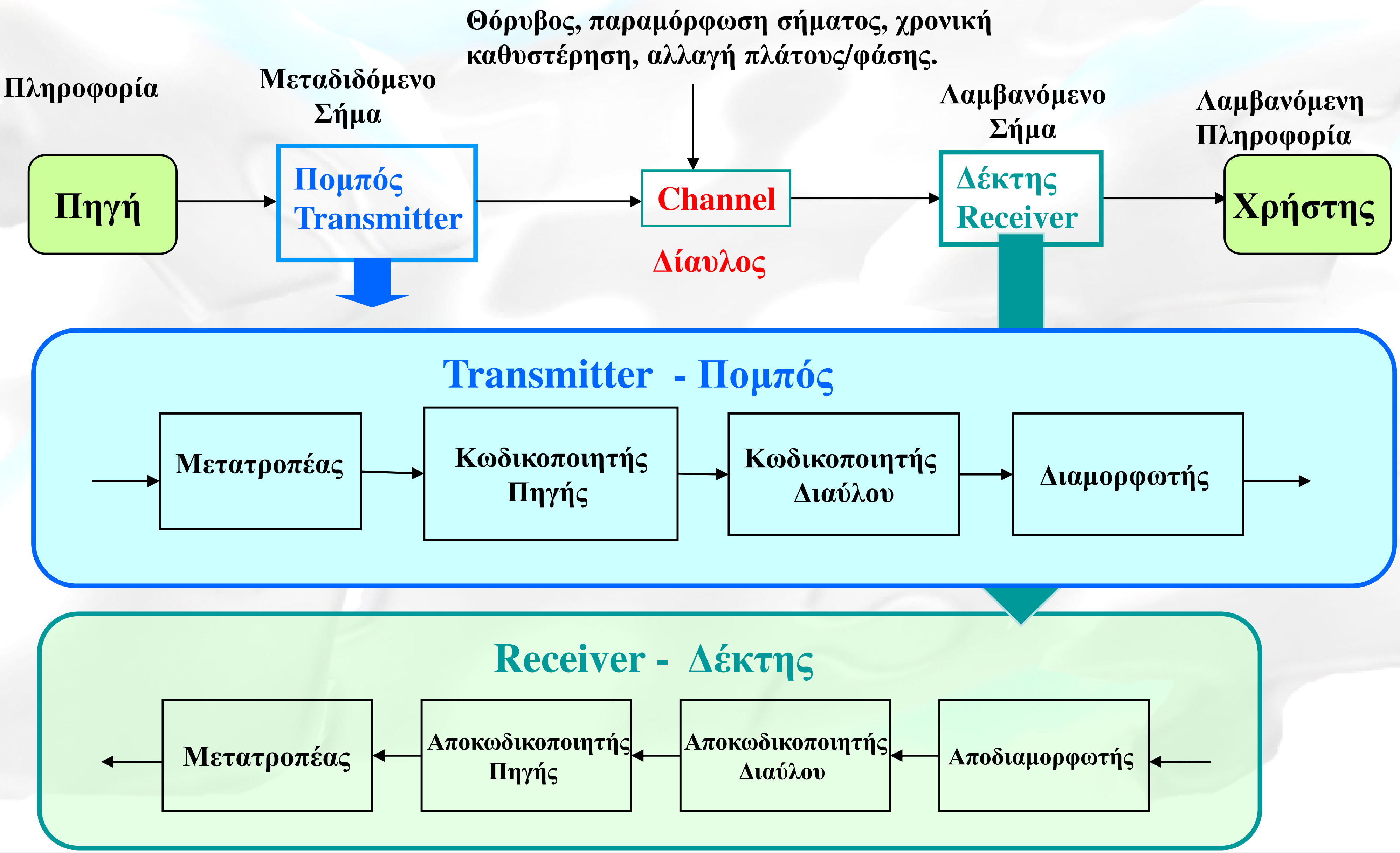
Εισαγωγικό Μάθημα στις Τηλεπικοινωνίες

Θεμελιώδεις Έννοιες
Διαμόρφωση Σημάτων
Σήματα και Συστήματα

Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Καθ. ΕΜΠ

Συστημικό Διάγραμμα (Block) ενός Ψηφιακού Συστήματος Επικοινωνιών



Διαμόρφωση

Διαμόρφωση: είναι η διαδικασία κωδικοποίησης της πληροφορίας από μια πηγή (μήνυμα) σε μια μορφή κατάλληλη για μετάδοση.

Η μετάδοση ήχου στον αέρα έχει πεπερασμένη κλίμακα (απόσταση μετάδοσης) για την ισχύ που μπορούν να παράγουν οι Πνεύμονες. Για να επεκτείνουμε τη απόσταση κάλυψης πρέπει να την μεταδώσουμε μέσα από μια μέσω ενός μέσου μετάδοσης όπως ραδιοκύματα ή τηλεφωνική γραμμή.

Η διαδικασία μετατροπής της πληροφορίας (π.χ. φωνή) ώστε να μπορεί να μεταδοθεί με επιτυχία ονομάζεται διαμόρφωση.

Γενικά το μήνυμα πληροφορίας είναι χαμηλής συχνότητας και αλλάζει κάποια από τα χαρακτηριστικά ενός υψίσυχνου σήματος.

Διαμόρφωση

▶ **Σήμα Μηνύματος/Το σήμα που διαμορφώνει / Βασικής Ζώνης :** αυτό είναι το μήνυμα που προτιθέμεθα να κωδικοποιήσουμε και να μεταδώσουμε.

▶ **Σήμα Φέροντος:** Το αναλογικό σήμα υψηλής συχνότητας που μεταφέρει το σήμα μηνύματος και είναι γνωστό ως Φέρον Σήμα.

▶ **Διαμορφούμενο Σήμα:** Το φέρον σήμα διαμορφωμένο από το σήμα βασικής ζώνης (ζωνοπερατό σήμα).

Σήμα Διαμορφωμένο/Ζωνοπερατό Σήμα=
Φέρον Σήμα + Σήμα Βασικής Ζώνης

Διαμόρφωση Σήματος

- **Γιατί είναι απαραίτητη η διαμόρφωση**;

Για να γίνει εφικτή η μετάδοση του σήματος στο μέσο διάδοσης.

- Ενσύρματη μετάδοση
- Προσαρμογή στο μέσο διάδοσης.
- Ασύρματη μετάδοση

  Γίνεται εφικτή η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με κεραίες μικρών διαστάσεων. Ένα ΗΜ κύμα απαιτεί κεραία με μήκος συγκρίσιμου του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου/λαμβανόμενου σήματος. Επομένως η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με χαμηλή συχνότητα θα απαιτούσε τεράστιες κεραίες.

Διαμόρφωση

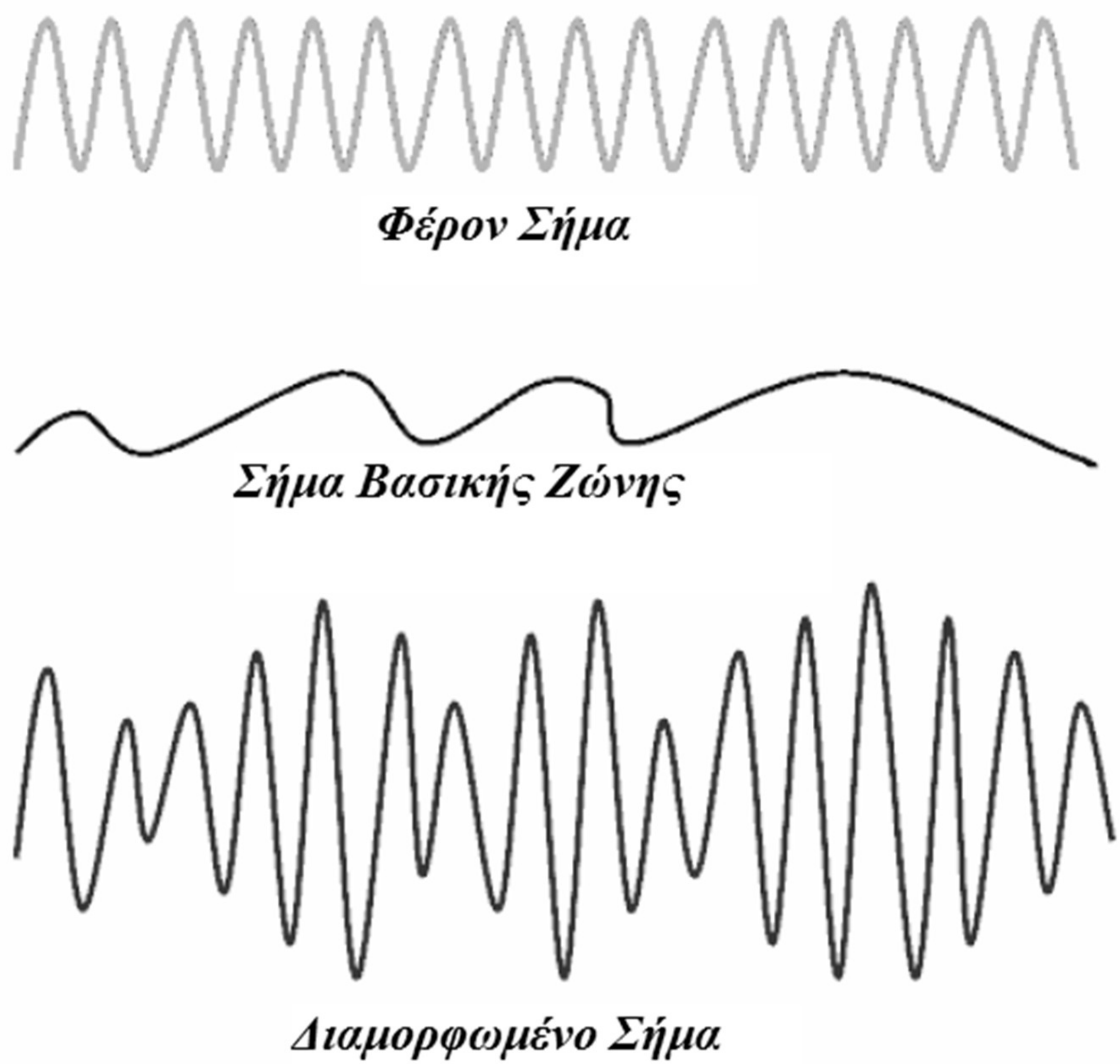
Το είδος της διαμόρφωση καθορίζει:

- Την αντοχή στο θόρυβο και την παραμόρφωση του καναλιού
- Την αναπαραγωγή του αρχικού σήματος πληροφορίας
- Το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση της πληροφορίας.
- Την πολυπλοκότητα των συστημάτων εκπομπής και λήψης.

Με τη διαμόρφωση επιτυγχάνουμε:

1. Μετάδοση **πολλών σημάτων** στον ίδιο χώρο με χρήση διαφορετικών φερόντων.
2. Ελάττωση των απαιτήσεων στα χαρακτηριστικά των συστημάτων εκπομπής
3. Εκμετάλλευση περιοχών του φάσματος που έχουν καλύτερες συνθήκες μετάδοσης (λιγότερες παρεμβολές)

Διαμόρφωση



Είδη Διαμόρφωσης

Αναλογική Διαμόρφωση : όταν η πηγή/σήμα βασικής ζώνης είναι αναλογικό τότε η διαμόρφωση καλείται αναλογική διαμόρφωση.

Διαμόρφωση Πλάτους – **Amplitude Modulation (AM)**

Διαμόρφωση Συχνότητας- **Frequency Modulation (FM)**

Διαμόρφωση Φάσης - **Phase Modulation (PM)**

Διαμόρφωση Γωνίας – **Angle Modulation**

Είδη Διαμόρφωσης

Ψηφιακή Διαμόρφωση: όταν η πηγή/το σήμα βασικής ζώνης είναι ψηφιακό.

Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους- Amplitude Shift Keying (ASK)

Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας – Frequency Shift Keying (FSK)

Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης- Phase Shift Keying (PSK)

Quadratic Amplitude Modulation (QAM) –
συνδυασμός της ASK και της PSK

Είδη Διαμόρφωσης

- Ημιτονοειδές φέρον
  - Αναλογικό σήμα πληροφορίας
    - AM
    - FM
    - PM
  - Δυαδικό σήμα πληροφορίας
    - ASK
    - FSK
    - PSK
- Παλμικό φέρον
  - Αναλογικό σήμα πληροφορίας
    - PAM
    - PWM
    - PPM
  - Κβαντισμένο σήμα πληροφορίας
    - PCM
    - DM

A=Amplitude, F=Frequency, P=Phase, M= Modulation

K=Keying

W=Width, P=Pulse, Position

D=Delta

$x(t)=A\cos(2\pi ft+\varphi)$

$x(t)=\Sigma\, A_k p(t-t_k)$

Σήματα

- Ένα σήμα είναι το η συνάρτηση που περιγράφει τις μεταβολές μια φυσικής ποσότητας, συνήθως είναι χρονική συνάρτηση (αλλά και συναρτήσει της απόστασης, θέσης κλπ)

- Αυτές οι ποσότητες είναι συνήθως ανεξάρτητες μεταβλητές της συνάρτησης που ορίζουν το σήμα.

- Ένα σήμα κωδικοποιεί πληροφορία με τις μεταβολές του.

Επεξεργασία Σήματος

- Η επεξεργασία του σήματος αφορά τις βασικές αρχές για την εξόρυξη, την ανάλυση και την εκμετάλλευση της πληροφορίας που μεταφέρεται από τα σήματα.

- Η μέθοδοι επεξεργασίας εξαρτώνται από το είδος του σήματος και τη φύση της πληροφορίας που μεταφέρεται.

Χαρακτηρισμός και Κατηγοριοποίηση των Σημάτων

- Το είδος του σήματος εξαρτάται από τη φύση των ανεξάρτητων μεταβλητών κα της τιμής της συνάρτησης που ορίζει το σήμα.

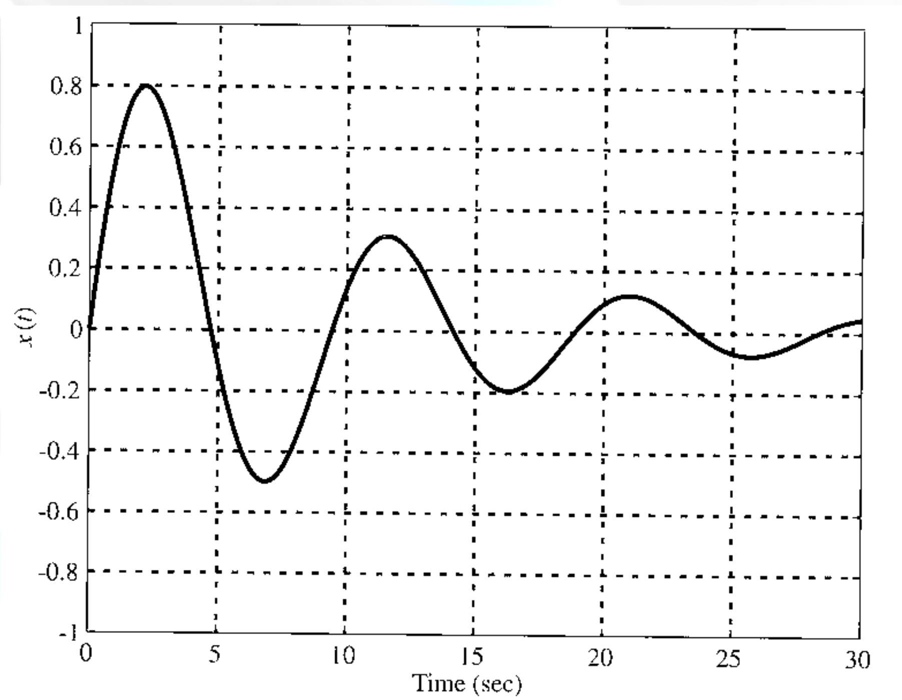
- Για παράδειγμα οι ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να είναι συνεχείς ή διακριτές.

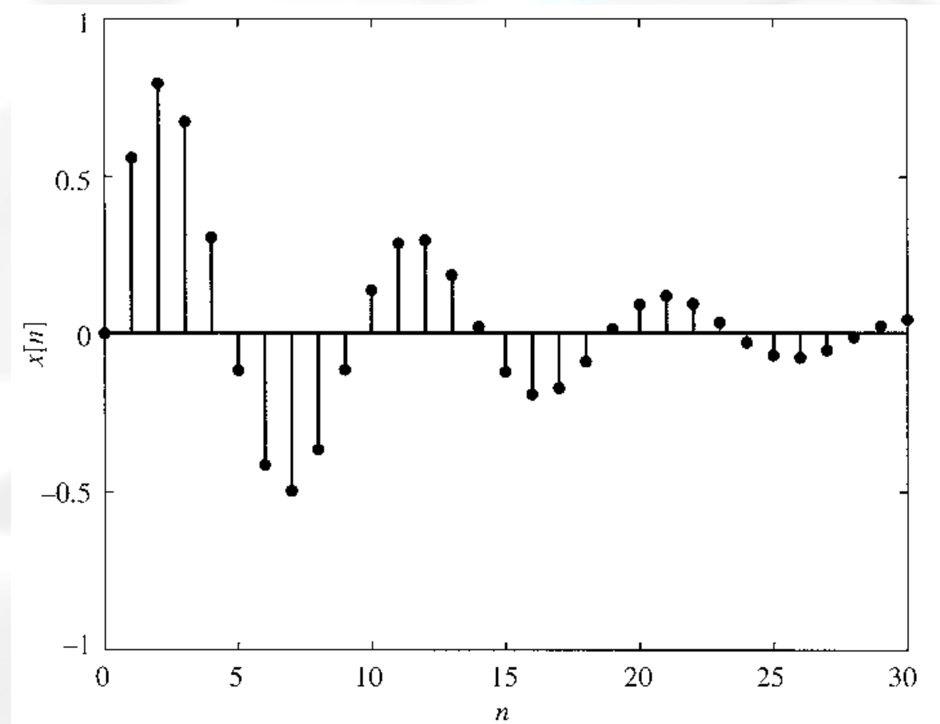
- Ομοίως το σήμα μπορεί να είναι συνεχείς η διακριτή συνάρτηση των ανεξάρτητων μεταβλητών.

Χαρακτηρισμός και Κατηγοριοποίηση των Σημάτων

- Επιπλέον, το σήμα μπορεί να είναι είτε πραγματική συνάρτηση είτε μιγαδική συνάρτηση.
- Ένα σήμα αποτελείται μόνο από ένα στοιχείο καλείται βαθμωτό ή μονοδιάστατο σήμα (1-D).

Σήματα Συνεχούς Χρόνου και Διακριτού Χρόνου





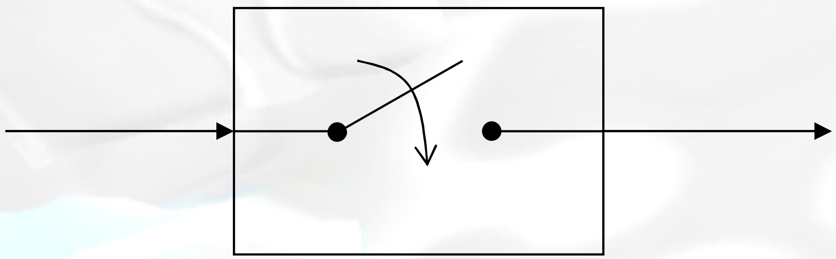
plot(t,x)

stem(n,x)

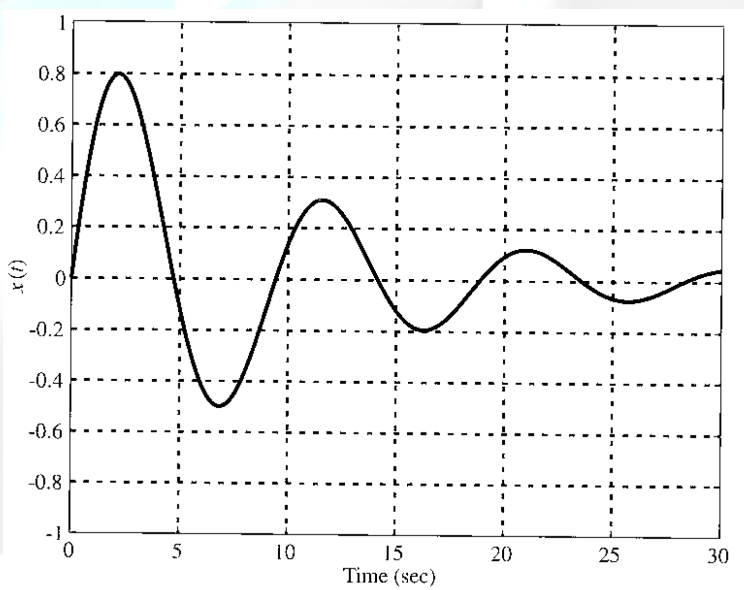
Δειγματοληψία

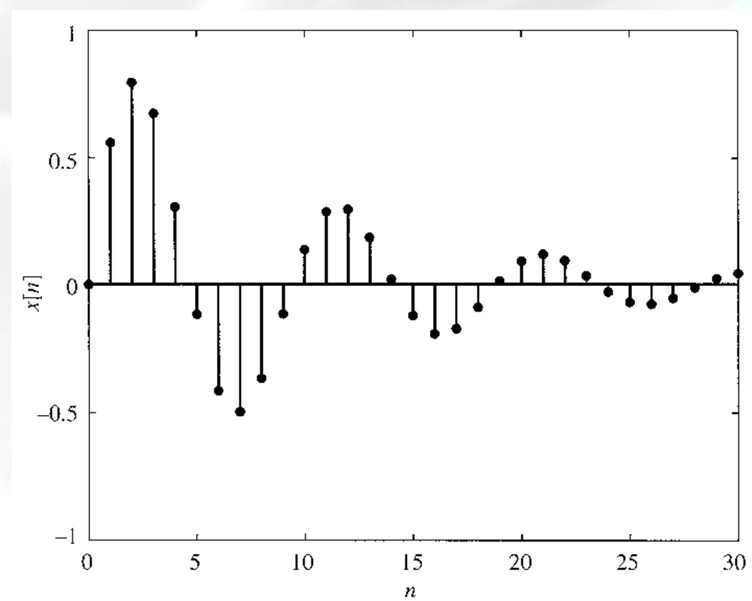
- Σήματα διακριτού χρόνου προκύπτουν από δειγματοληψία ενός συνεχούς χρόνου σήματος.

$x(t)$



$$x[n] = x(t)\Big|_{t=nT} = x(nT)$$





Συστήματα

- Ένα σύστημα είναι μια οποιαδήποτε συσκευή που μπορεί να επεξεργαστεί σήματα για την ανάλυση, σύνθεση, ενίσχυση, αλλαγή δομής, τροποποίηση, αρχειοθέτηση, μετάδοση κλπ.

- Ένα σύστημα μαθηματικά ορίζεται από τις εξισώσεις που συσχετίζουν τις εξισώσεις εισόδου και εξόδου (χαρακτηρισμός Input/Output)

- Ένα σύστημα μπορεί να έχει απλές και πολλαπλές εισόδους.

Block Διάγραμμα Παρουσίασης ενός συστήματος Single-Input Single-Output (SISO) συνεχούς χρόνου.

input signal

$$x(t) \longrightarrow \boxed{T} \longrightarrow y(t) = T\{x(t)\}$$

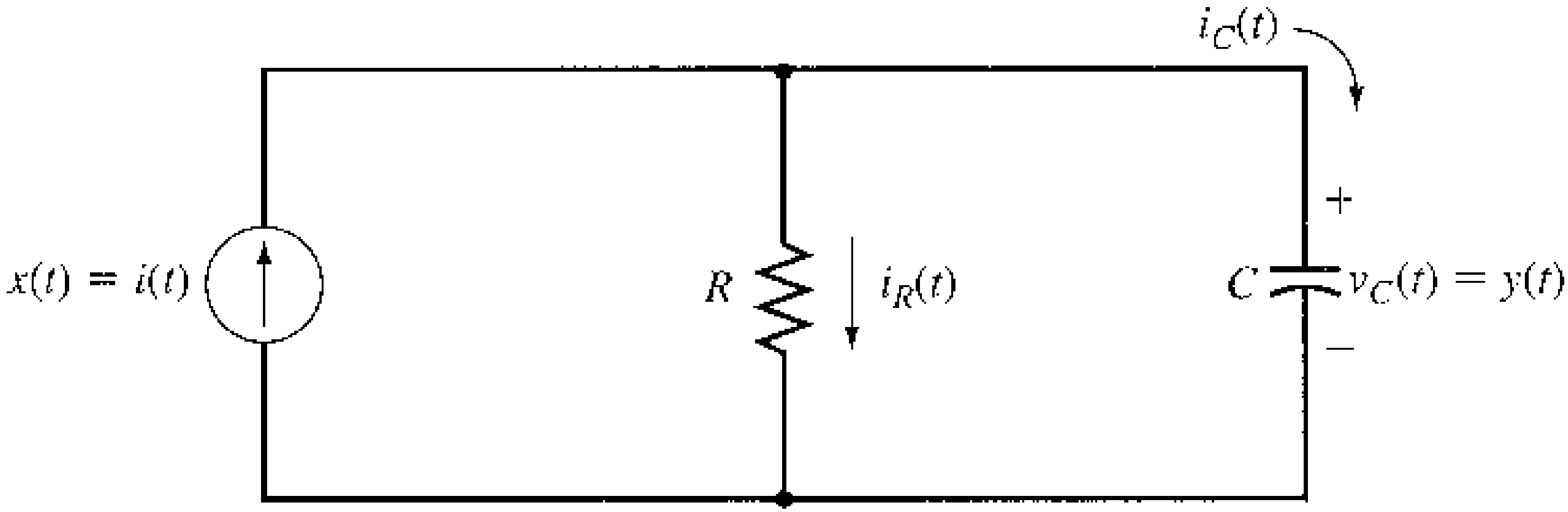
output signal

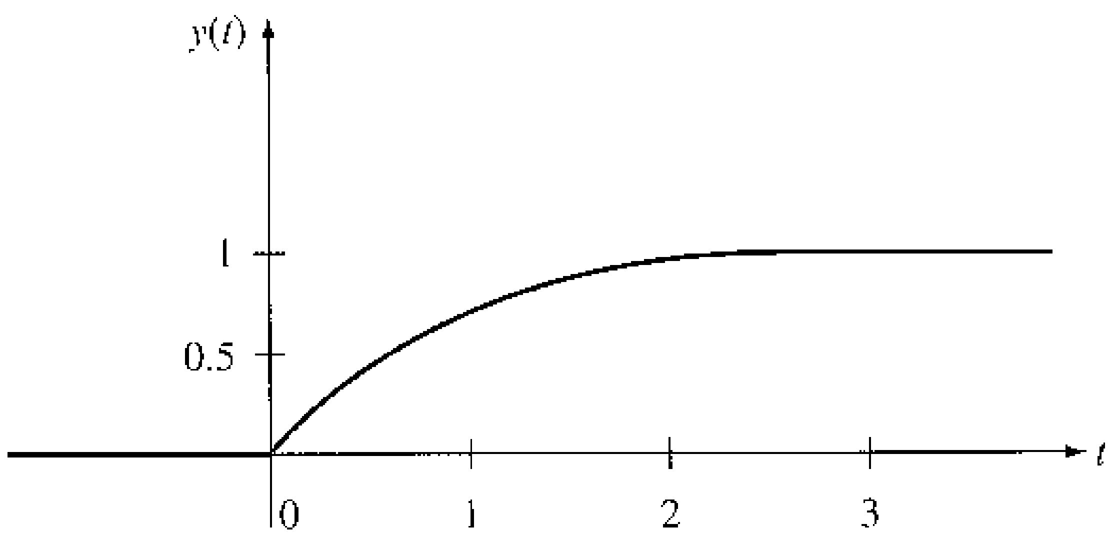
$t \in \mathbb{R}$ $\qquad$ $t \in \mathbb{R}$

Τρόποι Αναπαράστασης

- Διαφορική Εξίσωση
- Μοντέλο Συνέλιξης
- Συνάρτηση Μεταφοράς (Μετασχηματισμός Fourier, Μετασχηματισμός Laplace)

