

Ψηφιακές Τηλεπικοινωνίες

*Διαμόρφωση Παλμών
κατά Πλάτος*

Διαμόρφωση Παλμών κατά Πλάτος

- Είπαμε ότι κατά την ψηφιακή μετάδοση μέσα από αναλογικό κανάλι κάθε σύμβολο αντιστοιχίζεται σε μια κυματομορφή σήματος

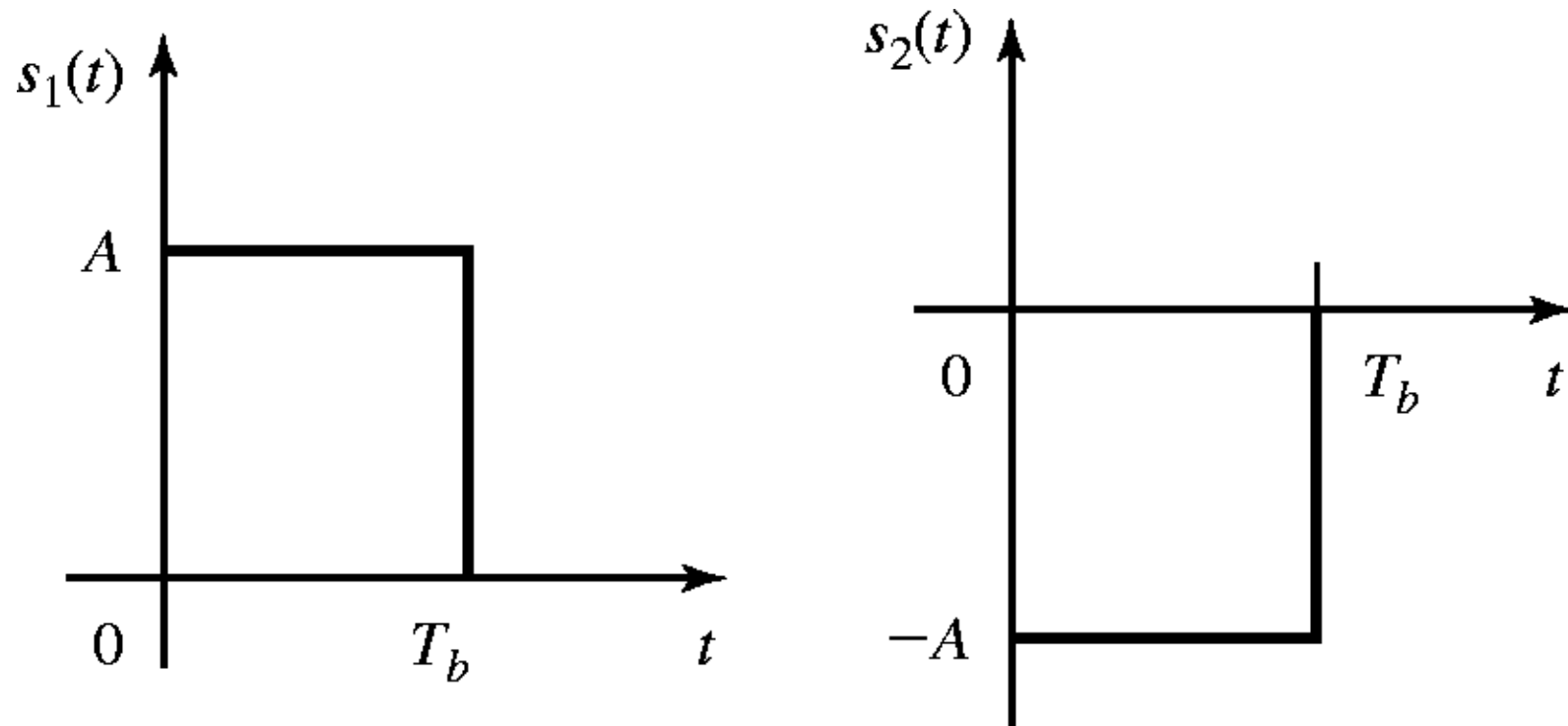
$$\{s_1, \dots, s_M\} \longleftrightarrow \{s_1(t), \dots, s_M(t)\}$$

