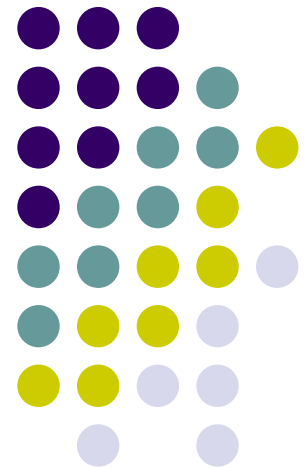
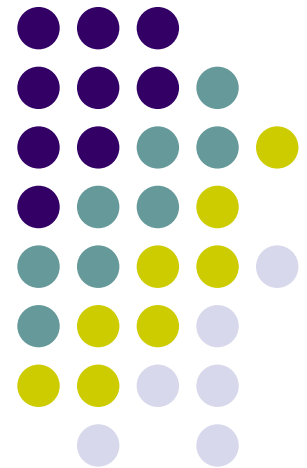


Διαμόρφωση Παλμών

Pulse Modulation



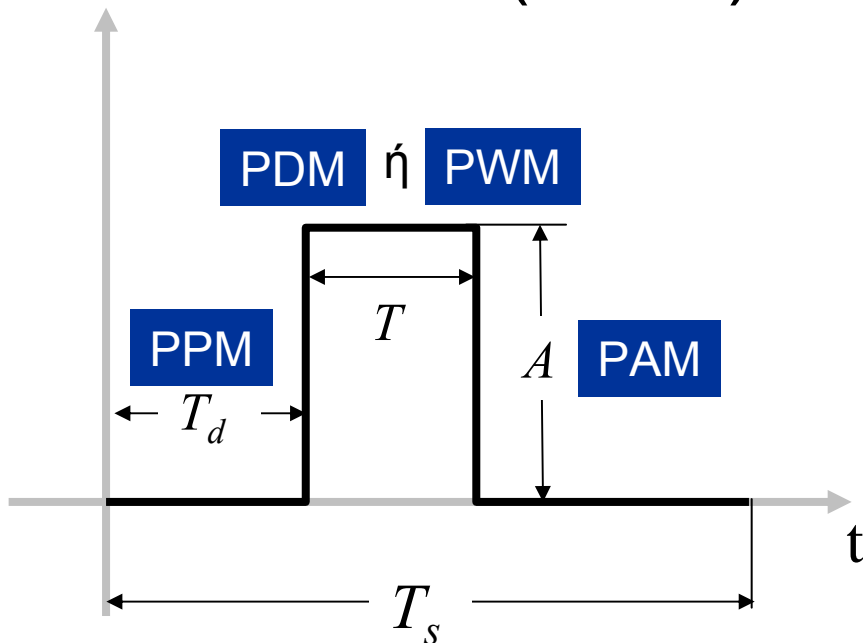
Συστήματα διαμόρφωσης παλμών

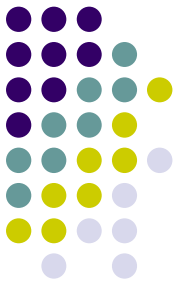




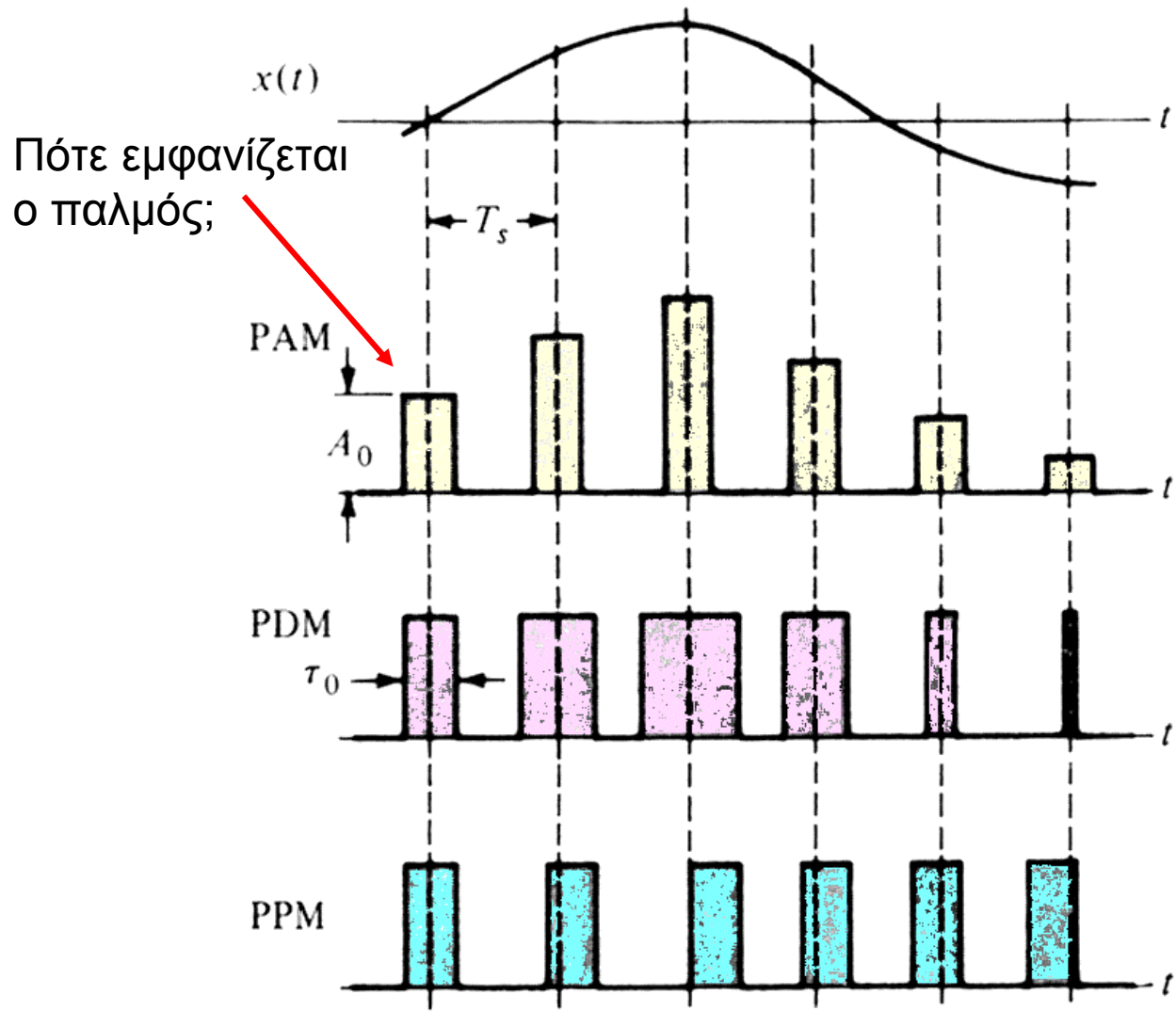
Είδη διαμόρφωσης παλμών

- Pulse Amplitude Modulation (PAM): $A \propto m(t)$
- Pulse Position Modulation (PPM): $T_d \propto m(t)$
- Pulse Duration Modulation (PDM) ή Pulse Width Modulation (PWM): $T \propto m(t)$

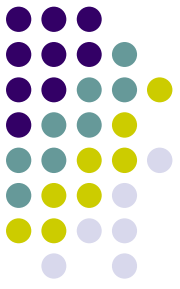




Είδη διαμόρφωσης παλμών

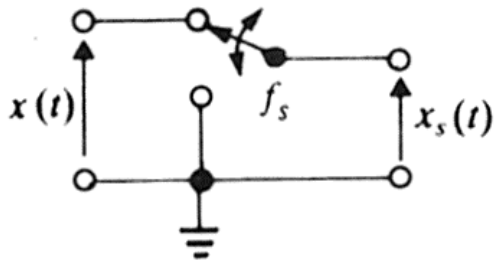


Διαμόρφωση πλάτους παλμών

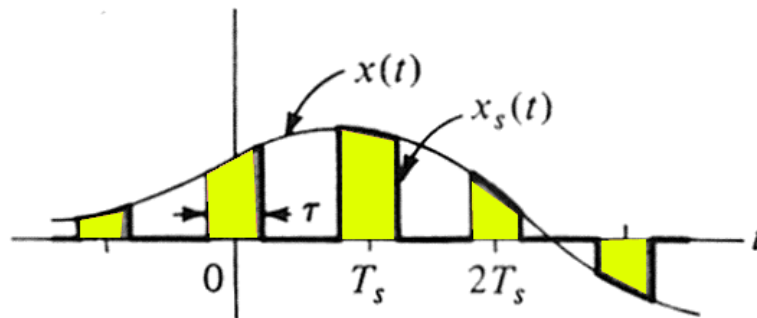


- Η διαμόρφωση πλάτους παλμών (PAM) παράγεται από τεμαχιστή (chopper)
- Συχνά όμως χρησιμοποιείται κύκλωμα sample-and-hold με αποτέλεσμα παλμούς επίπεδης κορυφής