Συνεχή Σήματα: Χρονική Εξέλιξη των Ρευμάτων και Τάσεων





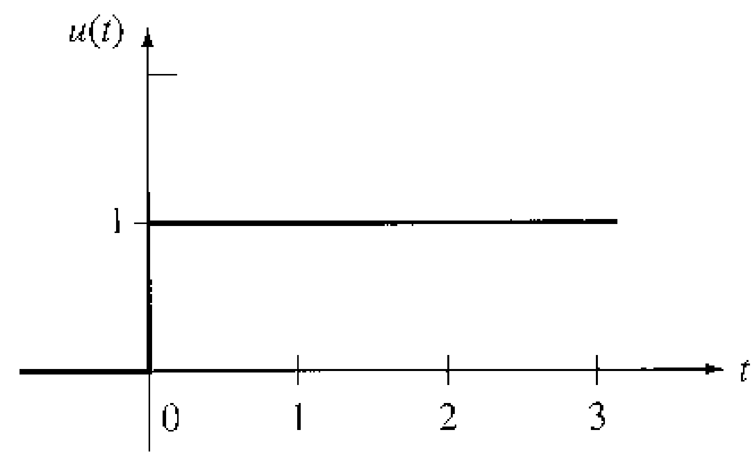
Στοιχειώδη Συνεχή Σήματα

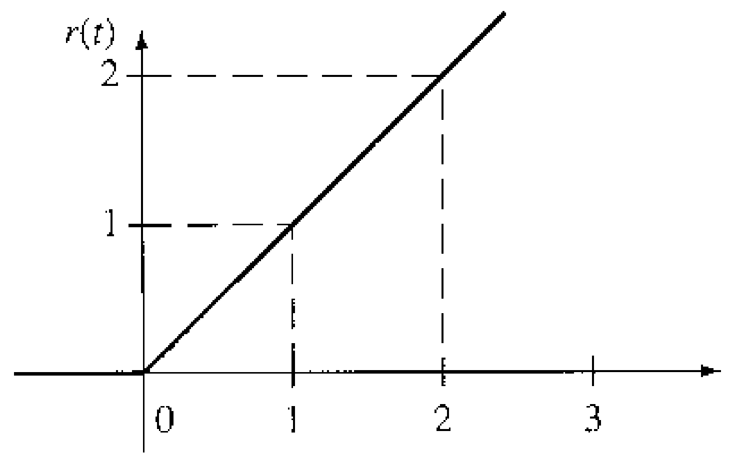
- Μοναδιαία Βηματική Συνάρτηση

$$u(t)=\begin{cases}1, & t\geq 0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

- Μοναδιαία Επικλινής Συνάρτηση

$$r(t)=\begin{cases}t, & t\geq 0\\ 0, & t<0\end{cases}$$





Χρήσιμες Ιδιότητες

$$x(t)u(t) = \begin{cases} x(t), & t \geq 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

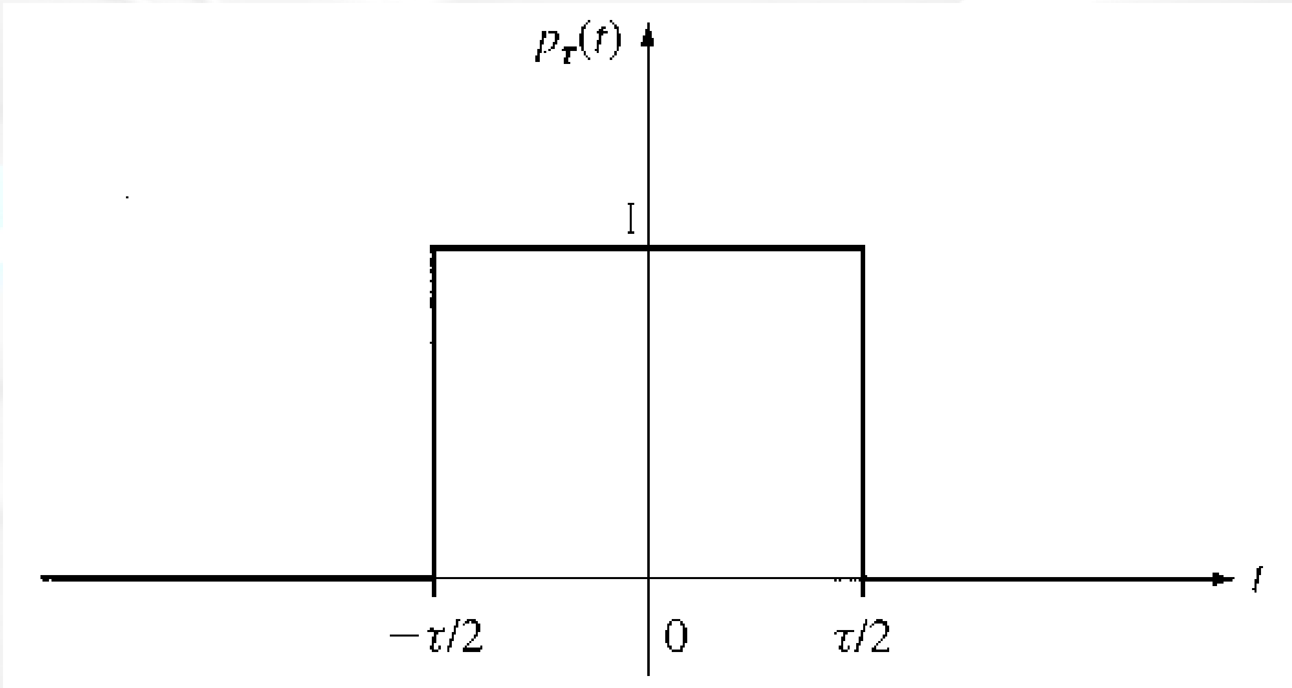
$$r(t) = \int_{-\infty}^{t} u(\lambda)\, d\lambda$$

$$u(t) = \frac{dr(t)}{dt}$$

(με εξαίρεση στο 0)
$t = 0$

Η Χρονική Συνάρτηση του Παλμού

$$p_\tau(t) = u(t + \tau/2) - u(t - \tau/2)$$



Ο Παλμός δ(t)

- Η συνάρτηση Δέλτα ή συνάρτηση του Dirac

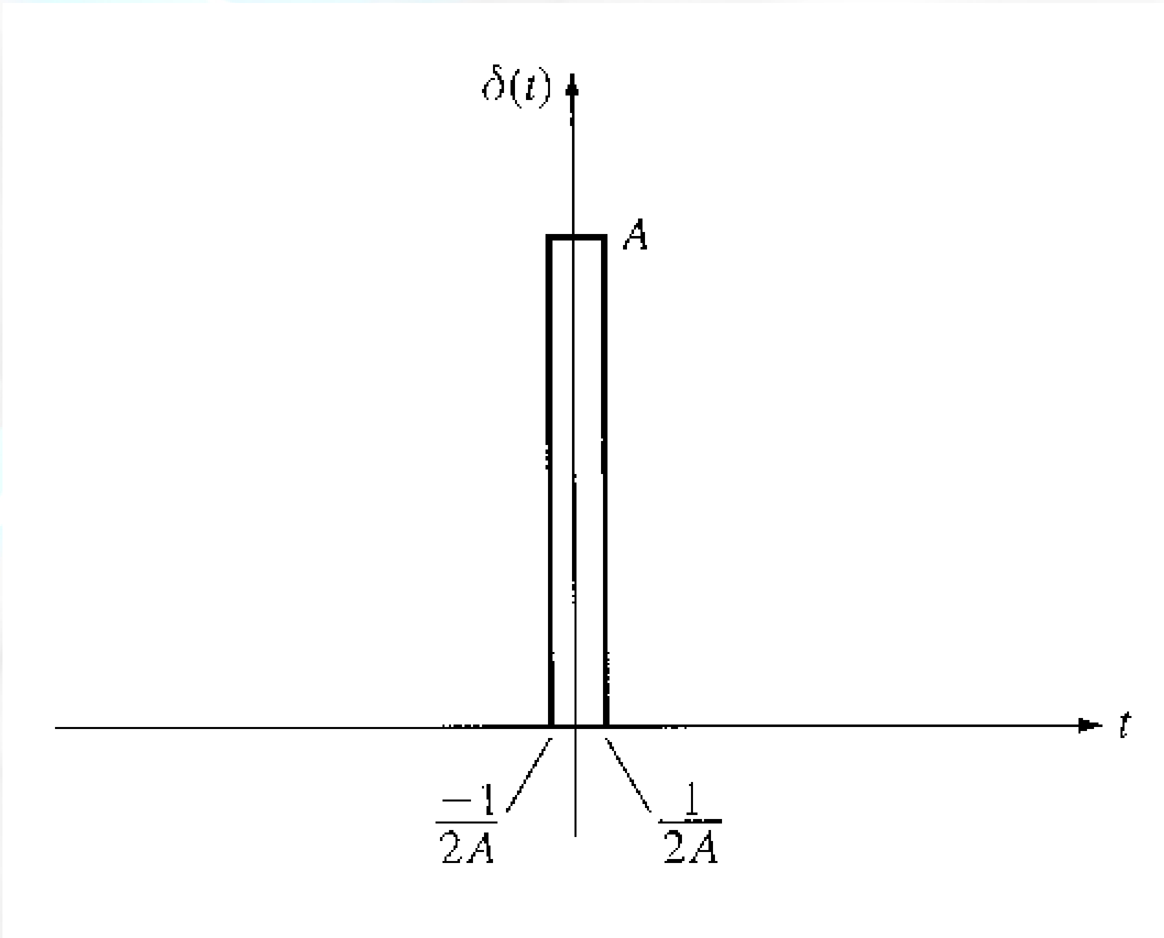
- Ορίζεται ως:

$$\delta(t) = 0, \quad t \neq 0$$

$$\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \delta(\lambda) d\lambda = 1, \quad \forall \varepsilon > 0$$

- Η τιμή $\delta(0)$ δεν ορίζεται.

