



# Κλασική Θεωρία Ελέγχου

## Ενότητα 1: Σήματα και Συστήματα

Νίκος Καραμπετάκης  
Τμήμα Μαθηματικών



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο

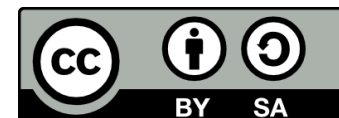


ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



# Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



# Περιεχόμενα Ενότητας

- Σήμα.
- Σύστημα.
  - Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Ανοιχτού Βρόγχου.
  - Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου.
  - Σ.Α.Ε. ανοιχτού βρόγχου versus Σ.Α.Ε. κλειστού βρόγχου.
- Στόχοι της Θεωρίας Ελέγχου.



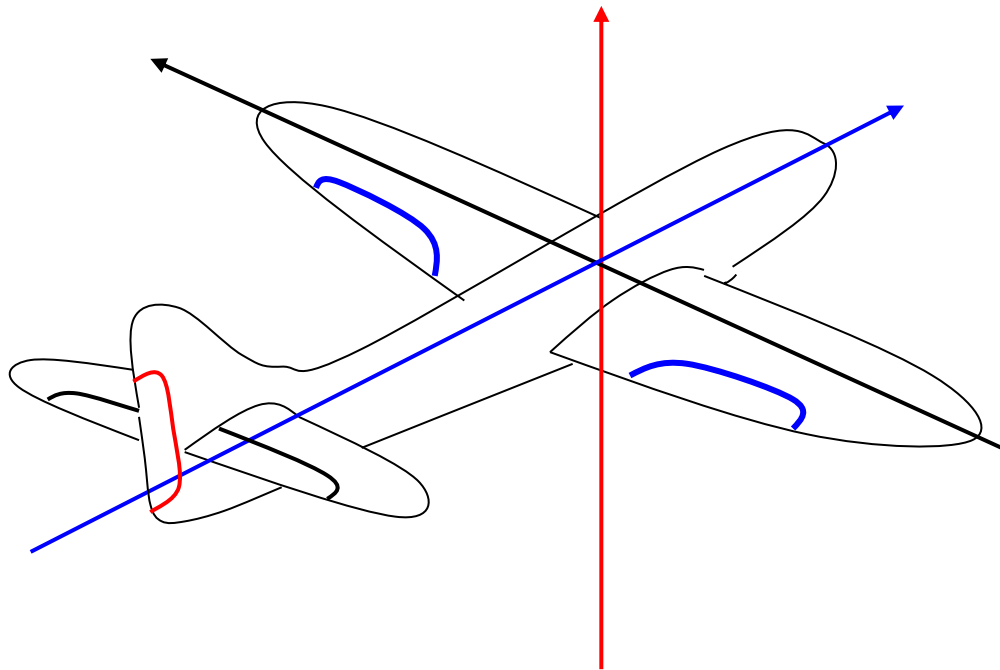
# Σκοποί Ενότητας

- Σκοπός της ενότητας αυτής είναι να εισαγάγει τον φοιτητή στην έννοια του σήματος και του συστήματος μέσα από πολλά παραδείγματα ιστορικά αλλά και καθημερινά.
- Γίνεται ο διαχωρισμός των δύο κατηγοριών συστημάτων:
  - συστήματα ανοικτού βρόγχου και
  - συστήματα κλειστού βρόγχου,
- Παρουσιάζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της κάθε κατηγορίας συστημάτων.
- Τίθενται οι στόχοι της Θεωρίας Ελέγχου.



# Σύστημα

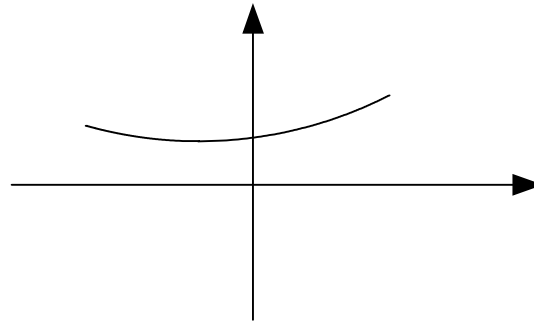
**Σύστημα** (Λεξικό Μπαμπινιώτη): ...Σύνολο από επιμέρους τμήματα, εξαρτήματα, στοιχεία που συνδέονται μεταξύ τους και αλληλεπιδρούν επιτελώντας συγκεκριμένο έργο....



# Συνεχές Σήμα

## Μαθηματική Περιγραφή Σήματος Συνεχούς Χρόνου

$x(t): \mathbb{R} \rightarrow \mathbb{R}^n$  ή πιο γενικά  $x(t_1, t_2, \dots, t_m): \mathbb{R}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$   
(συνήθως  $t$  είναι ο χρόνος)

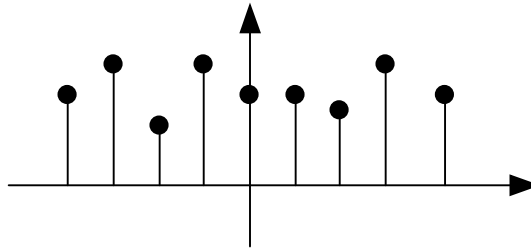


# Διακριτό Σήμα

## Μαθηματική Περιγραφή Σήματος Διακριτού Χρόνου

$x(kT): \mathbb{Z} \rightarrow \mathbb{R}^n$  ή πιο γενικά  $x(k_1T_1, k_2T_2, \dots, k_mT_m): \mathbb{Z}^m \rightarrow \mathbb{R}^n$

( $T$  είναι η περίοδος δειγματοληψίας)





# Μαθηματική Περιγραφή Συστήματος

Ένα σύστημα είναι μία απεικόνιση:

$F$ : Χώρο σημάτων  $\rightarrow$  χώρο σημάτων

$$y(t) = (Fu)(t) \text{ ή } y(kT) = (Fu)(kT)$$

$\xrightarrow{\text{Είσοδος } u(t)}$   $F$   $\xrightarrow{\text{Έξοδος } y(t)}$

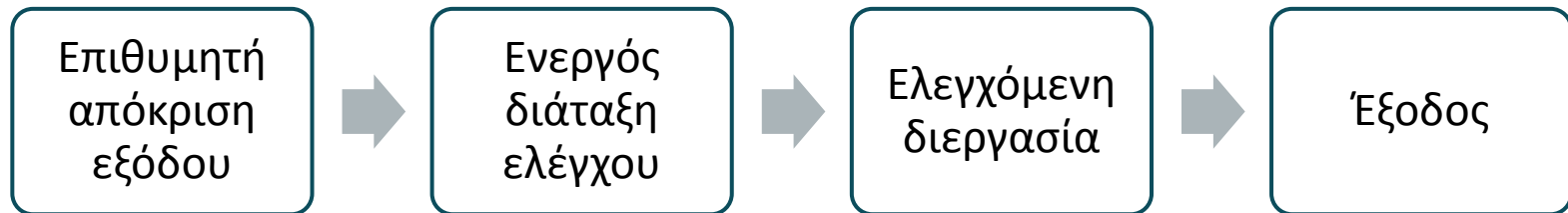
- Οι εισοδοι χωρίζονται σε *διεγέρσεις ελέγχου* και σε *διαταραχές*.
- Η τιμή της εξόδου  $y(t)$  εξαρτάται όχι μόνο από την τιμή της εισόδου  $u(t)$  την χρονική στιγμή  $t$  αλλά από όλες τις τιμές της εισόδου  $u(t)$  μέχρι την χρονική στιγμή  $t$  και για τον λόγο αυτό δεν γράφουμε

$$y(t) = F(u(t)) \text{ αλλά } y(t) = (Fu)(t).$$



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου

Σε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Ανοικτού Βρόχου χρησιμοποιείται κάποια ενεργός διάταξη για τον απευθείας έλεγχο μιας διεργασίας χωρίς την παρουσία ανάδρασης.