- Διαμόρφωση Παλμών κατά Πλάτος
 - Pulse Amplitude Modulation (PAM)
 - χρησιμοποιείται μια βασική κυματομορφή και ανάλογα με το σύμβολο τροποποιούμε το πλάτος της
- Θα διακρίνουμε δύο περιπτώσεις σημάτων PAM
 1. Βασικής ζώνης
 2. Ζωνοπερατά

Δυαδικό ΡΑΜ Βασικής Ζώνης

- Είναι η απλούστερη μέθοδος ψηφιακής διαμόρφωσης
- Δυαδικό αλφάβητο
 - το δυαδικό «1» αντιστοιχίζεται σε παλμό πλάτους $+A$
 - το δυαδικό «0» σε παλμό πλάτους $-A$
- Το Δυαδικό ΡΑΜ ονομάζεται και **Δυαδική Αντίποδη Σηματοδοσία**
- Αν T_b (sec) είναι η **περίοδος bit**,
 - στέλνω με **ρυθμό** σηματοδοσίας $R_b = 1/T_b$ (Hz)

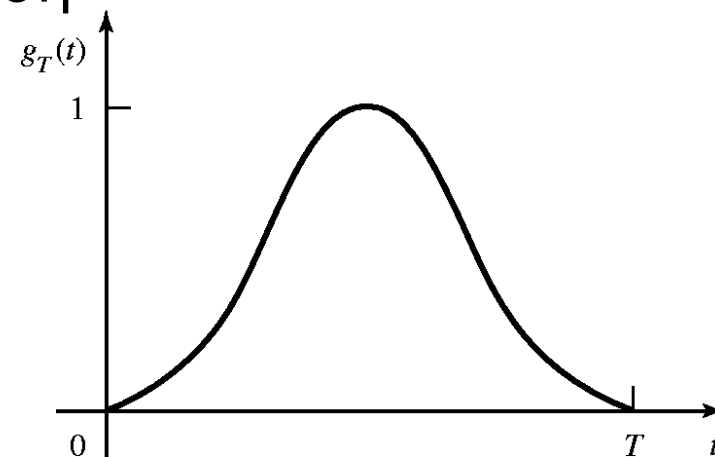
Κυματομορφές 2-ΡΑΜ



Παλμός Βασικής Ζώνης

- Ο παλμός βασικής ζώνης είναι η κυματομορφή που στέλνεται μέσα στο αναλογικό κανάλι βασική ζώνης
- Ούτως ή άλλως δεν μπορεί να είναι ορθογώνιος παλμός
 - απαιτεί άπειρο εύρος ζώνης
 - πρακτικές δυσκολίες στην υλοποίηση

- Συνήθως είναι **εξομαλυμένοι παλμοί**
 - με μορφή τέτοια που να τους προσδίδει τα επιθυμητά φασματικά χαρακτηριστικά