Γραφική Αναπαράσταση



$$\delta(t) = \lim_{A \to \infty} p_{A(t)}$$

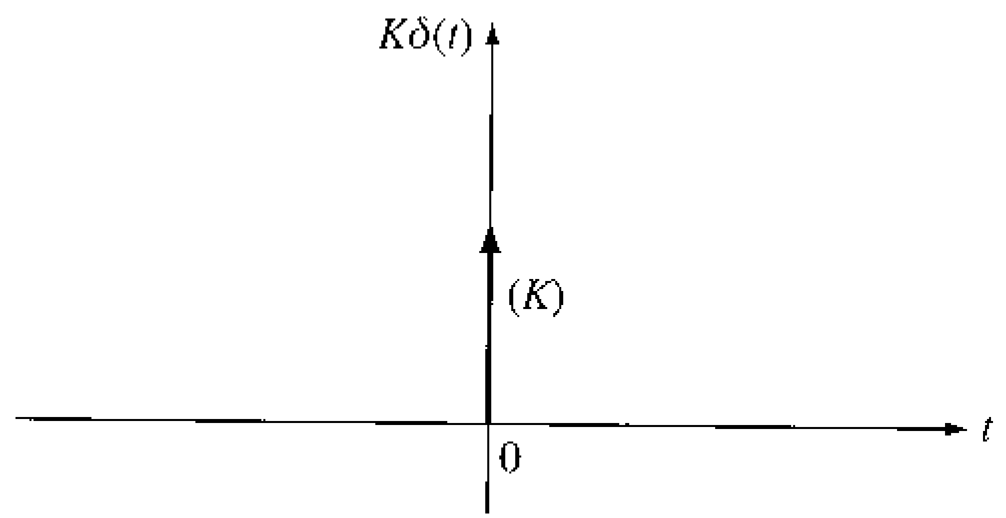
A ένα πολύ μεγάλος αριθμός

Η συνάρτηση *Κδ(t)*

Εάν $K \in \mathbb{R}$, $K\delta(t)$ είναι ο κρουστικός παλμός με τις ιδιότητες:

$$K\delta(t) = 0, \quad t \neq 0$$

$$\int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} K\delta(\lambda)d\lambda = K, \quad \forall \varepsilon > 0$$



Ιδιότητες της Συνάρτησης Δέλτα

$$u(t) = \int_{-\infty}^{t} \delta(\lambda) d\lambda \qquad \begin{array}{l} \forall t \\ t \neq 0 \end{array}$$

$$\int_{t_0-\varepsilon}^{t_0+\varepsilon} x(t)\delta(t - t_0)dt = x(t_0) \quad \forall \varepsilon > 0$$

Περιοδικά Σήματα

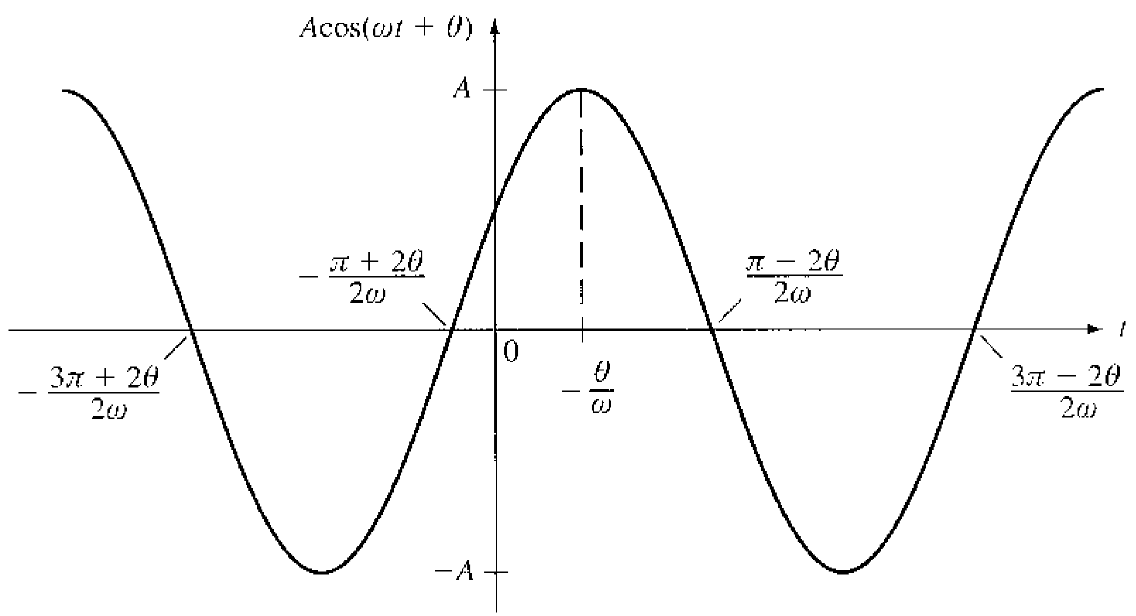
- Ορισμός : ένα σήμα $x(t)$ καλείται περιοδικό με περίοδο T , εάν $$x(t+T)=x(t) \quad \forall t \in \mathbb{R}$$

- Επίσης $x(t)$ είναι περιοδικό με περίοδο qT όπου q ένας θετικός ακέραιος.

T καλείται θεμελιώδης περίοδος.

Ημιτονοειδή Σήματα

$$x(t) = A\cos(\omega t + \theta), \quad t \in \mathbb{R}$$



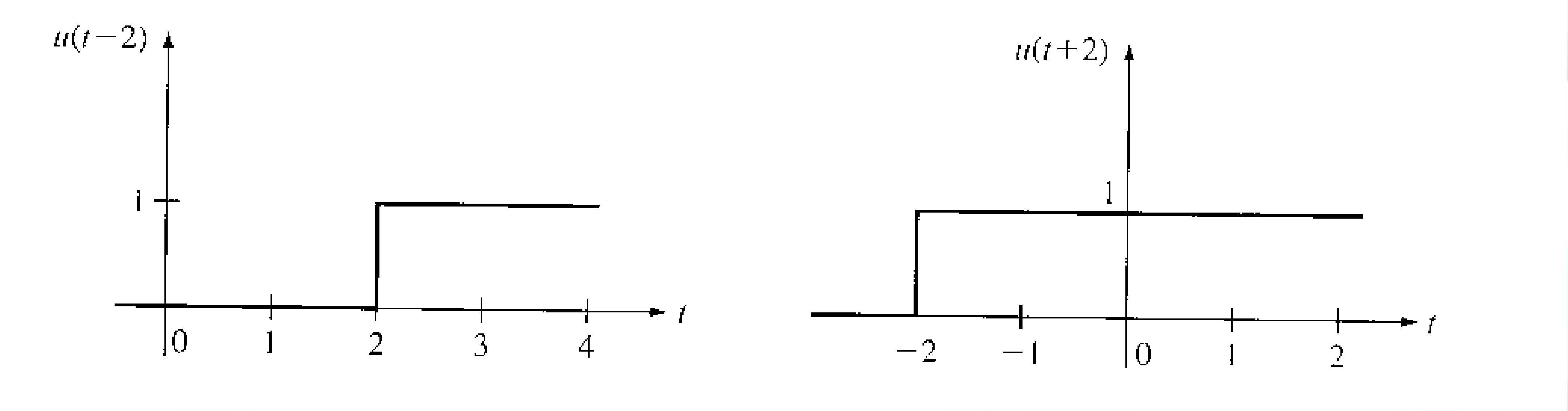
$-\pi/2 < \theta < 0$

$\omega \; [rad/\sec]$

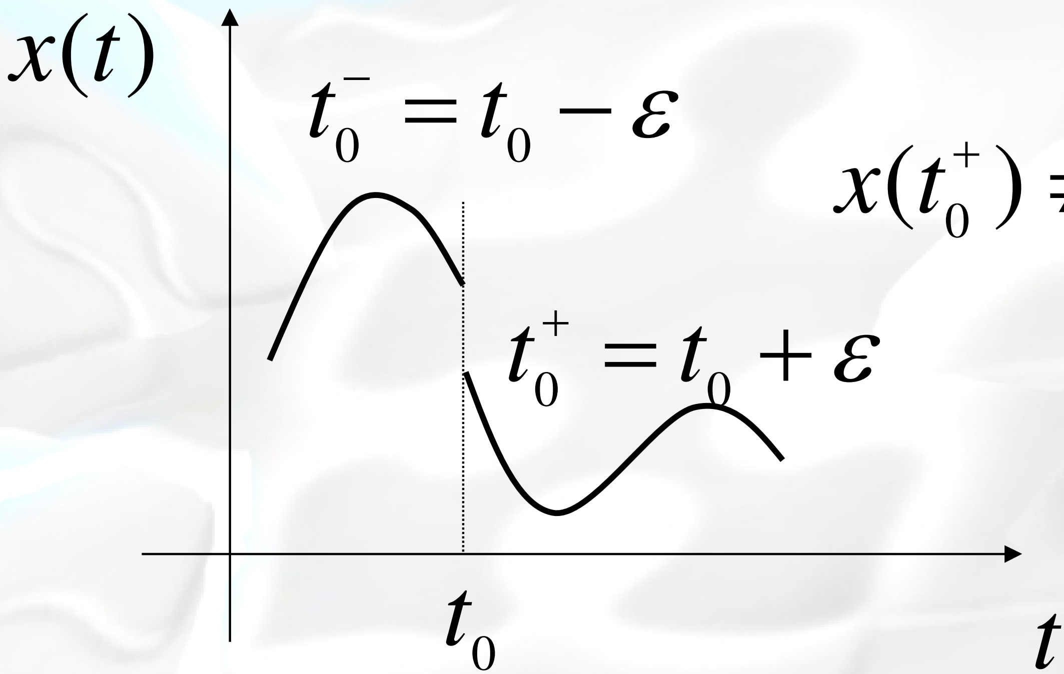
$\theta \; [rad]$

$$f = \frac{\omega}{2\pi} \; [1/\sec] = [Hz]$$

Σήματα με Χρονική Ολίσθηση



Πεπερασμένη ασυνέχεια

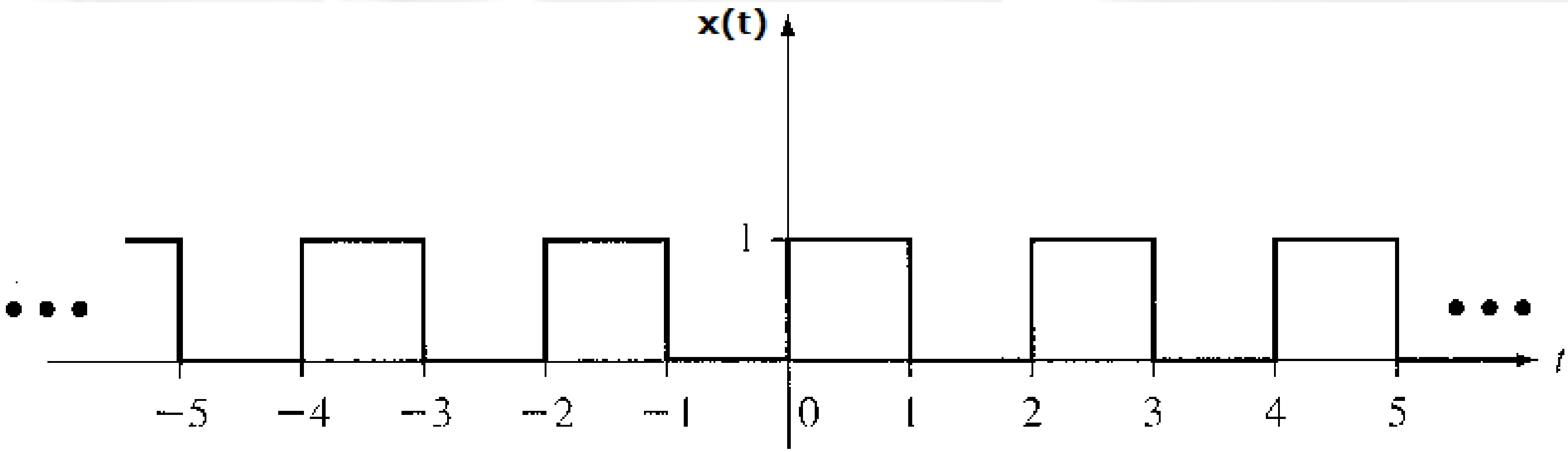


$$x(t_0^+) \neq x(t_0^-)$$

$$x(t_0^+) = x(t_0^-)$$

Τμηματικά Συνεχή Σήματα

Ένα σήμα $x(t)$ ονομάζεται τμηματικά συνεχές εάν είναι συνεχές σε όλες τις χρονικές στιγμές εκτός από ένα πεπερασμένο αριθμό σημείων.



Παράγωγος Συνεχούς Σήματος

Ένα σήμα $x(t)$ καλείται διαφορίσιμο σε ένα σημείο t_0 αν εάν η ποσότητα:

$$\frac{x(t_0+h)-x(t_0)}{h}$$

έχει όριο όταν $h \to 0$ ανεξάρτητα αν το προσεγγίζουμε με $(h<0)$ $(h>0)$

Εάν το όριο υπάρχει το $x(t)$ έχει παράγωγο στο t_0

$$\left.\frac{dx(t)}{dt}\right|_{t=t_0} = \lim_{h\to 0}\frac{x(t_0+h)-x(t_0)}{h}$$

Γενικευμένη Παράγωγος

- Μια τμηματικά συνεχής συνάρτηση μπορεί να έχει παράγωγο με την γενικευμένη έννοια.

- Αν υποθέσουμε ότι $x(t)$ είναι παραγωγίσιμη σε όλα t εκτός από $t=t_0$

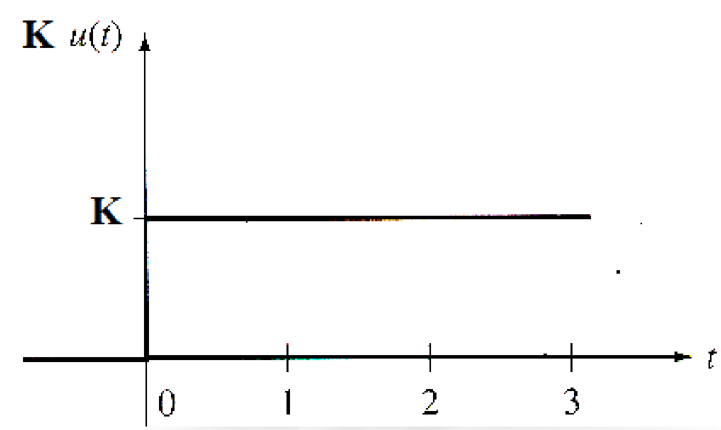
- Η γενικευμένη παράγωγος του $x(t)$ ορίζεται

$$\frac{dx(t)}{dt}+\left[x(t_0^+)-x(t_0^-)\right]\delta(t-t_0)$$

Συνήθης παράγωγος για όλα τα t εκτός από $t=t_0$

Γενικευμένη Παράγωγος μιας Βηματικής Συνάρτησης

$$x(t) = Ku(t)$$

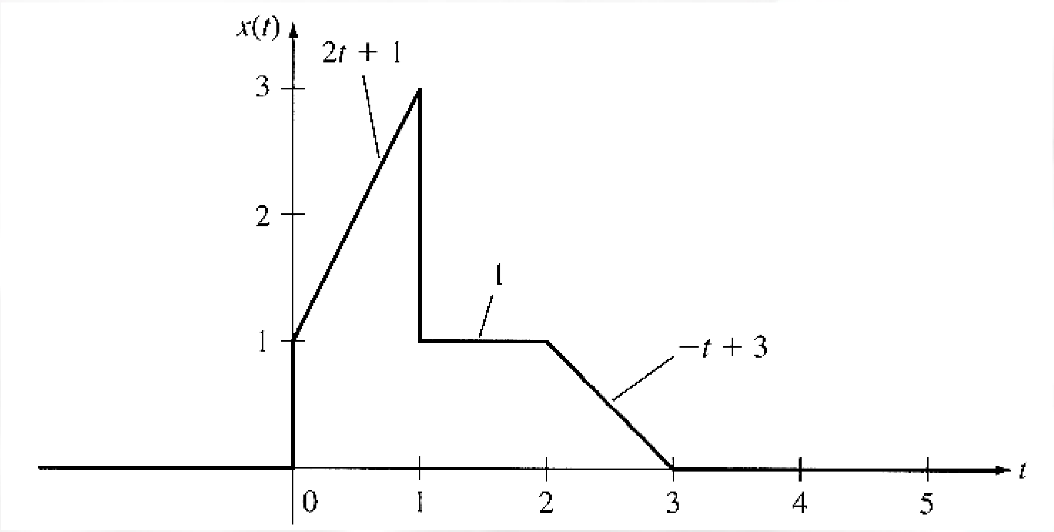


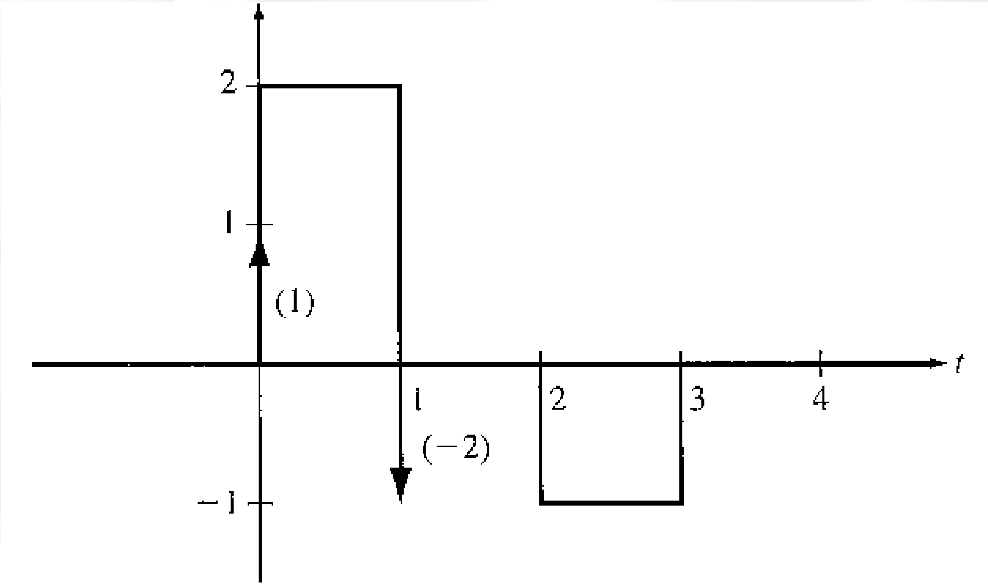
- Η παράγωγος του x(t) είναι 0 σε όλα τα σημεία εκτός από το 0.
- Η γενικευμένη παράγωγος του $x(t)$ στο $t=0$

$$K\left[u(0^+) - u(0^-)\right]\delta(t-0) = K\delta(t)$$

Παράδειγμα Γενικευμένης Παραγώγου

$$x(t)=\begin{cases}2t+1, & 0\le t<1\\ 1, & 1\le t<2\\ -t+3, & 2\le t\le 3\\ 0, & \text{αλλού}\end{cases}$$



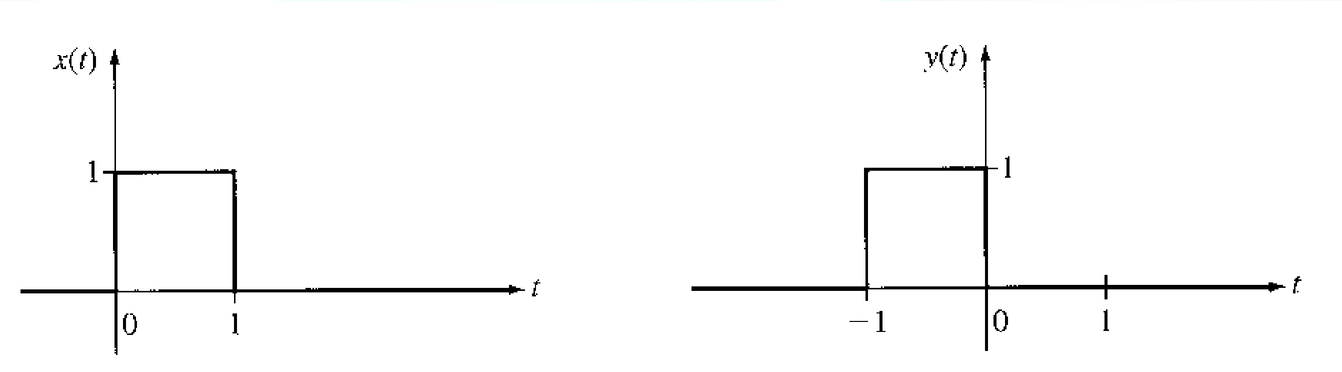


Βασικές Ιδιότητες Συστημάτων : Αιτιοκρατικότητα

- Ένα σύστημα ονομάζεται αιτιοκρατικό/αιτιατό αν για κάθε χρονική στιγμή t_1, η έξοδος τη χρονική στιγμή t_1 που προέρχεται από την είσοδο $x(t)$ δεν εξαρτάται από τις τιμές της εισόδου για $t > t_1$.