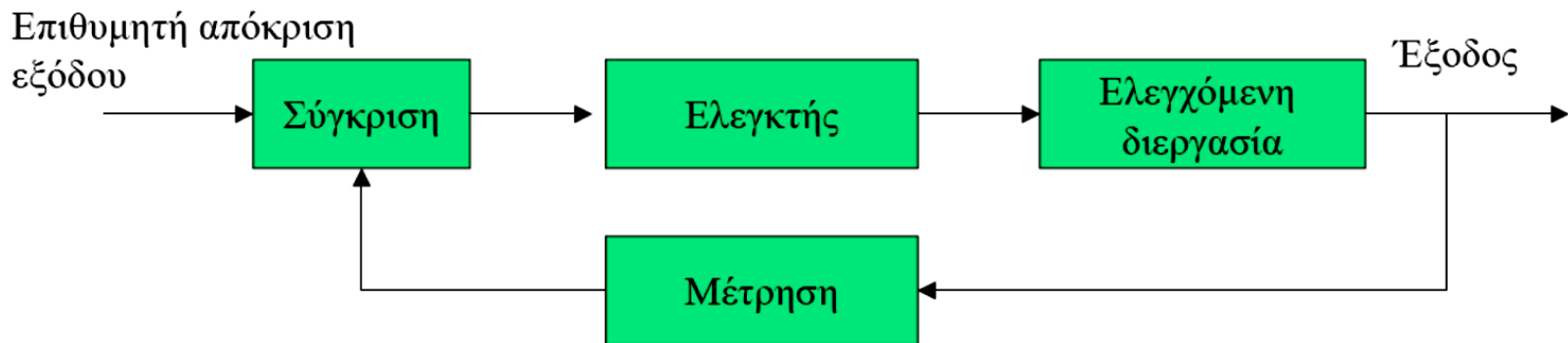


**Παραδείγματα:** Ένα πλυντήριο, μια φρυγανιέρα, ένας φούρνος μικροκυμάτων κ.λ.π.



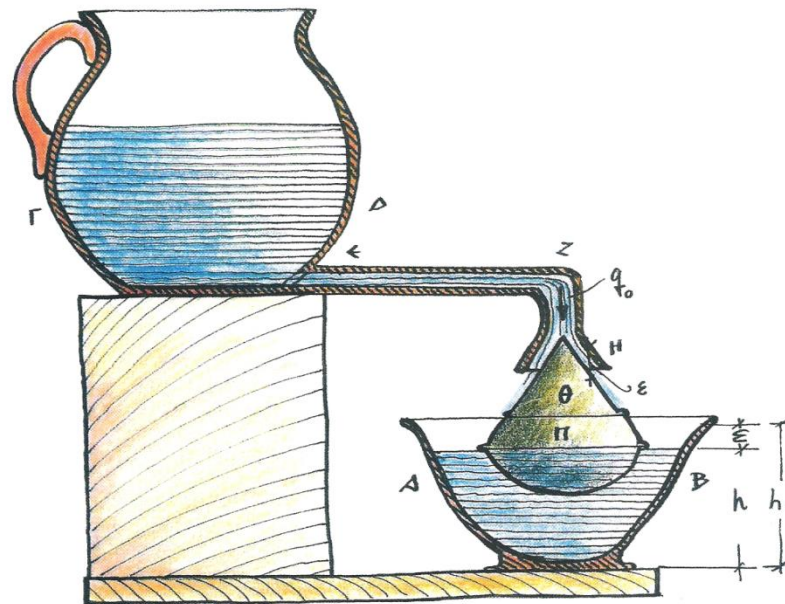
# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (1)

Σε ένα Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόχου χρησιμοποιείται ένα σήμα το οποίο προέρχεται από την μέτρηση της πραγματικής εξόδου και το οποίο με την βοήθεια της ανάδρασης επιστρέφει στην είσοδο του συστήματος όπου συγκρίνεται με ένα σήμα αναφοράς που αντιστοιχεί στην επιθυμητή έξοδο.



# Κτησίβιος (308-246π.Χ) (1)

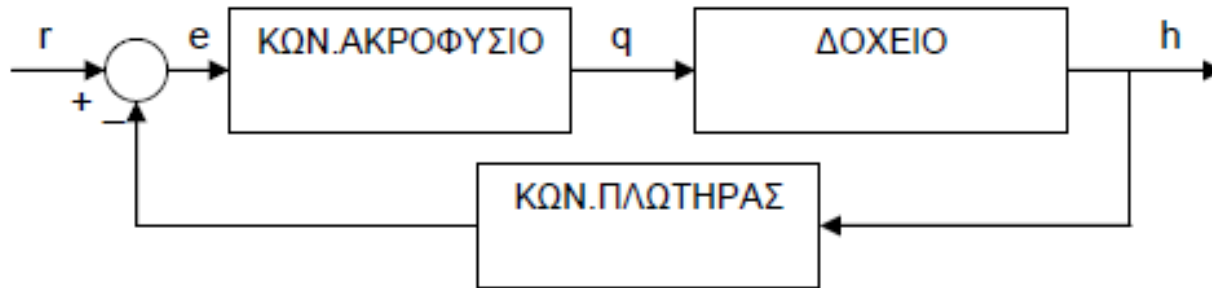
- Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με κωνικό πλωτήρα
- Το σύστημα είναι ένα κλειστό κύκλωμα ελέγχου με ελεγκτή τον κωνικό πλωτήρα.



Εικόνα 1

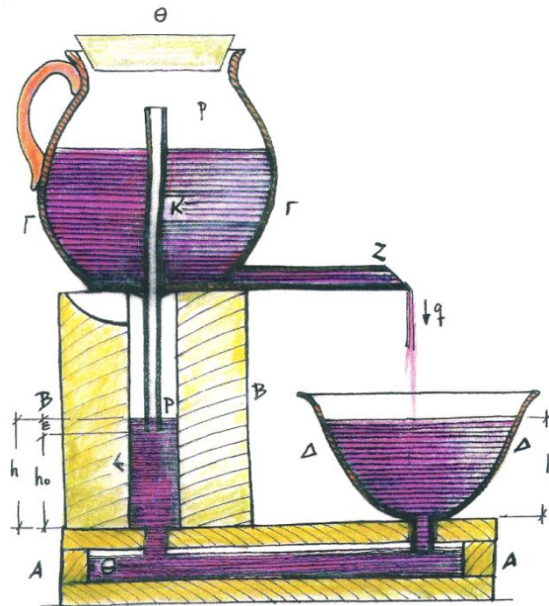


# Κτησίβιος (308-246π.Χ) (2)



# Φίλωνας (260-180π.Χ) (1)

- Συσκευή ελέγχου στάθμης υγρού με υδραυλική βαλβίδα.
- Η ανάδραση υλοποιείται μέσω συγκοινωνούντων δοχείων και ο έλεγχος μέσω της υδραυλικής βαλβίδας που επιτρέπει ή όχι την διόδο του αέρα.