- **Μπορεί να εκτείνεται πέρα μιας περιόδου σηματοδοσίας (!!!)**

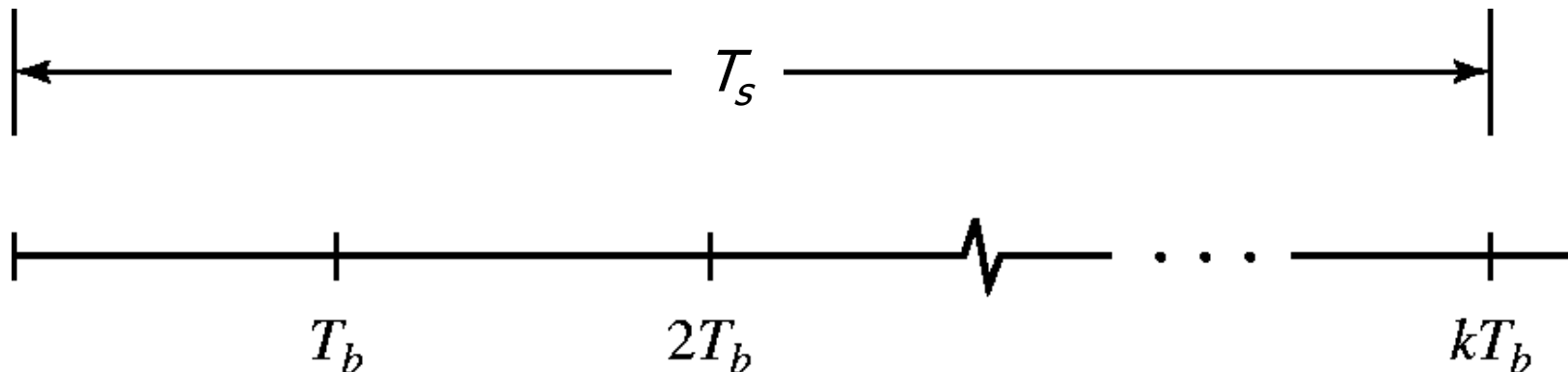
- **Ενέργεια** του παλμού

$$E_g = \int_0^{T_s} g_T^2(t) dt$$

M-αδικό ΡΑΜ

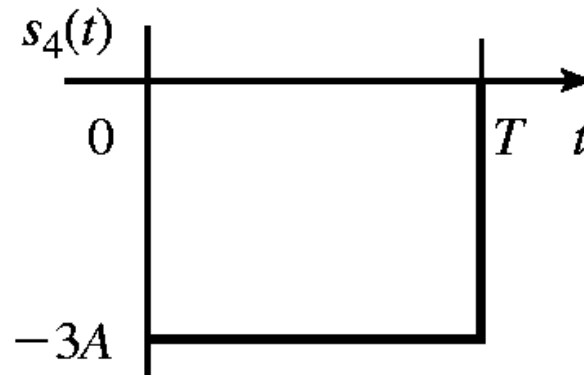
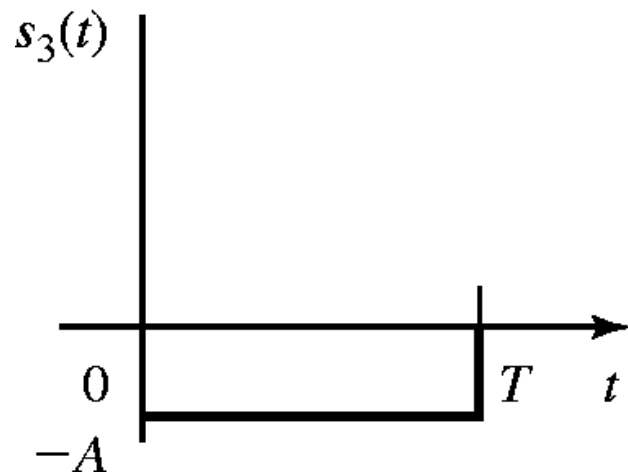
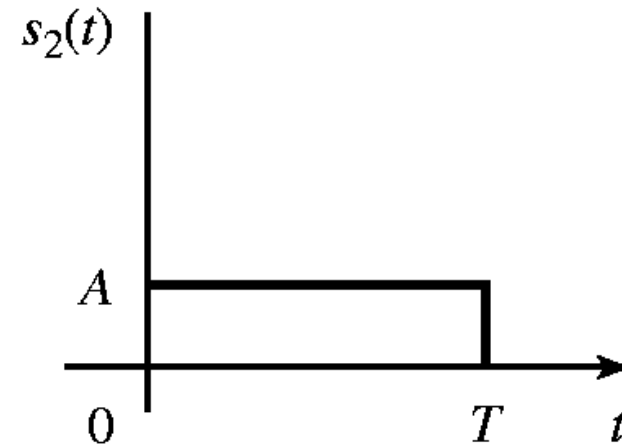
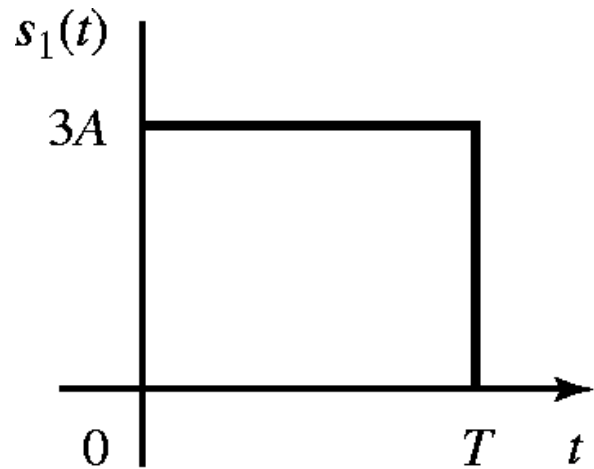
- Η ψηφιακή πληροφορία είναι εκφρασμένη σε M σύμβολα
- Τα bits προς μετάδοση ομαδοποιούνται σε μπλοκ των $k = \log_2 M$ bits και το κάθε μπλοκ αντιστοιχίζεται σε ένα από τα M σύμβολα
- Περίοδος Σηματοδοσίας
 - αν T_b η περίοδος αποστολής ενός bit,
 - τότε σε μια περίοδο συμβόλου (περίοδο σηματοδοσίας) T_s "στέλνονται" k bits

