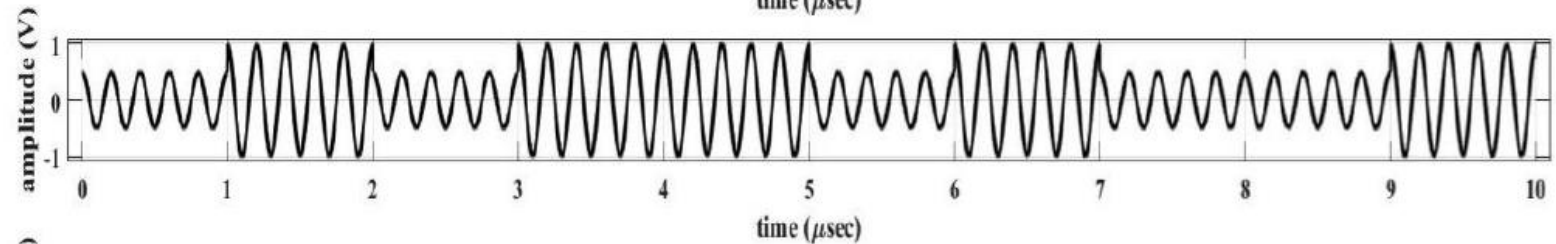
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΒΑΣΙΚΩΝ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ

Information (bits):

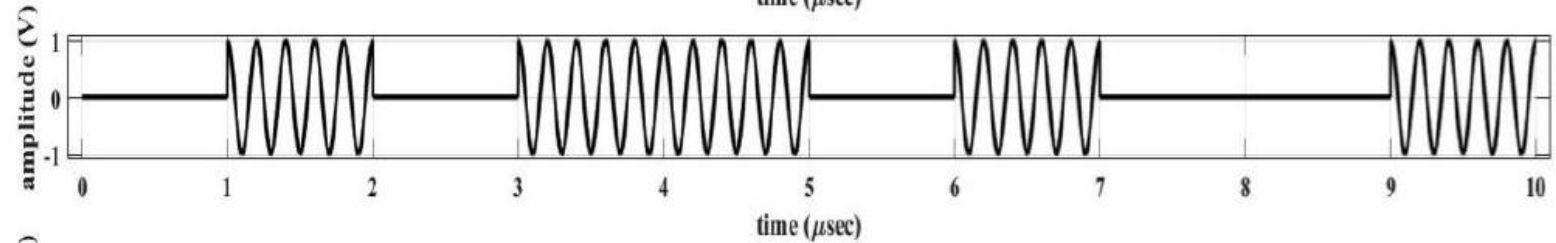
Baseband signal
(voltage pulses):



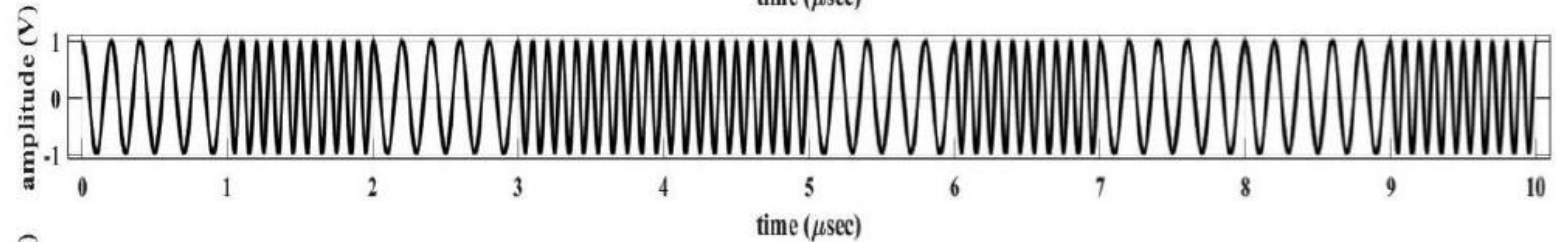
Modulated signal
if using ASK:



Modulated signal
if using OOK:



Modulated signal
if using FSK:



Modulated signal
if using BPSK:

