



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ
ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ»**

**Δημιουργία Εργαστηριακού Εκπαιδευτικού Υλικού για
Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου**

Δημήτριος Γ. Καβαλιέρος

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Επιβλέπων
Αθανάσιος Κακαρούντας
Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.**

Λαμία, 2018



UNIVERSITY OF THESSALY

SCHOOL OF SCIENCE

INFORMATICS AND COMPUTATIONAL BIOMEDICINE

**CREATION OF LABORATORY TRAINING MATERIAL FOR
AUTOMATIC CONTROL SYSTEMS**

**By
Dimitrios G. Kavalieros**

**Master thesis
Supervisor: Athanasios Kakarountas
Assistant Professor UTH**

Lamia, Greece, 2018



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΒΙΟΙΑΤΡΙΚΗ

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ

**«ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ
ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ (Τ.Π.Ε.) ΣΤΗΝ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ»**

**Δημιουργία Εργαστηριακού Εκπαιδευτικού Υλικού για
Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου**

Δημήτριος Γ. Καβαλιέρος

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
Επιβλέπων
Αθανάσιος Κακαρούντας
Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Λαμία, 2018

«Υπεύθυνη Δήλωση μη λογοκλοπής και ανάληψης προσωπικής ευθύνης»

Με πλήρη επίγνωση των συνεπειών του νόμου περί πνευματικών δικαιωμάτων, και γνωρίζοντας τις συνέπειες της λογοκλοπής, δηλώνω υπεύθυνα και ενυπογράφως ότι η παρούσα εργασία με τίτλο [«τίτλος εργασίας»] αποτελεί προϊόν αυστηρά προσωπικής εργασίας και όλες οι πηγές από τις οποίες χρησιμοποίησα δεδομένα, ιδέες, φράσεις, προτάσεις ή λέξεις, είτε επακριβώς (όπως υπάρχουν στο πρωτότυπο ή μεταφρασμένες) είτε με παράφραση, έχουν δηλωθεί κατάλληλα και ευδιάκριτα στο κείμενο με την κατάλληλη παραπομπή και η σχετική αναφορά περιλαμβάνεται στο τμήμα των βιβλιογραφικών αναφορών με πλήρη περιγραφή. Αναλαμβάνω πλήρως, ατομικά και προσωπικά, όλες τις νομικές και διοικητικές συνέπειες που δύναται να προκύψουν στην περίπτωση κατά την οποία αποδειχθεί, διαχρονικά, ότι η εργασία αυτή ή τμήμα της δεν μου ανήκει διότι είναι προϊόν λογοκλοπής.

Λαμία, .../.../2018

Ο ΔΗΛΩΝ

Υπογραφή

Δημήτριος Γ. Καβαλιέρος

Τριμελής Επιτροπή

Επιβλέπων: Αθανάσιος Κακαρούντας, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Μέλος: Χαρίλαο (Χάρη) Σανδαλίδη, Επίκουρος Καθηγητής Π.Θ.

Μέλος:.

Επιστημονικός Σύμβουλος:

Ονοματεπώνυμο.....

Στην οικογένειά μου

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Αθανάσιο Κακαρούντα, αρχικά γιατί δέχθηκε να αναλάβει την επίβλεψη της παρούσας διπλωματικής, κυρίως όμως διότι η καθοδήγησή του υπήρξε καθοριστική σε όλα τα στάδια της: επιλογή θέματος, μελέτη αντικειμένου, επεξεργασία στοιχείων και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Τα μέλη της τριμελούς επιτροπής, Επίκουρους Καθηγητές κ. Χαρίλαο (Χάρη) Σανδαλίδη και κ., τους ευχαριστώ για τον πολύτιμο χρόνο που αφιέρωσαν στη μελέτη της διπλωματικής καθώς και για τις παρατηρήσεις και τα σχόλια τους που συνέβαλλαν στη διαμόρφωση της τελικής μορφής της.

Θα ήταν παράλειψη να μην ευχαριστήσω όλους τους διδάσκοντες που είχα κατά τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών, καθώς η παρούσα διπλωματική αποτέλεσε το επιστέγασμα όλων των γνώσεων που μου προσέφεραν. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συναδέλφους μεταπτυχιακούς φοιτητές, για την ενθάρρυνση καθώς και για τις ανταλλαγές απόψεων και τη σημαντική βοήθειά τους σε όλα τα στάδια των κοινών σπουδών μας.

Τέλος, δε μπορώ να μην αναφερθώ στην οικογένεια μου που ήταν δίπλα μου σε όλη την διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Τους χρωστάω ένα μεγάλο Ευχαριστώ!

Περίληψη

Λέξεις-κλειδιά:

Abstract

Keywords :

Περιεχόμενα

Περίληψη	11
Abstract	12
Περιεχόμενα.....	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	18
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	18
1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	19
1.2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	23
1.3. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ	32
1.3.1. ΦΥΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	32
1.3.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	35
1.3.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΒΑΘΜΙΔΩΝ	41
1.3.4. ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ	41
1.3.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ	41
1.3.6. ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ.....	41
1.3.7. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ - ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΔΡΑΣΗΣ	42
1.3.8. ΜΕΤΡΗΣΗ.....	42
1.3.9. ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	43
1.3.10. ΣΦΑΛΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	43
1.3.11. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΩΝ	44
1.3.12. ΟΔΗΓΟΣ ΒΑΘΜΙΔΑ	44
1.3.13. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ	45
1.3.14. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ	46
1.3.15. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	46

1.3.16.	ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΗ - ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	46
1.3.17.	ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	47
1.3.18.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	48
1.3.19.	ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	48
1.3.20.	ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ	48
1.3.21.	ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	49
1.3.22.	ΑΠΟΣΒΕΣΗ.....	49
1.3.23.	ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ.....	50
1.3.24.	ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	51
1.3.25.	ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ	52
1.4.	Η ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....	53
1.5.	ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	56
1.6.	Η ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°		62
ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ		62
2.1.	ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΗΜΑΤΑ	63
2.2.	ΜΙΓΑΔΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ	64
2.3.	ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ.....	65
2.4.	ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE	66
2.5.	ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ Μ/Σ LAPLACE ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΜΕΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ.....	67
2.6.	ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ.....	68
2.7.	ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΑΦΟΡΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Μ/Σ LAPLACE	69
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°		70
Μελέτη εξειδίκευσης Μεθοδολογίας ανάπτυξης Σεναρίων στο γνωστικό αντικείμενο «Εργαστήριο Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου» για την Τριτοβάθμια Εκπαίδευση.....		70
2.8.	Εισαγωγή	71

2.9.	Κεντρικοί Άξονες και Κριτήρια εκπόνησης ΨΔΣ	72
2.10.	Οργάνωση Ψηφιακού Διδακτικού Σεναρίου	78
2.10.1.	Το θέμα.....	78
2.10.2.	Ο χρόνος και Τάξεις που απευθύνεται	79
2.10.3.	Ανίχνευση πρότερων γνώσεων των μαθητών	79
2.10.4.	Σκοπός και στόχοι	79
2.10.5.	Ρήματα για τη διατύπωση διδακτικών στόχων.....	81
2.10.6.	Χώρος.....	82
2.11.	Το διδακτικό υλικό.....	82
2.12.	Υλικοτεχνική Υποδοχή.....	83
2.12.1.	Δραστηριότητες Σεναρίου	83
2.12.2.	Δραστηριότητες διδασκαλίας	84
2.12.3.	Δραστηριότητες εμπέδωσης του γνωστικού αντικειμένου.....	85
2.13.	Αξιολόγηση.....	85
2.14.	Ανατροφοδότηση	85
2.15.	Παρατηρήσεις και οδηγίες.....	86
2.16.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ	86
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	87
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ	ΣΤΑ	
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ	87
4.1.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1: ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ	88
4.2.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2: ΣΕΡΒΟΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ	92
4.3.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3:	97
4.4.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4:	102
4.5.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5:	105
4.6.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6:	109
4.7.	ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7:	111

4.8. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8:	114
4.9. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 9:	117
4.10. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10:	119
Βιβλιογραφία	125

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

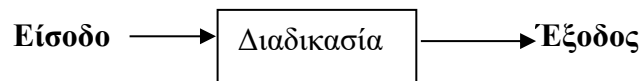
Η έννοια της τεχνικής σχεδίασης (engineering design) αναφέρεται στην κατανόηση και τον έλεγχο φυσικών υλικών (material) και δυνάμεων με στόχο την εξυπηρέτηση των ανθρώπινων αναγκών. Οι μηχανικοί σχεδίασης συστημάτων ελέγχου ασχολούνται με την κατανόηση και τον έλεγχο τμημάτων του περιβάλλοντος τους, με στόχο την παροχή χρήσιμων και οικονομικών προϊόντων στο κοινωνικό τους περίγυρο. Τα τμήματα αυτά του περιβάλλοντος, συχνά, καλούνται συστήματα. Οι δύο βασικοί στόχοι - κατανόηση και έλεγχος - αλληλοσυμπληρώνονται καθώς ο αποτελεσματικός έλεγχος ενός συστήματος προαπαιτεί τόσο την κατανόηση όσο και τη μοντελοποίησή του. Ωστόσο, η διαδικασία σχεδίασης συχνά αντιμετωπίζει συστήματα τα οποία δεν κατανοούμε επαρκώς, όπως για παράδειγμα τα συστήματα χημικών διεργασιών. Στη σημερινή εποχή αποτελεί πρόκληση για τους μηχανικούς σχεδίασης συστημάτων ελέγχου, η μοντελοποίηση και ο έλεγχος σύγχρονων πολύπλοκων και αμοιβαία συσχετιζόμενων συστημάτων, όπως είναι τα συστήματα κυκλοφοριακού ελέγχου, τα συστήματα χημικών διεργασιών και τα ρομποτικά συστήματα. Ταυτόχρονα, δίνεται στους μηχανικούς η ευκαιρία ελέγχου πολλών χρήσιμων και μεγάλου ενδιαφέροντος συστημάτων βιομηχανικού αυτοματισμού. Ο πιο χαρακτηριστικός ίσως ποιοτικός προσδιορισμός της σχεδίασης συστημάτων ελέγχου είναι, καθαυτή, η δυνατότητα του ελέγχου μηχανών και διαδικασιών - βιομηχανικών και οικονομικών - προς όφελος του κοινωνικού συνόλου.

Η σχεδίαση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου βασίζεται στις θεμελιώδεις αρχές της θεωρίας ανάδρασης και της ανάλυσης γραμμικών συστημάτων. Ταυτόχρονα ολοκληρώνει τις θεωρίες δικτύωσης και επικοινωνιών. Κατά συνέπεια, δεν καλύπτει ένα συγκεκριμένο κλάδο εφαρμοσμένων επιστημών αλλά καταλαμβάνει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογής, και απευθύνεται σε πολλές ειδικότητες τεχνικών επιστημόνων όπως είναι οι αεροναυπηγοί οι μηχανικοί περιβάλλοντος καθώς και οι πολιτικοί, χημικοί, μηχανολόγοι και ηλεκτρολόγοι μηχανικοί.

Οι συνιστώσες ενός συστήματος ελέγχου, για παράδειγμα, μπορεί να χαρακτηρίζονται από μηχανικές, χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Επιπλέον, καθώς διευρύνεται η κατανόηση της δυναμικής των επιχειρησιακών, κοινωνικών και πολιτικών συστημάτων, αυξάνονται και οι δυνατότητες να τα ελέγξουμε, χρησιμοποιώντας κάποιο σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Σύστημα αυτομάτου ελέγχου είναι ένα σύνολο διασυνδεδεμένων στοιχείων από το οποίο προκύπτει μια συγκεκριμένη διαμόρφωση (του συστήματος), που με τη σειρά της εξασφαλίζει την επιθυμητή του απόκριση. Η ανάλυση συστημάτων απορρέει, κατά βάση, από τη θεμελίωση της θεωρίας γραμμικών συστημάτων η οποία διέπεται από την αρχή της αιτιώδους συνάφειας (αλληλεξάρτησης) μεταξύ των συνιστωσών ενός συστήματος. Έτσι, μια συνιστώσα ή μια

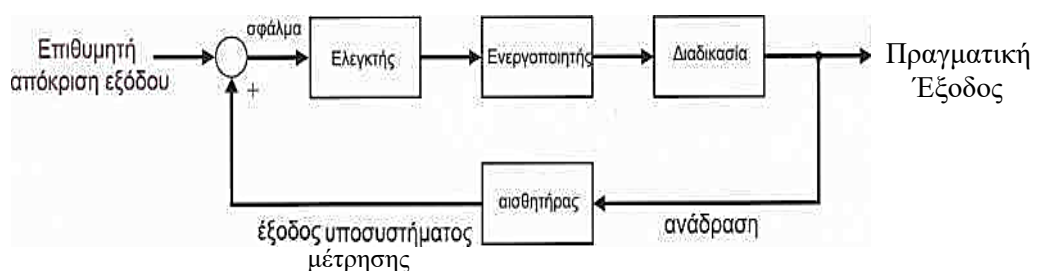
διαδικασία που πρόκειται να υποβληθεί σε έλεγχο, μπορεί να αναπαρασταθεί ως μία δομική μονάδα του συστήματος, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.1. Στα πλαίσια μιας διεργασίας, η σχέση εισόδου/εξόδου είναι μια σχέση αιτίου-αιτιατού (αποτελέσματος). Η εν λόγω διεργασία απαρτίζεται από ένα σύνολο διαδικασιών επεξεργασίας του σήματος εισόδου που στοχεύουν στην παραγωγή μιας μεταβλητής εξόδου η οποία, συχνά, είναι ενισχυμένη κατά κάποιο παράγοντα. Ένα **σύστημα ελέγχου ανοιχτού βρόχου**, για να παράγει την επιθυμητή απόκριση του συστήματος, χρησιμοποιεί έναν ενεργοποιητή (actuator) και έναν ελεγκτή, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Τα συστήματα ελέγχου ανοιχτού βρόχου δεν διαθέτουν κλάδο ανάδρασης (feedback). Τα συστήματα ανοιχτού βρόχου δεν χρησιμοποιούν ανάδραση. Αντί αυτού, αξιοποιούν μια ενεργό διάταξη (ενεργοποιητή) για τον άμεσο έλεγχο μιας διαδικασίας.



Σχήμα 1.1 Αναπαράσταση μιας ελεγχόμενης διαδικασίας



Σχήμα 1.2 Σύστημα ανοιχτού βρόχου (χωρίς ανάδραση)



Σχήμα 1.3 Σύστημα κλειστού βρόχου (με ανάδραση)

Σε αντίθεση με τα συστήματα ανοιχτού βρόχου, ένα σύστημα κλειστού βρόχου αξιοποιεί μια επιπρόσθετη μέτρηση της πραγματικής εξόδου την οποία συγκρίνει με την επιθυμητή απόκριση στην έξοδο. Το σήμα που παράγεται από αυτήν τη μέτρηση καλείται **σήμα ανάδρασης (Feedback signal)**. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζεται ένα σύστημα ελέγχου κλειστού βρόχου με ανάδραση (σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου). Ένα τέτοιο σύστημα έχει την τάση να διατηρεί, δυναμικά, μια προκαθορισμένη σταθερή σχέση μεταξύ των μεταβλητών. Για επιτύχει κάτι τέτοιο, συγκρίνει τιμές αυτών των μεταβλητών (ή συναρτήσεών τους) και χρησιμοποιεί τις προκύπτουσες διαφορές για τη διαμόρφωση ενός σήματος ελέγχου. Η χρήση αξιόπιστων αισθητήρων εξασφαλίζει ότι από τη διαδικασία μέτρησης προκύπτει μια καλή προσέγγιση της πραγματικής εξόδου του συστήματος.

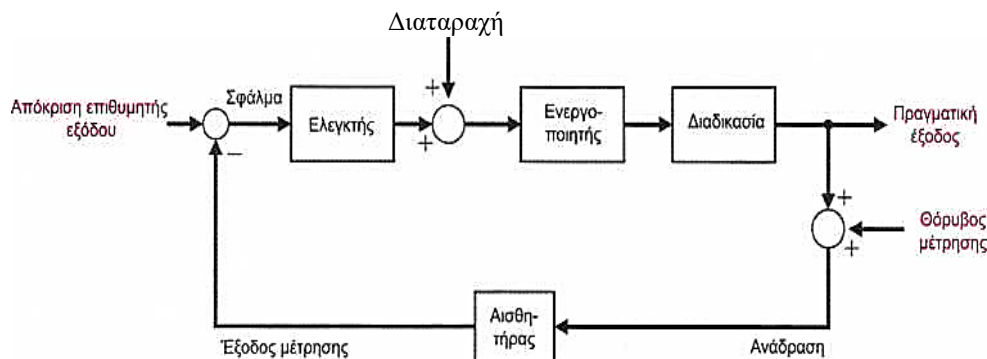
Ένα σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου, χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη ποσότητα του σήματος εξόδου κι ένα σήμα αναφοράς στην είσοδο, για τον έλεγχο της διαδικασίας. Συνήθως η διαφορά μεταξύ της εξόδου της ελεγχόμενης διαδικασίας και του σήματος αναφοράς ενισχύεται και χρησιμοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε βαθμιαία να ελαττώνεται. Γενικά, η διαφορά που λαμβάνεται μεταξύ πραγματικής και επιθυμητής εξόδου ισούται προς το σφάλμα το οποίο στη συνέχεια ρυθμίζεται κατάλληλα από τον ελεγκτή. Η έξοδος του ελεγκτή εξωθεί τον ενεργοποιητή στο να διαμορφώσει τη διαδικασία με τέτοιο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται το σφάλμα. Εάν για παράδειγμα, ένα πλοίο οδηγείται εσφαλμένα προς τα δεξιά, το πηδάλιο ενεργοποιείται κατευθύνοντας το πλοίο προς τα αριστερά. Το σύστημα που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3, είναι ένα σύστημα ελέγχου **αρνητικής ανάδρασης**. Σ' ένα τέτοιο σύστημα, η έξοδος αφαιρείται από την είσοδο. Στη συνέχεια, αυτή η διαφορά αυτή προωθείται την είσοδο του ελεγκτή. Η ανάδραση αποτελεί θεμελιώδη έννοια για την ανάλυση και σχεδίαση συστημάτων ελέγχου.

Σε ένα **σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου** χρησιμοποιείται ένα σήμα που προέρχεται από τη μέτρηση της πραγματικής εξόδου. Το σήμα αυτό επιστρέφει μέσω της ανάδρασης στην είσοδο του συστήματος και συγκρίνεται μ' ένα σήμα αναφοράς που αντιστοιχεί στην επιθυμητή έξοδο.

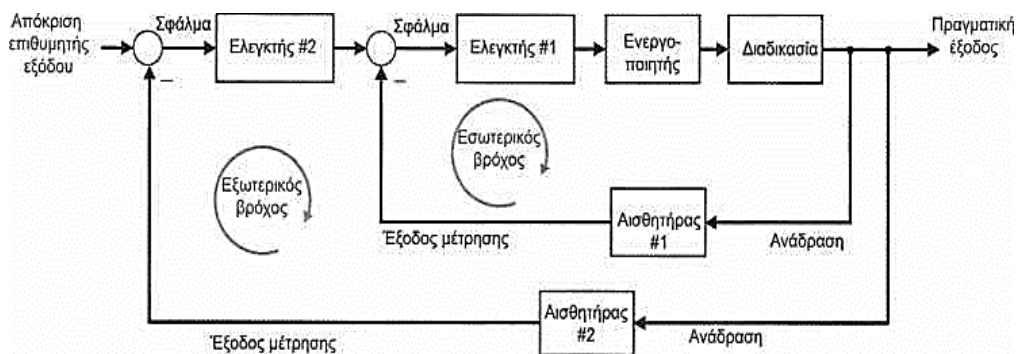
Ο έλεγχος κλειστού βρόχου έχει πολλά πλεονεκτήματα έναντι του ελέγχου ανοιχτού βρόχου. Μεταξύ αυτών είναι η απόρριψη των εξωτερικών διαταραχών και η βελτίωση της διαδικασίας εξασθένισης του θορύβου μέτρησης.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4, ο θόρυβος μέτρησης και οι διαταραχές συμπεριλαμβάνονται ως εξωτερικές εισόδους. Τόσο ο θόρυβος μέτρησης όσο και οι εξωτερικές διαταραχές παρεισδύουν, αναπόφευκτα, στις ρεαλιστικές εφαρμογές και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην πρακτική σχεδίαση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

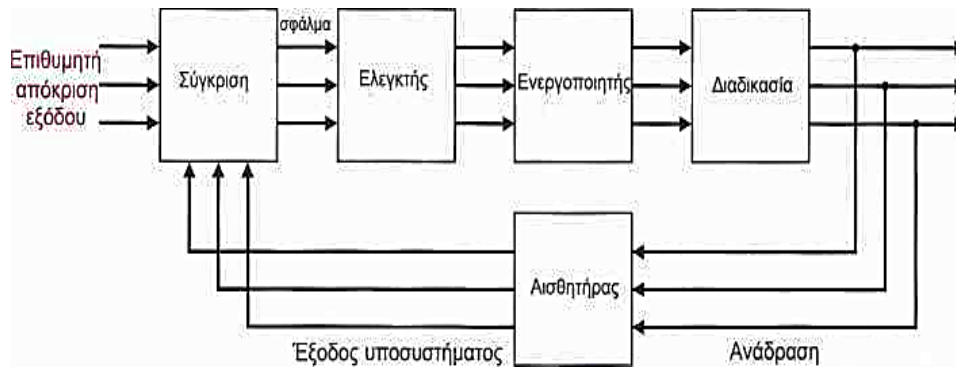
Τα συστήματα ανάδρασης στα σχήματα 1.3 και 1.4 είναι συστήματα απλού βρόχου. Ωστόσο, πολλά συστήματα αυτομάτου ελέγχου περιέχουν περισσότερους από έναν βρόχους ανάδρασης. Στο σχήμα 1.5, παρουσιάζεται ένα σύστημα πολλαπλών βρόχων ανάδρασης με έναν εσωτερικό κι έναν εξωτερικό βρόχο. Σε μια τέτοια περίπτωση τόσο ο εσωτερικός όσο και ο εξωτερικός βρόχος συμπεριλαμβάνουν από έναν αισθητήρα κι έναν ελεγκτή. Παρακάτω στο βιβλίο, θα εξεταστούν και άλλοι τύποι συστημάτων με πολλαπλούς βρόχους ανάδρασης που προσιδιάζουν σε πιο ρεαλιστικές εφαρμογές. Ωστόσο, για να αφομοιώσουμε τα πλεονεκτήματα των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου με ανάδραση, θα εξετάσουμε συστήματα απλού βρόχου. Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης, εύκολα μπορούν να επεκταθούν σε συστήματα πολλαπλών βρόχων.