$$T_s = kT_b \Leftrightarrow R_s = \frac{R_b}{k}$$



Παράδειγμα 4-PAM

- Ομαδοποιούνται $k=2$ bits ανά σύμβολο
- $M=4$ κυματομορφές διαμορφωμένες κατά πλάτος (PAM)



Κυματομορφές ΡΑΜ

- Οι M κυματομορφές του M -αδικού ΡΑΜ είναι

$$s_m(t) = A_m g_T(t), \quad m = 1, \dots, M, \quad 0 \leq t \leq T_s$$

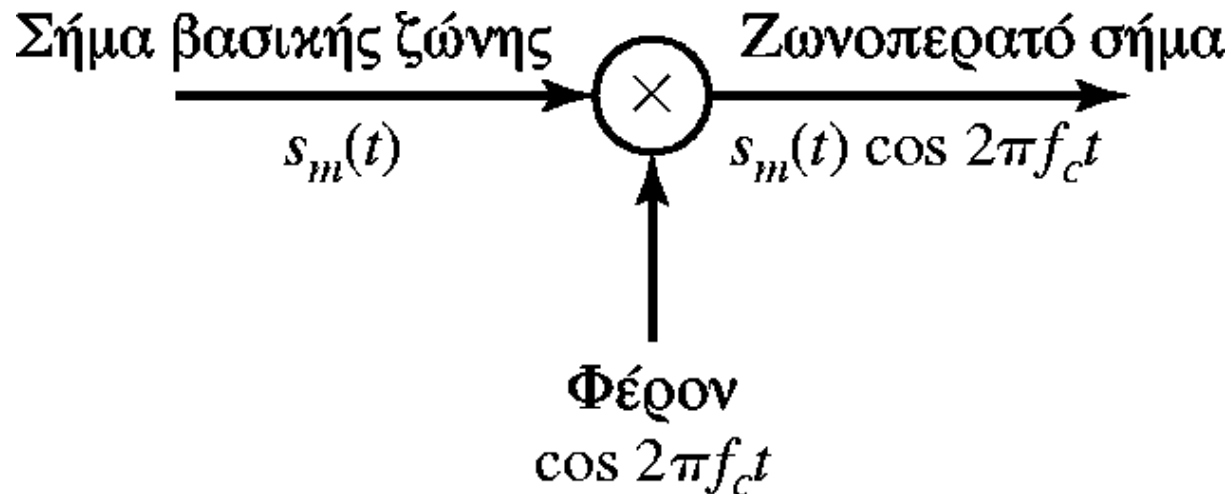
- **Χαρακτηριστικά:**

- όλα τα σήματα έχουν τον ίδιο βασικό παλμό ως προς τη μορφή, δηλαδή τον $g_T(t)$ (ενέργειας E_g)
- διαφοροποιούνται στο πλάτος του παλμού
- έτσι τελικά έχουν διαφορετική ενέργεια