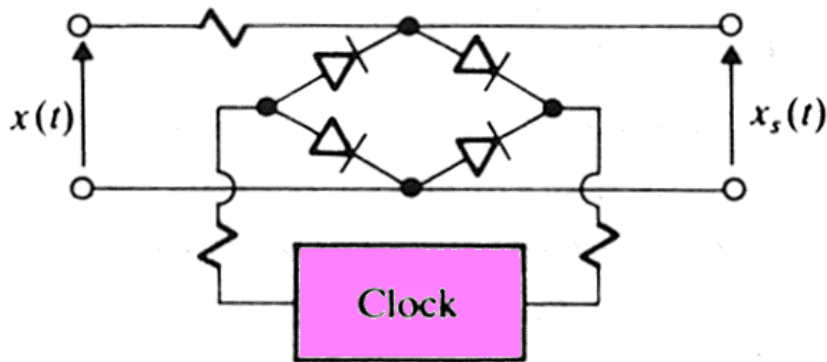
Τεμαχιστής (chopper)



(a)



(b)

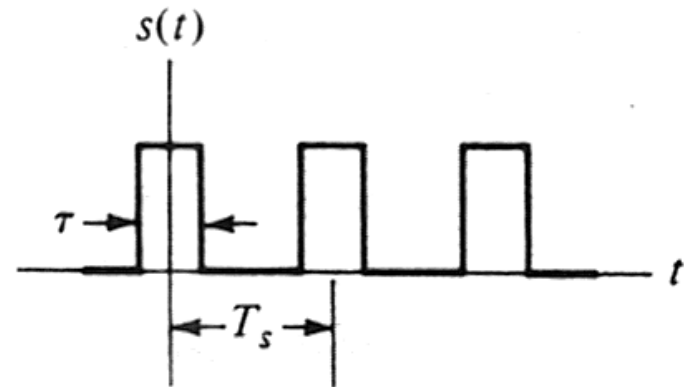
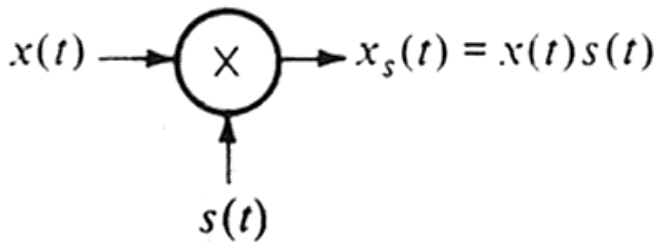


(c)

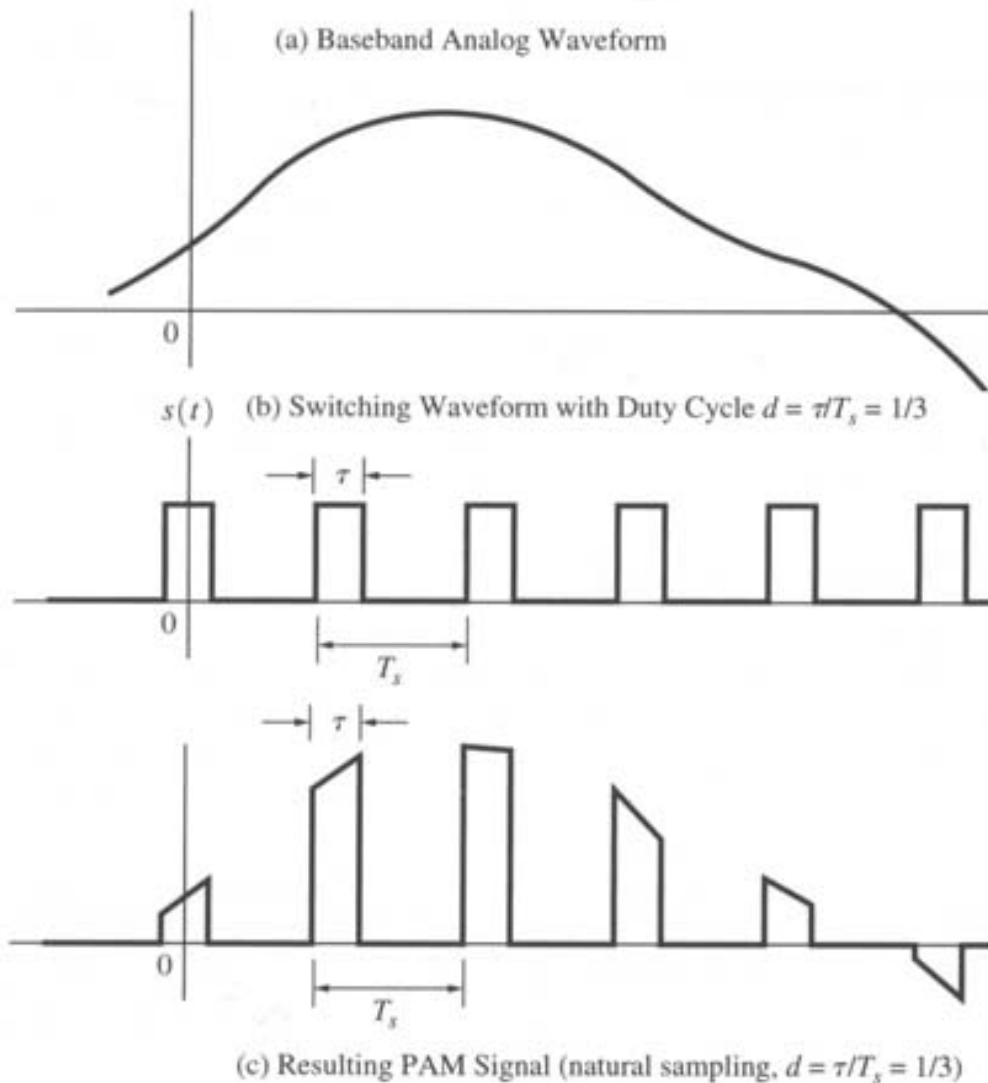


Παραγωγή ΡΑΜ

- Το διαμορφωμένο σήμα ΡΑΜ είναι το γινόμενο του σήματος επί τη συνάρτηση δειγματοληψίας (σειρά παλμών)
- **Φυσική δειγματοληψία**



Φυσική δειγματοληψία





Φάσμα ΡΑΜ

- Η συνάρτηση δειγματοληψίας είναι περιοδική επομένως αναλύεται σε σειρά Fourier

$$s(t) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) \exp(jn2\pi f_s t)$$

- άρα

$$x_s(t) = x(t)s(t) \Rightarrow$$

$$x_s(t) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) \exp(jn2\pi f_s t) x(t) \Rightarrow$$

$$X_s(f) = \tau f_s \sum_{n=-\infty}^{\infty} \text{sinc}(nf_s \tau) X(f - nf_s)$$