Σχήμα 1.4 Σύστημα κλειστού βρόχου με εξωτερικές διαταραχές και θόρυβο μέτρησης



Σχήμα 1.5 Σύστημα πολλαπλών βρόχων ανάδρασης με έναν εσωτερικό κι έναν εξωτερικό βρόχο μέτρησης.



Σχήμα 1.6 Σύστημα αυτομάτου ελέγχου πολλαπλών μεταβλητών

Λόγω της αυξανόμενης πολυπλοκότητας των υπό έλεγχο συστημάτων, αλλά και του ενδιαφέροντος για την επίτευξη βέλτιστης συμπεριφοράς, οι τεχνικές υλοποίησης διατάξεων ελέγχου θεωρούνται ολοένα και πιο σημαντικές κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας. Επιπλέον, καθώς τα συστήματα γίνονται πιο πολύπλοκα, πρέπει να εξετάζονται διεξοδικά η αμοιβαίες σχέσεις που αναπτύσσονται ανάμεσα στις υπό έλεγχο μεταβλητές.

Ένα κοινότοπο παράδειγμα συστήματος ανοιχτού βρόχου είναι ο φούρνος μικροκυμάτων ο οποίος πρέπει, κατά περίπτωση, να λειτουργεί για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Ένα παράδειγμα κλειστού βρόχου, είναι το σύστημα αυτοκινήτου-οδηγού. Ο οδηγός (με την προϋπόθεση ότι έχει τα μάτια του/της ανοιχτά) προσδιορίζει οπτικά τη θέση του αυτοκινήτου στο δρόμο, προβαίνει στις απαραίτητες ρυθμίσεις χρησιμοποιώντας το τιμόνι. Η προσθήκη ανάδρασης σ' ένα σύστημα μας δίνει τη δυνατότητα ελέγχου. Έτσι μπορούμε να επιτύχουμε την επιθυμητή απόκριση. Ταυτόχρονα, βελτιώνει σημαντικά την ακρίβεια του συστήματος. Απαιτεί, ωστόσο, ιδιαίτερη προσοχή σε ότι αφορά την ευστάθεια του.

(DORF & BISHOP, 2016, pp. 14-16)

1.2. ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η χρήση ανάδρασης στα συστήματα ελέγχου έχει μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα ιστορία. Η πρώτη εφαρμογή ανάδρασης καταγράφεται στην αρχαία Ελλάδα, σ' ένα μηχανισμό ρύθμισης στάθμης υγρών (φλοτέρ), περίπου το 300 π.Χ.[1,2,3]. Το ρολόι νερού του Κτησίβιου χρησιμοποιεί ένα τέτοιου τύπου μηχανισμό (πρόβλημα 1.1). Κατά το 250 π.Χ, ο Φίλων παρουσιάζει την πρώτη λάμπα λαδιού, στην οποία, επίσης, χρησιμοποιείται ένα είδος φλοτέρ για τη διατήρηση του καύσιμου ελαίου σε σταθερή στάθμη.

Ο Ήρων ο Αλεξανδρινός που έζησε το πρώτο αιώνα μ.Χ, εξέδωσε ένα βιβλίο με τίτλο «Πνευματικά» (Pneumatica), στο οποίο σκιαγραφούνται διάφοροι μηχανισμοί ρύθμισης της στάθμης υγρών με χρήση φλοτέρ.

Το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου που εφευρέθηκε στην Ευρώπη, είναι ο ρυθμιστής θερμοκρασίας και αποδίδεται στον Ολλανδό Cornells Drebbel (1572-1663). Ο Dennis Papin (1647- 1712) εφεύρε τον πρώτο ρυθμιστή πίεσης για ατμολέβητες, το 1681. Ο ρυθμιστής πίεσης του Papin είναι μια ασφαλιστική διάταξη παρόμοια με τη βαλβίδα εκτόνωσης που χρησιμοποιείται σήμερα στις χύτρες ταχύτητας.

Κατά γενική ομολογία, το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου κλειστού βρόχου που χρησιμοποιήθηκε σε βιομηχανικό περιβάλλον, είναι η διάταξη ελέγχου κινούμενης σφαίρας (flyball governor). Εφευρέθηκε το 1769 από τον James Watt χρησιμοποιήθηκε στο σύστημα ελέγχου ταχύτητας μιας ατμομηχανής. Η μηχανική αυτή διάταξη, που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.7, μετρούσε την ταχύτητα περιστροφής του άξονα κίνησης και χρησιμοποιούσε τις διαβαθμίσεις στην κίνηση μιας μεταλλικής σφαίρας για τον έλεγχο της βαλβίδας ατμού και, κατά συνέπεια, της ποσότητας του ατμού που περνούσε μέσα στη μηχανή.

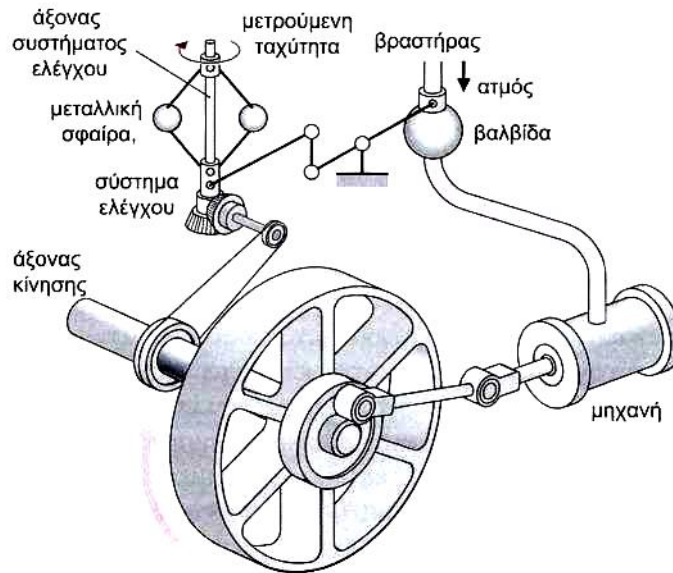
Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.7, ο άξονας του συστήματος ελέγχου συνδέεται μέσω γραναζιών με τον άξονα κίνησης της ατμομηχανής. Όταν αυξάνεται η ταχύτητα περιστροφής, οι σφαίρες απομακρύνονται από τον άξονα του συστήματος ελέγχου, λόγω της φυγόκεντρης δύναμης. Στην περίπτωση αυτή η βαλβίδα κλείνει και η μηχανή επιβραδύνεται.

Ιστορικά, σύμφωνα με ισχυρισμούς της Ρωσίας, το πρώτο σύστημα αυτομάτου ελέγχου ήταν ο αυτόματος ρυθμιστής στάθμης νερού με διακόπτη τύπου φλοτέρ, που εφευρέθηκε από τον I. Polzunov 1765. Το σύστημα αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 1.8. Ο διακόπτης φλοτέρ ανιχνεύει τη στάθμη του νερού και ελέγχει μια βαλβίδα η οποία με τη σειρά της ελέγχει τη εισαγωγή νερού στο βραστήρα.

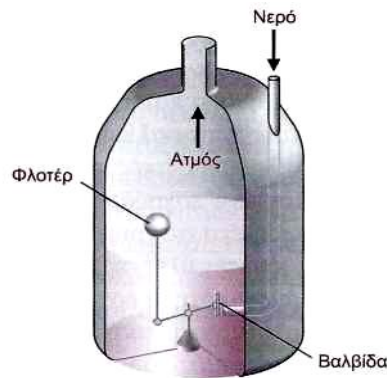
Κατά τη διάρκεια του επόμενου αιώνα η ανάπτυξη των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου χαρακτηρίζεται από εμπνευσμένες, διαισθητικά καθοδηγούμενες ανακαλύψεις.

Ωστόσο, η προσπάθεια αύξησης της ακρίβειας των συστημάτων, είχε ως αποτέλεσμα την επιβράδυνση της εξασθένησης των μεταβατικών ταλαντώσεων ή ακόμη και τη δημιουργία ασταθών συστημάτων. Η ανάγκη της κατάρτισης μιας θεωρίας αυτομάτου ελέγχου ήταν πλέον επιτακτική. Το 1868 ο J.C. Maxwell διατύπωσε μια μαθηματική θεωρία σχετική με τον αυτόματο έλεγχο, χρησιμοποιώντας μια διαφορετική εξίσωση μοντελοποίησης ενός ελεγκτή.

Η μελέτη του εξέταζε την επίδραση διαφόρων παραμέτρων του συστήματος στη συνολική του συμπεριφορά. Την ίδια περίοδο, ο I. A. Vyshnegradskii διατύπωσε μια αντίστοιχη μαθηματική θεωρία για τους ρυθμιστές (regulators).



Σχήμα 1.7 Διάταξη ελέγχου κινούμενης σφαίρας του Watt.



Σχήμα 1.8 Ρυθμιστής στάθμης νερού με διακόπτη τύπου φλοτέρ.

Πριν το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, τόσο η θεωρία όσο και η πρακτική των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στις ΗΠΑ και τη Δ. Ευρώπη ακολούθησαν διαφορετικούς δρόμους ανάπτυξης απ' αυτούς που ακολούθησαν στη Ρωσία και την Α. Ευρώπη. Την ώθηση για τη χρήση συστημάτων ανάδρασης στις ΗΠΑ, την έδωσε η ανάπτυξη των συστημάτων τηλεφωνίας και των ηλεκτρονικών ενισχυτών με ανάδραση από τους Bode, Nyquist και Black στα εργαστήρια της Bell Telephone.

Ο Harold S. Black αποφοίτησε από το Πολυτεχνείο του Worcester το 1921 και εντάχθηκε στο δυναμικό των εργαστηρίων της AT&T (American Telegraph and Telephone). Το 1921, ο κύριος στόχος των εργαστηρίων της Bell Telephone ήταν η βελτίωση των συστημάτων τηλεφωνίας και της σχεδίασης ενισχυτών σήματος. Ο Black ανέλαβε τη γραμμικοποίηση και τη δημιουργία συνθηκών ευσταθούς λειτουργίας με βελτιωμένα χαρακτηριστικά, των ενισχυτών που χρησιμοποιούνταν σε σειριακή διάταξη για να μεταφέρουν φωνητικά σήματα σε αποστάσεις μερικών χιλιάδων μιλίων.

Σε σχετική αναφορά του, ο Black σημειώνει:

«Ήταν το πρωί της Τρίτης 2 Αυγούστου του 1927, όταν η ιδέα ενός ενισχυτή αρνητικής ανάδρασης άστραψε στο νου μου από το πουθενά, καθώς πήγαινα στη δουλειά μου διασχίζοντας με Ferry τον ποταμό Hudson της περιοχής Lackawanna. Για περισσότερα από 50 χρόνια ζύγιαζα στο μυαλό μου πώς και γιατί εμφανίστηκε, έτσι ξαφνικά, εκείνη η σκέψη. Όμως και σήμερα ακόμη, δεν μπορώ να πω τίποτε παραπάνω απ' αυτά που θα έλεγα εκείνο το πρωί. Το μόνο που ξέρω είναι ότι μετά από αρκετά χρόνια σκληρής δουλειάς πάνω στο συγκεκριμένο πρόβλημα, διαπίστωσα ξαφνικά ότι αν γύριζα στην είσοδο του ενισχυτή το σήμα εξόδου με ανεστραμμένη φάση (διαφορά 180°), εξασφαλίζοντας την απουσία παρασιτικών ταλαντώσεων (εξασφαλίζοντας ότι το σύστημα δεν κελαηδάει, όπως το είπαμε αργότερα), θα πετύχαινα ό,τι ακριβώς ήθελα: να εξουδετερώσω την παραμόρφωση στην έξοδο. Ανοιξα την πρωινή μου εφημερίδα, τη New York Times, και πάνω σε μια σελίδα της σχεδίασα ένα απλό κανονικό διάγραμμα ενός ενισχυτή αρνητικής ανάδρασης, μαζί με τις αντίστοιχες εξισώσεις του ενισχυτή και λαμβάνοντας υπόψη την παρουσία της ανάδρασης. Έβαλα την υπογραφή μου κάτω από το σχέδιο και είκοσι λεπτά αργότερα, όταν πλέον είχα φτάσει στα εργαστήρια της οδού West St 463, ο Earl Blessing το είδε, το κατανόησε και το συνυπέγραψε. Οραματίστηκα ένα τέτοιο κύκλωμα ως υλοποίηση εξαιρετικά γραμμικών ενισχυτών (με στάθμη αρνητικής ανάδρασης της τάξης των 40-50 dB).

Ωστόσο, παρέμενε ένα σημαντικό ερώτημα: πώς ήξερα ότι θα μπορούσα ν' αποφύγω τις ενδογενείς ταλαντώσεις, σ' ένα τόσο μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων όταν μάλιστα ήταν πολλοί αυτοί που αμφέβαλαν για την ευστάθεια ενός τέτοιου συστήματος; Η πεποίθησή στην ορθότητα της δικής μου άποψης βασιζόταν αφενός στα αποτελέσματα των εργασιών που είχα κάνει δύο χρόνια νωρίτερα, σχετικά με κάποια καινοτόμα κυκλώματα ταλαντωτών και αφετέρου στην εργασία μου - τρία χρόνια νωρίτερα πάνω στη σχεδίαση τερματικών κυκλωμάτων - η οποία περιελάμβανε τα αντίστοιχα φίλτρα και την ανάπτυξη των μαθηματικών εργαλείων για την ανάλυση μικρών υπεραστικών δικτύων».

Η ανάλυση στο πεδίο της συχνότητας (frequency domain) χρησιμοποιήθηκε αρχικά για την περιγραφή των φασματικών χαρακτηριστικών (εύρος ζώνης και άλλες μεταβλητές συχνότητας) των ενισχυτών ανάδρασης (feedback amplifiers). Αντίθετα με όλα αυτά, πολλοί διαπρεπείς μαθηματικοί και εμπειροτέχνες μηχανικοί της πρώην Σοβιετικής Ένωσης υπήρξαν εμπνευστές αλλά και κυρίαρχοι της θεωρίας ελέγχου στο πεδίο του χρόνου. Οι Σοβιετικοί, λοιπόν, προτιμούσαν θεωρητικές διατυπώσεις στο πεδίο του χρόνου, χρησιμοποιώντας διαφορικές εξισώσεις.

Ο έλεγχος μιας αυτοματοποιημένης βιομηχανικής διαδικασίας (διαδικασία κατασκευής, διαδικασία μαζικής παραγωγής κλπ), συχνά καλείται αυτοματισμός (automation). Οι αυτοματισμοί είναι διαδεδομένοι μεταξύ άλλων στις χημικές βιομηχανίες, στις μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, στη βιομηχανία παραγωγής χαρτιού, αυτοκινήτων και κατεργασίας χάλυβα. Η έννοια του αυτοματισμού κατέχει κυρίαρχο ρόλο στη βιομηχανική μας κοινωνία.

Για να αυξηθεί η παραγωγή ενός εργοστασίου ανά εργαζόμενο, χρησιμοποιούνται αυτόματες μηχανές. Η χρήση τους εξασφαλίζει, επιπλέον, τη μετατόπιση του κόστους που ανακύπτει από την αύξηση των μισθών και τις πληθωριστικές πιέσεις. Κύριο μέλημα των βιομηχανιών είναι η εξασφάλιση ικανοποιητικής παραγωγικότητας ανά εργαζόμενο. Ως παραγωγικότητα ορίζουμε το λόγο της φυσικής εξόδου (παραγόμενο προϊόν εκτιμώμενο σε χρηματικές μονάδες) προς τη φυσική είσοδο του συστήματος (στη γενική περίπτωση, ενέργεια, πρώτες ύλες, εργατοώρες κλπ, σε χρηματικές μονάδες). Στην περίπτωση μας αναφερόμαστε στην παραγωγικότητα εργασίας (μερική παραγωγικότητα) που εκφράζεται από την ποσότητα παραγόμενου προϊόντος (πραγματική έξοδος) ανά εργατοώρα.

Στη σύντομη ιστορία των ΗΠΑ, ο μετασχηματισμός του εργατικού δυναμικού (labor force) ακολουθεί τη βαθμιαία εκμηχάνιση της εργασίας η οποία, προοδευτικά, τίθεται στην υπηρεσία μιας εξελικτικής διαδικασίας που μετατρέπει την αγροτική δημοκρατία σ' ένα ισχυρό βιομηχανικό κράτος. Το 1820, το εργατικό δυναμικό που απασχολείται στον αγροτικό τομέα ξεπερνά το 70%. Έως το 1900, το ποσοστό αυτό γίνεται μικρότερο του 40%, ενώ σήμερα οι αγροτικές εργασίες απασχολούν ποσοστό εργαζομένων που δεν υπερβαίνει το 5%.

Το 1925, για την εξόρυξη 520 εκατομμυρίων τόνων ασφαλτούχου άνθρακα και λιγνίτη, απασχολούνταν 588000 εργαζόμενοι - περίπου το 1.3% του εθνικού εργατικού δυναμικού. Όλοι τους εργάζονταν κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Ως το 1980, η παραγωγή αυξήθηκε στα 774 εκατομμύρια τόνους ενώ το εργατικό δυναμικό μειώθηκε στις 208000.

Από αυτούς μόνο οι 136000 εργάζονταν κάτω από το έδαφος στις διαδικασίες εξόρυξης. Το υψηλό επίπεδο εκμηχάνισης και η υψηλή παραγωγικότητα των ορυχείων επιφάνειας είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή 482 εκατομμυρίων τόνων προϊόντος -δηλαδή το 62% της συνολικής παραγωγής - χρησιμοποιώντας μόνο 72000 εργαζομένους.

Η κήρυξη του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου, έδωσε μεγάλη ώθηση στην ανάπτυξη των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Αυτό συνέβη διότι εμφανίστηκε επιτακτικά η ανάγκη σχεδίασης και κατασκευής ενός μεγάλου πλήθους στρατιωτικών συστημάτων που βασίζονται στην προσέγγιση της διαδικασίας ελέγχου μέσω ανάδρασης. Μεταξύ άλλων αναφέρουμε τις διατάξεις αυτόματης οδήγησης αεροπλάνων (αυτόματος πιλότος), τις διατάξεις ελέγχου θέσης οπλικών συστημάτων και τις διατάξεις ελέγχου κεραιών συστημάτων αεροναυτιλίας (radar).

Η πολυπλοκότητα και η αναμενόμενη επιθυμητή συμπεριφορά των στρατιωτικών συστημάτων δημιούργησε την ανάγκη για επέκταση των μεθόδων, στρέφοντας ενδιαφέρον γενικότερα στον αυτόματο έλεγχο και ειδικότερα στην ανάπτυξη νέων θεωρητικών προσεγγίσεων και νέων μεθόδων. Πριν το 1940, οι διαδικασίες σχεδίασης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου ήταν εμπειρικές, και βασίζονταν κυρίως στη μέθοδο δοκιμής-διόρθωσης σοάδ,ματος (trial - error). Κατά τη δεκαετία του 1940, διατυπώνονταν με ταχείς ρυθμούς αναλυτικές και μαθηματικές μέθοδοι καθιστώντας τον αυτόματο έλεγχο μια ιδιαίτερη εφαρμοσμένη επιστήμη.

Ένα άλλο παράδειγμα ανακάλυψης σχεδιαστικής λύσης για τον έλεγχο συστήματος ήταν η δημιουργία ενός κατευθυντικού οπλικού μηχανισμού από τον David B. Parkinson των εργαστηρίων της Bell Telephones. Την Άνοιξη του 1940, ο Parkinson ένας 29χρονος μηχανικός, προσπαθούσε να βελτιώσει τον αυτόματο καταγραφέα στάθμης, ένα όργανο που παρήγαγε διαγράμματα καταγεγραμμένων τιμών της τάσης σε ειδικό χαρτί. Κρίσιμο στοιχείο της όλης διάταξης ήταν ένα μικρό ποτενσιόμετρο που έλεγχε την πένα του καταγραφέα μέσω ενός ενεργοποιητή.

Ο Parkinson οραματίστηκε ένα αντιαεροπορικό πυροβόλο ειδικά κατασκευασμένο για κατάρριψη αεροπλάνων. Ο ίδιος αναφέρει:

«Μετά από τρεις-τέσσερις βολές κάποιος από την ομάδα μου χαμογέλασε και μου έγενεψε να πλησιάσω στο όπλο. Όταν πήγα κοντά μου έδειξε την αριστερή προεξοχή του άξονα περιστροφής του όπλου. Εκεί ήταν προσαρτημένο το ποτενσιόμετρο ελέγχου του καταγραφέα μου. Το επόμενο πρωί, ο Parkinson, συνειδητοποίησε τη σημασία του ονείρου του:

Εάν το ποτενσιόμετρό μου μπορούσε να ελέγχει την πένα του καταγραφέα, κάτι παρόμοιο και με την κατάλληλη σχεδίαση, θα μπορούσε να ελέγξει ένα αντιαεροπορικό όπλο».

Μετά από πολλές προσπάθειες, την 1η Δεκεμβρίου του 1941, δόθηκε για δοκιμή στο στρατό των ΗΠΑ, ένα κατάλληλα σχεδιασμένο μοντέλο. Τα πρότυπα προς παραγωγή ήταν έτοιμα στις αρχές του 1943. Τελικά διοχετεύτηκαν 3000 ελεγκτές πυροβόλων. Η είσοδος του ελεγκτή τροφοδοτούνταν από ένα ραντάρ. Το πυροβόλο στόχευε υπολογίζοντας την προσεχή θέση του αεροπλάνου από δεδομένα της τρέχουσας θέσης του.

Οι διάφορες τεχνικές ανάλυσης στο πεδίο της συχνότητας κυριαρχούσαν στο χώρο του αυτομάτου ελέγχου και μετά το Β' Παγκόσμιο Πόλεμο. Ιδιαίτερη έμφαση δόθηκε στη χρήση του μετασχηματισμού Laplace και του πεδίου μιγαδικών συχνοτήτων.

Κατά τη δεκαετία του 1950, στα πλαίσια της αντίστοιχης θεωρίας αυτομάτου ελέγχου, δόθηκε έμφαση στην ανάπτυξη και τη χρήση μεθόδων του πεδίου της μιγαδικής μεταβλητής s (s -plane) εστιάζοντας ιδιαίτερα στη μέθοδο του γεωμετρικού τόπου ριζών. Στη δεκαετία του 1980, η χρήση ψηφιακών Η/Υ για την υλοποίηση των συνιστωσών ελέγχου γίνεται ρουτίνα. Αυτή η τεχνολογία με όλα τα νέα στοιχεία ελέγχου που εκτελούσαν ταχύτατα τους υπολογισμούς, ήταν κάτι πρωτόγνωρο για τους μηχανικούς ελέγχου που ως τώρα διέθεταν πολύ φτωχότερα μέσα. Σήμερα, στις ΗΠΑ είναι εγκατεστημένα περισσότερα από 400000 ψηφιακά συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των διαδικασιών μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η μέτρηση και ο ταυτόχρονος έλεγχος ποικίλων μεταβλητών του συστήματος από το Η/Υ.

Με την αποστολή του Sputnik και την είσοδο στη διαστημική εποχή, δίνεται νέα ώθηση στις τεχνικές του αυτομάτου ελέγχου. Δημιουργούνται νέες ανάγκες σχεδιασμού πολύπλοκων συστημάτων αυτομάτου ελέγχου υψηλής ακρίβειας για τους πυραύλους και τις ανιχνευτικές διατάξεις διαστημικής χρήσης. Επιπλέον, η απαίτηση ελαχιστοποίησης του βάρους των δορυφόρων και ανάγκη διενέργειας ελέγχων με μεγάλη ακρίβεια, έφερε στο προσκήνιο ένα νέο πεδίο, αυτό του βέλτιστου ελέγχου. Εξαιτίας αυτών των απαιτήσεων, οι ποικίλες μέθοδοι στο πεδίο του χρόνου που αναπτύχθηκαν, μεταξύ άλλων, από τους Liapunov και Minorsky, έγιναν αντικείμενο ζωηρού ενδιαφέροντος κατά τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Προς την ίδια κατεύθυνση συνεισφέρουν και οι σύγχρονες θεωρίες βέλτιστου ελέγχου που αναπτύχθηκαν από τον Σοβιετικό L. S. Pontryagin και τον R. Bellman στις ΗΠΑ καθώς και διάφορες πρόσφατες μελέτες που σχετίζονται με την ανάλυση των εύρωστων συστημάτων (robust systems).

Σήμερα, είναι πλέον ξεκάθαρο ότι αμφότερες οι αναλύσεις, στα πεδία χρόνου και συχνότητας, θα πρέπει να λαμβάνονται εξίσου υπόψη όταν αναλύουμε και σχεδιάζουμε συστήματα αυτομάτου ελέγχου. Μια πρόσφατη, αξιοσημείωτη καινοτομία με παγκόσμιο αντίκτυπο είναι η ραδιοπλοήγηση μέσω δορυφόρου, γνωστή ως GPS, που αναπτύχθηκε στις ΗΠΑ. Στο μακρινό παρελθόν επινοήθηκαν ποικίλες αισθητηριακές διατάξεις και στρατηγικές προκειμένου να κρατούν γνωστή ή ελεγμένη πορεία οι εξερευνητές των ωκεανών. Μεταξύ των μεθόδων που αναπτύχθηκαν συμπεριλαμβάνονται η πορεία με γνώμονα τις ακτογραμμές, η χρήση της πυξίδας για τον εντοπισμό του Βορρά και η χρήση εξάντα για τη μέτρηση των γωνιών των αστέρων, της σελήνης και του ήλιου πάνω από τον ορίζοντα.

Οι πρώτοι εξερευνητές ήταν σε θέση να υπολογίζουν με ακρίβεια το γεωγραφικό πλάτος, αλλά όχι και το γεωγραφικό μήκος. Αυτή η αδυναμία συνεχίστηκε μέχρι, περίπου, το 1700 όταν η κατασκευή του χρονομέτρου έκανε εφικτή, σε συνδυασμό με τον εξάντα, την εκτίμηση του γεωγραφικού μήκους. Τα συστήματα ραδιοπλοήγησης έκαναν την εμφάνισή τους στις αρχές του εικοστού αιώνα και χρησιμοποιήθηκαν στο Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Με την εκτόξευση του Σπούτνικ και την είσοδο στη διαστημική εποχή, διαπιστώθηκε ότι τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από τους δορυφόρους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πλοήγηση στο έδαφος μέσω της μετατόπισης Doppler των ραδιοσημάτων που λαμβάνονται. Οι διαδικασίες έρευνας και ανάπτυξης μεσουράνησαν κατά τη δεκαετία του 1990 όταν 24 δορυφόροι (γνωστοί ως GPS) έλυσαν τα θεμελιώδη προβλήματα που αντιμετώπιζαν οι εξερευνητές για πολλούς αιώνες παρέχοντας έναν αξιόπιστο μηχανισμό εντοπισμού της τρέχουσας θέσης. Η τεχνολογία GPS είναι ελεύθερα προσβάσιμη σε παγκόσμιο επίπεδο και παρέχει πολύ αξιόπιστες πληροφορίες για τη θέση και το χρόνο, οποιαδήποτε στιγμή της μέρας ή της νύχτας σε κάθε μέρος του κόσμου. Το σύστημα GPS, ως αισθητήρας θέσης (και ταχύτητας), είναι ο πυλώνας των ενεργών συστημάτων ελέγχου πλοήγησης στον αέρα, το έδαφος και τους ωκεανούς. Τα συστήματα GPS βοηθούν το ιατρικό προσωπικό και τα σώματα αντιμετώπισης έκτακτης ανάγκης να σώζουν ζωές και μας βοηθά στις καθημερινές μας δραστηριότητες συμπεριλαμβάνοντας, μεταξύ άλλων, τον έλεγχο των δικτύων διανομής ενέργειας, τον τραπεζικό τομέα, τη γεωργία και την τοπογραφία.

Στον πίνακα 1.1 συνοψίζεται η ιστορία της ανάπτυξης των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Πίνακας 1.1 Συνοπτική επισκόπηση της ιστορίας των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

1769-	Ο James Watt παρουσιάζει τη διάταξη ελέγχου κινούμενης σφαίρας (flyball governor) για τον έλεγχο της ταχύτητας περιστροφής μιας ατμομηχανής. Η εφεύρεση της ατμομηχανής αναφέρεται συχνά στη Μ. Βρετανία ως το σημείο εκκίνησης της Βιομηχανικής επανάστασης. Στη διάρκεια της Βιομηχανικής επανάστασης σημειώθηκαν σημαντικές εξελίξεις στον τομέα της Μηχανολογίας, η οποία ως γνωστό αντικείμενο προηγείται ιστορικά του αυτοματισμού.
1800-	Παρουσιάζεται η ιδέα της Eli Whitney για την κατασκευή ανταλλακτικών στην παραγωγή μουσκέτων. Η πρόταση της Whitney αναφέρεται συχνά και ως σημείο έναρξης της μαζικής παραγωγής προϊόντων.
1868-	Ο James Maxwell διατυπώνει τη σχετική θεωρία για το σύστημα ελέγχου της ατμομηχανής (flyball governor).
1913-	Ο Henry Ford κατασκευάζει μια μηχανή συναρμολόγησης για την παραγωγή αυτοκινήτων.
1927-	Ο H. S. Black συλλαμβάνει την έννοια της αρνητικής ανάδρασης στους ενισχυτές. Ο H. W. Bode παρουσιάζει την ανάλυση των ενισχυτών ανάδρασης.
1932-	Ο Nyquist παρουσιάζει μια μέθοδο ανάλυσης της ευστάθειας των συστημάτων.
1952-	Ανάπτυξη του αριθμητικού ελέγχου (Numerical Control ή NC) στο M.I.T για τον έλεγχο των εργαλειομηχανών.
1954-	Ο G. Devol εξελίσσει το σύστημα προγραμματισμένης μεταφοράς άρθρου, κάτι που θεωρείται το πρώτο βήμα για τη σχεδίαση βιομηχανικών ρομπότ.
1957-	Ο Sputnik εγκαινιάζει τη διαστημική εποχή. Ακολουθεί η ελαχιστοποίηση του μεγέθους των Η/Υ και νέες προηγμένες τεχνικές αυτομάτου ελέγχου.
1960-	Εμφανίζεται το πρώτο αυτόνομο ρομπότ, που βασίζεται σε σχέδια του G. Devol. Εγκαθίσταται το 1961 για την εξυπηρέτηση μηχανών παραγωγής χυτευμάτων (χυτών εξαρτημάτων).
1970-	Εξέλιξη της μοντελοποίησης συστημάτων μέσω των μεταβλητών κατάστασης και ανάπτυξη μεθόδων βέλτιστου ελέγχου.
1980-	Μελετάται σε ευρεία κλίμακα η σχεδίαση εύρωστων συστημάτων.
1983-	Εισαγωγή των προσωπικών Η/Υ (και συνακόλουθα του λογισμικού σχεδίασης και ελέγχου συστημάτων). Καθίστανται διαθέσιμα στους μηχανικούς εργαλεία σχεδίασης.
1990-	Οι εξαγωγικές κατασκευαστικές εταιρίες υιοθετούν με έμφαση τα συστήματα αυτοματισμού.
1994-	Ευρεία χρήση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου στη βιομηχανία αυτοκινήτων. Η διαδικασία παραγωγής απαιτεί αξιόπιστα και εύρωστα συστήματα.
1997-	Το πρώτο αυτόνομο διαστημικό όχημα, γνωστό ως <i>Sojourner</i> εξερευνά την επιφάνεια του πλανήτη Άρη.
1998-2003	Πρόοδος στον τομέα της μικρό- και νανοτεχνολογίας. Κατασκευάζονται οι πρώτες ευφυείς μικρομηχανές και αναπτύσσονται λειτουργικές νανομηχανές.
2007	Η αποστολή Orbital Express επιτυγχάνει το πρώτο αυτόνομο διαστημικό ραντεβού το οποίο συμπεριελάμβανε αυτόματη προσάραξη του σκάφους.

(DORF & BISHOP, 2016, pp. 16-21)

1.3. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.3.1. ΦΥΣΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Γενικά με τον όρο **φυσικό σύστημα ή απλά σύστημα (system)**, ορίζουμε ένα σύνολο από φυσικά στοιχεία κατάλληλα διασυνδεδεμένα, των οποίων η λειτουργία (τόσο σε ατομικό όσο και σε συλλογικό επίπεδο) διέπεται από διάφορους φυσικούς νόμους.

Το είδος του φυσικού συστήματος (π.χ. ηλεκτρικό, μηχανικό, ηλεκτρο-μηχανικό, υδραυλικό, κ.λ.π.), καθορίζεται από το είδος των φυσικών στοιχείων που το απαρτίζουν καθώς και από τους φυσικούς νόμους από τους οποίους αυτά διέπονται. Για παράδειγμα, τα φυσικά στοιχεία που απαρτίζουν ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, μπορεί να είναι αντιστάσεις, πηνία, πυκνωτές, κ.λ.π. Στην περίπτωση λοιπόν ενός ηλεκτρικού κυκλώματος, οι κυκλωματικές εξισώσεις του κάθε στοιχείου καθώς και οι δύο νόμοι του Kirchhoff (τάσεων-ρευμάτων), αποτελούν τους φυσικούς νόμους που διέπουν τη λειτουργία του συγκεκριμένου φυσικού συστήματος.

Οι επιμέρους συνιστώσες (φυσικά στοιχεία) που συνθέτουν ένα φυσικό σύστημα, δεν είναι απαραίτητο να είναι του ιδίου τύπου. Για παράδειγμα, μπορεί να είναι υδραυλικές, πνευματικές, ηλεκτρονικές, μηχανικές κ.λ.π. ή και οποιοσδήποτε συνδυασμός αυτών.

Αυτό όμως που έχει σημασία και που πρέπει να γίνει κατανοητό είναι ότι, με τη συνεργασία τους δηλαδή με τη ταυτόχρονη δράση και αλληλεπίδρασή τους, παράγεται συγκεκριμένο έργο το οποίο στην ουσία χαρακτηρίζει και το σύστημα. Προφανώς, το συγκεκριμένο έργο δεν θα μπορούσε να παραχθεί εάν η κάθε μια συνιστώσα ενεργούσε ξεχωριστά από μόνη της.

Ως εγκατάσταση (plant ή process), ορίζουμε οποιοδήποτε υπό έλεγχο φυσικό σύστημα. Δηλαδή, ως εγκατάσταση μπορεί για παράδειγμα να θεωρηθεί το σύνολο των εξαρτημάτων μιας μηχανής, ή ακόμη και ένα σύνολο μηχανών που συνεργάζονται και εκτελούν μια συγκεκριμένη λειτουργία.

Από μαθηματικής σκοπιάς, το σύστημα ορίζεται ως το μαθηματικό μοντέλο της φυσικής διαδικασίας. εκφράζεται μέσω ενός μαθηματικού τελεστή και αποτελεί ένα μετασχηματισμό (απεικόνιση) των εισόδων (ή διεγέρσεων), στις εξόδους (ή αποκρίσεις) του συστήματος.

Ως **περιβάλλον (environment)** ενός φυσικού συστήματος, χαρακτηρίζουμε οτιδήποτε δεν ανήκει στο φυσικό σύστημα και έχει άμεση ή έμμεση επίδραση σε αυτό. Προφανώς, στην ανάλυση των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου, μιλάμε για μη απομονωμένα φυσικά συστήματα. Δηλαδή, συστήματα που ανταλλάσσουν ενέργεια με το περιβάλλον τους.

Οποιοδήποτε φυσικό μέγεθος από τον περιβάλλοντα χώρο, έχει επίδραση (επιθυμητά ή μη) στο φυσικό σύστημα, αποτελεί **είσοδο (input)** του συστήματος. Σε αναλογία, οποιαδήποτε επίδραση από την πλευρά του φυσικού συστήματος στον περιβάλλοντα χώρο, αποτελεί **έξοδο (output)** του συστήματος.

Στη γενική περίπτωση, οι εισόδοι και οι έξοδοι ενός συστήματος είναι χρονικά μεταβαλλόμενες ποσότητες και χαρακτηρίζονται ως μεταβλητές εισόδου (input variables) και μεταβλητές εξόδου (output variables), αντίστοιχα. Ανάλογα δε του πλήθους των εισόδων-εξόδων που διαθέτει ένα σύστημα, κατατάσσεται σε μία από τις τέσσερις παρακάτω κατηγορίες:

- Σύστημα μιας εισόδου μιας εξόδου (Single Input - Single Output system, SISO system)
- Σύστημα μιας εισόδου πολλών εξόδων (Single Input - Multi Output system, SIMO system)
- Σύστημα πολλών εισόδων μιας εξόδου (Multi Input - Single Output system, MISO system)
- Σύστημα πολλών εισόδων πολλών εξόδων (Multi Input - Multi Output system, MIMO system)

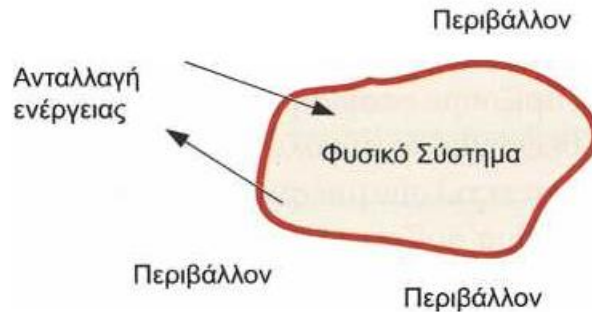
Οι τρεις τελευταίες κατηγορίες συστημάτων, χαρακτηρίζονται γενικότερα ως πολυμεταβλητά συστήματα (multivariable systems). Η απλοποιημένη μορφή παράστασης ενός συστήματος, δείχνεται στο σχ. 1.10.

Στην περίπτωση του πολυμεταβλητού συστήματος (σχ. 1.10 β), αντί για μία είσοδο και μία έξοδο, αναφερόμαστε για το διάνυσμα εισόδων και το διάνυσμα εξόδων αντίστοιχα. Δηλαδή

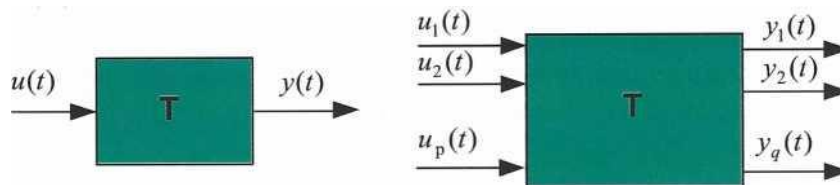
$$u(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ u_p(t) \end{bmatrix}, \quad y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \cdot \\ \cdot \\ y_p(t) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

Παράδειγμα πολυμεταβλητού συστήματος, αποτελεί το ηλεκτρικό κύκλωμα του σχ. 1.11. Ενώ στο συγκεκριμένο σύστημα οι εισόδοι είναι καθορισμένες (οι δύο πηγές τάσης και η πηγή ρεύματος), δεν συμβαίνει το ίδιο και με τις εξόδους. Ως εξόδους στο συγκεκριμένο παράδειγμα, έχουμε θεωρήσει την τάση στα άκρα του πηνίου, το ηλεκτρικό φορτίο του πυκνωτή καθώς και το ρεύμα στην ωμική αντίσταση. Δηλαδή, σύμφωνα με τις (1.1) θα ισχύει

$$u_1(t) = \begin{bmatrix} u_1(t) \\ u_2(t) \\ u_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_1(t) \\ v_2(t) \\ v_3(t) \end{bmatrix} \text{ και } y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ y_3(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_L(t) \\ q_C(t) \\ i_R(t) \end{bmatrix} \quad (1.2)$$



Σχήμα 1.9: Φυσικό σύστημα και περιβάλλον



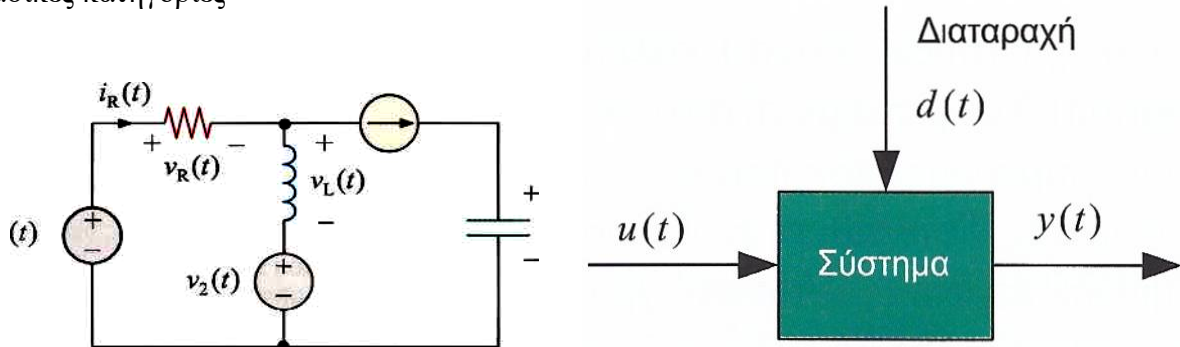
Σχήμα 1.10: Σχηματική παράσταση φυσικού συστήματος, α) Σύστημα μιας εισόδου μιας εξόδου. β) Σύστημα ρ-εισόδων και q-εξόδων

Ως **διαταραχή (disturbance)**, ορίζεται οποιαδήποτε επίδραση η οποία τείνει να επηρεάσει δυσμενώς τη λειτουργία του συστήματος. Η διαταραχή μπορεί να είναι ενδογενής (internal disturbance), δηλαδή να οφείλεται σε μεταβολές των εσωτερικών παραμέτρων των φυσικών συνιστωσών του συστήματος (π.χ. η φθορά ψηκτρών ενός κινητήρα Σ.Ρ. έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της τιμής της ωμικής αντίστασης του τυλίγματος

τυμπάνου), ή να οφείλεται στην επίδραση εξωτερικών προς το σύστημα παραγόντων (external disturbance), όπως π.χ. η μεταβολή της εξωτερικής θερμοκρασίας σε ένα σύστημα κεντρικής θέρμανσης. Στη γενική περίπτωση, οι διαταραχές αποτελούν και αυτές εισόδους του συστήματος (σχ. 1.12). Η επίδραση των πάσης φύσης διαταραχών (των οποίων η φύση στις περισσότερες περιπτώσεις είναι ακαθόριστη), στη λειτουργία του συστήματος είναι αρνητική και για το λόγο αυτό είναι επιβεβλημένη η χρήση των συστημάτων ελέγχου, για την αντιστάθμισή τους.

1.3.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΦΥΣΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα φυσικά συστήματα, ανάλογα της φύσης των στοιχείων που τα συνθέτουν, το είδος των σημάτων εισόδου και ελέγχου, τη φύση του ελέγχου κ.λπ., κατατάσσονται στις παρακάτω βασικές κατηγορίες



Σχήμα 1.11: Σύστημα τριών εισόδων - τριών εξόδων Σχήμα 1 -4: Επίδραση διαταραχών στο σύστημα

1. Δυναμικά - στατικά συστήματα

Τα φυσικά συστήματα είναι κατά κανόνα δυναμικά συστήματα (dynamic systems). Δηλαδή, περιέχουν στοιχεία τα οποία αποταμιεύουν ενέργεια (π.χ. μάζα, ελατήριο, πηνίο, πυκνωτής, κ.λπ.), με αποτέλεσμα η απόκριση τους (έξοδος) να ακολουθεί τις μεταβολές της εισόδου (διέγερσης), με κάποια χρονική καθυστέρηση. Επί πλέον, για τον προσδιορισμό της απόκρισης ενός δυναμικού στοιχείου, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε την προϊστορία του, πριν την εφαρμογή της διαταραχής (αρχικές συνθήκες). Π.χ. για τη φόρτιση ενός πυκνωτή, μας ενδιαφέρει η κατάσταση του πριν τη σύνδεση του με την τάση τροφοδοσίας. Δηλαδή, εάν ήταν αρχικά φορτισμένος ή όχι, το μέγεθος της τάσης καθώς και η πολικότητα της (σχ.1.13 (α)). Αντίθετα, η καθαρά ωμική αντίσταση είναι στατικό στοιχείο (static element), διότι το ρεύμα της εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από την τιμή της τάσης που εφαρμόζεται εκείνη τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή και όχι από προηγούμενες τιμές της.

Στατικό σύστημα (static system), καλείται το φυσικό σύστημα του οποίου όλα τα στοιχεία είναι στατικά (σχ. 1.13 (β)). Εάν έστω και ένα στοιχείο του φυσικού συστήματος είναι δυναμικό, τότε το σύστημα χαρακτηρίζεται ως δυναμικό.

Με την υπόθεση ότι, ο διακόπτης κλείνει τη χρονική στιγμή $t = 0$, οι κυκλωματικές εξισώσεις των στοιχείων των δύο παραπάνω κυκλωμάτων για $t > 0$, είναι

- Για το κύκλωμα του σχ.1.13 (α)

$$\mathbf{v}(t) = \mathbf{v}_R(t) + \mathbf{v}_C(t) = \mathbf{i}(t)\mathbf{R} + \frac{1}{C} \int_0^t \mathbf{i}(t) dt + \mathbf{V}_C(0^-) \quad (1.3)$$

Όπου

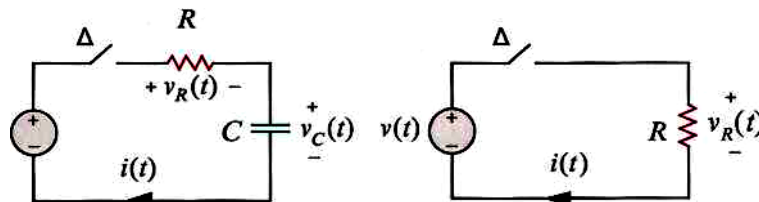
$V_C(0^-)$ = τάση στα άκρα του πυκνωτή πριν το κλείσιμο του διακόπτη

- Για το κύκλωμα του σχ.1.13 (β)

$$v(t) = v_R(t) = i(t)R \quad (1.4)$$

Τα δυναμικά συστήματα λοιπόν, περιέχουν δυναμικά στοιχεία (δηλαδή στοιχεία που αποθηκεύουν ενέργεια) και περιγράφονται από ολοκληροδιαφορικές εξισώσεις. Τα στατικά συστήματα, δεν περιλαμβάνουν δυναμικά στοιχεία, με αποτέλεσμα οι έξοδοι τους σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή να εξαρτώνται αποκλειστικά και μόνο από τις τιμές των εισόδων τους την ίδια συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Τα στατικά συστήματα, περιγράφονται από αλγεβρικές εξισώσεις.

Τα δυναμικά συστήματα λέγονται και συστήματα με μνήμη, διότι η έξοδος τους σε κάποια χρονική στιγμή δεν εξαρτάται μόνο από τις τιμές των εισόδων εκείνη τη συγκεκριμένη στιγμή, αλλά και από προηγούμενες τιμές. Αυτό δεν ισχύει για τα στατικά συστήματα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως συστήματα χωρίς μνήμη (memoryless systems).



Σχήμα 1.13: Δυναμικά και στατικά συστήματα, α) Δυναμικό σύστημα β) Στατικό σύστημα

2. Γραμμικά - μη γραμμικά συστήματα

Γραμμικό σύστημα (linear system), καλείται το σύστημα για το οποίο ισχύει η αρχή της υπέρθεσης (principle of superposition). Σύμφωνα με τη συγκεκριμένη αρχή, η συνολική απόκριση ενός συστήματος ισούται με το άθροισμα των επιμέρους αποκρίσεων της κάθε μιας εισόδου ξεχωριστά, θεωρώντας κάθε φορά τις υπόλοιπες εισόδους μηδενικές. Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα καλείται μη γραμμικό (non linear system).

Τα γραμμικά συστήματα περιγράφονται από γραμμικές εξισώσεις, σε αντίθεση με τα μη γραμμικά συστήματα τα οποία περιγράφονται από μη γραμμικές εξισώσεις.

Ας θεωρήσουμε τη γενική περίπτωση του συστήματος ρ-εισόδων και q-εξόδων του σχ.1.10(β). Έστω T , ο μαθηματικός τελεστής του συστήματος. Ο τελεστής αυτός, στην ουσία αποτελεί το μετασχηματισμό (απεικόνιση) του διανύσματος εισόδων στο αντίστοιχο διάνυσμα εξόδων. Μεταξύ του διανύσματος των εισόδων και του διανύσματος των εξόδων, θα ισχύει ότι

$$\mathbf{y} = \mathbf{T} \mathbf{u} \quad (1.5)$$

Εάν ο τελεστής T ικανοποιεί τις ακόλουθες δυο συνθήκες, τότε θα καλείται γραμμικός τελεστής (linear operator) και το σύστημα που χαρακτηρίζει γραμμικό σύστημα.

- **Αρχή της προσθετικότητας (Additivity principle)**

Έστω

$$\mathbf{T}\mathbf{u}_1 = \mathbf{y}_1 \quad (1.6)$$

και

$$\mathbf{T}\mathbf{u}_2 = \mathbf{y}_2 \quad (1.7)$$

τότε σύμφωνα με την αρχή της προσθετικότητας θα ισχύει ότι

$$\mathbf{T}(\mathbf{u}_1 + \mathbf{u}_2) = \mathbf{y}_1 + \mathbf{y}_2 \quad (1.8)$$

για οποιαδήποτε διανύσματα εισόδων, $\mathbf{u}_1, \mathbf{u}_2 \in R^P$.

- **Αρχή της ομογενείας (homogeneity principle)**

Με βάση τη συγκεκριμένη αρχή, είναι

$$\mathbf{T}\{\alpha \mathbf{u}\} = \alpha \mathbf{y} \quad (1.9)$$

όπου $\alpha \in R$.

Οποιοδήποτε σύστημα δεν ικανοποιεί ταυτόχρονα τις (1.8) και (1.9), χαρακτηρίζεται ως μη γραμμικό. Οι (1.8) και (1.9), μπορούν να συνδυαστούν σε μια σχέση

$$\mathbf{T}\{\alpha_1 \mathbf{u}_1 + \alpha_2 \mathbf{u}_2\} = \alpha_1 \mathbf{y}_1 + \alpha_2 \mathbf{y}_2 \quad (1.10)$$

όπου, $\alpha_1, \alpha_2 \in R$.

Η (1.10), εκφράζει την αρχή της υπέρθεσης.

3. Χρονικά μεταβλητά - χρονικά αμετάβλητα συστήματα

Χρονικά αμετάβλητο σύστημα (time invariant system), καλείται το γραμμικό σύστημα, του οποίου η μορφή της εξόδου εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη μορφή της εισόδου και όχι από το χρόνο εφαρμογής της.

Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα καλείται χρονικά μεταβλητό (time variant system). Παράδειγμα ενός χρονικά αμετάβλητου συστήματος, αποτελείτο κύκλωμα R-L (μεΚ,ί σταθερά), του σχ.1.14.

Εάν λάβουμε για παράδειγμα υπόψη την εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία, θα ισχύει $R = f(t)$ και προφανώς το σύστημα στην περίπτωση αυτή θα είναι χρονικά μεταβλητό.

Επομένως, ένα χρονικά αμετάβλητο σύστημα, περιγράφεται από γραμμικές διαφορικές εξισώσεις (Δ.Ε.) με σταθερούς συντελεστές. Αντίθετα, σε ένα χρονικά μεταβλητό σύστημα, οι συντελεστές των Δ.Ε. είναι συναρτήσεις του χρόνου.

Ένα σύστημα λοιπόν συνεχούς χρόνου, ρ -εισόδων και q -εξόδων, θα είναι χρονικά αμετάβλητο όταν

$$T\{u(t-\tau)\} = y(t-\tau) \quad (1.11)$$

για οποιοδήποτε $\tau \in \mathbb{R}$.

4. Συνεχή - διακριτά συστήματα

Ένα σήμα, έστω $x(t)$, χαρακτηρίζεται ως σήμα συνεχούς χρόνου (continuous-time signal), εάν η ανεξάρτητη μεταβλητή (ο χρόνος στην περιπτώσή μας) αποτελεί συνεχή μεταβλητή. Στην περίπτωση που η μεταβλητή t , δεν αποτελεί συνεχή αλλά διακριτή μεταβλητή, τότε και το σήμα $x(t)$ θα ορίζεται σε διακριτές χρονικές στιγμές και στην περίπτωση αυτή θα καλείται σήμα διακριτού χρόνου (discrete-time signal)/Ένα σήμα διακριτού χρόνου, είναι μια ακολουθία αριθμών, της οποίας η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι ένας ακέραιος αριθμός ' n ' και συμβολίζεται ως $x\{n\}$.

Συνεχές σύστημα (continuous-time system), καλείται το σύστημα στο οποίο ο χρόνος μεταβάλλεται κατά συνεχή τρόπο (δηλαδή μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ δύο ορίων).

Διακριτό (discrete-time system), καλείται το σύστημα για το οποίο ο χρόνος μεταβάλλεται κατά διαστήματα (σταθερά ή μη σημεία δειγματοληψίας).

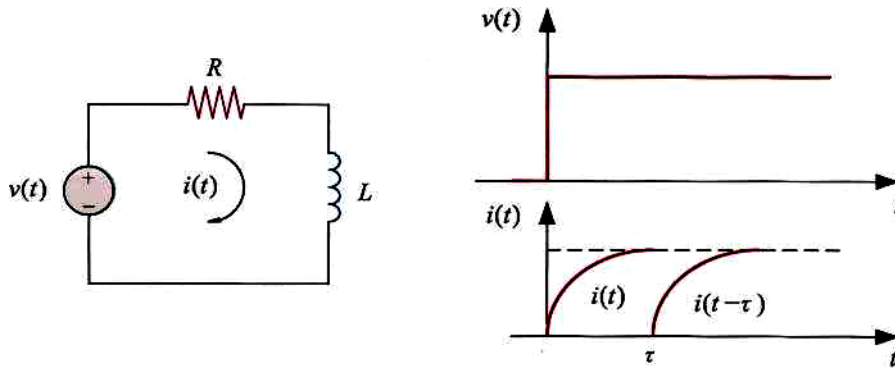
5. Αιτιατό και μη αιτιατό σύστημα

Ένα σύστημα καλείται αιτιατό (causal system), εάν η έξοδος του σε κάποια αυθαίρετη χρονική στιγμή, εξαρτάται όχι μόνο από την τιμή της εισόδου τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, αλλά και από προηγούμενες τιμές της. Στην περίπτωση που η τιμή της εξόδου, εξαρτάται και από μελλοντικές τιμές του σήματος εισόδου, το σύστημα χαρακτηρίζεται ως μη αιτιατό (noncausal system).

Προφανώς, με βάση τους παραπάνω ορισμούς δεν είναι δυνατόν να υπάρξει απόκριση σε ένα αιτιατό σύστημα, πριν την εφαρμογή διέγερσης στις εισόδους του. Σε ένα μη αιτιατό σύστημα, θα ισχύει μια σχέση της μορφής

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{T}\{\mathbf{u}(t + \tau)\} \quad (1.12)$$

όπου $\tau \in \mathbb{R}$ και $\tau > 0$.

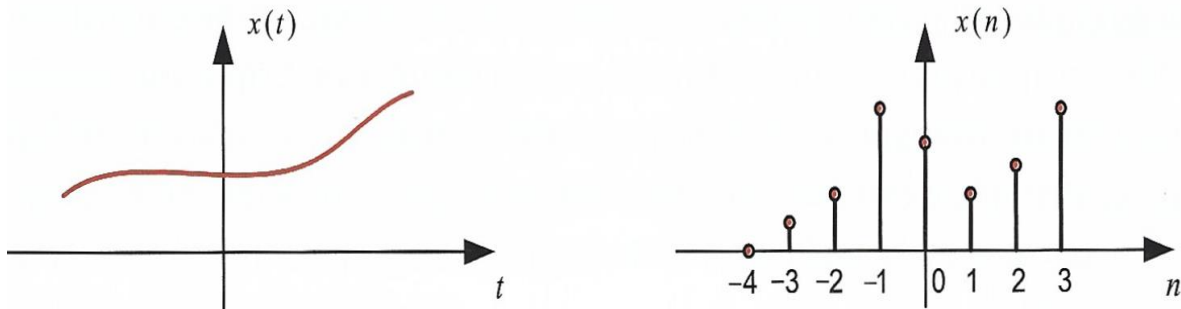


Σχήμα 1.14: Παράδειγμα χρονικά αμετάβλητου συστήματος

6. Ντετερμινιστικά - στοχαστικά συστήματα

Ντετερμινιστικό ή προσδιοριστικό (deterministic system ή causal system), καλείται το σύστημα του οποίου καμία είσοδος δεν είναι τυχαία μεταβλητή (random variable). Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα καλείται στοχαστικό (stochastic system). Δηλαδή, στα ντετερμινιστικά συστήματα οι έξοδοι μπορούν να προσδιοριστούν σε κάθε χρονική στιγμή από την αντίστοιχη γνώση των εισόδων, εφόσον βέβαια αυτές περιγράφονται με καθορισμένες αναλυτικές κφράσεις. Με άλλα λόγια δεν υπάρχει τυχαία (ή στοχαστική) συμπεριφορά, καθότι οι έξοδοι είναι πάντα καθορισμένες συναρτήσεις του χρόνου. Για παράδειγμα, ο χρόνος άφιξης (χρονική διάρκεια) ενός οχήματος σε μια συγκεκριμένη διαδρομή, έχει στοχαστικό χαρακτήρα (δηλαδή δεν μπορεί να προβλεφθεί επακριβώς), άσχετα εάν η ίδια διαδρομή έχει διανυθεί από το όχημα πολλές φορές στο παρελθόν. Ο λόγος είναι ότι, οι καθυστερήσεις που υπόκεινται κάθε φορά είναι απρόβλεπτες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, να μιλάμε για χρόνο διαδρομής με αβεβαιότητα.

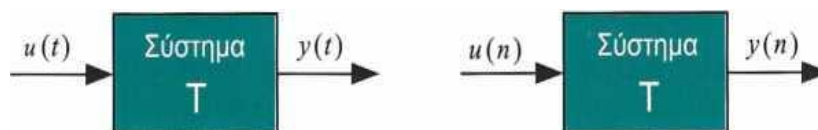
Τα σήματα πολλών βιομηχανικών συστημάτων, επηρεάζονται από θόρυβο (noise). Ως θόρυβο, ορίζουμε την επίδραση οποιονδήποτε ανεπιθύμητων σημάτων τα οποία δύναται να προέρχονται είτε από τις συνιστώσες του ίδιου του συστήματος, είτε από το άμεσο περιβάλλον του (π.χ. ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση). Ο θόρυβος αυτός προσθέτει μια αβεβαιότητα κατά τη διαδικασία μέτρησης διαφόρων σημάτων, προσδίδοντας τους στοχαστικό χαρακτήρα.



Σχήμα 1.15: Σήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου, α) συνεχούς χρόνου, β) διακριτού χρόνου

7. Συστήματα συγκεντρωμένων - καταναμημένων παραμέτρων

Σύστημα με καταναμημένες ή διανεμημένες παραμέτρους (distributed-parameters system), καλείται το σύστημα του οποίου έστω και μια παράμετρος είναι διανεμημένη ως προς κάποια μεταβλητή (εκτός του χρόνου). Σε αντίθετη περίπτωση, το σύστημα καλείται συγκεντρωμένων παραμέτρων (concentrated-parameters system). Παράδειγμα συστήματος διανεμημένων παραμέτρων, αποτελεί η γραμμή μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας μεγάλου μήκους, σχ.1.15(α). Στην περίπτωση αυτή, η αντίσταση, η αυτεπαγωγή και η χωρητικότητα, είναι ομοιόμορφα καταναμημένες κατά μήκος της γραμμής και το γεγονός αυτό πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τους ακριβείς υπολογισμούς σε τέτοιου είδους γραμμές μεταφοράς. Στις γραμμές μεταφοράς μικρού μήκους, το μοντέλο με συγκεντρωμένες παραμέτρους (σταθερά στοιχεία, R,L,C, ανεξάρτητα του μήκους της γραμμής), είναι αρκετά απλούστερο και δίνει εξίσου ικανοποιητικά αποτελέσματα σε σχέση με το αντίστοιχο μοντέλο διανεμημένων παραμέτρων, σχ.1.14(β).



Σχήμα 1.15: Συστήματα συνεχούς και διακριτού χρόνου, (α) συνεχούς χρόνου, (β) διακριτού χρόνου

(Μαλατέστας, 2017, pp. 1-6)

1.3.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΒΑΘΜΙΔΩΝ

1.3.4. ΣΥΝΑΡΤΗΣΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ

1.3.5. ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.6. ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ

1.3.7. ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΕΠΙΡΡΟΗΣ - ΜΕΤΑΒΛΗΤΗ ΔΡΑΣΗΣ

1.3.8. ΜΕΤΡΗΣΗ

1.3.9. ΕΙΣΟΔΟΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ

1.3.10. ΣΦΑΛΜΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.11. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΛΕΓΚΤΩΝ

1.3.12. ΟΔΗΓΟΣ ΒΑΘΜΙΑΔΑ

1.3.13. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΝΟΙΧΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

1.3.14. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΛΕΙΣΤΟΥ ΒΡΟΧΟΥ

1.3.15. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.16. ΑΝΑΛΥΣΗ - ΣΧΕΔΙΑΣΗ - ΣΥΝΘΕΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

1.3.17. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1.3.18. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

1.3.19. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1.3.20. ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

1.3.21. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΛΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.22. ΑΠΟΣΒΕΣΗ

1.3.23. ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ

1.3.24. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

1.3.25. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ

(Μαλατέστας, 2017, pp. 6-27)

1.4. Η ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Η σχεδίαση συστημάτων αποτελεί το βασικό αντικείμενο των μηχανικών. Είναι μια σύνθετη διαδικασία στην οποία τόσο η αναλυτική ικανότητα όσο και η δημιουργικότητα παίζουν κυρίαρχο ρόλο.

Σχεδίαση είναι η διαδικασία επινόησης ή ανακάλυψης της μορφής, των τμημάτων και των λεπτομερειών της δομής ενός συστήματος που στοχεύει στην υλοποίηση ενός συγκεκριμένου σκοπού.

Σχεδίαση θεωρείται η εκούσια οργάνωση των ενεργειών, από τις οποίες αναδύεται ένα συγκεκριμένο προϊόν ή σύστημα. Η σχεδίαση είναι μια καινοτόμος δράση κατά την οποία ο μηχανικός, χρησιμοποιώντας δημιουργικά τις γνώσεις του και τα διαθέσιμα υλικά, προσδιορίζει το σχήμα, τη λειτουργία και την υλική υπόσταση ενός συστήματος. Τα βήματα που συνήθως ακολουθούνται κατά τη σχεδιαστική διαδικασία είναι:

- 1 Ο προσδιορισμός των αναγκών που προκύπτουν από την αποτίμηση των τιμών (ποσοτική έκφραση απαιτήσεων) διαφόρων ομάδων. Λαμβάνεται υπόψη όλο το φάσμα των ενδιαφερομένων από τους κατασκευαστές μέχρι και τους καταναλωτές.
- 2 Ο λεπτομερής προσδιορισμός της λύσης που ενδείκνυται για τις συγκεκριμένες ανάγκες και η ενσωμάτωση των παραπάνω τιμών σ' αυτήν τη λύση.
- 3 Η ανάπτυξη και ο έλεγχος διαφόρων εναλλακτικών λύσεων που ικανοποιούν τις δεδομένες προδιαγραφές.
- 4 Η λήψη απόφασης σχετικά με την επιλογή και υλοποίηση μίας εκ των παραπάνω λύσεων.

Σημαντικός παράγοντας μιας ρεαλιστικής σχεδιαστικής διαδικασίας είναι ο περιορισμός του χρόνου που δαπανάται. Γενικά, η σχεδίαση υπόκειται σε ποικίλους περιορισμούς. Καταλήγουμε, σχεδόν πάντα σε λύσεις που δεν μπορούν να θεωρηθούν ιδανικές αλλά απλώς αρκετά ικανοποιητικές. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο χρόνος που δαπανάται είναι το μόνο ανταγωνιστικό πλεονέκτημα.

Μια από τις κυρίαρχες δυσκολίες που αντιμετωπίζει ο σχεδιαστής είναι η κατάρτιση των προδιαγραφών του τεχνολογικού προϊόντος (τεχνικές προδιαγραφές). Οι **προδιαγραφές** αυτές έχουν τη μορφή σαφών δηλώσεων που καθορίζουν ρητά τη μορφή και τη λειτουργία της διάταξης ή του προϊόντος.

Η σχεδίαση τεχνολογικών συστημάτων στοχεύει στην κατάρτιση κατάλληλων σχεδιαστικών προδιαγραφών και στηρίζεται σε τέσσερα χαρακτηριστικά: την πολυπλοκότητα, την εξισορρόπηση μεταξύ ανταγωνιζόμενων χαρακτηριστικών, τα κενά μεταξύ θεωρίας και πράξης και την παρακινδύνευση (ρίσκο) της σχεδιαστικής τακτικής που ακολουθείται.

Η **σχεδιαστική πολυπλοκότητα** απορρέει από την πληθώρα των εργαλείων και των γνώσεων που χρησιμοποιούνται, κατά περίπτωση στη διαδικασία που ακολουθείται. Ο μεγάλος αριθμός των θεωρούμενων παραγόντων, αποσαφηνίζει με χαρακτηριστικό τρόπο την πολυπλοκότητα που διέπει την κατάρτιση των προδιαγραφών σχεδίασης. Όχι μόνο επειδή προσδιορίζει τη σχετική σημασία του κάθε παράγοντα στην τρέχουσα σχεδιαστική διαδικασία αλλά και διότι του δίνει συγκεκριμένο περιεχόμενο που εκφράζεται είτε αριθμητικά είτε με τη μορφή κειμένου είτε και με τα δυο.

Η έννοια της **εξισορρόπησης ανταγωνιζόμενων χαρακτηριστικών (trade offs)** αναφέρεται στην ανάγκη επίλυσης συγκρούσεων μεταξύ επιθυμητών αλλά αμοιβαία ανταγωνιζόμενων σχεδιαστικών στόχων. Η σχεδιαστική διαδικασία απαιτεί έναν αποτελεσματικό συμβιβασμό μεταξύ επιθυμητών και ταυτόχρονα ανταγωνιζόμενων κριτηρίων.

Κατασκευάζοντας μια τεχνολογική διάταξη, ανακαλύπτουμε ότι το τελικό προϊόν δεν είναι αυτό που αρχικά είχαμε οραματιστεί. Για παράδειγμα, η εικόνα που σχηματίζουμε για τη λύση ενός προβλήματος, ποτέ δεν εμφανίζεται αναλλοίωτη στη γραπτή εκδοχή της λύσης που διατυπώνουμε. Σε τελική ανάλυση, δεν ταιριάζει ούτε με τις προδιαγραφές που θέτουμε. Αυτές οι διαφορές - **κενά μεταξύ θεωρίας και πράξης** - είναι εγγενείς στη διαδρομή ενός προϊόντος από την αρχική αφαιρετική ιδέα μέχρι την υλοποίησή του.

Αυτή η αδυναμία πρόβλεψης της συμπεριφοράς ενός τεχνουργήματος έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μεγάλης αβεβαιότητας σχετικά με τα αποτελέσματα της λειτουργίας των διατάξεων ή των προϊόντων που παράγουμε. Αυτή η αβεβαιότητα αποδίδεται με τον όρο «ακούσιες επιπτώσεις» ή αλλιώς «παρακινδύνευση» (risk), με την έννοια ότι η σχεδιαστική διαδικασία είναι καθαυτή μια διαδικασία «ρίσκου» (παίρνουμε το ρίσκο να σχεδιάσουμε κάτι με συγκεκριμένο τρόπο και όχι με κάποιον άλλο).

Η πολυπλοκότητα, η εξισορρόπηση ανταγωνιζόμενων παραγόντων, τα κενά μεταξύ θεωρίας και πράξης καθώς και η παρακινδύνευση αποτελούν εγγενή στοιχεία της διαδικασίας σχεδιασμού ενός νέου συστήματος.

Βέβαια, οι επιπτώσεις των παραγόντων αυτών μπορεί να ελαχιστοποιηθούν αν λάβουμε υπόψη τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε σχεδίασης. Ωστόσο, οι εν λόγω παράγοντες είναι πάντοτε παρόντες.

Η διαδικασία σχεδίασης ακολουθεί κυρίως δύο τρόπους σκέψης, θεμελιακά διαφορετικούς: την ανάλυση και τη σύνθεση. Από τη μια μεριά, η προσοχή μας θα πρέπει να εστιάζεται στα μοντέλα των φυσικών συστημάτων που, καθώς αναλύονται, μας παρέχουν μια βαθειά επίγνωση του αντικειμένου και μας υποδεικνύουν κατευθύνσεις βελτίωσης των υλοποιήσεών μας. Από την άλλη, είναι η σύνθεση που μας οδηγεί στη δημιουργία αυτών των νέων φυσικών διαμορφώσεων.

Η σχεδίαση, ως διαδικασία, μπορεί να πάρει ποικίλες κατευθύνσεις μέσα στις οποίες ανακαλύπτουμε τελικά την επιθυμητή. Πρόκειται δηλαδή για μια εκούσια και προμελετημένη διαδικασία που ακολουθεί ο σχεδιαστής για να παράγει κάτι καινούργιο, ανταποκρινόμενος σε μια υπαρκτή, κοινά αποδεκτή ανάγκη και αναγνωρίζοντας παράλληλα τους φυσικούς περιορισμούς που διέπουν τέτοιου είδους εγχειρήματα. Η σχεδίαση είναι μια εγγενώς επαναληπτική διαδικασία - άλλωστε από κάπου πρέπει να ξεκινά κανείς. Οι επιτυχημένοι μηχανικοί σχεδίασης μαθαίνουν να απλοποιούν αποτελεσματικά τα σύνθετα συστήματα στοχεύοντας στην αποδοτικότερη έκβαση των διαδικασιών ανάλυσης και σύνθεσης. Όμως, αναπόφευκτα εμφανίζονται διαφορές (κενά) μεταξύ του απλοποιημένου μοντέλου και του πολύπλοκου φυσικού συστήματος. Κατά συνέπεια, οι σχεδιαστικές ασυνέχειες (design gaps) είναι εγγενή στοιχεία της μετάβασης από την αρχική σύλληψη στο τελικό προϊόν. Η εμπειρία δείχνει ότι είναι πιο εύκολο να επεμβαίνουμε σ' ένα απλοποιημένο σύστημα με μικρά βελτιωτικά βήματα παρά να προσπαθήσουμε να δημιουργήσουμε απευθείας το σύνθετο τελικό προϊόν. Με άλλα λόγια η σχεδιαστική διαδικασία δεν είναι γραμμική. Είναι μια δημιουργική, μη γραμμική επαναληπτική διαδικασία.

Κύριος στόχος μιας αποτελεσματικής σχεδίασης είναι η ανάλυση και η βελτιστοποίηση των παραμέτρων. Η ανάλυση βασίζεται:

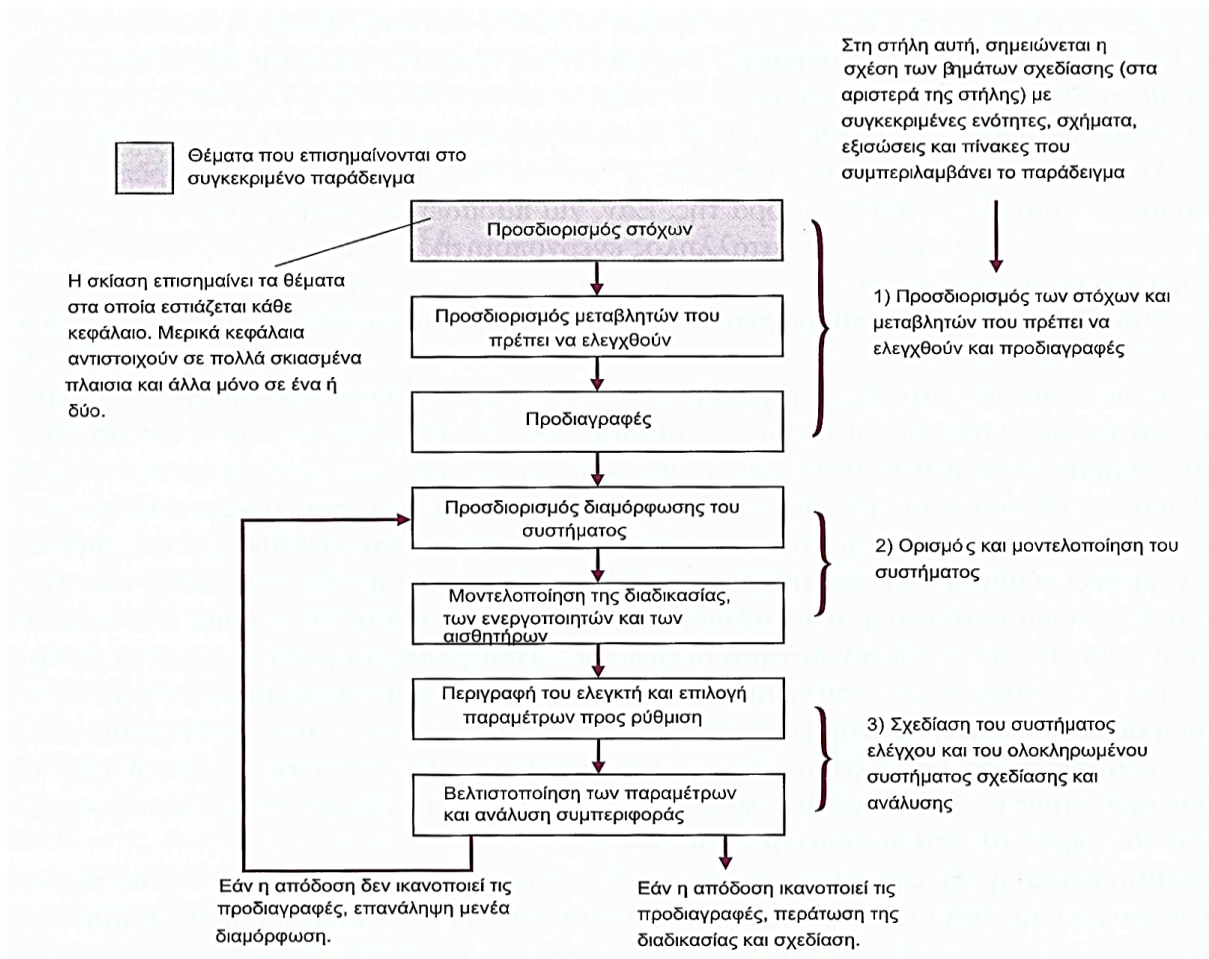
- 1 στην αναγνώριση των βασικών παραμέτρων,
- 2 στη δημιουργία μιας διαμόρφωσης του υπό σχεδίαση συστήματος και
- 3 στην εκτίμηση του κατά πόσο η δεδομένη διαμόρφωση ικανοποιεί τις προδιαγεγραμμένες ανάγκες.

Τα παραπάνω βήματα συνιστούν μια επαναληπτική διαδικασία. Εφόσον αναγνωριστούν οι βασικές παράμετροι και δημιουργηθεί η βασική διαμόρφωση του συστήματος, ακολουθεί η βελτιστοποίηση των παραμέτρων. Ο σχεδιαστής, συνήθως, προσπαθεί να προσδιορίσει ένα

περιορισμένο σύνολο παραμέτρων που πρέπει να ρυθμιστούν για την ικανοποιητική επίλυση του προβλήματος.

1.5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Η διαδικασία σχεδίασης ενός συστήματος ελέγχου παρουσιάζεται σχήμα 1.9. Αποτελείται από επτά βασικά βήματα ταξινομημένα σε τρεις ομάδες:



Σχήμα 1.9. Η διαδικασία σχεδίασης ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου.

- 1) Προσδιορισμός των στόχων και μεταβλητών που πρέπει να ελεγχθούν. Ορισμός και προδιαγραφές του τρόπου μέτρησης της απόδοσης του συστήματος.
- 2) Ορισμός και μοντελοποίηση του συστήματος.
- 3) Σχεδίαση του συστήματος ελέγχου και του ολοκληρωμένου συστήματος σχεδίασης και ανάλυσης.

Σε κάθε κεφάλαιο αυτού του βιβλίου επισημαίνεται η σχέση μεταξύ της διαδικασίας σχεδίασης του σχήματος 1.9 και των βασικών υπό εξέταση θεμάτων. Αντικειμενικός μας

στόχος είναι η αποσαφήνιση διαφορετικών εκδοχών της διαδικασίας σχεδίασης μέσω κατάλληλων εργαστηριακών ασκήσεων. Συγκεκριμένα, η σχέση των κεφαλαίων με τη διαδικασία σχεδίασης του διαγράμματος 1.9, έχει ως ακολούθως:

- 1 Προσδιορισμός των στόχων και μεταβλητών που πρέπει να ελεγχθούν και προδιαγραφές.
- 2 Ορισμός και μοντελοποίηση του συστήματος.
- 3 Σχεδίαση του συστήματος ελέγχου ανάλυση και προσομοίωση.

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία σχεδίασης είναι η θεμελίωση των στόχων του συστήματος. Για παράδειγμα, μπορεί να θέλουμε να ελέγξουμε με ακρίβεια την ταχύτητα ενός κινητήρα. Το δεύτερο βήμα είναι ο προσδιορισμός των μεταβλητών που επιθυμούμε να ελέγξουμε (λχ την ταχύτητα του κινητήρα). Το τρίτο βήμα είναι η συγγραφή των προδιαγραφών οι οποίες καθορίζονται από τα επιθυμητά επίπεδα ακρίβειας. Αυτή η ακρίβεια ελέγχου των μεταβλητών οδηγεί στην επιλογή του αισθητήρα που θα χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση κάθε μεταβλητής. Οι προδιαγραφές απόδοσης περιγράφουν την επιθυμητή συμπεριφορά ενός κλειστού βρόχου και αναφέρονται

- 1 στην κατάλληλη ρύθμιση για την αποτροπή των διαταραχών
- 2 στις επιθυμητές αποκρίσεις στις εντολές,
- 3 στα ρεαλιστικά σήματα ενεργοποιητών,
- 4 χαμηλά επίπεδα ευαισθησίας και
- 5 στην ευρωστία του συστήματος.

Στη συνέχεια, ο σχεδιαστής προχωρά σε μια πρώτη σύνθεση του υπό σχεδίαση συστήματος, τέτοια που να ικανοποιεί τις απαιτούμενες προδιαγραφές ελέγχου. Αυτή η πρώτη σύνθεση αποτελείται συνήθως από έναν αισθητήρα, την υπό έλεγχο διαδικασία, έναν ενεργοποιητή κι έναν ελεγκτή, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 1.3. Στ επόμενο βήμα επιλέγεται ο κατάλληλος ενεργοποιητής. Η επιλογή μας, βέβαια, εξαρτάται από την υπό έλεγχο διαδικασία καθαυτή. Ωστόσο, η μονάδα που θα επιλέξουμε θα πρέπει να είναι ικανή να ρυθμίζει αποτελεσματικά τη συμπεριφορά της. Εάν, για παράδειγμα, επιθυμούμε να ελέγξουμε την ταχύτητα ενός περιστρεφόμενου τροχού, ο κατάλληλος ενεργοποιητής είναι ένας κινητήρας.

Στην περίπτωση αυτή, ο αισθητήρας θα πρέπει να επιλεγεί έτσι να μπορεί να μετρά την ταχύτητα περιστροφής με την απαιτούμενη ακρίβεια. Στη συνέχεια, καθορίζουμε ένα συγκεκριμένο μοντέλο για καθένα από τα παραπάνω στοιχεία.

Συνήθως, δίνουμε στους φοιτητές που μελετούν τον αυτόματο έλεγχο συστήματα που περιγράφονται μέσω μιας συνάρτησης μεταφοράς ή μέσω των μεταβλητών κατάστασης, με

την επίγνωση ότι πρόκειται απλώς για μια αναπαράσταση του υποκείμενου φυσικού συστήματος και χωρίς περαιτέρω διευκρινήσεις.

Εεκάθαρα, λοιπόν, ανακύπτει το ερώτημα: πώς προκύπτουν αυτά τα μοντέλα; Στο πλαίσιο ενός κύκλου εισηγήσεων για τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου, είναι αναγκαίο να λυθούν μερικές βασικές απορίες σχετικά με τη μοντελοποίηση των συστημάτων, καθαυτή. Έτσι, στα πρώτα κεφάλαια, θα επιχειρήσουμε μια ενδοσκόπηση που θα απαντήσει σε θεμελιώδη ερωτήματα σχετικά με τις έννοιες που εμπλέκονται στη μοντελοποίηση: Πώς συνάγεται η συνάρτηση μεταφοράς; Ποιες είναι οι βασικές υποθέσεις που οδηγούν στην ανάπτυξη ενός συστήματος; Πόσο γενική είναι μια περιγραφή που χρησιμοποιεί συναρτήσεις μεταφοράς; Ωστόσο, η μοντελοποίηση συστημάτων αποτελεί ένα ιδιαίτερο και αυτοτελές αντικείμενο. Δεν έχουμε, βέβαια, την ψευδαίσθηση ότι θα καλύψουμε τη μαθηματική μοντελοποίηση συστημάτων καθ' ολοκληρία, παροτρύνουμε όμως τους ενδιαφερομένους φοιτητές να αναζητήσουν περισσότερες πληροφορίες στις αναφορές που παραθέτουμε.