$$E_m = \int_0^{T_s} s_m^2(t) dt = A_m^2 \int_0^{T_s} g_T^2(t) dt = A_m^2 E_g$$

Ζωνοπερατό ΡΑΜ

- Στην περίπτωση ζωνοπερατών καναλιών,
 - το διαθέσιμο εύρος ζώνης δεν περιλαμβάνει την $f=0$
 - αλλά εντοπίζεται γύρω από μια συχνότητα f_c



- Για τη μετάδοση του σήματος M-PAM σε ζωνοπερατό κανάλι
 - τα σήματα βασικής ζώνης $s_m(t)$
 - **πολλαπλασιάζονται** με ημιτονοειδές φέρον $\cos(2\pi f_c t)$
 - f_c η κεντρική συχνότητα διέλευσης του καναλιού (φέρουσα συχνότητα)

Διαμόρφωση

- Ο πολλαπλασιασμός αυτός ονομάζεται **διαμόρφωση**

$$u_m(t) = A_m g_T(t) \cos 2\pi f_c t, \quad m = 1, \dots, M, \quad 0 \leq t \leq T_s$$

Σημείωση: Συνήθως ισχύει ότι: $T_s \gg \frac{1}{f_c} = T_c$

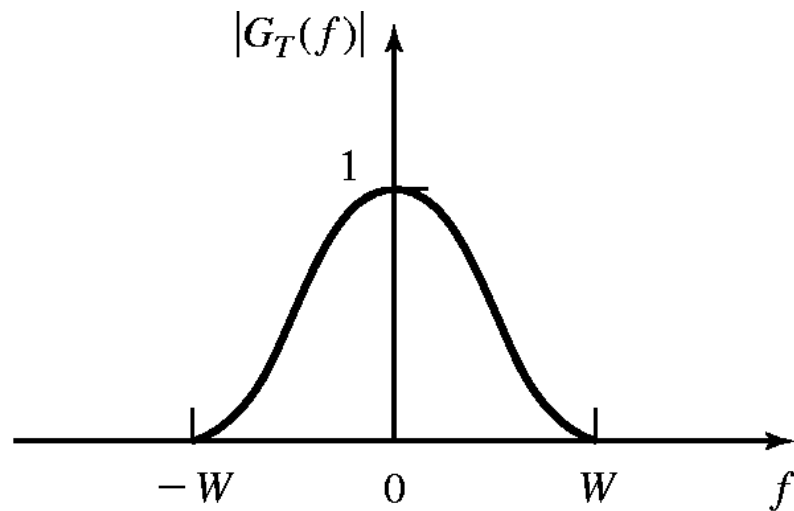
ΠΕΔΙΟ ΧΡΟΝΟΥ

- παλμός $g_T(t)$
- φέρον $\cos 2\pi f_c t$
- πολλαπλασιασμός
- $u_m(t)$

ΠΕΔΙΟ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ

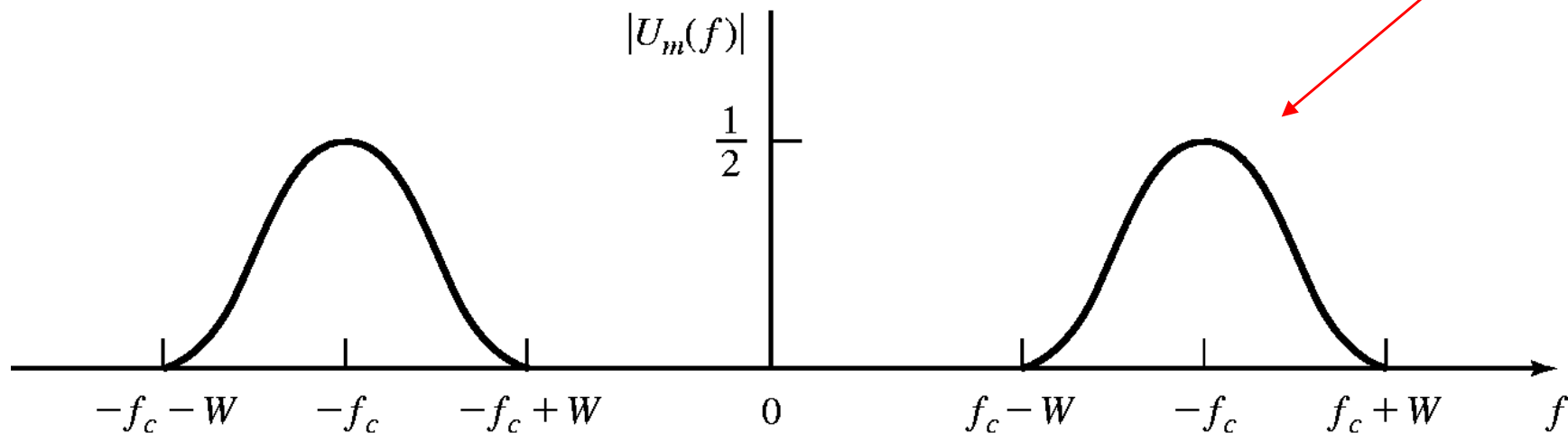
- $G_T(f)$
- $\frac{1}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)]$
- συνέλιξη