Φάσμα PAM

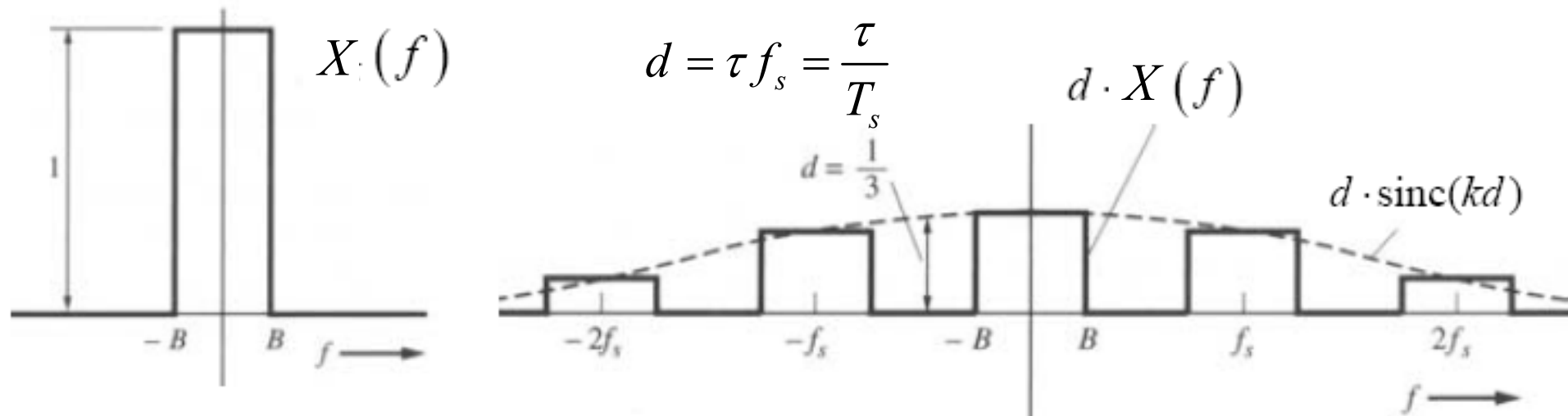
- Το αποτέλεσμα της πεπερασμένης διάρκειας παλμού είναι ο πολλαπλασιασμός του n -στου λοβού με $d \operatorname{sinc}(nd)$
- όπου η σταθερά d είναι ο κύκλος εργασίας (duty cycle) του παλμού

$$d = \tau f_s = \frac{\tau}{T_s}$$



Φάσμα ΡΑΜ

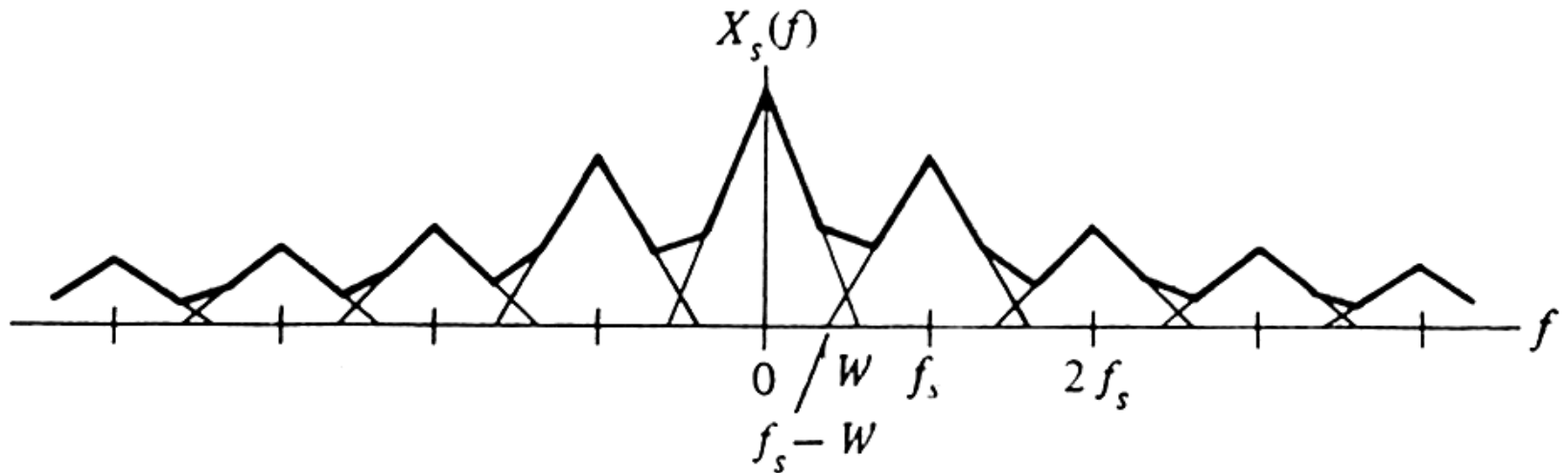
- Ο πρώτος όρος είναι το φάσμα του σήματος, πολλαπλασιασμένο με d
- Εάν το σήμα είναι βαθυπερατό, τότε μπορεί να ανακτηθεί από το διαμορφωμένο σήμα ΡΑΜ





Επικάλυψη

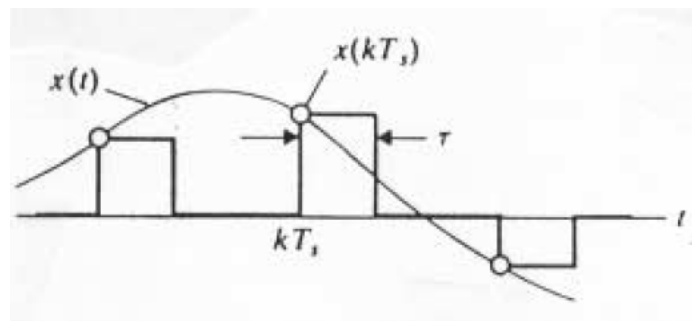
- Εάν $T_s \leq 1/2W$ μπορούμε να ανακτήσουμε το σήμα με χρήση κατάλληλου φίλτρου
- Αλλιώς, εμφανίζεται επικάλυψη

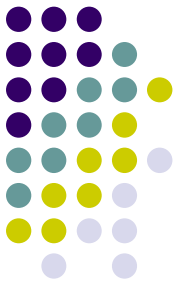




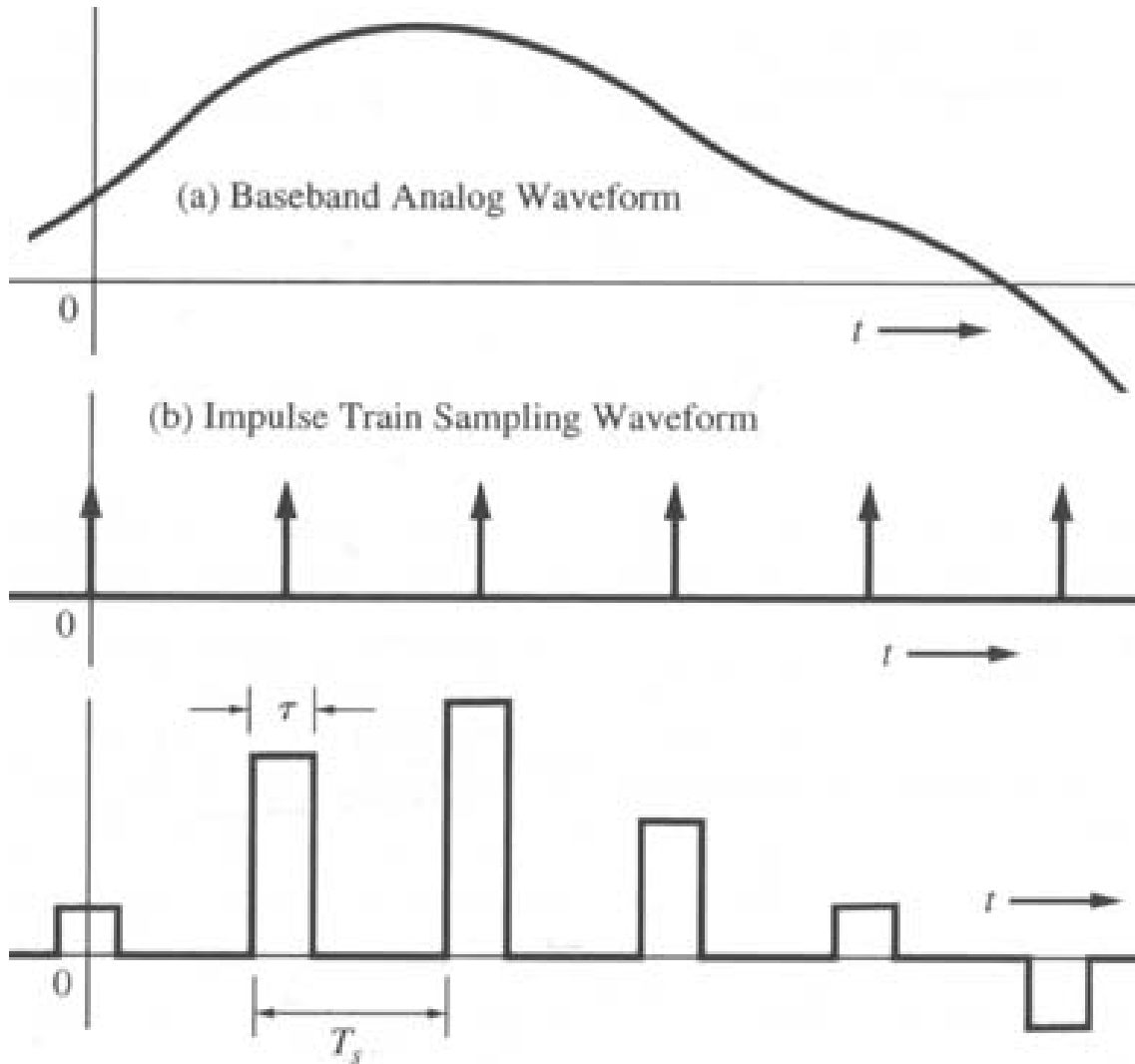
Δείγματα με επίπεδη κορυφή

- Παρότι το σήμα PAM μπορεί να ληφθεί με τεμαχιστή, η πιο δημοφιλής μέθοδος χρησιμοποιεί την τεχνική **sample-and-hold (S/H)**
- Οδηγεί σε δείγματα με **επίπεδη κορυφή (flat top sampling)**
- **Στιγμιαία δειγματοληψία**



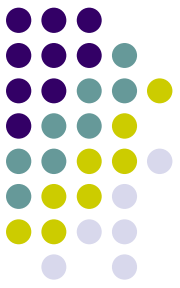


Στιγμαιαία δειγματοληψία



(c) Resulting PAM Signal (flat-top sampling, $d = \tau/T_s = 1/3$)

Φάσμα ΡΑΜ με δείγματα επίπεδης κορυφής



$$x_p(t) = \sum_n x(nT_s) p(t - nT_s)$$

$$x_p(t) = p(t) \otimes \left[\sum_n x(nT_s) \delta(t - nT_s) \right]$$

$$x_p(t) = p(t) \otimes x_\delta(t)$$

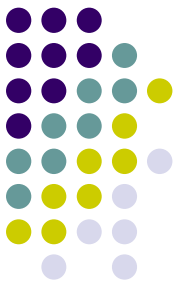
$$\Rightarrow X_p(f) = P(f) X_\delta(f)$$

Φάσμα ΡΑΜ με δείγματα επίπεδης κορυφής



- Το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας με δείγματα επίπεδης κορυφής ισοδυναμεί με τη διάβαση του ιδανικού σήματος δειγματοληψίας μέσω φίλτρου $P(f)$
- Το $P(f)$ δρα ως βαθυπερατό φίλτρο που εξασθενεί τις υψηλές συχνότητες του σήματος πληροφορίας
 - Φαινόμενο ανοίγματος (aperture effect)

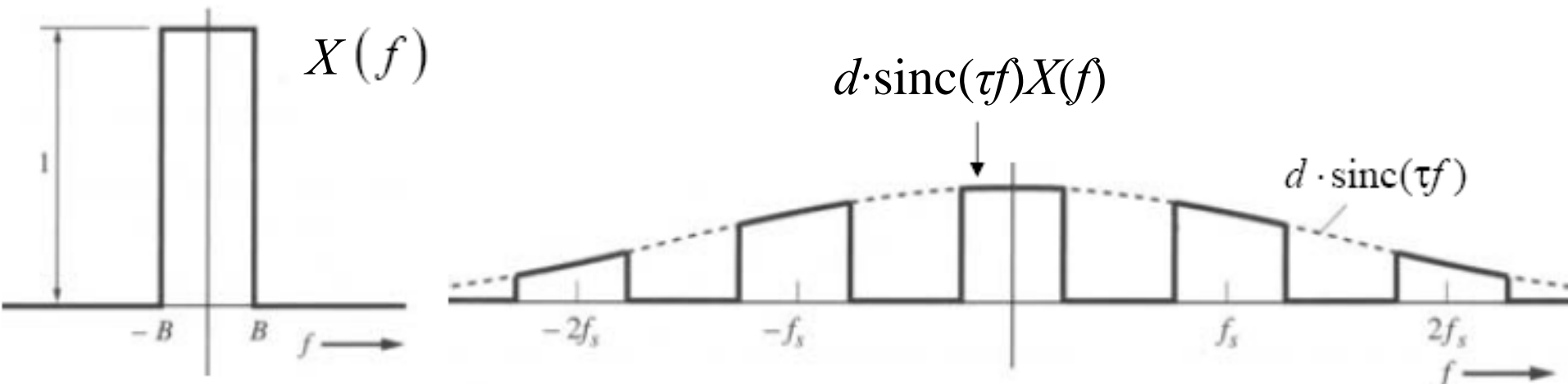
Ανάκτηση σήματος PAM με δείγματα επίπεδης κορυφής



- Το φαινόμενο ανοίγματος μπορεί να διορθωθεί με εξισωτή (equalizer)

$$H_{eq}(f) = K \exp(-j2\pi f \tau_d) / P(f)$$

- Εάν ο κύκλος εργασίας είναι μικρός $d = \tau/T_s \ll 1$ δεν απαιτείται σχεδόν καθόλου ισοστάθμιση



Εύρος ζώνης για μετάδοση PAM

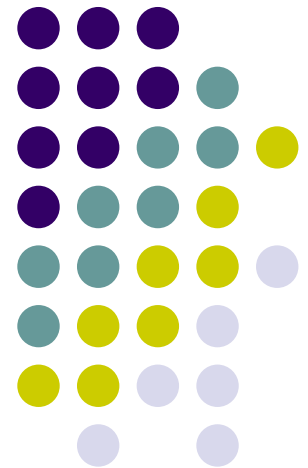


- Το φάσμα της PAM περιλαμβάνει πολλές αρμονικές της συχνότητας δειγματοληψίας
- Για τον υπολογισμό του εύρους ζώνης πρέπει να ληφθεί υπόψη η συμπεριφορά των παλμών στο πεδίο του χρόνου
- Υποθέτοντας μικρή χρονική διάρκεια παλμών σε σχέση με την περίοδο δειγματοληψίας