Το επόμενο βήμα είναι η επιλογή του ελεγκτή, ο οποίος συχνά αποτελείται από έναν διαφορικό ενισχυτή που συγκρίνει την πραγματική με την επιθυμητή απόκριση και προωθεί το μετρούμενο σήμα σφάλματος σ' έναν ενισχυτή.

Στο τελευταίο βήμα της διαδικασίας, ρυθμίζονται οι παράμετροι του συστήματος. Σκοπός αυτής της ρύθμισης είναι η επίτευξη της επιθυμητής συμπεριφοράς. Εφόσον επιτύχουμε την επιθυμητή συμπεριφορά τερματίζουμε τη διαδικασία και προχωράμε στην καταγραφή των σχετικών αποτελεσμάτων. Σε αντίθετη περίπτωση, αναζητούμε μια νέα, βελτιωμένη σύνθεση του συστήματος. Ίσως μάλιστα να χρειαστεί η επιλογή ενός νέου ενεργοποιητή και ενδεχομένως ενός πιο κατάλληλου αισθητήρα. Στη συνέχεια επαναλαμβάνουμε τα αντίστοιχα βήματα σχεδίασης μέχρι να ικανοποιηθούν οι προδιαγραφές που έχουμε θέσει ή μέχρι να αποφασίσουμε ότι είναι πολύ αυστηρές οπότε θα πρέπει να υπαναχωρήσουμε. Η σχεδιαστική διαδικασία έχει επηρεαστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό από την εμφάνιση νέων, πανίσχυρων και φθηνών υπολογιστικών συστημάτων και φυσικά από το αντίστοιχο λογισμικό ανάλυσης και σχεδίασης συστημάτων αυτομάτου ελέγχου.

Για παράδειγμα, το αεροσκάφος Boeing 777 το οποίο διαθέτει τα τελειότερα ηλεκτρονικά συστήματα από κάθε άλλο αεροσκάφος της πολιτικής αεροπορίας σχεδιάστηκε εξ ολοκλήρου με τη βοήθεια Η/Υ. Σε τέτοιες περιπτώσεις, θεωρείται ουσιώδης η επιβεβαίωση των τελικών σχεδίων από Η/Υ που εκτελούν προγράμματα προσομοίωσης υψηλής πιστότητας. Σε πολλές εφαρμογές, για την πιστοποίηση του συστήματος ελέγχου μέσω ρεαλιστικών εξομοιωτών

δαπανώνται μεγάλα ποσά και αντίστοιχα πολύς χρόνος. Οι πιλότοι του Boeing 777 έκαναν περίπου 2400 πτήσεις σε περιβάλλον εξομοίωσης πριν ακόμη κατασκευαστεί το αεροσκάφος.

Ένα άλλο αξιοπρόσεκτο παράδειγμα σχεδίασης με τη βοήθεια Η/Υ είναι το πειραματικό όχημα DC-X (McDonnell Douglas Delta Clipper) που σχεδιάστηκε, κατασκευάστηκε και τελικά εκτέλεσε πτήση σε διάστημα 24 μηνών. Τα εργαλεία λογισμικού σχεδίασης και τα συστήματα αυτόματης δημιουργίας κώδικα έχουν συνεισφέρει, σύμφωνα με εκτιμήσεις, στην εξοικονόμηση χρηματικών πόρων κατά 80% και στην εξοικονόμηση χρόνου κατά 30% .

Συνοπτικά, λοιπόν, το πρόβλημα σχεδίασης ενός ελεγκτή έχει ως εξής: δεδομένου ενός μοντέλου του υπό σχεδίαση συστήματος (συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων και των ενεργοποιητών) και ενός συνόλου σχεδιαστικών στόχων, είτε αναζητούμε ένα κατάλληλο ελεγκτή είτε καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι δεν υπάρχει ελεγκτής τέτοιος που να ικανοποιεί τις συγκεκριμένες προδιαγραφές. Όπως και οι περισσότερες διαδικασίες σχεδίασης έτσι και η σχεδίαση συστημάτων αυτομάτου ελέγχου είναι μια μη γραμμική επαναληπτική διαδικασία. Ένας καλός σχεδιαστής πρέπει δίνει ιδιαίτερη προσοχή στον υποκείμενο φυσικό μηχανισμό που διέπει την υπό έλεγχο μονάδα, στη στρατηγική σχεδιασμού του ελέγχου, στην αρχιτεκτονική του ελεγκτή (δηλαδή τον τύπο του ελεγκτή που θα χρησιμοποιηθεί) και στην επιλογή μιας αποτελεσματικής μεθόδου προσαρμογής του ελεγκτή. Επιπλέον, επειδή με την περάτωση της σχεδίασης, συχνά, υλοποιούμε τον ελεγκτή με χρήση κυκλωμάτων (hardware), αναδύονται ζητήματα επιλογής των κατάλληλων διεπαφών. Όλα αυτά μαζί, καθιστούν τον ολοκληρωμένο στόχο σχεδίασης-υλοποίησης ενός συστήματος αυτομάτου ελέγχου αρκετά δύσκολο.

(DORF & BISHOP, 2016, pp. 27-31)

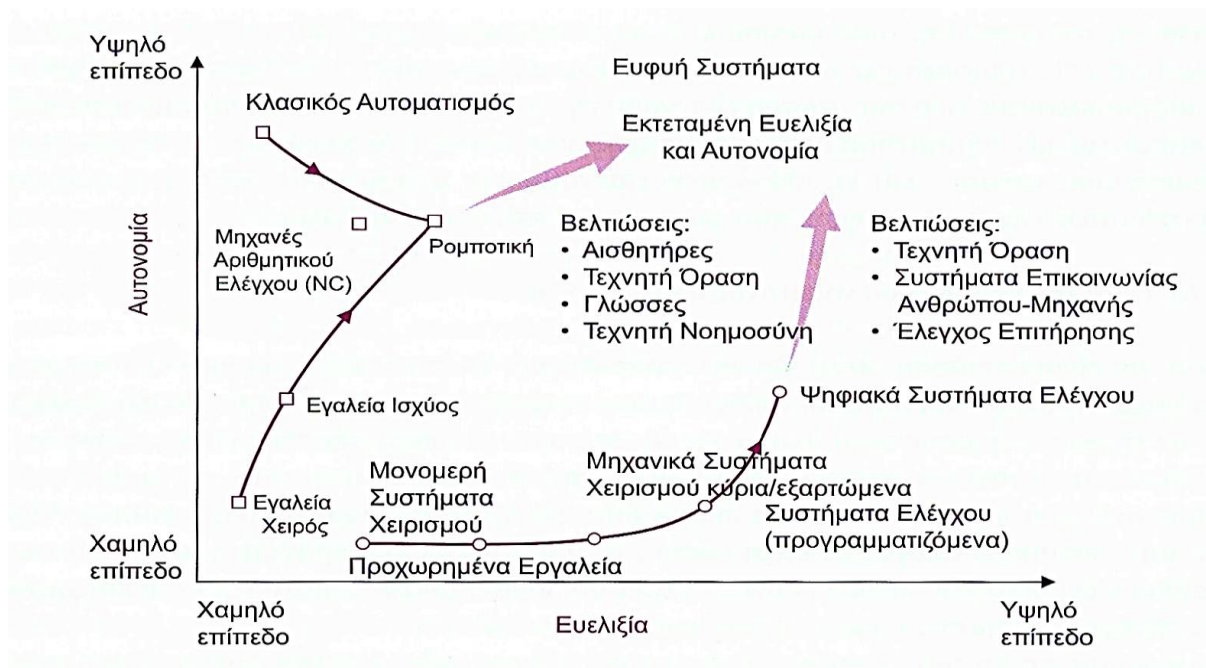
1.6. Η ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Στόχος της ανάπτυξης των συστημάτων ελέγχου ήταν, ανέκαθεν, η εκτεταμένη ευελιξία και η υψηλού επιπέδου αυτονομία. Ο στόχος αυτός προσεγγίζεται από δύο διαφορετικές εξελικτικές διαδρομές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.10.

Τα σύγχρονα βιομηχανικά ρομπότ μπορούν να χαρακτηριστούν ως αυτόνομα, καθόσον μετά τον προγραμματισμό τους, εργάζονται χωρίς περαιτέρω μεσολάβηση. Ωστόσο, οι περιορισμοί που επιβάλλουν οι αισθητήρες περιορίζουν την ευελιξία προσαρμογής των ρομποτικών συστημάτων στο περιβάλλον εργασίας. Το γεγονός αυτό αποτελεί σημαντικό κίνητρο για έρευνα στον τομέα της σχεδίασης υπολογιστικών συστημάτων οπτικής

αναγνώρισης. Τα συστήματα ελέγχου επιδεικνύουν υψηλό βαθμό προσαρμογής, βασίζονται όμως στην ανθρώπινη επιτήρηση. Ωστόσο, γίνεται αξιόλογη προσπάθεια για να αποκτήσουν τα ρομποτικά συστήματα δυνατότητες προσαρμογής στις μεταβολές του εργασιακού τους περιβάλλοντος. Για το λόγο αυτό επιστρατεύονται ευφυείς ρομποτικοί μηχανισμοί υψηλών τεχνικών προδιαγραφών που χρησιμοποιούν προηγμένους αισθητήρες στους βρόχους ανάδρασης. Στόχος πολλών ερευνητικών δραστηριοτήτων που εστιάζονται στην τεχνητή νοημοσύνη, την ολοκληρωμένη ενσωμάτωση των αισθητήρων, την οπτική αναγνώριση και τις διαδικασίες CAD/CAM είναι η δημιουργία οικονομικών συστημάτων καθολικής χρήσης.

Έτσι τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου εξελίσσονται με στόχο τη μετάβαση από την κατάσταση κυριαρχίας της ανθρώπινης επιτήρησης στην κατάσταση ανεξάρτητης λειτουργίας. Στόχος της έρευνας που σχετίζεται, με τις διαδικασίες επιτήρησης τη διεπαφή ανθρώπου-μηχανής και τη διαχείριση βάσεων δεδομένων Η/Υ, είναι η μείωση του φόρτου και η βελτίωση της απόδοσης του χειριστή.



Σχήμα 1.22 Μελλοντική εξέλιξη των συστημάτων αυτοματισμού και ρομποτικής

Πολλές ερευνητικές δραστηριότητες κινούνται στο κοινό γνωστικό πεδίο της ρομποτικής και του αυτοματισμού. Όλες τους έχουν ως στόχο αφενός τη μείωση του κόστους υλοποίησης και αφετέρου την διεύρυνση του φάσματος των σχετικών εφαρμογών. Στις δραστηριότητες αυτές συμπεριλαμβάνονται βελτιωμένες μέθοδοι επικοινωνίας και προηγμένες γλώσσες προγραμματισμού.

Η τεχνολογική υποστήριξη και διευκόλυνση της ανθρώπινης εργασίας, που άρχισε στην προϊστορική εποχή, περνά τώρα σε μια νέα φάση. Ο επιταχυνόμενος ρυθμός της τεχνολογικής εξέλιξης που εγκαινιάστηκε με την έναρξη της Βιομηχανικής Επανάστασης, ουσιαστικά εκτόπισε τη χειρωνακτική εργασία από την διαδικασία παραγωγής. Στις μέρες μας, η επανάσταση της τεχνολογίας των Η/Υ, προκαλεί εξίσου βαρυσήμαντες κοινωνικές αλλαγές που οφείλονται στην εκρηκτική ανάπτυξη των τεχνολογιών συλλογής και επεξεργασίας πληροφοριών καθόσον οι δυνατότητες των Η/Υ αγγίζουν τα όρια των δυνατοτήτων του ανθρώπινου εγκεφάλου.

Τα συστήματα ελέγχου χρησιμοποιούνται για να επιτύχουν:

- 1 αύξηση της παραγωγικότητας και
- 2 βελτίωση της απόδοσης μιας διάταξης ή ενός συστήματος.

Ο αυτοματισμός χρησιμοποιείται για την βελτίωση της παραγωγικότητας και έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων υψηλής ποιότητας. Ως αυτοματισμός νοείται η αυτόματη λειτουργία ή ο αυτόματος έλεγχος μιας διαδικασίας, διάταξης ή συστήματος. Εφαρμόζουμε αυτόματο έλεγχο στις μηχανές και τις διαδικασίες για να παράγουμε προϊόντα με αξιοπιστία και ακρίβεια. Η απαίτηση ευέλικτων και εξειδικευμένων διαδικασιών παραγωγής αυξάνουν τις απαιτήσεις χρήσεως ευέλικτων συστημάτων αυτοματισμού και ρομποτικής.

Η θεωρία, οι εφαρμογές και οι υλοποιήσεις του αυτομάτου ελέγχου, συνιστούν ένα διευρυμένο γνωστικό αντικείμενο του πεδίου των τεχνολογικών επιστημών, αποδεδειγμένα χρήσιμο αλλά και συναρπαστικό. Μπορούμε λοιπόν εύκολα να καταλάβουμε τα κίνητρα αυτών που καταπιάνονται με τη μελέτη των σύγχρονων συστημάτων ελέγχου.

(DORF & BISHOP, 2016, pp. 36-37)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

2.1. ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗ ΣΗΜΑΤΑ

2.2. ΜΙΓΑΔΙΚΟΙ ΑΡΙΘΜΟΙ

2.3. ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΙΚΕΣ ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

2.4. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ LAPLACE

2.5. ΕΥΡΕΣΗ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΟΥ Μ/Σ LAPLACE ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΣΕ ΜΕΡΙΚΑ ΚΛΑΣΜΑΤΑ

2.6. ΘΕΩΡΗΜΑΤΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΙΜΗΣ

2.7. ΕΠΙΛΥΣΗ ΔΙΑΦΟΡΙΚΩΝ ΕΞΙΣΩΣΕΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ Μ/Σ LAPLACE

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

**Μελέτη εξειδίκευσης Μεθοδολογίας ανάπτυξης
Σεναρίων στο γνωστικό αντικείμενο
«Εργαστήριο Συστημάτων Αυτόματου Ελέγχου»
για την Τριτοβάθμια Εκπαίδευση**

2.8. Εισαγωγή

Τα ψηφιακά διδακτικά σενάρια περιγράφουν ένα μαθησιακό πλαίσιο με εστιασμένο γνωστικό αντικείμενο, συγκεκριμένους εκπαιδευτικούς στόχους, παιδαγωγικές αρχές και δραστηριότητες. Αποτελούν ένα εργαλείο μάθησης και έρευνας για εκπαιδευτικούς και μαθητές με το οποίο οργανώνεται η εκπαιδευτική δραστηριότητα με βάση τις σύγχρονες θεωρίες μάθησης και τη χρήση των ΤΠΕ (Τεχνολογίες της Πληροφορίας και Επικοινωνίας).

Η χρήση υπολογιστών, ο διαδραστικός πίνακας, το διαδίκτυο, τα ψηφιακά σε- νάρια θα πρέπει να εμπλουτίσουν και να συμπληρώσουν το τοπίο της εκπαιδευτικής πραγματικότητας. Η σωστή και έξυπνη αξιοποίησή τους από έμπειρους και κατάλληλα επιμορφωμένους εκπαιδευτικούς, σε συνδυασμό με την απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή του σχολείου, μπορούν να οδηγήσουν στα επιδιωκόμενα μαθησιακά αποτελέσματα και στη βελτίωση της παρεχόμενης εκπαίδευσης στο σχολείο αλλά και εκτός αυτού.

Ένα ψηφιακό διδακτικό σενάριο υλοποιείται, κατά κανόνα, μέσα από μια σειρά εκπαιδευτικών δραστηριοτήτων. Η δομή και ροή κάθε δραστηριότητας καθώς και οι ρόλοι του διδάσκοντα και των διδασκομένων και η αλληλεπίδρασή τους με τα χρησιμοποιούμενα μέσα και υλικά, οι αντιλήψεις, τα ενδιαφέροντά τους, τα ενδεχόμενα εμπόδια στη διδακτική διαδικασία και γενικότερα όλα εκείνα τα στοιχεία που θεωρούνται σημαντικά στη σύγχρονη διδακτική μεθοδολογία περιγράφονται στο πλαίσιο του διδακτικού σεναρίου. Πληθώρα μελετών-ερευνών στη διεθνή βιβλιογραφία αναδεικνύουν την προστιθέμενη αξία που προσδίδει η αποτελεσματική αξιοποίηση-ενσωμάτωση των κατάλληλων ψηφιακών τεχνολογιών σε καλοσχεδιασμένα σενάρια μάθησης καθώς η εισαγωγή της ψηφιακής τεχνολογίας:

- α) συμβάλλει στην καλλιέργεια γνωστικών, μεταγνωστικών και επικοινωνιακών δεξιοτήτων που θα επιτρέψει σε κάθε εκπαιδευόμενο να γίνει ένας ανεξάρτητα σκεπτόμενος και ενεργός πολίτης του 21ου αιώνα,
- β) εμπλουτίζει τη διαδικασία μάθησης συμβάλλοντας στη μεγιστοποίηση των προσδοκώμενων μαθησιακών αποτελεσμάτων,
- γ) συντελεί στη δημιουργία ιδανικού περιβάλλοντος για τη διενέργεια των επιστημονικών διαδικασιών .

Η εισαγωγή των ψηφιακών σεναρίων στην εκπαίδευση αποσκοπεί κυρίως:

- α) στη διεύρυνση, στον εμπλουτισμό και εκσυγχρονισμό διδακτικών πρακτικών που εφαρμόζονται ήδη στο σημερινό σχολείο, στην ενίσχυση της καινοτομίας και της δημιουργικότητας.
- β) στη δημιουργία κατάλληλων μαθησιακών προϋποθέσεων που θα κεντρίσουν το ενδιαφέρον του μαθητή για μάθηση.
- γ) στην εμπέδωση εναλλακτικών μορφών διδασκαλίας και μάθησης μέσα στο σημερινό σχολείο ιδιαίτερα της ερευνητικής και της διαφοροποιημένης διδασκαλίας.
- δ) στη δημιουργία των κατάλληλων όρων για τη στήριξη της βιωματικής μάθησης μέσα από την ανάπτυξη της διάθεσης των μαθητών για έρευνα.
- ε) στην καλλιέργεια πνεύματος συνεργασίας και ομαδικότητας καθώς και στην ανάπτυξη συμμετοχικών διαδικασιών στη διδακτική πράξη.
- στ) στην απεμπλοκή της μαθησιακής διαδικασίας και της αξιολόγησης του μαθητή από πρακτικές που ευνοούν την ανάπτυξη συνθηκών αποστήθισης λεπτομερειών και την ανάδειξή της σε βασική διδακτική και μαθησιακή πρακτική .
- ζ) στην ανάπτυξη φιλικής σχέσης με την τεχνολογία αλλά και με διδακτικές πρακτικές που σχετίζονται με αυτή .
- η) στη διαμόρφωση των κατάλληλων όρων για διαθεματική προσέγγιση της παρεχόμενης γνώσης.
- θ) στην ενίσχυση της ενεργητικής μάθησης και μέσω αυτής στην ανάπτυξη της αυτοπεποίθησης και της κριτικής ικανότητας του μαθητή.
- ι) στην παρώθηση των διδασκόντων να εκπονήσουν μελλοντικώς δικά τους ψηφιακά σενάρια ή σε συνεργασία με τους μαθητές τους για τις ανάγκες της διδασκαλίας.ια) στη διευκόλυνση του εκπαιδευτικού κατά τη διδακτική πράξη με πάσης φύσεως εκπαιδευτικό διαδραστικό και οπτικοακουστικό υλικό (βίντεο, χάρτες, διαγράμματα, εικόνες, σχεδιαγράμματα κ.λπ.).
- ιβ) στη δημιουργία ευχάριστου μαθησιακού κλίματος, ώστε η διαδικασία πρόσληψης της γνώσης να μη δημιουργεί στους μαθητές κόπωση και στη συνέχεια άπωση και αποστροφή.

2.9. Κεντρικοί Άξονες και Κριτήρια εκπόνησης ΨΔΣ

Από τους παραπάνω στόχους προκύπτουν οι ακόλουθοι γενικοί κεντρικοί άξονες και τα κριτήρια που ορίζουν το πλαίσιο εκπόνησης των ψηφιακών σεναρίων:

- α) Παιδαγωγική καταλληλότητα.
- β) Σύνδεση των σεναρίων με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών. γ) Επιστημονική εγκυρότητα – Επιστημονικός λόγος.

- δ) Διαθεματική προσέγγιση της γνώσης.
- ε) Ενίσχυση της ενεργητικής ερευνητικής μάθησης.
- στ) Αξιοποίηση κατάλληλων Τ.Π.Ε. (πληροφοριακών εκπαιδευτικών εργαλείων και διαδικτύου).
- ζ) Ενίσχυση της βιωματικής μάθησης μέσω αντίστοιχων δράσεων. η) Προαγωγή της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας.
- θ) Ανάπτυξη δραστηριοτήτων.
- ι) Προβολή δημοκρατικών, κοινωνικών και ανθρωπιστικών αξιών.