- $U_m(f) = \frac{A_m}{2} [G_T(f - f_c) + G_T(f + f_c)]$

Αποτέλεσμα Διαμόρφωσης



(α)

- Μισό πλάτος
- Διπλάσιο εύρος ζώνης



(β)

Ενέργεια Ζωνοπερατού ΡΑΜ

- Η ενέργεια του ζωνοπερατού σήματος είναι

$$\begin{aligned} E_m &= \int_0^{T_s} u_m^2(t) dt = A_m^2 \int_0^{T_s} g_T^2(t) \cos^2 2\pi f_c t dt \\ &= \frac{A_m^2}{2} \int_0^{T_s} g_T^2(t) dt + \frac{A_m^2}{2} \int_0^{T_s} g_T^2(t) \cos 4\pi f_c t dt \end{aligned}$$

- Το δεύτερο ολοκλήρωμα τείνει στο μηδέν. Γιατί; →

Άρα:

$$E_m = \frac{A_m^2}{2} E_g$$

Ολοκλήρωμα του γινομένου μιας αργά μεταβαλλόμενης συνάρτησης με μία ημιτονοειδή συνάρτηση μεγάλης συχνότητας

- Η ενέργεια του ζωνοπερατού σήματος είναι η **μισή της ενέργειας** του σήματος βασικής ζώνης
- Το 1/2 οφείλεται στη φέρουσα που έχει ισχύ 1/2

Amplitude-Shift Keying (ASK)

- Ειδική περίπτωση:
- Όταν χρησιμοποιείται ορθογώνιος παλμός

$$g_T(t) = \sqrt{\frac{E_g}{T_s}}, 0 \leq t \leq T_s$$

τότε η κατά PAM διαμόρφωση ζωνοπερατού σήματος λέγεται

Μεταλλαγή Ολίσθησης Πλάτους

(Amplitude Shift Keying - ASK)