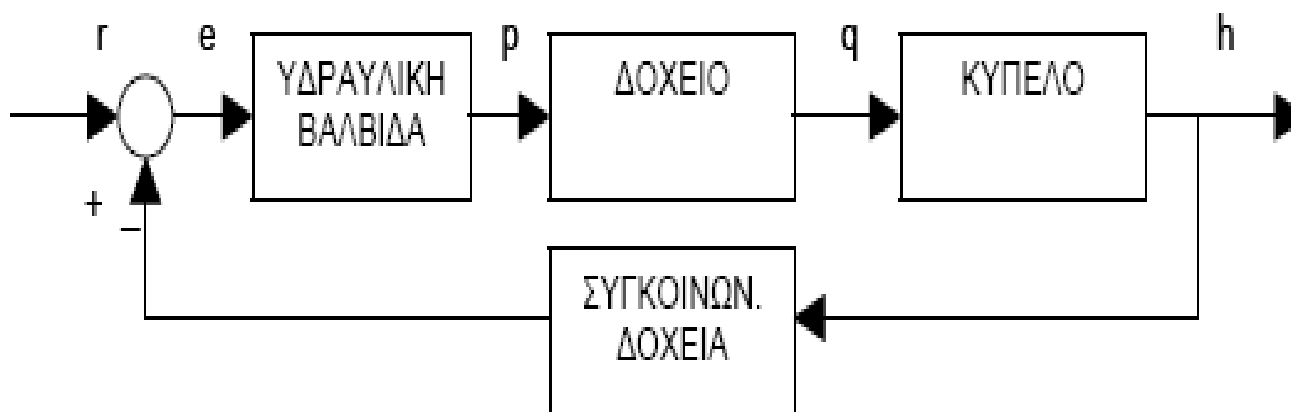


Εικόνα 2



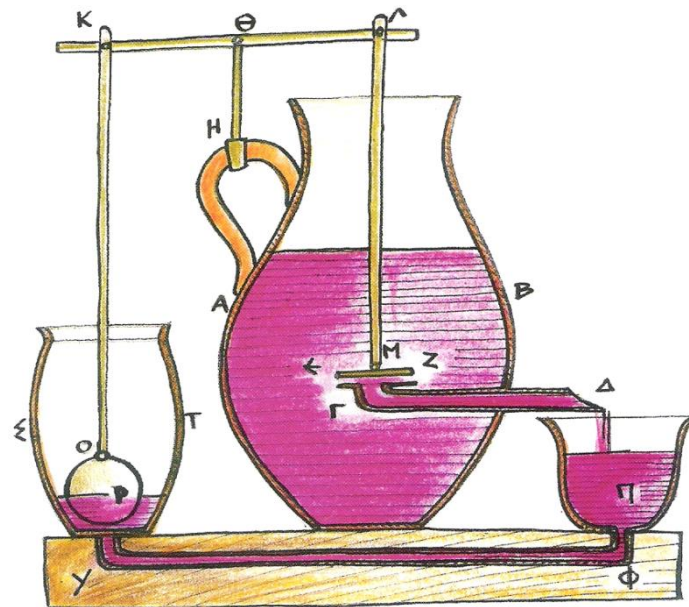
# Φίλωνας (260-180π.Χ) (2)

Το διάγραμμα βαθμίδας του συστήματος παρουσιάζει ένα σύστημα κλειστού βρόγχου.



# Ήρωνας (125-200μ.Χ) (1)

- Συσκευή στάθμης υγρού με μηχανική βαλβίδα
- Η ανάδραση υλοποιείται μέσω του πλωτήρα και ο έλεγχος μέσω του μηχανικού ζυγού και της βαλβίδας



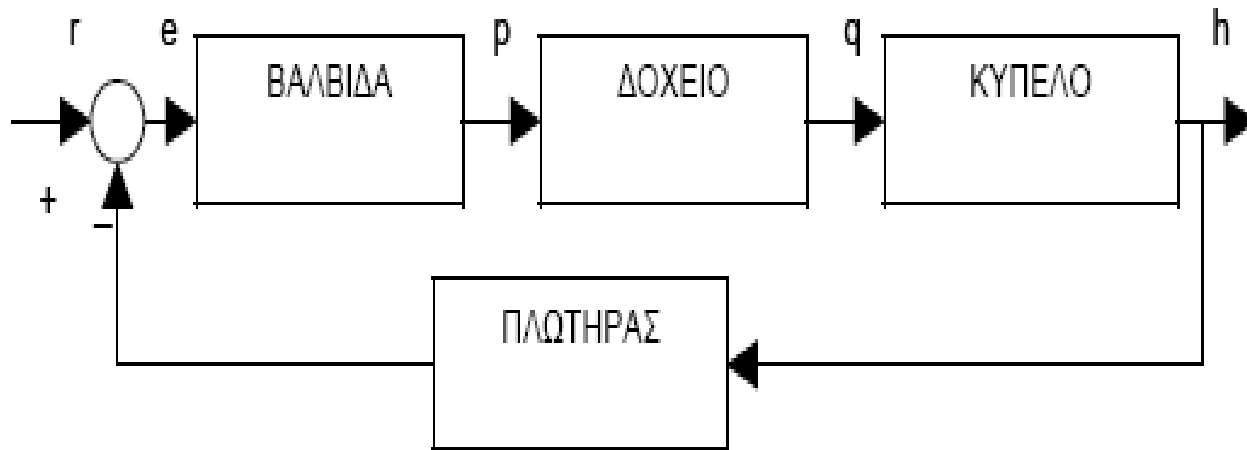
Εικόνα 3





# Ήρωνας (125-200μ.Χ) (2)

- Συσκευή στάθμης υγρού με μηχανική βαλβίδα
- Το διάγραμμα βαθμίδας του συστήματος παρουσιάζει ένα σύστημα κλειστού βρόγχου



# Έρωνα (125-200μ.Χ) (3)



Εικόνα 4

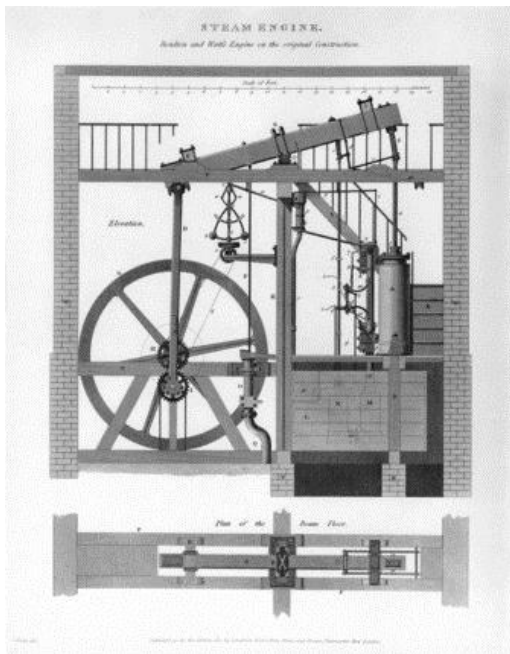
- Η Αιολόσφαιρα αξιοποιεί την πίεση του ατμού και την μετατρέπει σε κινητήρια περιστροφική δύναμη. Αποτελεί πρόδρομο της ατμομηχανής.
- Η λειτουργία αυτή (κίνηση δι' εκτονώσεως αερίου) είναι ίδια με την θεωρία της πρόωσης των σύγχρονων πυραύλων και αεριωθουμένων.