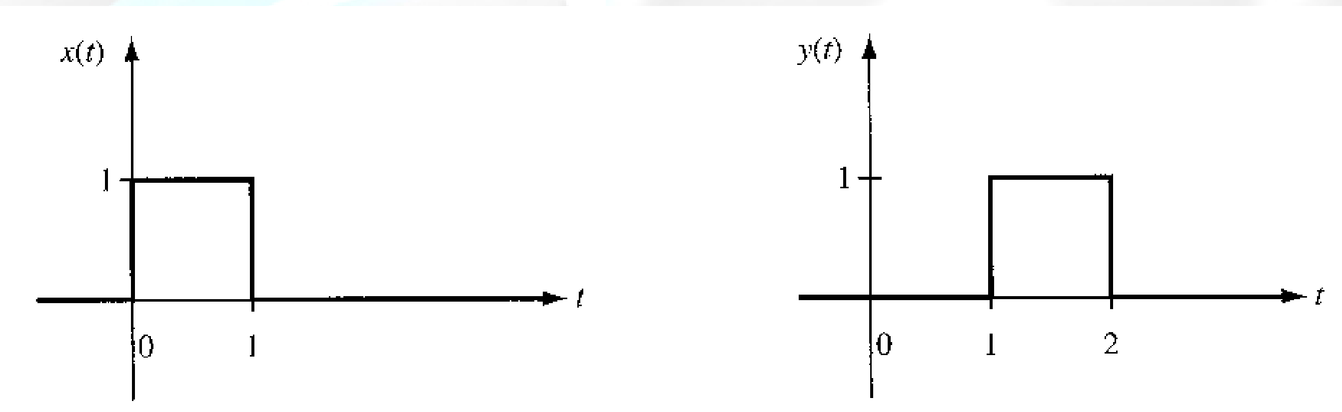
- Ένα σύστημα ονομάζεται μη αιτιοκρατικό στην αντίθετη περίπτωση.

Παραδείγματα



Μη αιτιατό

$$y(t) = x(t+1)$$



Αιτιατό

$$y(t) = x(t-1)$$

Συστήματα χωρίς και με μνήμη

- Ένα αιτιοκρατικό σύστημα είναι χωρίς μνήμη (λέγεται και στατικό σύστημα) εάν για κάθε χρονική στιγμή t_1,η τιμή της εξόδου την χρονική στιγμή t_1 εξαρτάται μόνο από την είσοδο την χρονική στιγμή t_1.

- Σε ένα αιτιατό σύστημα που έχει μνήμη η έξοδος την χρονική στιγμή t εξαρτάται γενικά από τις προηγούμενες τιμές της εισόδου του $x(t)$ για μερικές χρονικές στιγμές μέχρι $t = t_1$

Βασικές Ιδιότητες Συστήματος:

$$x_1(t) + x_2(t) \longrightarrow \boxed{\text{Σύστημα}} \longrightarrow y_1(t) + y_2(t)$$

Προσθετική Ιδιότητα

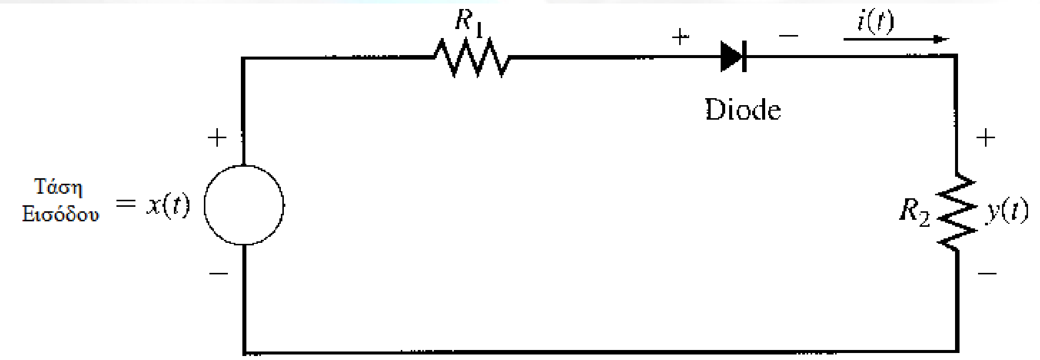
$$ax(t) \longrightarrow \boxed{\text{Σύστημα}} \longrightarrow ay(t)$$

Ομογενές

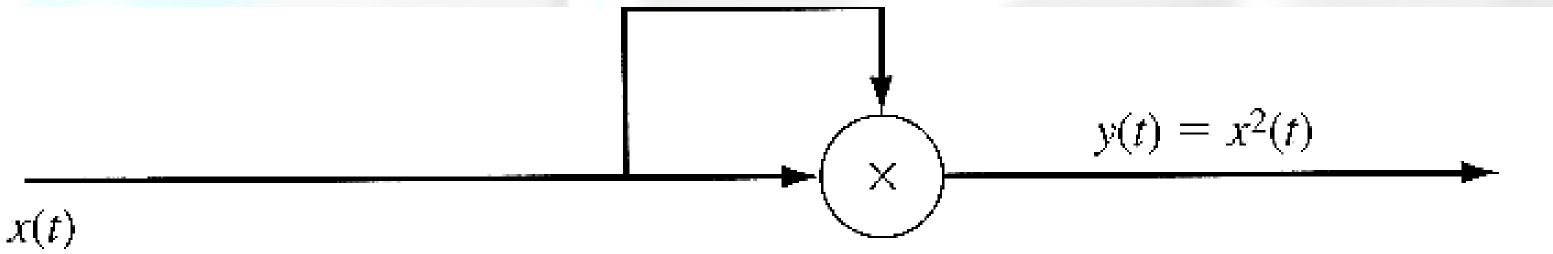
$$ax_1(t) + bx_2(t) \longrightarrow \boxed{\text{Σύστημα}} \longrightarrow ay_1(t) + by_2(t)$$

Γραμμική Ιδιότητα

Παραδείγματα μη Γραμμικών Συστήματος : Κύκλωμα με δίοδο/Τετράγωνο Σήματος



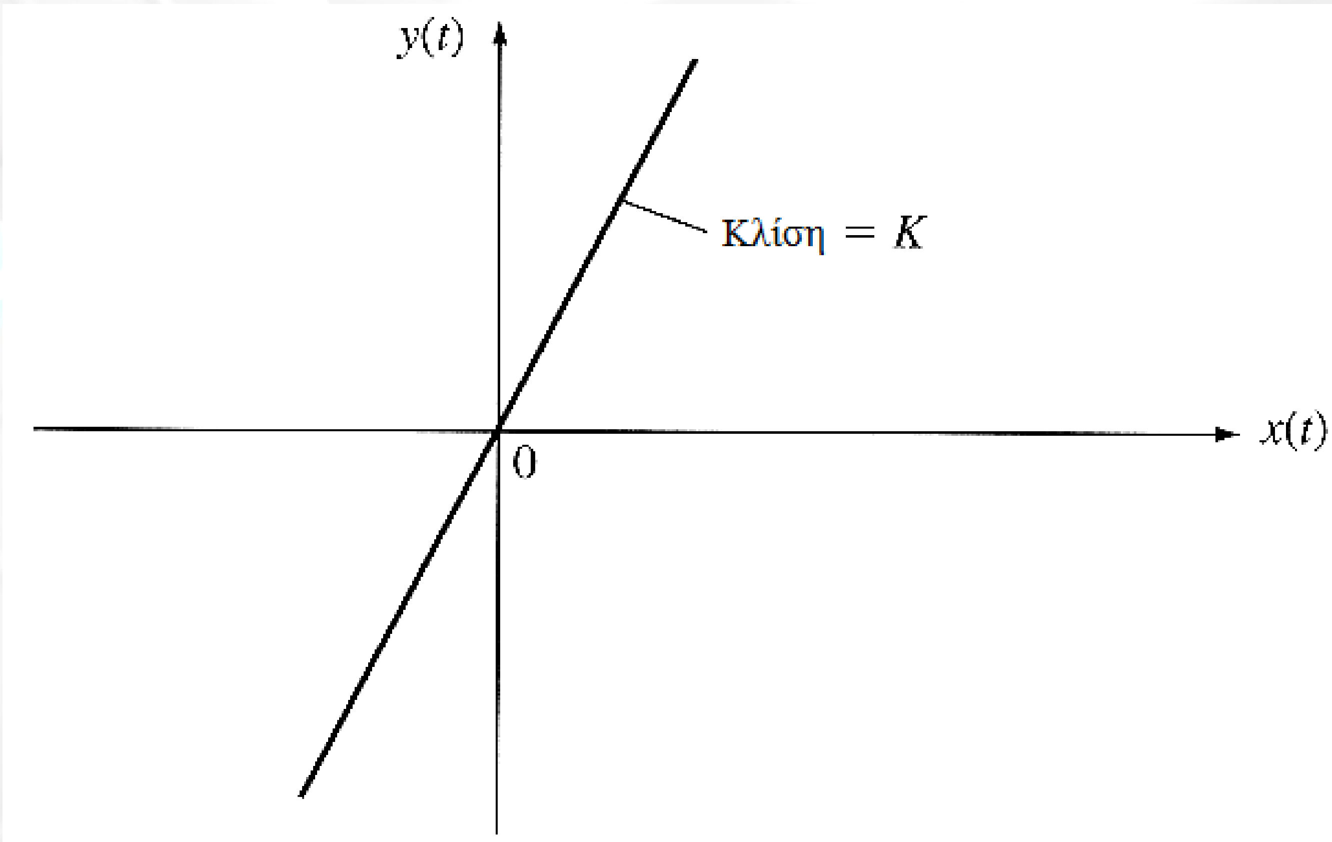
$$y(t) = \begin{cases} \dfrac{R_2}{R_1 + R_2} x(t), & \text{όταν } x(t) \geq 0 \\ 0, & \text{όταν } x(t) \leq 0 \end{cases}$$