$$\tau \ll T_s \leq \frac{1}{2W}$$

$$\Rightarrow B_T \geq \frac{1}{2\tau} \gg W$$

Σήματα PDM και PPM

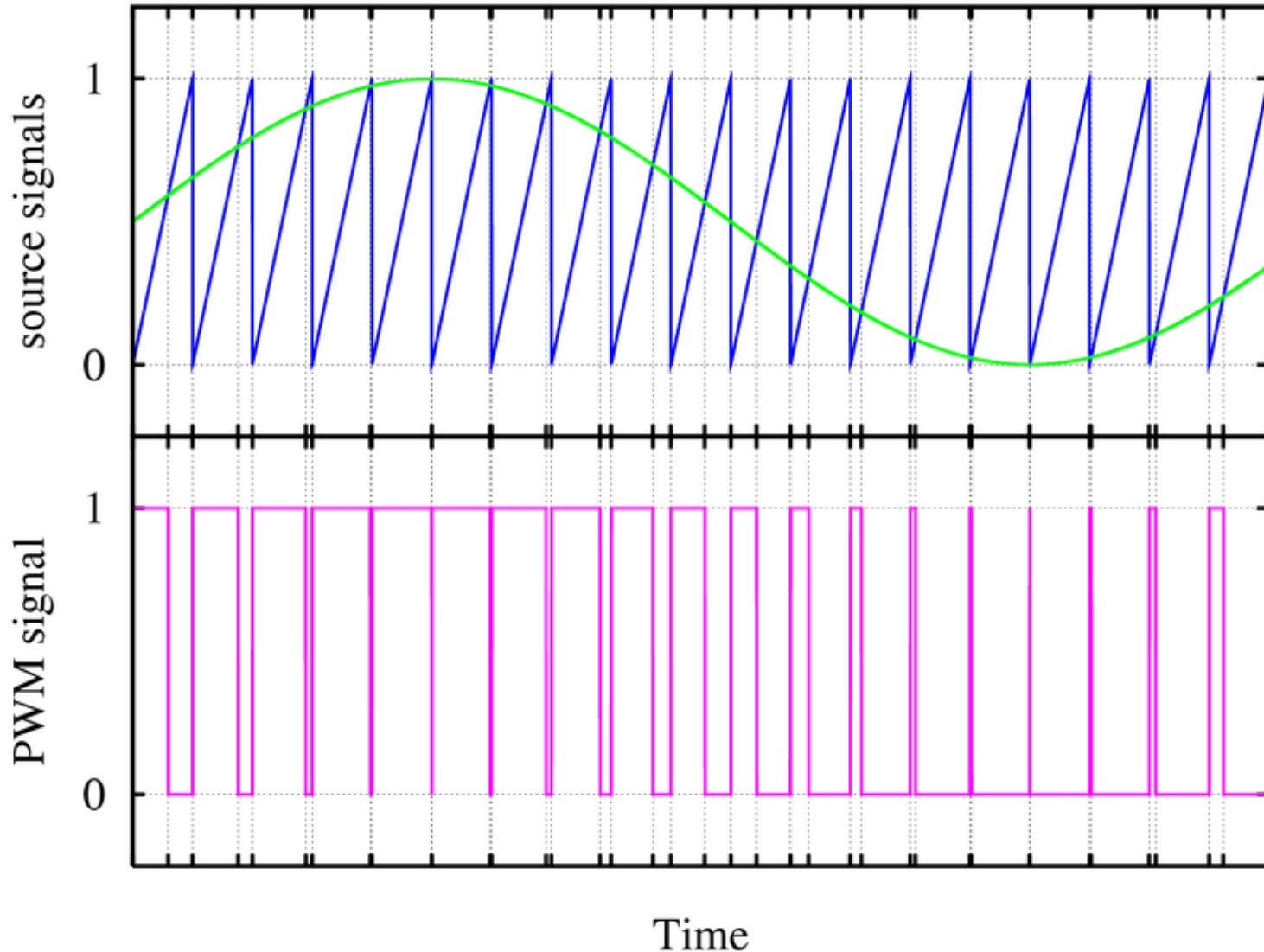
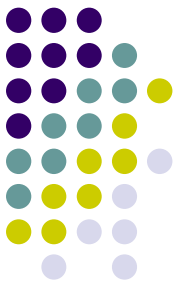




Παραγωγή σημάτων PDM

- Ο απλούστερος τρόπος παραγωγής βασίζεται στην παρατήρηση ότι το πλάτος του παλμού μπορεί να προκύψει από τη σύγκριση της τιμής το σήματος και αυτής μιας τριγωνικής κυματομορφής

Σήμα PDM

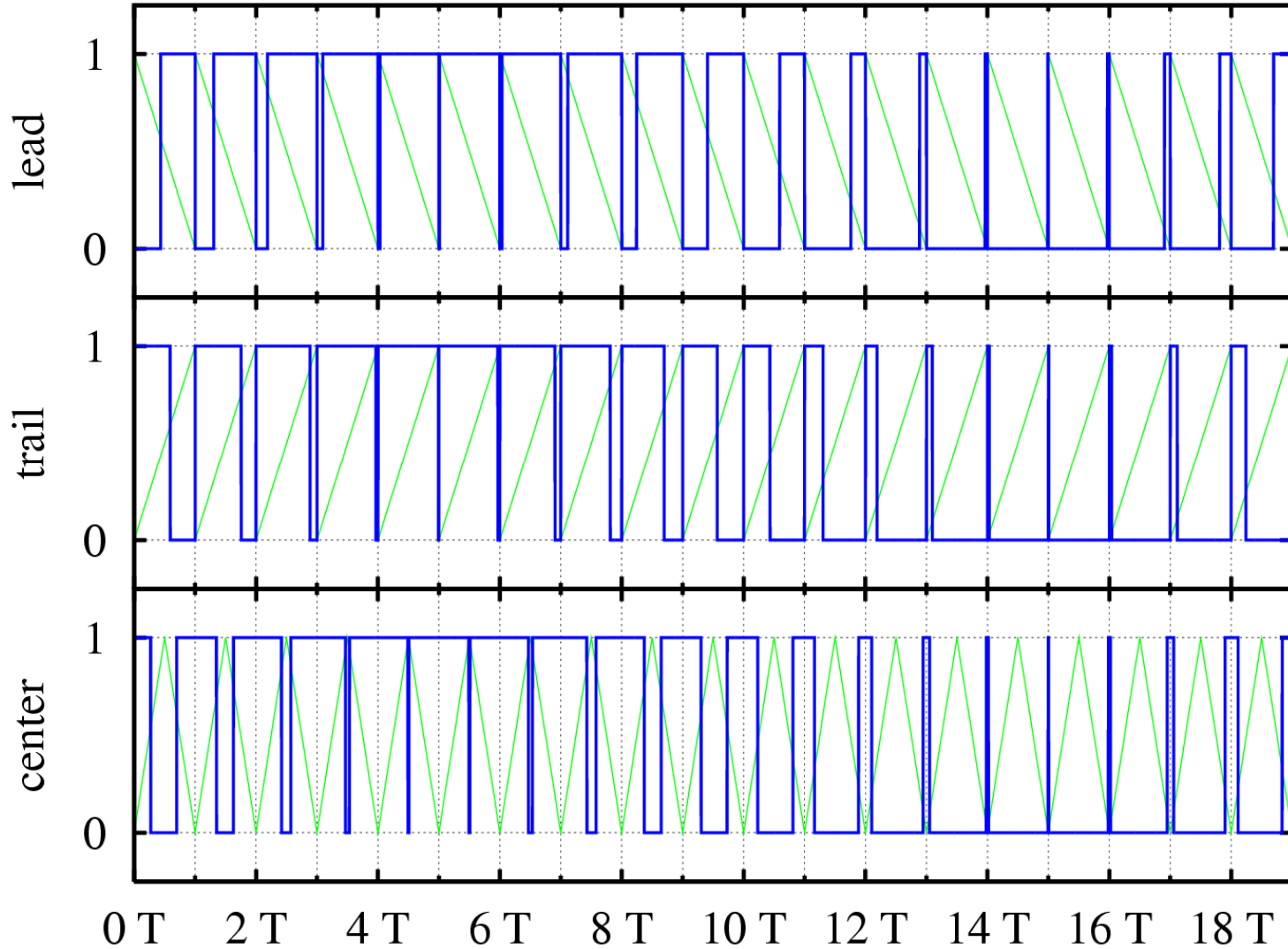




Παραγωγή σημάτων PDM

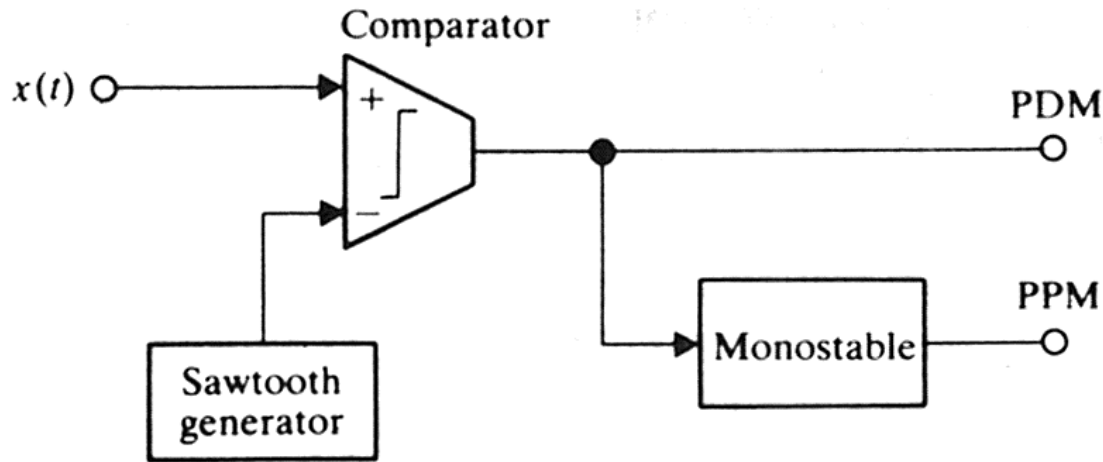
- Διάφορες παραλλαγές είναι δυνατές:
 - Η αρχή του παλμού είναι σταθερή και μεταβάλλεται το τέλος
 - Το τέλος του παλμού είναι σταθερό και μεταβάλλεται η αρχή
 - Το κέντρο του παλμού είναι σταθερό και μεταβάλλονται αμφότερες οι πλευρές