α) Παιδαγωγική καταλληλότητα

Ειδικότερα, τα ψηφιακά σενάρια που προορίζονται για να καλύψουν διδακτικές ανάγκες της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης πρέπει να είναι προσαρμοσμένα στις ιδιαιτερότητες των φοιτητών, να ανταποκρίνονται στο αντιληπτικό και διανοητικό επίπεδο της ηλικίας τους, στις κλίσεις (τεχνολογικές, επαγγελματικές, πρακτικές κ.λπ.) και στις ανάγκες των σπουδών τους και να διεγείρουν το ενδιαφέρον τους, ώστε να αποφεύγεται η πλήξη και η κόπωση μέσα στην τάξη, που οδηγούν στην άρνηση, στη διάσπαση της προσοχής, στην παραίτηση και στην εγκατάλειψη κάθε προσπάθειας. Κοινός στόχος όλων των σεναρίων είναι η δημιουργία ενός μαθησιακού περιβάλλοντος εμπλουτισμένου με τις Νέες Τεχνολογίες, προκειμένου να προωθήσει τη μάθηση μέσα από διαδικασίες διερεύνησης, πειραματισμού, δημιουργίας, έκφρασης και επικοινωνίας. Για τον σκοπό αυτό η προβλεπόμενη μέθοδος διδακτικής είναι αυτή της συνεργατικής μάθησης με κύριο εργαλείο στη συγκεκριμένη περίπτωση τον ηλεκτρονικό υπολογιστή.

β) Σύνδεση των σεναρίων με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών

Τα ψηφιακά σενάρια που προορίζονται για τη Τριτοβάθμια Εκπαίδευση εξυπακούεται ότι θα πρέπει να είναι συμβατά με το Αναλυτικό Πρόγραμμα Σπουδών κάθε μαθήματος. Ειδικότερα, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους διδακτικούς σκοπούς και τους στόχους του (γνωστικούς, συναισθηματικούς, ψυχοκινητικούς), τον προβλεπόμενο από το ωρολόγιο πρόγραμμα διδακτικό χρόνο, την ακολουθούμενη σε αυτή τη βαθμίδα εκπαίδευσης διδακτική μεθοδολογία και τη διδακτέα ύλη του μαθήματος. Το πλαίσιο που προδιαγράφεται από το Πρόγραμμα Σπουδών προσδιορίζει και τη χρησιμότητα των σεναρίων, τη λειτουργικότητα και τη διδακτική αποτελεσματικότητά τους.

Τα σενάρια θα πρέπει να αποσκοπούν στη σταδιακή ανάπτυξη της κριτικής και συστημικής σκέψης και την καλλιέργεια διερευνητικού και δημιουργικού πνεύματος, μέσα από την ανάλυση και τη διερεύνηση ζητημάτων, καθώς και την αναζήτηση προτάσεων και λύσεων στη λογική του τι πρέπει να γνωρίζει για να κάνει ο φοιτητής .

γ) Επιστημονική εγκυρότητα – Επιστημονικός λόγος

Τα ψηφιακά σενάρια θα πρέπει να είναι επιστημονικώς ηλεγμένα, έγκυρα και αξιόπιστα, να στηρίζονται στις κρατούσες σύγχρονες αντιλήψεις της Επιστήμης και να εξασφαλίζουν, στο μέγιστο δυνατό βαθμό, τη μετάπλαση της επιστημονικής γνώσης σε διδάξιμη ύλη προσαρμοσμένη στις ανάγκες και στις προσληπτικές δυνατότητες των μαθητών. Απαιτείται, ως εκ τούτου, έλεγχος προς αποφυγήν επιστημονικών σφαλμάτων και παρωχημένων επιστημονικών απόψεων. Απαιτείται, δηλαδή, απλός επιστημονικός λόγος, κατανοητός, όχι απλοϊκός, που υποβιβάζει το επίπεδο του μαθήματος και του μαθητή, ούτε φορτωμένος με δύσληπτους επιστημονικούς όρους, εξεζητημένο λεξιλόγιο και εκφράσεις που δύσκολα μπορούν να προσλάβουν και να κατανοήσουν οι μαθητές.

δ) Διαθεματική προσέγγιση

Η διαθεματική προσέγγιση της γνώσης αποτελεί απαραίτητο μεθοδολογικό προσανατολισμό ανάπτυξης των ψηφιακών σεναρίων που προορίζονται για να καλύψουν διδακτικές ανάγκες της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευση. Στο πλαίσιο αυτό θέματα και έννοιες που έχουν σχέση με το διδασκόμενο αντικείμενο μελετώνται και διερευνώνται πολύπλευρα με την εμπλοκή στη διδακτική πράξη συναφών θεμάτων προερχομένων και από άλλες επιστημονικές περιοχές.

Για την επίτευξη του στόχου αυτού, στο πλαίσιο των ψηφιακών σεναρίων, εκτός των άλλων καθημερινών διαθεματικών προσεγγίσεων, προωθούνται και υποστηρίζονται διαθεματικές εργασίες ή διαθεματικές δραστηριότητες τύπου project για την προαγωγή της γνώσης μέσω της αυτενέργειας των φοιτητών, ώστε αυτοί να αποκτήσουν στέρεη γνώση και κριτική σκέψη στη διαδικασία προσέγγισης των πραγμάτων.

ε) Ενίσχυση της ενεργητικής ερευνητικής μάθησης

Η ενίσχυση της ενεργητικής ερευνητικής μάθησης είναι πολύ σημαντικός εκπαιδευτικός στόχος για κάθε τύπο εκπαίδευσης και πολύ περισσότερο για τον τύπο της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευση.

Τα ψηφιακά σενάρια που προορίζονται για να καλύψουν διδακτικές ανάγκες του πανεπιστημίου επιβάλλεται να αξιοποιούνται, μεταξύ άλλων, και ως εργαπροαγωγής και ενίσχυσης της φιλέρευνης διάθεσης των φοιτητών και ανάπτυξης ερευνητικών σχεδιασμών στον χώρο κυρίως των τεχνολογικών εφαρμογών.

στ) Αξιοποίηση κατάλληλων Τ.Π.Ε.

Σε ικανοποιητικό βαθμό και παρά τα προβλήματα που υπάρχουν, αυτή η προσδοκία έχει τη δυνατότητα να επαληθευθεί κυρίως στα εργαστηριακά μαθήματα αλλά και στις καινοτόμες δράσεις όπου η μάθηση βασίζεται σε ενεργητικές μεθόδους και στη διαφοροποίηση της διδασκαλίας ανά μαθητή, που θα πρέπει να αποτελεί και μια από τις βασικές αρχές στο σχεδιασμό του ψηφιακού σεναρίου .

Τα ψηφιακά σενάρια αποσκοπούν, μεταξύ άλλων, και στην αξιοποίηση κατάλληλων Τ.Π.Ε. (πληροφοριακών εκπαιδευτικών εργαλείων και διαδικτύου) κατά τη διαδικασία της διδασκαλίας και της μάθησης. Η χρήση των Τ.Π.Ε. αποτελεί βασικό όρο για την αναβάθμιση της διδασκαλίας στο σύγχρονο σχολείο και ιδιαίτερα στον χώρο της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευση, όπου η τεχνολογία αποτελεί ουσιαστικό μέρος της εκπαίδευσης και επαγγελματικής κατάρτισης των μαθητών.

Μια αλλαγή στους τρόπους διδασκαλίας που θα καταστήσει το Πανεπιστήμιο πιο ελκυστικό και ενδιαφέρον για τους φοιτητές, περισσότερο αποδοτικό και επιπλέον θα αναίρεσει τα τραύματα της αποτυχίας, μεταξύ άλλων θα πρέπει να περιλαμβάνει :

- Συχνή χρήση κατάλληλου εποπτικού υλικού
- Ενεργητική μάθηση
- Διαφοροποίηση της διδασκαλίας ανά μαθητή

Καθοριστικό ρόλο στην παραπάνω αλλαγή, μπορούν να διαδραματίσουν και τα ψηφιακά σενάρια με την αξιοποίηση των κατάλληλων εργαλείων ΤΠΕ.

ζ) Ενίσχυση της βιωματικής μάθησης

Τα ψηφιακά σενάρια που προορίζονται για την υποστήριξη των γνωστικών αντικειμένων της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευση θα πρέπει να προωθούν πρακτικές βιωματικής μάθησης και ανάπτυξης βιωματικών εργαστηριακών δραστηριοτήτων, με στόχο, μέσω της βιωμένης εμπειρίας, να επιτυγχάνεται η διανοητική και συναισθηματική εγρήγορση του μαθητή και η ενεργός συμμετοχή του στις διδακτικές και μαθησιακές διεργασίες.

Για την επίτευξη των επιθυμητών μαθησιακών αποτελεσμάτων οι εκπαιδευτικοί θα πρέπει να οργανώσουν και να παρουσιάσουν το ψηφιακό σενάριο με σαφήνεια ποικιλία και κατά τρόπο που να εξασφαλίζει στους φοιτητές να μαθαίνουν πώς να μάθουν, ενθαρρύνοντας, καθοδηγώντας και συντονίζοντας τους φοιτητές για ενασχόληση στη μαθησιακή διαδικασία .

Έτσι ένα σύγχρονο ψηφιακό σενάριο θα πρέπει να :

- Αντιμετωπίζει τη μάθηση ως καλλιέργεια δεξιοτήτων πρόσκτησης της γνώσης και όχι ως συσσώρευση γνώσεων.
- Ενισχύει την αυτενέργεια των μαθητών/τριών και να τους παροτρύνει στην ανάληψη πρωτοβουλιών,
- Αφήνει περιθώρια για την ανάδειξη βιωματικών καταστάσεων και προβληματισμών που αναφέρονται και αξιοποιούν τα ενδιαφέροντα των μαθητών.
- Εξοικειώνει τους φοιτητές με το ομαδικό πνεύμα, την ενεργό συμμετοχή και την επίτευξη στόχων μέσω συνεργασίας αλλά και τη χρήση των νέων τεχνολογιών,
- Αναπτύσσει τις επικοινωνιακές ικανότητες των φοιτητών και τις ικανότητες παρουσίασης των εργασιών τους,
- Δημιουργεί ένα ευχάριστο μαθησιακό κλίμα για τους διδάσκοντες και τους διδασκομένους, χρησιμοποιώντας ομαδοσυνεργατικές και άλλες συμμετοχικές τεχνικές διδασκαλίας, αναδεικνύοντας το μάθημα ως κοινή τους υπόθεση.
- Παρέχει τελικά στους μαθητές/τριες ένα μάθημα σύγχρονο ενδιαφέρον, περισ-σότερο ευέλικτο, δημιουργικό και ευχάριστο.

η) Προαγωγή της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας

Τα ψηφιακά σενάρια που πρόκειται να εκπονηθούν για την κάλυψη διδακτικών αναγκών της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευση και ειδικότερα των φοιτητών του Τμήματος Πληροφορικής ή Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική. πρέπει να αποσκοπούν στην προώθηση και βελτίωση της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας, της μεθόδου εκείνης στο πλαίσιο της οποίας οι μαθητές οργανώνονται μέσα στην τάξη σε μικροομάδες εργασίας και με την καθοδήγηση του εκπαιδευτικού συνεργάζονται αναπτύσσοντας πρωτοβουλίες για την υλοποίηση διαφόρων διδακτικών, μαθησιακών και ερευνητικών στόχων.

Η αλληλεπίδραση στο πλαίσιο της ομάδας συμβάλλει στην ανάπτυξη δεξιοτήτων (επικοινωνίας, λόγου, διαλόγου κ.λπ.), στην καλλιέργεια υπευθυνότητας, στην αφο-οίωση και κατάκτηση ουσιαστικής και στέρεης γνώσης.

Τα ψηφιακά σενάρια παρέχουν πολλές δυνατότητες προώθησης της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας και αναμένεται να βοηθήσουν τους μαθητές να συνειδητοποιήσουν την αξία της συνεργασίας στον καθημερινό κοινωνικό και επαγγελματικό βίο. Εξυπακούεται ότι οι δραστηριότητες που αναπτύσσονται στο πλαίσιο της ομαδοσυνεργατικής διδασκαλίας θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένες στις ανάγκες, στις αναζητήσεις, στα ενδιαφέροντα, στις τάσεις και στις κλίσεις των μαθητών και ο σχεδιασμός τους θα πρέπει να γίνεται κατά το δυνατόν σε συνεργασία με αυτούς, ώστε να συμμετέχουν σε αυτές ενεργά και με περισσότερο ζήλο.

θ) Ανάπτυξη δραστηριοτήτων και πρωτοβουλιών

Μέσω των ψηφιακών σεναρίων που θα εκπονηθούν για τις ανάγκες διδασκαλίας των μαθητών της Τριτοβάθμιας Εκπαίδευσης πρέπει να επιδιώκεται η ανάπτυξη ενός πλαισίου δραστηριοτήτων σχετικών με το διδασκόμενο γνωστικό αντικείμενο, έτσι ώστε ο μαθητής να παρακινείται να αναπτύσσει δράση, να αυτενεργεί και να μη μένει παθητικός δέκτης γνώσεων και πληροφοριών. Έτσι ένα σύγχρονο ψηφιακό σενάριο, θα πρέπει να είναι ένα «ανοιχτό» πρόγραμμα διαδικασίας με έμφαση στο πώς ο/η μαθητής /τρια θα μάθει να μαθαίνει, να ενεργεί, να ζει και να συνεργάζεται με τους άλλους, μέσω μιας διερευνητικής προσέγγισης των διαφόρων θεμάτων και να δίνει απαντήσεις σε ερωτήματα, επίκαιρα ή τοπικά προβλήματα, υλοποιώντας δραστηριότητες που συνδέονται άμεσα με τα ενδιαφέροντα των μαθητών

ι) Προβολή δημοκρατικών, κοινωνικών και ανθρωπιστικών αρχών και αξιών

Στο πλαίσιο κάθε διδακτικού αντικειμένου θα πρέπει μέσω των ψηφιακών σεναρίων να προβάλλονται, όσο το επιτρέπει η φύση του οικείου μαθήματος, αρχές και αξίες, στάσεις και συμπεριφορές στις οποίες στηρίζεται ο πολιτισμός μας (δημοκρατία, ισονομία, δικαιοσύνη, ανεκτικότητα απέναντι στο διαφορετικό, σεβασμός στο σύνταγμα και στους νόμους, ισότητα των φύλων, φιλία, αλληλεγγύη προς τους ανθρώπους, σεβασμός προς το περιβάλλον κ.λπ.).

Όλα τα μαθήματα, σε διαφορετικό βαθμό το καθένα, μπορούν να συμβάλουν στην καλλιέργεια λογικής σκέψης και κριτικής ικανότητας, και βάσει αυτών στην ανάπτυξη υγιούς πολιτικής συμπεριφοράς, κοινωνικών ευαισθησιών, οικολογικής συνείδησης, ηθικής και αισθητικής αντίληψης, ώστε να αποφεύγονται είτε μέσα στο πανεπιστήμιο είτε μέσα στην κοινωνία αντικοινωνικά φαινόμενα, όπως ο φανατισμός, ο δογματισμός, ο ρατσισμός, η κοινωνική αδιαφορία και αναλγησία, η περιθωριοποίηση, ο κοινωνικός αποκλεισμός .

Εκτός όμως από τις γενικές μαθησιακές προδιαγραφές, οι εκπαιδευτικοί που θα ασχοληθούν με τη δημιουργία ψηφιακών σεναρίων, καλό είναι να γνωρίζουν και τα διαβαθμισμένα κριτήρια ποιοτικής αξιολόγησης των σεναρίων αυτών.

1. Διατύπωση των γενικών χαρακτηριστικών
2. Επιδιώξεις
3. Διερεύνηση και τεκμηρίωση και του πεδίου
4. Επιστημονικό περιεχόμενο
5. Παιδαγωγική τεκμηρίωση
6. Μετασχηματισμένο Περιεχόμενο Εργασίας και Μάθησης
7. Διατύπωση μιντιακών στόχων
8. Παρουσίαση του θεωρητικού πλαισίου (παιδαγωγικού/ διδακτικού)
9. Αναφορά σε προαπαιτούμενα
10. Τρόπος εκκίνησης της διδασκαλίας
11. Επάρκεια της περιγραφής των φάσεων
12. Εναρμόνιση και δέσιμο μεταβάσεων μεταξύ των φάσεων
13. Καταλληλότητα και ποικιλία μορφών διδασκαλίας
14. Καταλληλότητα Εκπαιδευτικού υλικού και φύλλων εργασίας για τη μαθησιακή διεργασία
15. Είδος εκπαιδευτικών Μέσων και υλικών και η λειτουργία τους
16. Διαφοροποίηση διδασκαλίας
17. Τρόπος και είδος αξιολόγησης
18. Τεκμηρίωση και βιβλιογραφικές αναφορές
19. Καταγραφή ενεργειών σε μορφή πίνακα
20. Προσαρμογή και επεκτασιμότητα

2.10. Οργάνωση Ψηφιακού Διδακτικού Σεναρίου

2.10.1. Το θέμα

Ο τίτλος θα πρέπει να είναι ελκυστικός, αναφορικά με τα ενδιαφέροντα των φοιτητών, κατανοητός, περιεκτικός, σύντομος και σαφής ενώ το θέμα θα πρέπει να είναι συνοπτικό, ακριβές και σύμφωνο με τα αναλυτικά προγράμματα σπουδών των μαθημάτων που αναφέρεται.

2.10.2. Ο χρόνος και Τάξεις που απευθύνεται

Καθορίζεται ο χρόνος που είναι απαραίτητος να ολοκληρωθεί το σενάριο καλύπτοντας τους στόχους και τις δεξιότητες που πρέπει να αποκτήσουν οι φοιτητές. Συνήθως ο χρόνος αυτός είναι 2-3 διδακτικά δώρα. Πρέπει επίσης να ορισθεί και ο χρόνος που θα διαρκέσει η κάθε φάση του σεναρίου ως υποενότητα του σεναρίου καθώς και οι προαπαιτούμενες γνώσεις και η συγκεκριμένη ηλικιακή ομάδα και τάξη στις οποίες απευθύνεται το σενάριο.

2.10.3. Ανίχνευση πρότερων γνώσεων των μαθητών

Θα πρέπει να ανιχνευθούν οι πρότερες γνώσεις και οι παρανοήσεις των μαθητών όπως επίσης και οι πιθανές δυσκολίες της σκέψης τους σχετικά με το γνωστικό αντικείμενο. Αυτό μπορεί να γίνει με κάποια δραστηριότητα, που θα δημιουργήσει ο εκπαιδευτικός στηριζόμενος στην εμπειρία του αλλά και στη σχετική βιβλιογραφία. Ο εντοπισμός των προαντιλήψεων, παρανοήσεων, αντιστάσεων κλπ που πιθανόν να έχουν οι μαθητές του για το αντικείμενο, το οποίο πρόκειται να ασχοληθούν, θα τον οδηγήσουν στον σωστό σχεδιασμό των υπολοίπων δραστηριοτήτων ώστε να αναιρεθούν οι λανθασμένες απόψεις.

Το σενάριο, λοιπόν, θα πρέπει να είναι ευέλικτο ως προς την εφαρμογή του, για να μπορεί ο εκπαιδευτικός να διαφοροποιήσει τη διδασκαλία του, ανάλογα με τους μαθητές στους οποίους απευθύνεται .

2.10.4. Σκοπός και στόχοι

Περιγράφονται σύντομα με ακρίβεια χωρίς ασάφειες ή άγνωστους όρους ο σκοπός και οι διδακτικοί στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν στον προβλεπόμενο χρόνο. Οι στόχοι του σεναρίου θα πρέπει να αφορούν στο γνωστικό αντικείμενο (γνωστικοί στόχοι), στη διαδικασία της μάθησης και στη χρήση των ΤΠΕ.

Οι διδακτικοί και οι μαθησιακοί στόχοι του εκπαιδευτικού σεναρίου καθορίζονται σε συνάρτηση με το προς μελέτη διδακτικό αντικείμενο και θα πρέπει να συνάδουν με αυτούς του αναλυτικού προγράμματος. Ειδικότερα, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους διδακτικούς σκοπούς και τους στόχους του (γνωστικούς, συναισθηματικούς, ψυχοκινητικούς), τον προβλεπόμενο από το ωρολόγιο πρόγραμμα διδακτικό χρόνο, την ακολουθούμενη σε αυτή τη βαθμίδα εκπαίδευσης διδακτική μεθοδολογία και τη διδακτέα ύλη του μαθήματος. Το πλαίσιο που προδιαγράφεται από το Πρόγραμμα Σπουδών προσδιορίζει και τη χρηστικότητα των σεναρίων, τη λειτουργικότητα και τη διδακτική αποτελεσματικότητά τους.