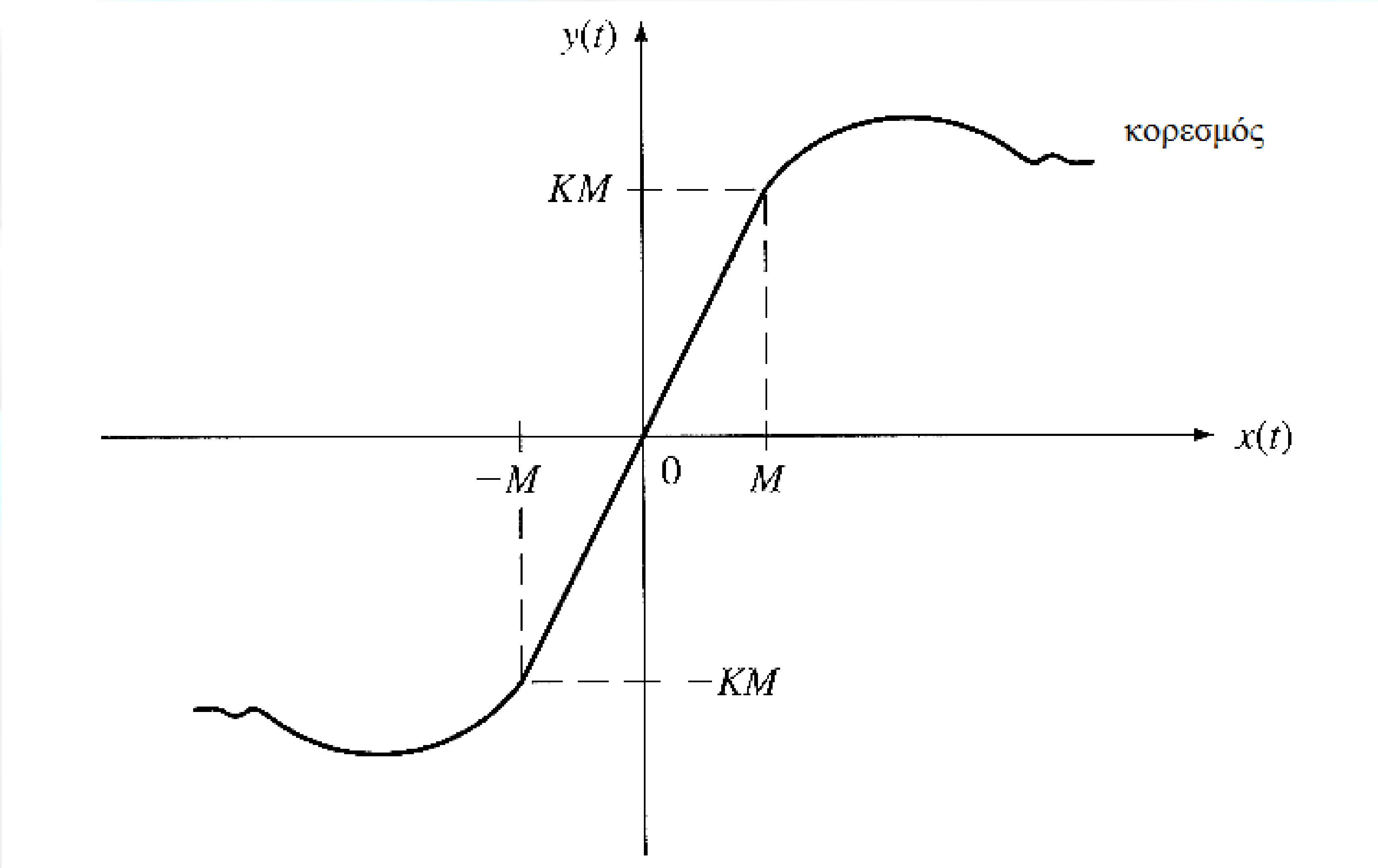
$$y(t) = x^2(t)$$

Παράδειγμα Γραμμικού Συστήματος
Ιδανικός Ενισχυτής

$$y(t) = K x(t)$$



Παράδειγμα Μη-Γραμμικού Συστήματος



Είδη Συστημάτων

$$x(t-t_1) \longrightarrow \boxed{\text{Σύστημα}} \longrightarrow y(t-t_1)$$

Χρονικά Αμετάβλητο Σύστημα

$$y(t) = t\,x(t)$$

Ενισχυτής με Χρονικά Μεταβαλλόμενο Κέρδος

$$\dot{y}(t) + a(t)\,y(t) = bx(t)$$

Σύστημα 1ης τάξης

$$y^{(N)}(t) = -\sum_{i=0}^{N-1} a_i(t)\,y^{(i)}(t) + \sum_{i=0}^{M} b_i(t)\,x^{(i)}(t)$$

$$a_i(t) = a_i, b_i(t) = b_i \quad \forall\, i\,, t \in \mathbb{R}$$

Πεπερασμένο Σύστημα Νης τάξης

Κατηγοριοποίηση Σημάτων Ι

Ντετερμινιστικά και τυχαία σήματα

- Ντετερμινιστικό σήμα: καμία αβεβαιότητα σε σχέση με την τιμή του σήματος για κάθε χρονική στιγμή.
- Τυχαίο σήμα:Κάποιος βαθμός αβεβαιότητας σε τιμές σήματος πριν πραγματικά πάρει την τιμή.
  - Θερμικός θόρυβος λόγω της κίνησης των ηλεκτρονίων.
  - Διάδοση/Ανάκλαση των ραδιοκυμάτων από διαφορετικά στρώματα της ατμόσφαιρας (τροπόσφαιρα/ιονόσφαιρα)

Κατηγοριοποίηση Σημάτων III

Σήματα Ενέργειας και Ισχύος

- Ένα σήμα είναι σήμα ενέργειας αν και μόνο αν έχει μη μηδενική ενέργεια σε όλη τη διάρκεια του:

$$E_x = \lim_{T\to\infty}\int_{-T/2}^{T/2}|x(t)|^2dt = \int_{-\infty}^{\infty}|x(t)|^2dt \qquad (0 < E_x < \infty)$$

- Ένα σήμα είναι σήμα ισχύος αν και μόνο αν έχει μη μηδενική ισχύ σε όλη τη διάρκεια του:

$$P_x = \lim_{T\to\infty}\int_{-T/2}^{T/2}|x(t)|^2dt \qquad (0 < P_x < \infty)$$

- Περιοδικά και τυχαία σήματα είναι σήματα ισχύος
- Ντετερμινιστικά και ταυτόχρονα μη περιοδικά σήματα είναι σήματα ενέργειας.

Κατηγοριοποίηση Σημάτων III

Σήματα Ενέργειας και Ισχύος

- Ένα σήμα ενέργειας έχει πεπερασμένη ενέργεια, με άλλα λόγια τα σήματα ενέργειας έχουν τιμές σε πεπερασμένη διάρκεια.

  Για παράδειγμα ένα μοναδικός τετραγωνικός παλμός είναι σήμα ενέργειας, όπως επίσης και ένα σήμα που φθίνει εκθετικά έχει πεπερασμένη ενέργεια.

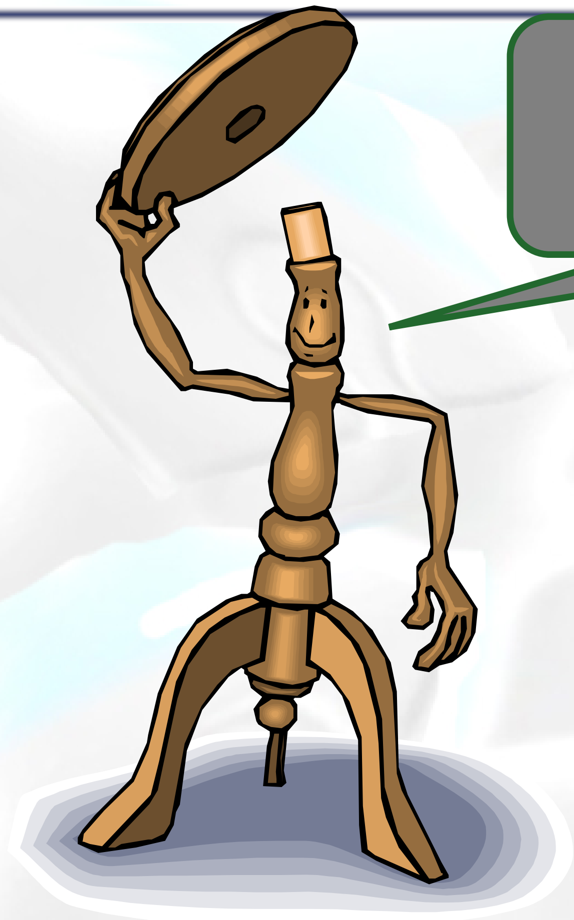
  Η ισχύς ενός σήματος ενέργειας είναι 0, διότι διαιρούμε ένα πεπερασμένο μέγεθος με άπειρο χρόνο/μήκος.

- Αντίθετα, ένα σήμα ισχύος δεν είναι πεπερασμένο στο χρόνο. Πάντα υπάρχει από την αρχή έως το τέλος και δεν τελειώνει.

  Για παράδειγμα, το ημιτονικό σήμα έχει άπειρο μήκος και δεν είναι πεπερασμένο είναι ένα σήμα ισχύος.

  Δεν ορίζεται η ενέργεια (άπειρη) για τα σήματα ισχύος.

Q&A



Ευχαριστώ για την προσοχή σας !!!

E-mail: thpanag@ece.ntua.gr
Παλ. Κτίρια Ηλ/γων Γρ. 3.2.9