Παραλλαγές σημάτων PDM

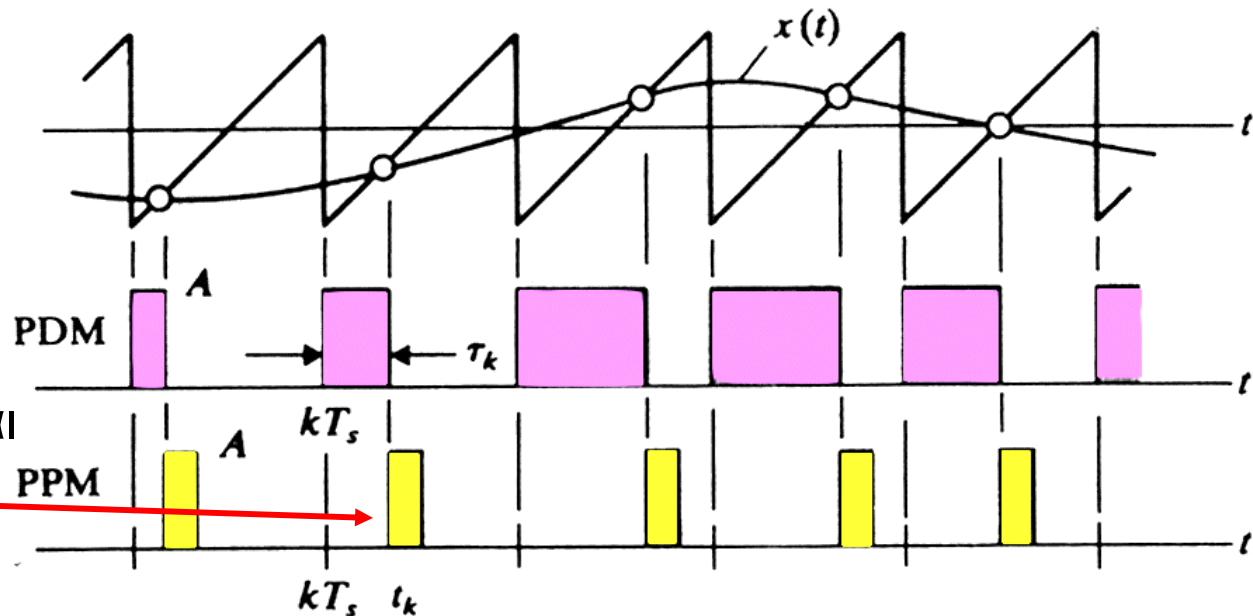




Διαμορφωτής PDM και PPM



Μη ομοιόμορφη
δειγματοληψία → Τα
δείγματα εξαρτώνται από
την τιμή στα t_k αντί να είναι
η τιμή στα kT_s





Σήμα PDM

- Πρακτικά η διαφορά μεταξύ ομοιόμορφης και μη ομοιόμορφης δειγματοληψίας είναι μικρή
 - εν ανάγκη μπορεί να χρησιμοποιηθεί κύκλωμα S/H
- Η διάρκεια του k -στου παλμού εξαρτάται από την τιμή του σήματος στο kT_s
$$\tau_k = \tau_0 [1 + \mu x(kT_s)]$$
- όπου τ_0 είναι η διάρκεια όταν το σήμα είναι μηδέν
 - το μ πρέπει να έχει τιμή που να εξασφαλίζει ότι η διάρκεια του παλμού δεν είναι αρνητική



Αποδιαμόρφωση PDM

- Προσεγγιστικά, μπορούμε να υποθέσουμε παλμούς μοναδιαίου πλάτους κεντραρισμένους στο kT_s
- με τη k -στού παλμού τ_k να αλλάζει αργά από παλμό σε παλμό (δηλαδή, να παραμένει σχεδόν σταθερή)
- αναλύοντας σε σειρά Fourier

$$x_p(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} 2c_n \cos(2\pi n f_s t)$$

$$c_n = \tau f_s \text{sinc}(n f_s \tau), \quad \tau = \tau_0 [1 + \mu x(t)]$$

$$x_p(t) = \tau f_s + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n} \sin(\pi n f_s \tau) \cos(2\pi n f_s t)$$



Αποδιαμόρφωση PDM

- Οπότε

$$x_p(t) = \tau f_s + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n} \sin(\pi n f_s \tau) \cos(2\pi n f_s t)$$

$$\approx f_s \tau_0 [1 + \mu x(t)] + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2}{\pi n} \sin \{ \pi n f_s \tau_0 [1 + \mu x(t)] \} \cos(2\pi n f_s t)$$

- το σήμα PDM αποτελείται από μια συνιστώσα DC,
- το προς διαμόρφωση σήμα πληροφορίας $x(t)$, και
- σήματα PM στις αρμονικές της συχνότητας δειγματοληψίας f_s



Αποδιαμόρφωση PDM

- Εάν δεν υπάρχει επικάλυψη των φασμάτων των σημάτων PM με το σήμα πληροφορίας, δηλαδή, $\tau_0 \ll T_s$ τότε το $x(t)$ λαμβάνεται με **βαθυπερατό** φιλτράρισμα!



Αποδιαμόρφωση PPM

- Στο σήμα PPM ο k -οστός παλμός ξεκινά τη στιγμή

$$t_k = kT_s + t_d + t_0 x(kT_s)$$

- όπου t_d όπου είναι μια σταθερή καθυστέρηση και το t_0 ελέγχει την ολίσθηση από τη θέση του αδιαμόρφωτου σήματος $t_k = kT_s + t_d$

- Με απλοποιητικές υποθέσεις αποδεικνύεται ότι

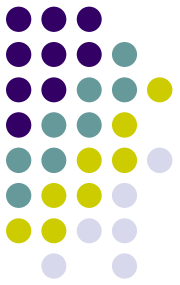
$$x_p(t) = f_s [1 - t_0 \dot{x}(t)] \left\{ 1 + \sum_{n=1}^{\infty} 2 \cos [2\pi n f_s t - 2\pi n f t_0 x(t)] \right\}$$