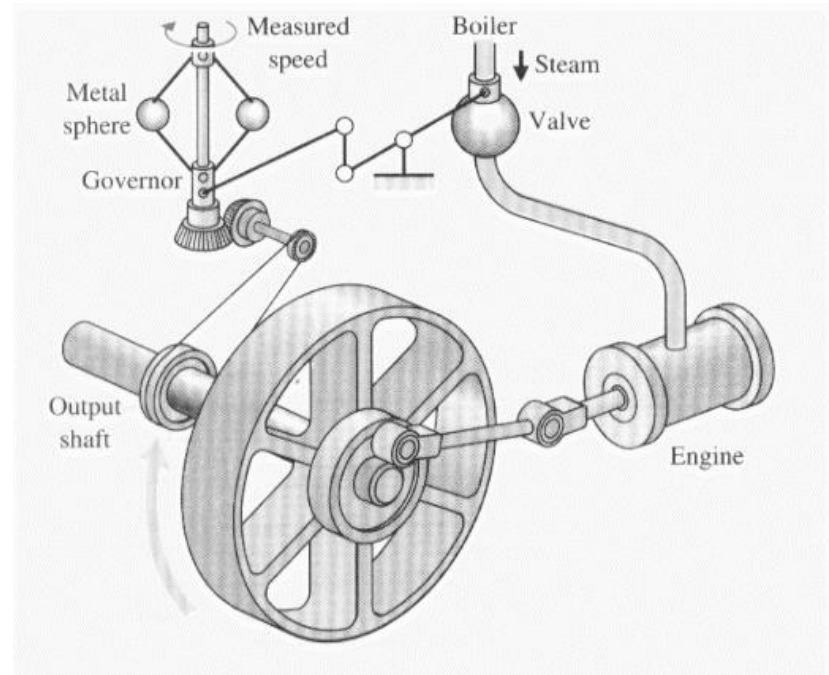
# Ατμομηχανή Watt

Χάραξη μιας μηχανής ατμού 1784  
(σχεδιάστηκε από Boulton και  
Watt. (wikipedia))

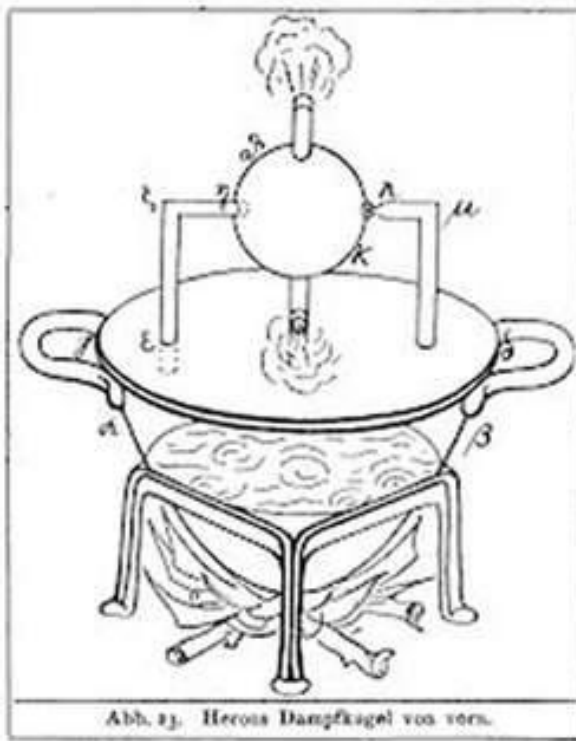
Εικόνα 5



Εικόνα 6



# Η Αιολόσφαιρα του Ήρωνα

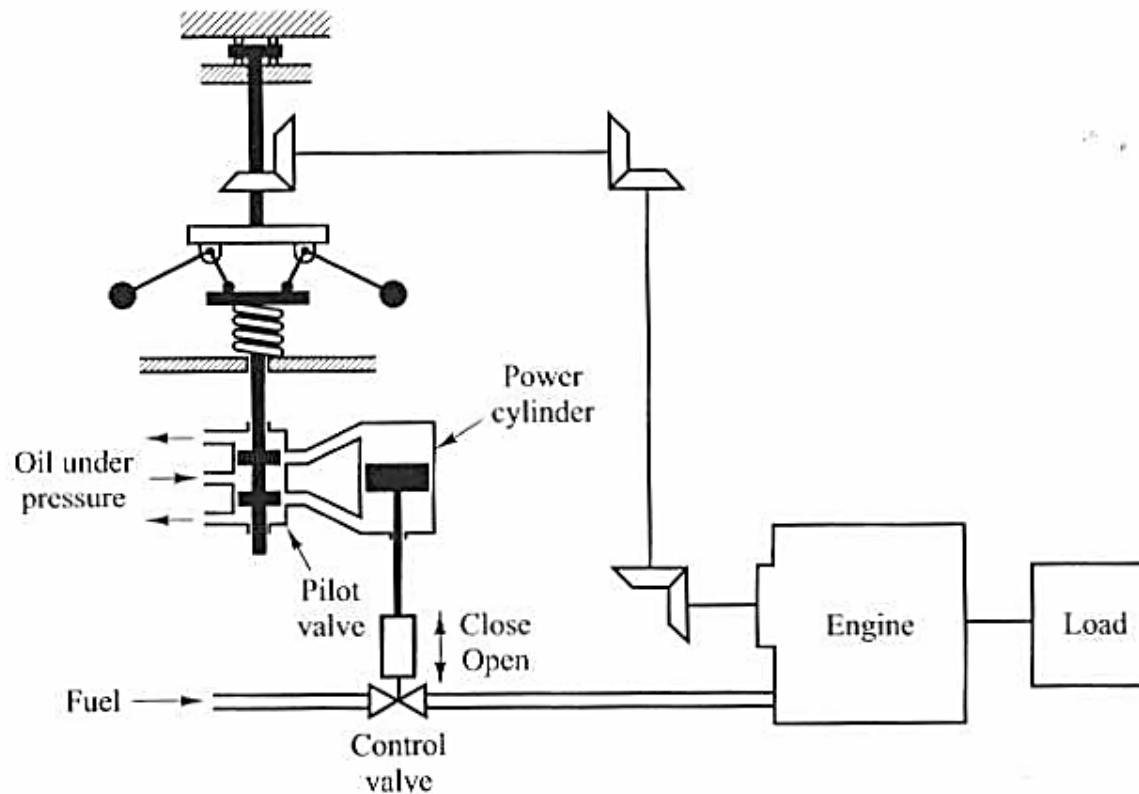


Εικόνα 7



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (2)

Έλεγχος ταχύτητας μηχανής του Watt (1769)

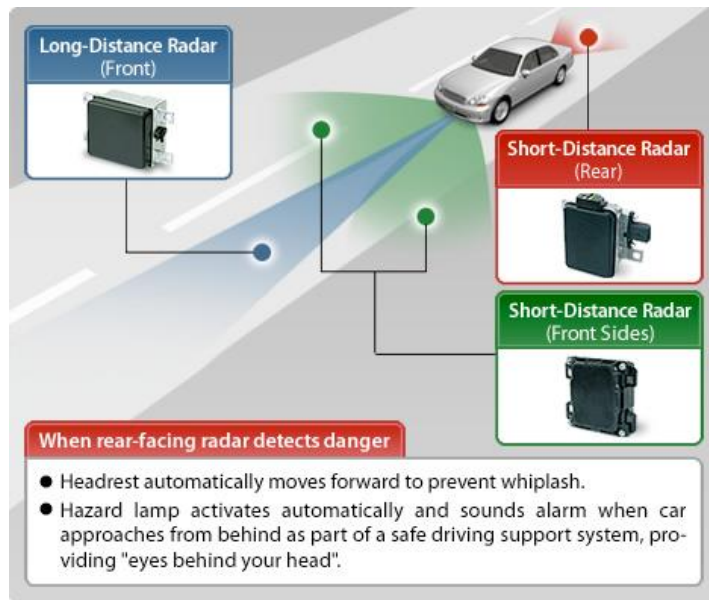


Εικόνα 8

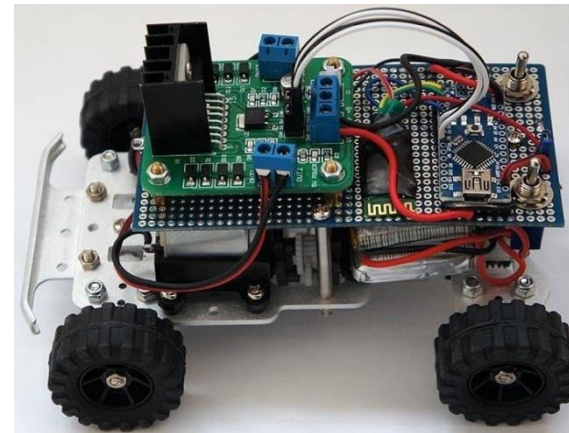


# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (3)