Γεωμετρική Αναπαράσταση PAM Βασ.Ζώνης

- Τα σήματα PAM βασικής ζώνης περιγράφονται σε έναν μονοδιάστατο χώρο σημάτων

$$s_m(t) = A_m g_T(t), \quad m = 1, \dots, M, \quad 0 \leq t \leq T_s$$

- Αναπαρίστανται ως σημεία πάνω σε μία ευθεία

$$s_m(t) = s_m \psi(t), \quad m = 1, \dots, M$$

- μία συνάρτηση βάσης

$$\psi(t) = g_T(t) / \sqrt{E_g}, \quad 0 \leq t \leq T_s$$

- και συντελεστή

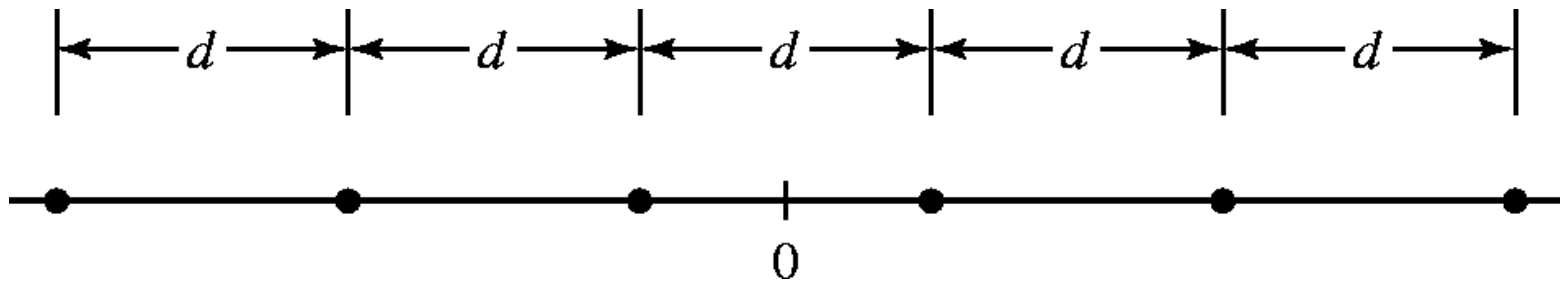
$$s_m = \sqrt{E_g} A_m, \quad m = 1, \dots, M$$

- Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο σημάτων

$$d_{mn} = \sqrt{|s_m - s_n|^2} = \sqrt{E_g (A_m - A_n)^2}$$

Τοποθέτηση Συμβόλων

- Τα σύμβολα συνήθως τοποθετούνται
 - συμμετρικά ως προς το μηδέν (γιατί;)
 - με ίση απόσταση d μεταξύ δύο διαδοχικών σημάτων (γιατί;)



$$A_m = (2m - 1 - M), \quad m = 1, \dots, M$$

- Ενέργεια συμβόλου

$$E_m = A_m^2 E_g$$

- Μέση ενέργεια

- για ισοπίθανα σύμβολα
- με την παραπάνω τοποθέτηση

$$E_s = E_g (M^2 - 1) / 3$$

Γεωμετρική Αναπαράσταση Ζωνοπερατού ΡΑΜ

- Η βασική γεωμετρία παραμένει σταθερή
- Συνάρτηση βάσης

$$\psi(t) = \sqrt{\frac{2}{E_g}} g_T(t) \cos 2\pi f_c t$$

- Τα σημεία στο μονοδιάστατο χώρο (συντελεστές σημάτων) είναι:

$$s_m = \sqrt{\frac{E_g}{2}} A_m, \quad m = 1, \dots, M$$

DSB-SC AM Σήμα ('ΟΧΙ)

- Το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης ολισθαίνει γύρω από τη φέρουσα συχνότητα
- Το ζωνοπερατό σήμα που προκύπτει λέγεται **DSB-SC AM**
 - Double-SideBand Suppressed Carrier Amplitude Modulated
 - Καταστολή φέρουσας λόγω μηδενικής DC συνιστώσας του σήματος βασικής ζώνης (ισχύει για συμμετρικά αλφάβητα)
- Το διαμορφωμένο κατά πλάτος DSB-SC σήμα καταλαμβάνει **διπλάσιο ($2W$) εύρος ζώνης** σε σχέση με το PAM βασικής ζώνης
- Ζωνοπερατό σήμα **μονής πλευρικής ζώνης (SSB)** με χρήση φίλτρου αποκοπής στις μίας πλευρικής ζώνης
 - Οικονομία φάσματος
 - Το αρχικό σήμα βασικής ζώνης μπορεί και πάλι να αναπαραχθεί στον δέκτη