Αποδιαμόρφωση PPM

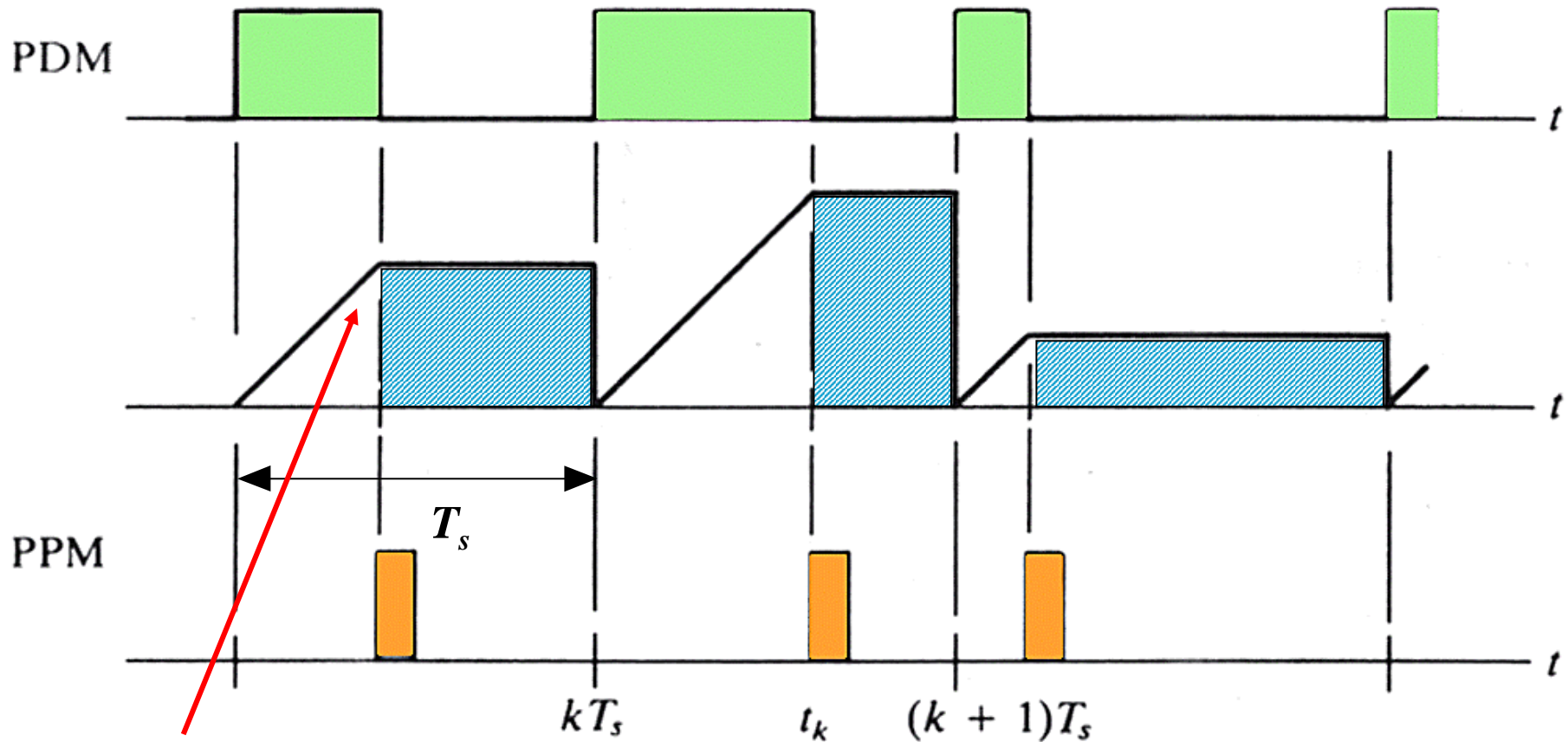
- Το σήμα PPM με μη ομοιόμορφη δειγματοληψία είναι συνδυασμός γραμμικής και εκθετικής διαμόρφωσης
- Κάθε αρμονική της συχνότητας δειγματοληψίας είναι διαμορφωμένη κατά φάση από το σήμα $x(t)$ και κατά πλάτος από την παράγωγο του σήματος $dx(t)/dt$
- Το σήμα μπορεί να ληφθεί από βαθυπερατό φίλτρο και **ολοκλήρωση**
- Η ολοκλήρωση δεν εκμεταλλεύεται τις ιδιότητες καταστολής θορύβου
 - → μετατροπή σε PAM ή PDM

Μετατροπή PDM, PPM σε PAM



- Ένας άλλος πρακτικός τρόπος αποδιαμόρφωσης για την PDM και PPM είναι η μετατροπή τους σε PAM χρησιμοποιώντας ramp generator

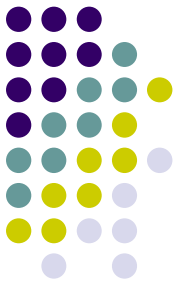
Μετατροπή PDM, PPM σε PAM



Η θέση ή η διάρκεια
προσδιορίζουν το
πλάτος

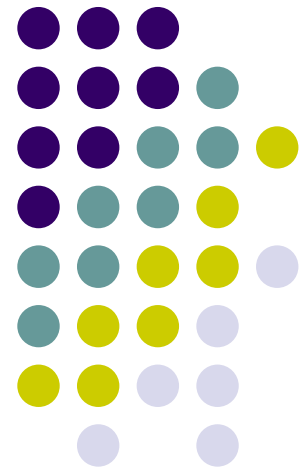
 PAM

Χαρακτηριστικά PDM και PPM

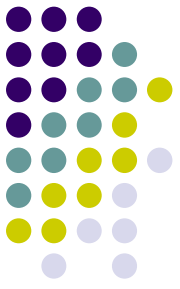


- Άσχετα από τη μέθοδο αποδιαμόρφωσης, οι PDM και PPM απαιτούν μικρούς χρόνους ανόδου (risetime) παλμών, ώστε να διατηρηθεί η ακρίβεια της πληροφορίας
 - Το απαιτούμενο εύρος ζώνης είναι σημαντικά μεγαλύτερο σε σχέση με την PAM
 - Το σταθερό πλάτος παλμών δίνει ανοσία σε μη γραμμικότητες
 - Η μεταφορά της πληροφορίας μέσω της θέσης των παλμών και όχι του πλάτους προδίδει ιδιότητες καταστολής του θορύβου παρόμοιες των PM και FM

Πολυπλεξία

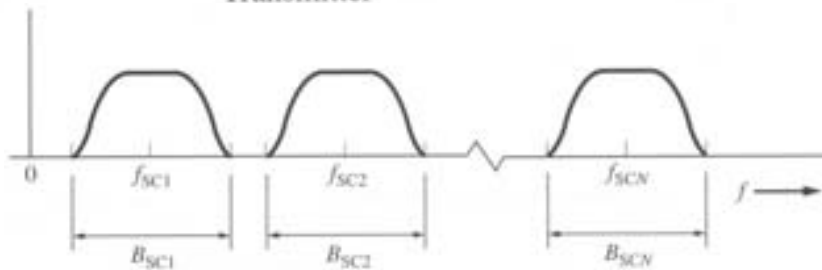
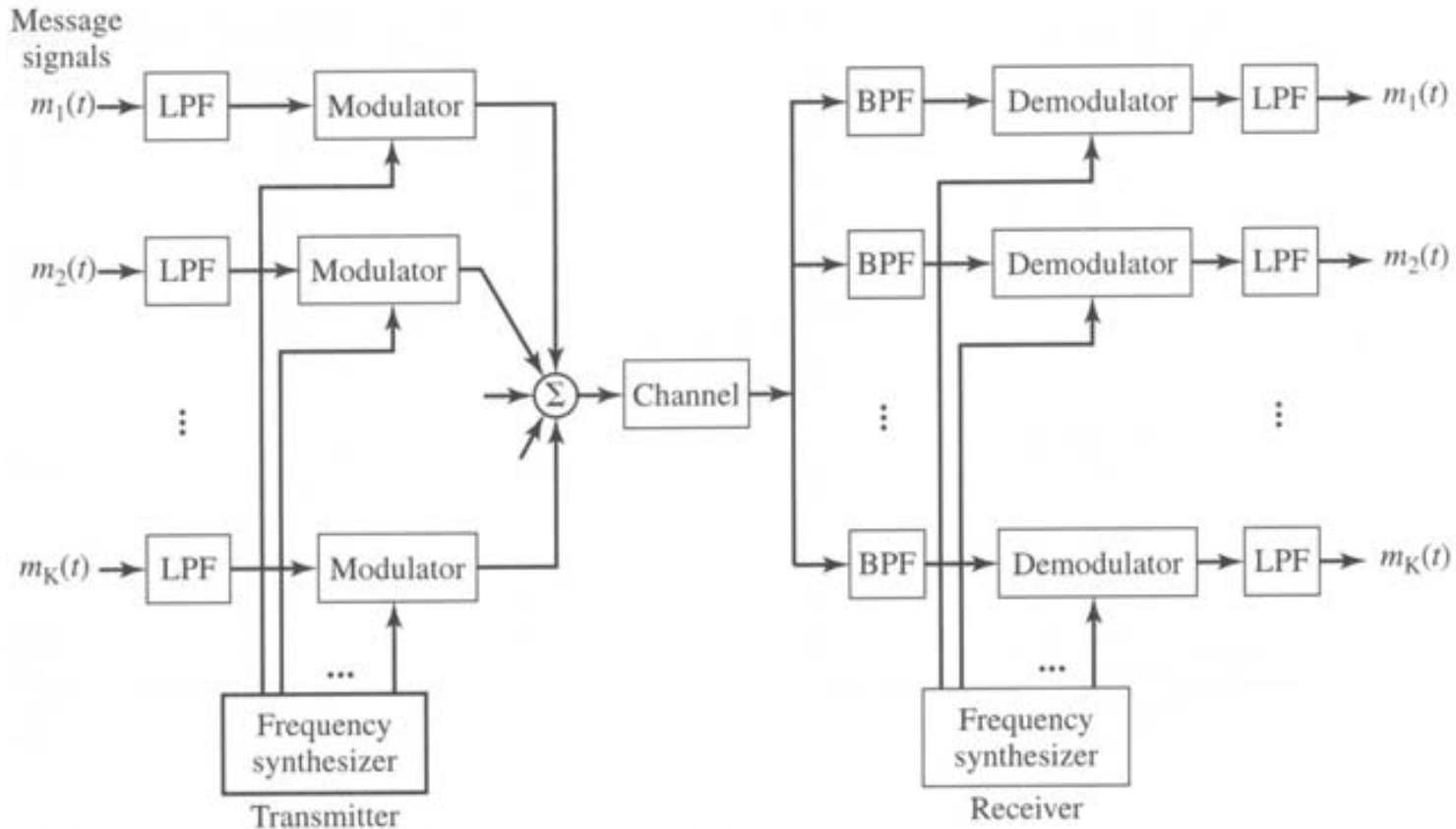