Παραδείγματα Συστημάτων  
Έλεγχος απόστασης από προπορευόμενα οχήματα



Εικόνα 9

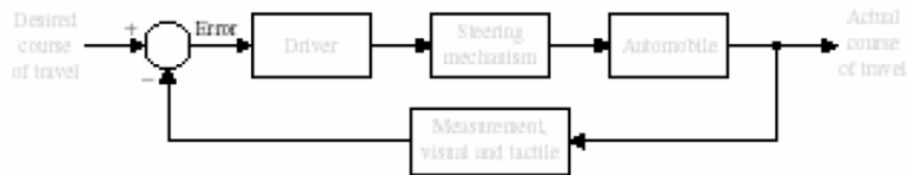


Εικόνα 10



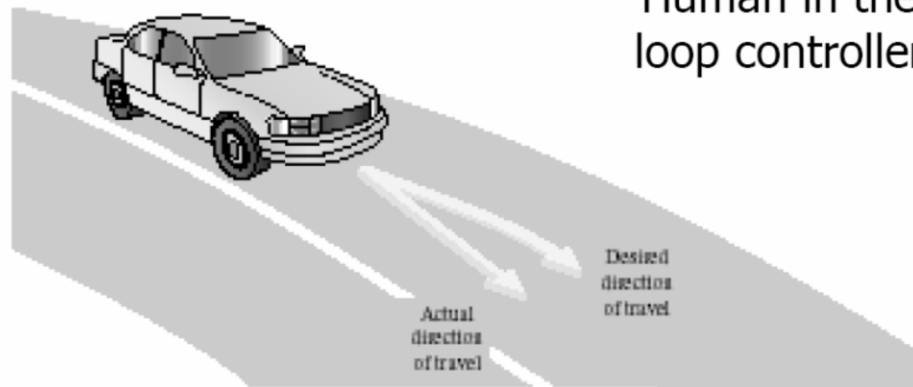
# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (4)

## Έλεγχος κατεύθυνσης αυτοκινήτου



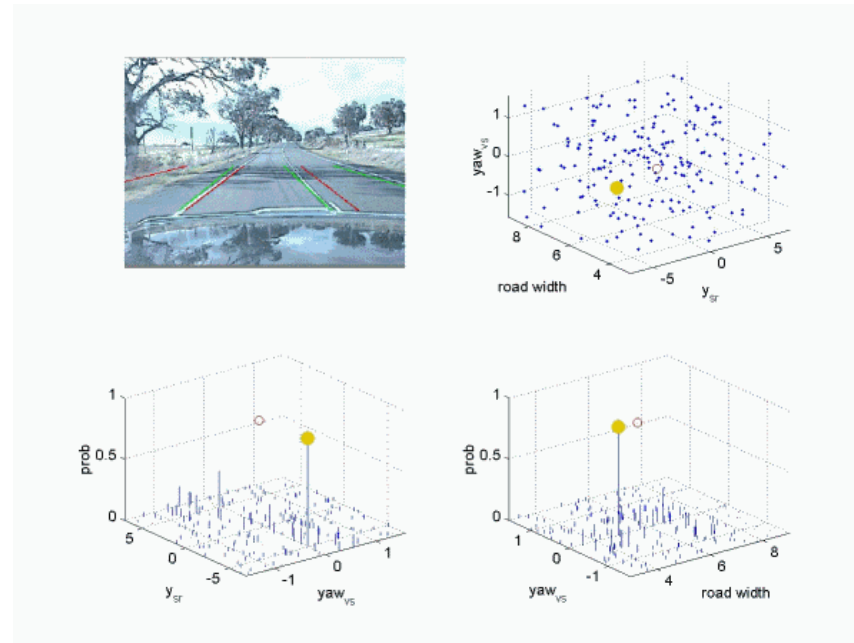
(a)

Human in the  
loop controller



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (5)

## Έλεγχος κατεύθυνσης αυτοκινήτου



Εικόνα 11





# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (6)

## Self parking

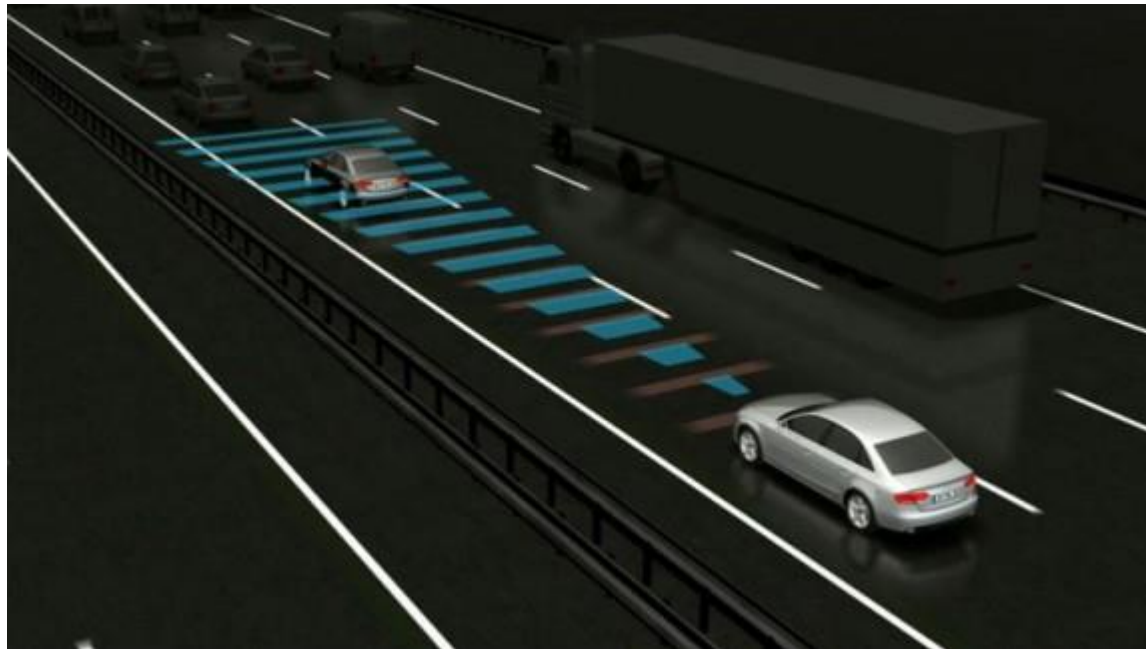


Εικόνα 12



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (7)

## Cruise Control



Εικόνα 13



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (8)

## Αεροπλάνο Harrier



Εικόνα 14



# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (9)

## Ball and Beam



Εικόνα 15



# Ανάστροφο Εκκρεμές (1)



Εικόνα 16



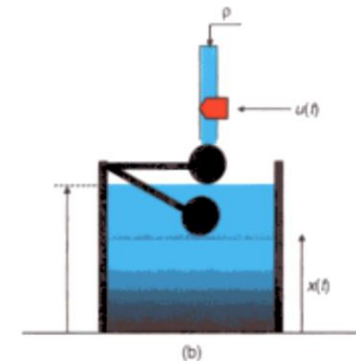
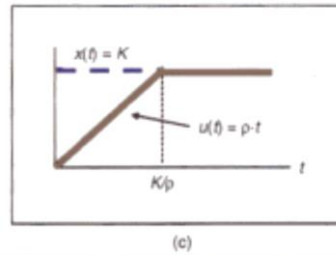
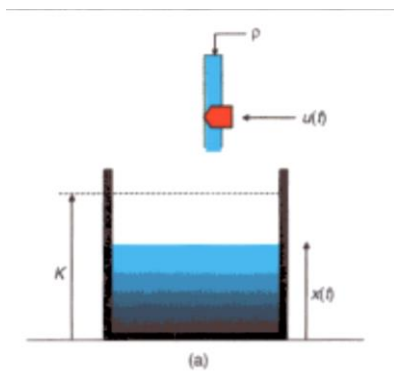
# Ανάστροφο Εκκρεμές (2)



Εικόνα 17

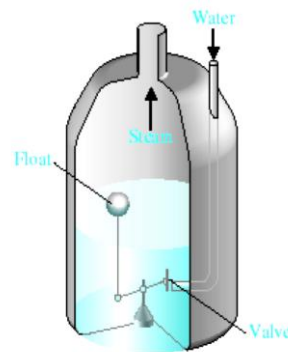


# Έλεγχος στάθμης υγρού



Επιθυμητή συμπεριφορά

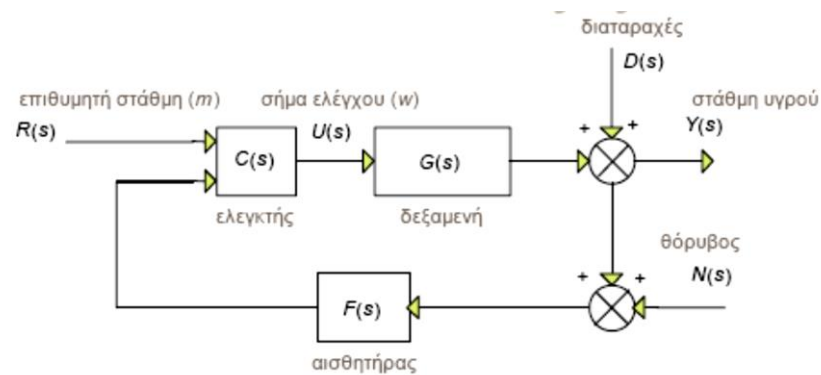
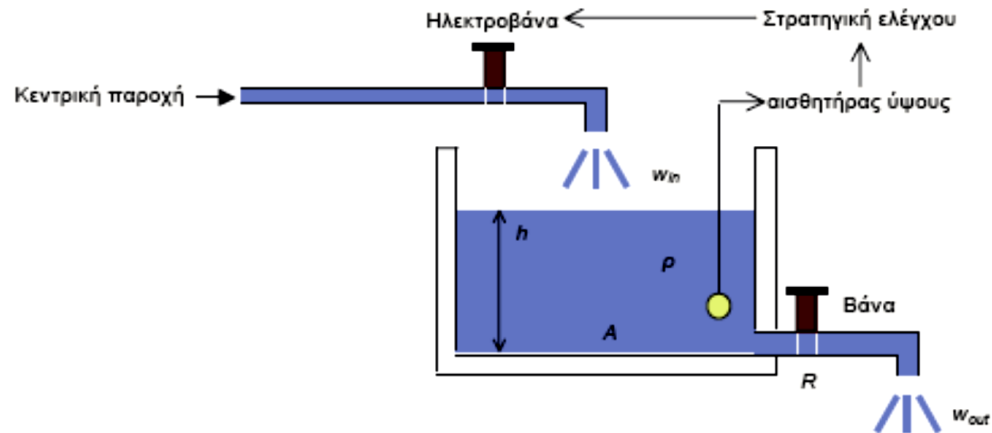
Χωρίς αυτόματο έλεγχο



Με αυτόματο έλεγχο



# Σχηματικό διάγραμμα ελέγχου στάθμης υγρού



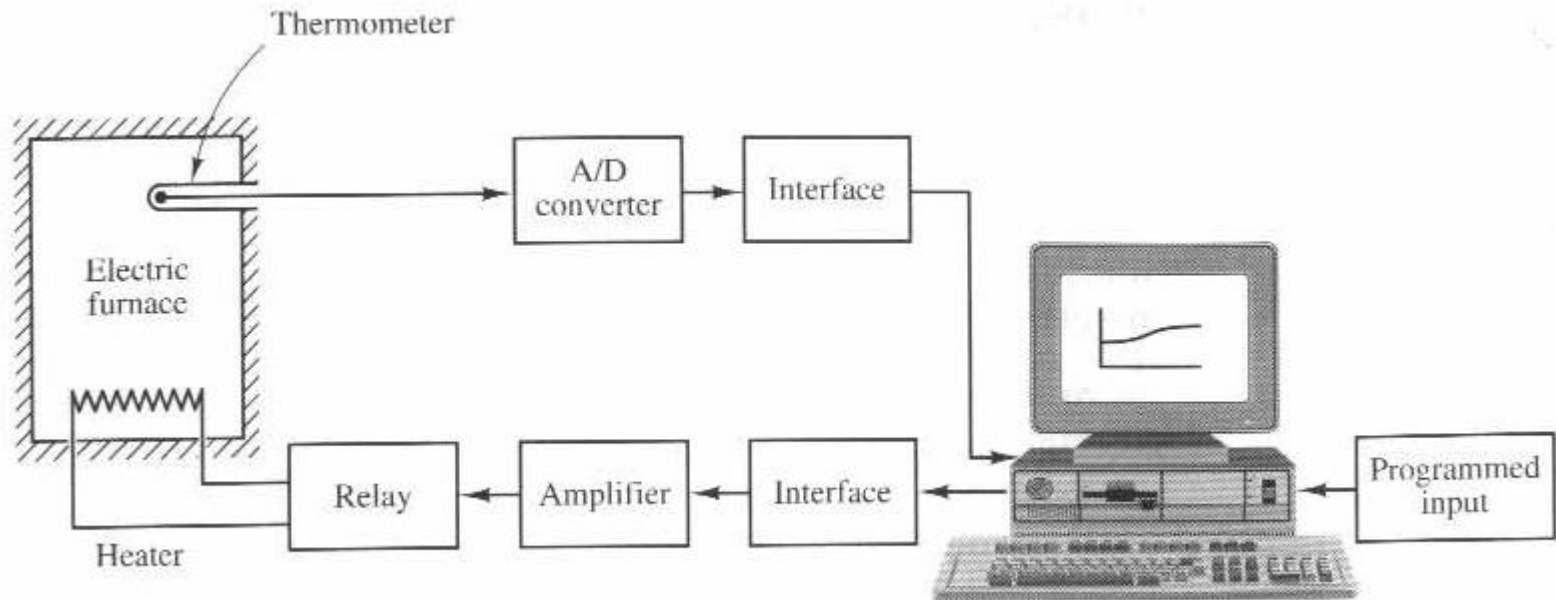


# Σύστημα Αυτομάτου Ελέγχου Κλειστού Βρόγχου (10)

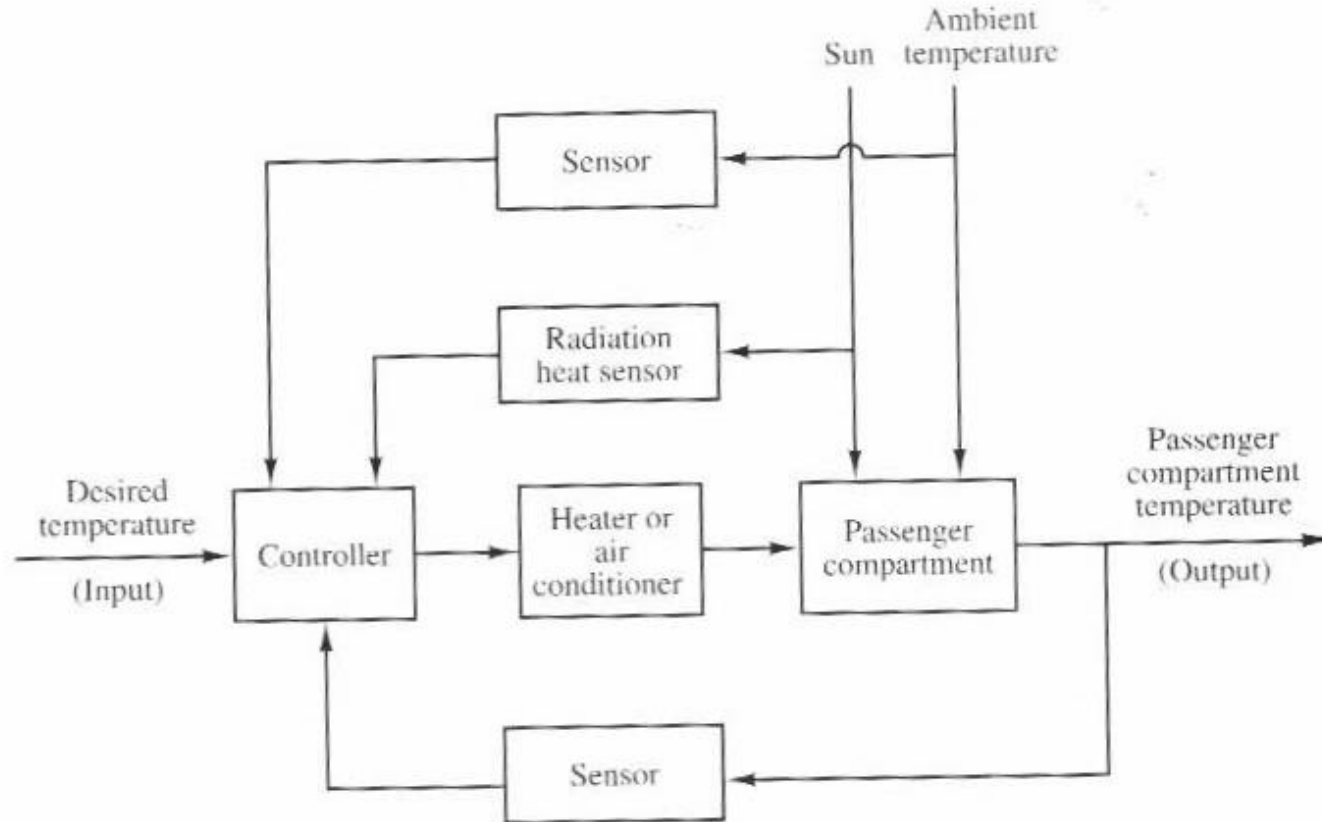
- Οι εξωτερικές διαταραχές μπορεί να είναι μεταβολή στην ροή εισόδου (απρόβλεπτη), μεταβολή στην ζήτηση (ροή εξόδου) και σφάλματα λόγω γραμικοποίησης του μη γραμμικού μοντέλου της δεξαμενής. (θα διευκρινισθεί αργότερα).
- Ο θόρυβος στην μέτρηση μπορεί να προέρχεται από σφάλματα του οργάνου μέτρησης (είτε φυσιολογικά είτε λόγω φθοράς).
- Ο ελεγκτής είναι το ζητούμενο.
- Η συνάρτηση μεταφοράς της εγκατάστασης προκύπτει από τις φυσικές σχέσεις που διέπουν την διαδικασία της δεξαμενής υγρού.



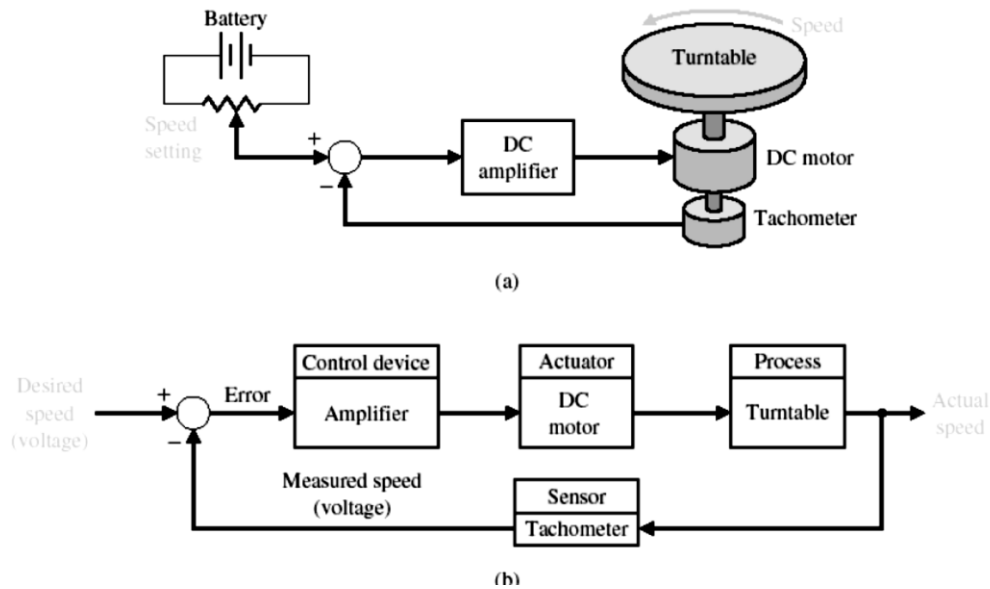
# Σύστημα Ελέγχου Θερμοκρασίας



# Σύστημα Κλιματισμού Αυτοκινήτου



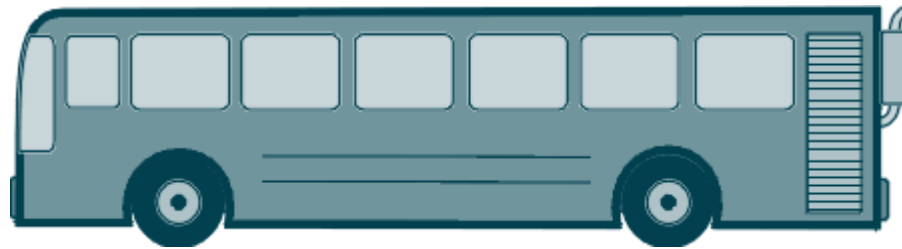
# Έλεγχος ταχύτητας περιστροφής δίσκου (εφαρμογή σε σκληρούς δίσκους, cd-rom)



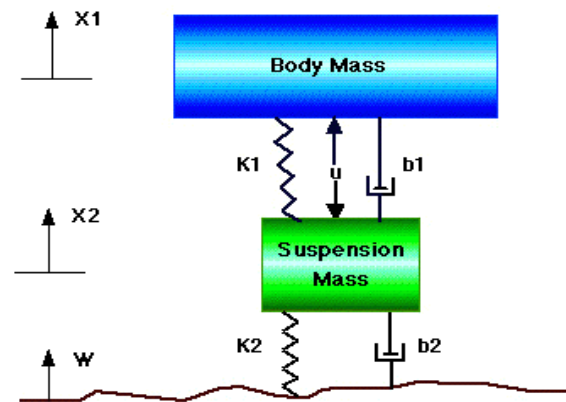
Εικόνα 18



# Έλεγχος κραδασμών

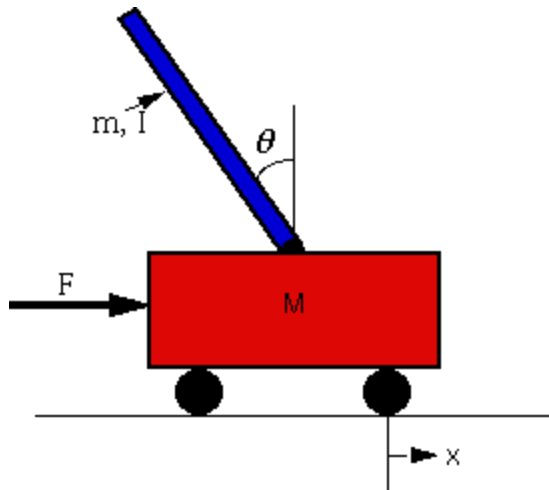


Model of Bus Suspension System  
(1/4 Bus)

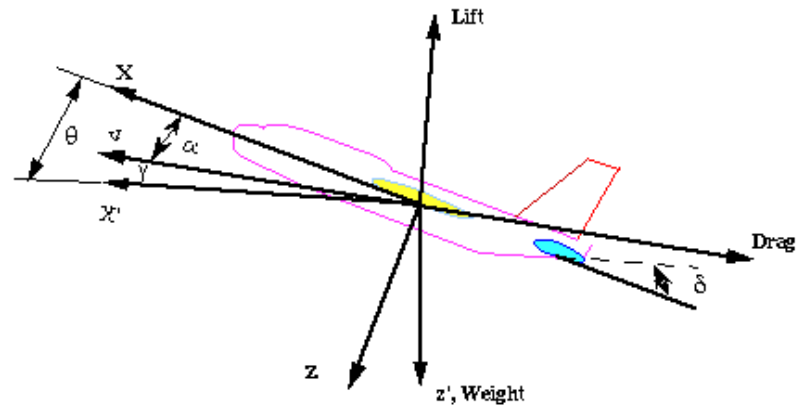


# Διατήρηση θέσης αεροπλάνου

Ανάστροφο εκκρεμές



Διατήρηση θέσης αεροπλάνου



# Συστήματα ανοικτού βρόγχου *versus* Συστημάτων κλειστού βρόγχου

- Η χρήση της ανάδρασης κάνει το σύστημα μας σχετικά ανεπηρέαστο σε πιθανές εξωτερικές διαταραχές και εσωτερικές μεταβολές των παραμέτρων του συστήματος.
- Η ευστάθεια του κλειστού συστήματος αποτελεί ένα πρόβλημα λόγω της συνεχούς διόρθωσης των λαθών που δημιουργούνται στο σύστημα με άμεση συνέπεια την δημιουργία ταλαντώσεων σταθερού ή μεταβαλλόμενου πλάτους.
- Χρησιμοποιούμε ανοικτά συστήματα όταν γνωρίζουμε πολύ καλά το μοντέλο του συστήματος, τις εισόδους που εφαρμόζονται και όταν δεν υπάρχουν εξωτερικές διαταραχές. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις χρησιμοποιούμε κλειστά συστήματα.



# Στόχοι της Θεωρίας Ελέγχου

## 1) Regulator problem (πρόβλημα ρύθμισης).

Διατήρηση της εξόδου όσο το δυνατό πιο κοντά σε ένα συγκεκριμένο σημείο, παρόλες τις πιθανές διαταραχές.

**Παράδειγμα.** Διατήρηση σταθερής ταχύτητας σε ένα αυτοκίνητο (cruise control).

## 2) Servomechanism or tracking problem (πρόβλημα ανίχνευσης).

Διατήρηση της εξόδου όσο το δυνατό πιο κοντά σε έναν μεταβαλλόμενο στόχο, παρόλες τις πιθανές διαταραχές.

**Παράδειγμα.** Αυτόματη ανίχνευση στόχου με radar, αυτόματος πιλότος σε αεροπλάνα.





# Βιβλιογραφία (1)

- Αδαμίδου Μαρία, 2007, Η ανάπτυξη της Θεωρίας Ελέγχου και του Αυτοματισμού στα τελευταία 2000 χρόνια (διπλωματική εργασία). Κείμενο – Διαφάνειες Παρουσίασης.
- Αλεξανδρέως: Ονόματα όρων γεωμετρικά, Ελληνική Μαθηματική Εταιρία, 1995.
- Βαρδουλάκης Α.Ι., Εισαγωγή στη μαθηματική θεωρία σημάτων, συστημάτων και ελέγχου, Εκδόσεις Τζιόλα, 2011.
- Καλλιγερόπουλος Δ., Ήρωνας Αλεξανδρέως, Αυτοματοποιητική, Η τέχνη της κατασκευής των αυτομάτων, Αθήνα, 1996.
- Καλλιγερόπουλος Δ., Ιστορία της τεχνολογίας και των αυτομάτων, Αθήνα 2005.



# Βιβλιογραφία (2)

- Κηπουρός Χρήστος Κ., Heiberg, J.L.(Johan Ludvig), *Ήρωνος*
- Τεχνικό Μουσείο Θεσσαλονίκης Εταιρία Μελέτης Αρχαίας Ελληνικής Τεχνολογίας., *Αρχαία Ελληνική Τεχνολογία, Θεσσαλονίκη 2000.*
- *R. Dorf, R. H. Bishop, Modern Control Systems, Prentice Hall*
- *K. Ogata, Modern Control Systems, Prentice Hall*



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (1/4)

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

- Εικόνα 1: <https://sites.google.com/site/tsampasis2012/mathemata/sae>
- Εικόνα 2: <http://www.hellinon.net/ancientGreekAutomatic.htm>
- Εικόνα 3: <http://www.hellinon.net/ancientGreekAutomatic.htm>
- Εικόνα 4: "Aeolipile illustration" από τον The entry under Aeolipile in volume one of this work states "The cut is copied from Hero's "Spiritalia", edited by Woodcroft, of London." - Knight's American Mechanical Dictionary, 1876. source. Υπό την άδεια Κοινό Κτήμα μέσω Wikimedia Commons - [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolipile\\_illustration.png#/media/File:Aeolipile\\_illustration.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Aeolipile_illustration.png#/media/File:Aeolipile_illustration.png)



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (2/4)

- Εικόνα 5: <http://www.ssplprints.com/image/129772/boulton-and-watt-steam-engine-late-18th-century>
- Εικόνα 6: [http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise\\_96/journal/vol4/ahak/report.html](http://www.doc.ic.ac.uk/~nd/surprise_96/journal/vol4/ahak/report.html)
- Εικόνα 7: <http://voicenews.gr/index.php/politismos/9891-deite-tin-archaioelliniki-efeyresi-pou-apotelese-tin-tis-viomixanikis-epanastasis-i-aiolosfaira-tou-irona.html>
- Εικόνα 8: <http://ecee.colorado.edu/~ecen4138/>
- Εικόνα 9: <http://www.fujitsu-ten.com/business/automotive/lineup/index.html>
- Εικόνα 10: <http://img.wonderhowto.com/img/original/60/69/63494645133796/0/634946451337966069.jpg>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (3/4)

- Εικόνα 11: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.83.9869&rep=rep1&type=pdf>
- Εικόνα 12: <https://blog.parkme.com/2013/01/29/state-of-the-art-self-parking-cars/>
- Εικόνα 13: <http://www.gottabemobile.com/2013/07/19/adaptive-cruise-control-in-action/>
- Εικόνα 14: <http://www.airliners.net/photo/UK---Air-Force/Hawker-Siddeley-Harrier-T4/1322752/L/&sid=>
- Εικόνα 15: [https://www.fsb.unizg.hr/acg/meh\\_research.html](https://www.fsb.unizg.hr/acg/meh_research.html)
- Εικόνα 16: <http://www.humarobotics.com/en/services/business-cases/4g-sfr-robot.html>



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (4/4)

- Εικόνα 17: <http://anadrasis.web.auth.gr/AIG.Vardulakis.htm>
- Εικόνα 18: [http://www.devtome.com/doku.php?id=hdd\\_and\\_ssd](http://www.devtome.com/doku.php?id=hdd_and_ssd)



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Νικόλαος Καραμπετάκης. «Κλασική Θεωρία Ελέγχου. Ενότητα 1: Σήματα και Συστήματα». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<http://eclass.auth.gr/courses/OCRS432/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Παρόμοια Διανομή [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>





# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΑΝΟΙΧΤΑ  
ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΑ  
ΜΑΘΗΜΑΤΑ



# Τέλος Ενότητας

Επεξεργασία: Αναστασία Γ. Γρηγοριάδου  
Θεσσαλονίκη, Χειμερινό εξάμηνο 2014-2015



Ευρωπαϊκή Ένωση  
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ  
2007-2013  
πρόγραμμα για την ανάπτυξη  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