Πολυπλεξία αναλογικών σημάτων



- Πολλά αναλογικά σήματα μπορούν να διαμορφωθούν κατά SSB και μεταδοθούν μέσω ενός κοινού διαύλου
 - Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM)
- Μια εναλλακτική μέθοδος είναι η πολυπλεξία το πεδίο του χρόνου (TDM)
 - Το σήμα που προκύπτει από διαμόρφωση PAM είναι μηδέν τον περισσότερο καιρό
 - Τα κενά αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση άλλου διαμορφωμένου κατά PAM σήματος

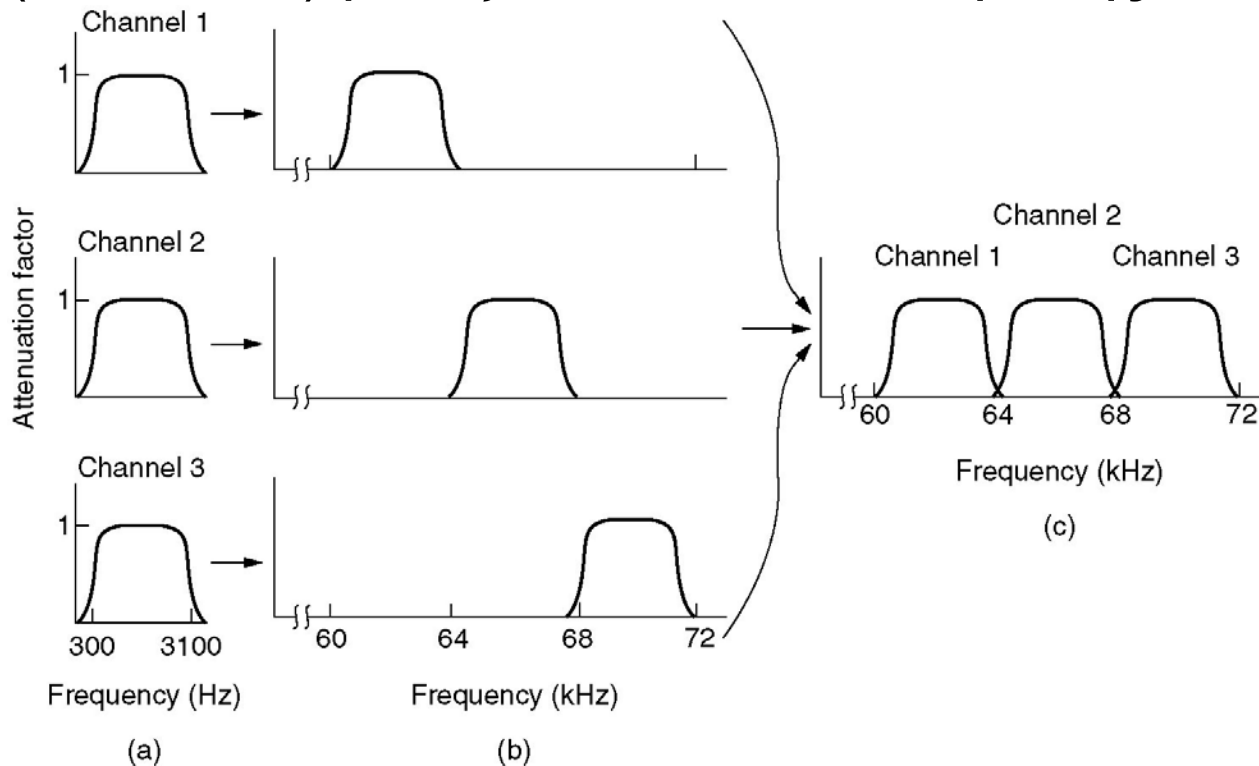
Frequency Division Multiplexing (FDM)



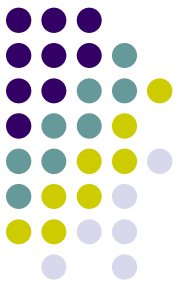


Μειονέκτημα FDM

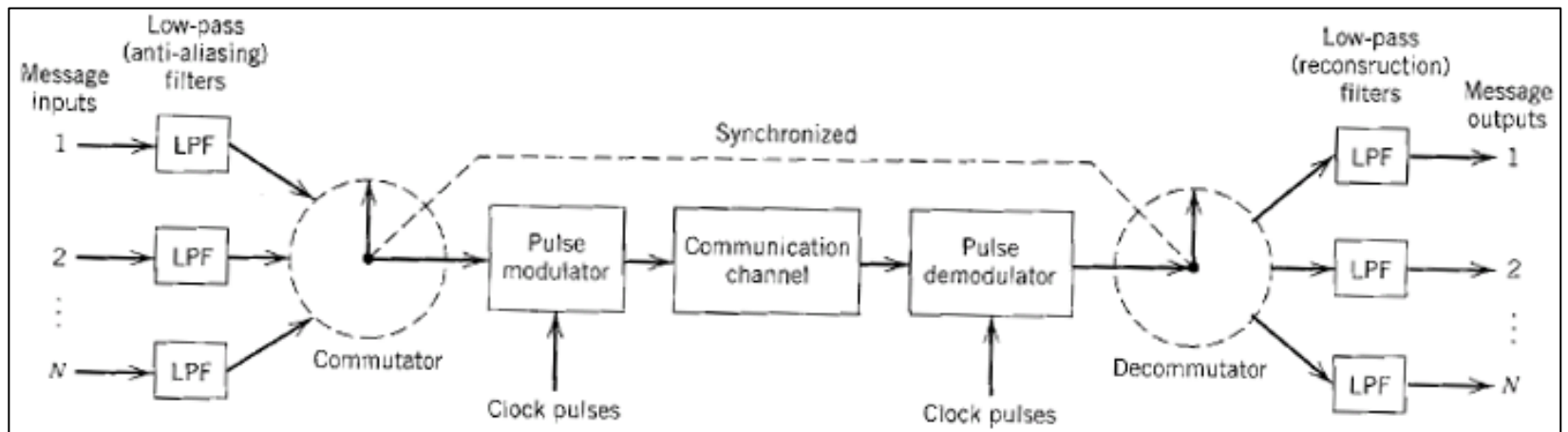
- Στις αναλογικές μεθόδους πολυπλεξίας συχνότητας, που χρησιμοποιήθηκαν στην τηλεφωνία (SSB-FDM), λόγω μη γραμμικότητας, εμφανίζεται το πρόβλημα της διαφωνίας (cross-talk) μεταξύ των καναλιών φωνής



Time Division Multiplexing (TDM)



- Ο δίαυλος μοιράζεται στα προς μετάδοση σήματα σε χρονική βάση
- Τα διαφορετικά σήματα μεταδίδονται δειγματοληπτημένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές





Συγχρονισμός

- Σε όλα τα συστήματα TDM πρέπει να υπάρχει συγχρονισμός μεταξύ πομπού και δέκτη!
- Διαφορετικά δεν θα ληφθούν τα σωστά σήματα