Γενικότερα θα πρέπει οι φοιτητές του Τμήματος Πληροφορικής ή Τμήμα Πληροφορικής με Εφαρμογές στη Βιοϊατρική, να αποκτήσουν εικόνα για το περιεχόμενο του αντικειμένου και τις απαιτούμενες για αυτόν δεξιότητες. Επιπλέον, να έχουν μια πρώτη επαφή με το χώρο εργασίας και να αποκτήσουν την πολύτιμη εμπειρία της σύνδεσης του πανεπιστημίου με το εργασιακό περιβάλλον.

Το κάθε «Μάθημα» θα πρέπει να αποσκοπεί στη σταδιακή ανάπτυξη της κριτικής και συστημικής σκέψης και την καλλιέργεια διερευνητικού και δημιουργικού πνεύματος, μέσα από την ανάλυση και τη διερεύνηση ζητημάτων του Τμήματος καθώς και την αναζήτηση προτάσεων-λύσεων στη λογική του τι πρέπει να γνωρίζει να κάνει ο φοιτητής, ο πολίτης, το κράτος και η Ε.Ε.. Στόχος κάθε διδακτικού σεναρίου είναι η ενημέρωση, ευαισθητοποίηση και δραστηριοποίηση των Περιγράφονται σύντομα με ακρίβεια χωρίς ασάφειες ή άγνωστους όρους ο σκοπός και οι διδακτικοί στόχοι που πρέπει να επιτευχθούν στον προβλεπόμενο χρόνο.

Οι στόχοι του σεναρίου θα πρέπει να αφορούν στο γνωστικό αντικείμενο (γνωστικοί στόχοι), στη διαδικασία της μάθησης και στη χρήση των ΤΠΕ.

Οι διδακτικοί και οι μαθησιακοί στόχοι του εκπαιδευτικού σεναρίου καθορίζονται σε συνάρτηση με το προς μελέτη διδακτικό αντικείμενο και θα πρέπει να συνάδουν με αυτούς του αναλυτικού προγράμματος. Ειδικότερα, θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τους διδακτικούς σκοπούς και τους στόχους του (γνωστικούς, συναισθηματικούς, ψυχοκινητικούς), τον προβλεπόμενο από το ωρολόγιο πρόγραμμα διδακτικό χρόνο, την ακολουθούμενη σε αυτή τη βαθμίδα εκπαίδευσης διδακτική μεθοδολογία και τη διδακτέα ύλη του μαθήματος. Το πλαίσιο που προδιαγράφεται από το Πρόγραμμα Σπουδών προσδιορίζει και τη χρηστικότητα των σεναρίων, τη λειτουργικότητα και τη διδακτική αποτελεσματικότητά τους.

Οι διδακτικοί στόχοι αναφέρονται:

- α) Σε επίπεδο γνωστικό: Ποιές γνώσεις θα αποκτήσουν και ποιες ικανότητες που σχετίζονται με την αξιοποίηση της προσφερθείσας γνώσης θα αναπτύξουν οι φοιτητές μας.
- β) Σε επίπεδο ικανοτήτων: Τι θα είναι ικανοί να κάνουν οι φοιτητές μας μετά το πέρας της διδακτικής ενότητας
- γ) Σε επίπεδο στάσεων: Ποιες αξίες και συμπεριφορές επιδιώκεται να αναπτύξουν οι μαθητές μας.

Οι στόχοι μπορούν να διατυπώνονται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ρήματαστη λήψη αποφάσεων, στη συμμετοχή και στην αντιμετώπιση θεμάτων του αγροτικού τομέα και των τροφίμων αλλά και στην πρόληψη ή την επίλυση περιβαλλοντικών ζητημάτων και προβλημάτων.

Οι διδακτικοί στόχοι αναφέρονται:

α) Σε επίπεδο γνωστικό: Ποιές γνώσεις θα αποκτήσουν και ποιες ικανότητες που σχετίζονται με την αξιοποίηση της προσφερθείσας γνώσης θα αναπτύξουν οι μαθητές μας.

β) Σε επίπεδο ικανοτήτων: Τι θα είναι ικανοί να κάνουν οι μαθητές μας μετά το πέρας της διδακτικής ενότητας

γ) Σε επίπεδο στάσεων: Ποιες αξίες και συμπεριφορές επιδιώκεται να αναπτύξουν οι μαθητές μας.

Οι στόχοι μπορούν να διατυπώνονται χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα ρήματα

2.10.5. Ρήματα για τη διατύπωση διδακτικών στόχων

	Ρήματα
Γνώσεις	τακτοποιώ, καθορίζω, περιγράφω, ονομάζω, απαριθμώ, απομνημονεύω, αναγνωρίζω, αναπαράγω, επιλέγω, δηλώνω, εξηγώ, επαναλαμβάνω, ταξινομώ, συνοψίζω, μεταφράζω, αναθεωρώ, υποβάλλω, εκθέτω, συζητώ, υπολογίζω, διατυπώνω, προτείνω, καθιερώνω, συγκεντρώνω, ενσωματώνω, διακρίνω, ερμηνεύω, ορίζω, απαριθμώ, επιλέγω, κατατάσσω, συγκρίνω, συσχετίζω.
Δεξιότητες	χρησιμοποιώ, εφαρμόζω, ανακαλύπτω, εκτελώ, παράγω, εφαρμόζω, κατασκευάζω, αλλάζω, διαχειρίζομαι, διευθύνω, εκτελώ, αντιδρώ, αποκρίνομαι, παρουσιάζω, αναλύω, καταχωρώ, συγκρίνω, μετρώ, πειραματίζομαι, αναπαριστώ, αναπτύσσω, προγραμματίζω, χτίζω, δημιουργώ, σχεδιάζω, οργανώνω, τροποποιώ, αντιδρώ, αποκρίνομαι, διευκρινίζω, ερμηνεύω, συμβάλλω, επιδεικνύω, μετατρέπω, συντάσσω, υπολογίζω, διορθώνω, ελέγχω, επαληθεύω, επιλύω, εφαρμόζω.

Στάσεις	συμμετέχω, συζητώ, αισθάνομαι, υποστηρίζω, προκαλώ, αντικρούω, αντιμετωπίζω, δικαιολογώ, πείθω, επικρίνω, υπερασπίζομαι, αλλάζω, συμφιλιώνομαι, αντιπαραβάλλω, συγκρίνω, υιοθετώ, αποδέχομαι, εκτιμώ, απορρίπτω, αμφισβητώ, διερωτώμαι, ενθαρρύνω, παροτρύνω, προτιμώ, υποκινώ
----------------	--

Πηγή http://pakeioa1.blogspot.gr/2008/02/blog-post_634.html

Ο καθορισμός των στόχων γίνεται αφού ληφθεί υπόψη:

- 1) Το βάθος και η έκταση του γνωστικού αντικείμενου που πρέπει να είναι σύμφωνο με το αναλυτικό πρόγραμμα.
- 2) Τα χαρακτηριστικά των μαθητών όπως ηλικία προηγούμενες γνώσεις ή έλλειψη ή παρανόηση προηγούμενων γνώσεων.

2.10.6. Χώρος

Ανάλογα με το χώρο που θα εξελιχθεί το διδακτικό σενάριο ή κάποιο τμήμα του όπως π.χ. αίθουσα, εργαστήριο ή αγρόκτημα θα χρησιμοποιηθούν και οι ανάλογες διδακτικές μέθοδοι και υλικοτεχνική υποδομή.

2.11. Το διδακτικό υλικό

Στην ανάπτυξη ενός διδακτικού σεναρίου σημαντικό ρόλο κατέχει το διδακτικό υλικό, το οποίο πρέπει να είναι συμβατό με το αναλυτικό πρόγραμμα σπουδών. Περιγράφεται αναλυτικά το προτεινόμενο διδακτικό υλικό του εκπαιδευτικού σεναρίου και η απαιτούμενη υλικοτεχνική υποδομή, π.χ. έντυπο υλικό για μαθητές, χάρτες, κατάλληλο εκπαιδευτικό λογισμικό, η απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή, κατασκευές, κλπ. Το γνωστικό υλικό που θα δοθεί να πρέπει να είναι επιστημονικά ελεγμένο και τεκμηριωμένο.

Μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα σχολικά βιβλία ή και παλαιότερα που δεν διδάσκονται πλέον Επιστημονικά βιβλία, βιβλία από ανώτερες βαθμίδες εκπαίδευσης αφού πρώτα επιλέγουν τμήματα τους που αντιστοιχούν στο επιθυμητό επίπεδο γνώσεων. Επίσης

- Εννοιολογικοί χάρτες
- Επιμορφωτικό υλικό ημερίδων
- Υλικό συνεδρίων κ.τ.λ
- Φύλλα εργασίας
- Φωτογραφίες -βίντεο
- Αξιοποίηση εκπαιδευτικών εργαλείων του διαδικτύου
- Εγκεκριμένο λογισμικό.

2.12. Υλικοτεχνική Υποδοχή

2.12.1. Δραστηριότητες Σεναρίου

Η διδασκαλία οργανώνεται στη βάση κατάλληλων δραστηριοτήτων υλοποίησης του εκπαιδευτικού σεναρίου στην τάξη (διδασκτικές προσεγγίσεις και στρατηγικές, αξιοποίηση της προστιθέμενης αξίας των ΤΠΕ στη μαθησιακή διαδικασία, φύλλα εργασίας, κλπ.). Θα πρέπει να περιγράφονται οι ενέργειες του εκπαιδευτικού όσο και οι ενέργειες των μαθητών, ώστε να επιτευχθούν οι στόχοι του σεναρίου, να δικαιολογούνται οι λόγοι για τους οποίους είναι χρήσιμο να ενταχθούν οι τεχνολογίες στη διαδικασία της διδασκαλίας και της μάθησης, όπως επίσης να αναφέρονται τα συγκριτικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τις παραδοσιακές διδασκτικές τεχνικές (προστιθέμενη αξία). Μέσα από τις δραστηριότητες θα πρέπει να διαμορφωθεί ένα νέο παιδαγωγικό πλαίσιο μέσα στο οποίο θα αναπτύσσονται οι ποικίλες δραστηριότητες, που συμβάλλουν στη δημιουργία ενός νέου μαθησιακού περιβάλλοντος, όπου οι μαθητές και οι μαθήτριες θα καθίστανται συνυπεύθυνοι για τη μάθησή τους και ο ρόλος του εκπαιδευτικού θα γίνεται περισσότερο καθοδηγητικός – συμβουλευτικός.

Οι δραστηριότητες πρέπει να είναι έτσι δομημένες, ώστε το αντικείμενο που θα πρέπει να γνωρίσουν οι φοιτητές να προσεγγίζεται εποικοδομητικά, δηλαδή η διδασκαλία να στηρίζεται

στις προαντιλήψεις των μαθητών/τριών, οι οποίες κατά την εξέλιξη της διδακτικής διαδικασίας ανατρέπονται ή επιβεβαιώνονται διαμορφώνοντας τη νέα γνώση.

Επίσης, θα ήταν σκόπιμο καθ' όλη τη διάρκεια του μαθήματος οι φοιτητές να εργάζονται σε ομάδες πάνω σε προοδευτικά εξελισσόμενους στόχους (ομαδοσυνεργατική μέθοδος).

Η εργασία σε ομάδες σε κοινωνικό επίπεδο ενισχύει τις συνεργατικές σχέσεις και σε μαθησιακό επίπεδο οι μαθητές/τριες μαθαίνουν ο ένας μέσα από την εμπειρία του άλλου.

α) Δραστηριότητες ψυχολογικής και γνωστικής προετοιμασίας.

Ο εκπαιδευτικός κάθε φορά που ξεκινά το μάθημα του πρέπει να φροντίζει να δημιουργήσει το κατάλληλο κλίμα έτσι ώστε να αρχίσει η εκπαιδευτική διαδικασία.

Μία πληροφορία “ nice to know” η αναφορά σε στοχευμένα τυχαία γεγονότα, ή η αναφορά μιας τρέχουσας είδησης μπορεί χαλαρά να συνδέσει τις προηγούμενες γνώσεις με τη νέα ενότητα που θα διδαχθεί. Η αναφορά των διδακτικών στόχων και η χρήση της τεχνικής του καταιγισμού των ερωτήσεων βοηθά τον εκπαιδευτικό να:

1. ανακαλύψει τις πιθανές ελλείψεις ή παρανοήσεις στην προαπαιτούμενη γνώση.
2. οργανώσει ανάλογα τους διδακτικούς στόχους.

2.12.2. Δραστηριότητες διδασκαλίας

Μιας και το γεωπονικό αντικείμενο είναι περισσότερο πρακτικό οι κατάλληλες τεχνικές για την εκπαιδευτική διαδικασία είναι εκείνες που προάγουν τη βιωματική μάθηση μέσω της ενεργής εμπλοκής των φοιτητών.

Έτσι ο εκπαιδευτικός οργανώνει τη διδασκαλία του με τη χρήση κατάλληλων τεχνικών διδασκαλίας του σεναρίου του στην πράξη, όπως με τη δημιουργία ομάδων, με τη μελέτη περίπτωσης, με το παιχνίδι ρόλων, με την επίδειξη και άλλες ενεργητικές τεχνικές. Άλλες δραστηριότητες που μπορεί να χρησιμοποιήσει για να πετύχει τους εκπαιδευτικούς του στόχους είναι η βιβλιογραφική έρευνα, η έρευνα στο internet, αλλά και η δράση στο πεδίο με την πρακτική εφαρμογή μιας εργαστηριακής άσκησης, είτε στο θερμοκήπιο, είτε στον σχολικό κήπο είτε στο εργαστήριο . Αν ο χρόνος και τα μέσα το επιτρέπουν μπορεί να πραγματοποιηθεί και μια εκπαιδευτική επίσκεψη ή μια έρευνα αγοράς με παράλληλη συμπλήρωση ενός ερωτηματολογίου .

2.12.3. Δραστηριότητες εμπέδωσης του γνωστικού αντικειμένου

Οι δραστηριότητες εμπέδωσης βοηθούν τους μαθητές να ανακαλύψουν το βαθμό στον οποίο κατανόησαν το διδακτικό αντικείμενο. Αυτό μπορεί να γίνει με φύλλα εργασίας στα οποία θα πρέπει να απαντήσουν οι μαθητές και με τη βοήθεια του καθηγητή και το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ανάλογο με αυτό που χρησιμοποιήθηκε στο προηγούμενο στάδιο. Τα φύλλα εργασίας θα πρέπει να προάγουν την κριτική σκέψη.

Οι δυνατότητες που προσφέρουν σε αυτή τη φάση τα ψηφιακά εργαλεία είναι πολύ μεγάλη μιας και μπορούν να καλύψουν πλήρως τις ανάγκες του σεναρίου.

Και σε αυτό το στάδιο ο ρόλος του καθηγητή είναι να λειτουργεί ως βοηθός των φοιτητών καλύπτοντας τα κενά τους και τα σημεία που δεν εμπέδωσαν.

2.13. Αξιολόγηση

Στη φάση αυτή θα υπάρχει πρόβλεψη και διαθέσιμος εκπαιδευτικός χρόνος , ώστε η κάθε ομάδα να παρουσιάσει τη δουλειά της και να αξιολογηθεί . Η αξιολόγηση θα αφορά το τελικό έργο και τη λειτουργικότητα της κάθε ομάδας.

Σε κάθε περίπτωση κριτήριο αξιολόγησης πρέπει να είναι οι στόχοι που τέθηκαν. Παράλληλα ο εκπαιδευτικός θα αυτοαξιολογήσει το σενάριο που σχεδίασε, θα κρίνει αν είναι πρακτικά εφαρμόσιμο στο χρόνο που επέλεξε, αν υλοποιήθηκαν οι στόχοι που τέθηκαν και ανάλογα θα το βελτιώσει .

Τέλος, και με βάση την εμπειρία που απέκτησε, θα σχεδιάσει και θα υλοποιήσει και πιθανές επεκτάσεις του σεναρίου του .Η αξιολόγηση του μαθητή και του σεναρίου γίνεται ώστε να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο επετεύχθησαν οι στόχοι του διδακτικού σεναρίου. Μπορεί να γίνει με ρουμπρίκες ή με λογισμικό ή σε συνδυασμό.

Προτείνεται η χρήση φύλλων εργασίας τα οποία θα περιέχουν ερωτήσεις όπως:

α) συμπλήρωσης κενών β) πολλαπλής επιλογής γ) αντιστοίχισης δ) φωτογραφίες κ.α

Η χρήση των ψηφιακών εργαλείων στην αξιολόγηση είναι πολύτιμη.

2.14. Ανατροφοδότηση

Αποτέλεσμα της αξιολόγησης και της σωστής στοχοθεσίας είναι η ανατροφοδότηση του εκπαιδευτικού για το μέγεθος της κάλυψης των διδακτικών στόχων από τον κάθε μαθητή.

Στη συνέχεια προτείνεται από τον καθηγητή εργασία για τους μαθητές που μπορεί να είναι κοινή για όλους ή εξατομικευμένη με βάση τα χαρακτηριστικά του κάθε φοιτητή και τις εκπαιδευτικές του ανάγκες.

2.15. Παρατηρήσεις και οδηγίες

Τέλος δίδονται παρατηρήσεις και οδηγίες για τους εκπαιδευτικούς, που έχουν σαν σκοπό την καλύτερη εφαρμογή του διδακτικού σεναρίου. Επίσης παρατίθενται και η σχετική βιβλιογραφία, παραπομπές, πηγές επιστημονικά ελεγμένες, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και από τον καθηγητή αλλά και ως αρχικό πληροφοριακό υλικό για τους φοιτητές. Πολύ σημαντικό είναι στη χρήση ΤΠΕ, ειδικά σε βίντεο, φωτογραφίες, πληροφορίες από blog, ηλεκτρονικές εγκυκλοπαίδειες κ.α. να γίνεται αναφορά στον συγγραφέα ή στον δημιουργό, ώστε να μην υπάρξει μελλοντικό πρόβλημα με πιθανά πνευματικά δικαιώματα .

2.16. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΑ

Ένα ψηφιακό εκπαιδευτικό σενάριο, για να ικανοποιεί με εγκυρότητα και σαφήνεια τους στόχους του, θα πρέπει :

- να είναι ρεαλιστικό και κατά προτίμηση αληθινό.
- να εξυπηρετεί τους εκπαιδευτικούς στόχους.
- τα στοιχεία και τα δεδομένα του είναι τεκμηριωμένα, σαφή, περιεκτικά και να παρουσιάζονται με μια λογική σειρά και με απλό επιστημονικό λόγο .
- Η ποσότητα των δεδομένων να είναι επαρκής έτσι ώστε να μπορεί να επιλυθεί το πρόβλημα ή το ζητούμενο, αλλά όχι υπερβολική για να μπορέσει να υλοποιηθεί μέσα στο συγκεκριμένο χρονικό πλαίσιο .
- Το ζητούμενο να είναι αρκετά σύνθετο ώστε να χρειάζεται μια επισταμένη μελέτη και προσπάθεια από πλευράς των εκπαιδευόμενων προκειμένου να καταλήξουν σε λύσεις και προτάσεις, ανάλογα πάντα και με το γνωστικό τους υπόβαθρο .
- Να υπάρχει η απαραίτητη υλικοτεχνική υποδομή για την υλοποίηση του, με ασφάλεια
- Το σενάριο προς μελέτη και ανάλυση καλό είναι να μην απαιτεί μια μοναδική και συγκεκριμένη προσέγγιση, αλλά να είναι ανοικτής μορφής και να μπορεί να επιδέχεται παραπάνω από μια λύσεις.
- Το σενάριο που μελετάται να είναι ικανό να εγείρει έντονες συζητήσεις, προβληματισμούς ή και διαφωνίες κατά την ανάλυσή του στην ομάδα.
- Καλό είναι να προβλέπεται αρκετός χρόνος για τη μελέτη, την αξιολόγησή του και την τελική συζήτηση στην ομάδα .

(ΠΟΛΥΔΩΡΟΣ, 2015, σσ. 1-17)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

4.1. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 1: ΑΝΑΛΟΓΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

4.2. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 2: ΣΕΡΒΟΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

4.3. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 3:

4.4. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 4:

4.5. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 5:

4.6. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 6:

4.7. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 7:

4.8. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 8:

4.9. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 9:

4.10. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ 10:

Βιβλιογραφία

1. ΠΟΛΥΔΩΡΟΣ, Β. (2015, ΙΟΥΛΙΟΣ 08). Πλατφορμα «Αισωπος». Ανάκτηση από Πλατφόρμα για Σχεδίαση, Υποβολή, Αξιολόγηση και Αξιοποίηση Ψηφιακών Διδακτικών Σεναρίων από την εκπαιδευτική κοινότητα: http://aesop.iep.edu.gr/sites/default/files/geoponia_-_tehnologia_trofimon_kai_diatrofis.pdf
2. DORF, R. C., & BISHOP, R. H. (2016). *ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ* (12η ed.). (Γ. Α. ΡΟΒΙΘΑΚΗΣ, Ed., & Ν. ΚΩΦΙΔΗΣ, Trans.) ΑΘΗΝΑ: ΤΖΙΟΛΑ.
3. Μαλατέστας, Π. Β. (2017). *ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ* (2η εκδ.). ΑΘΗΝΑ: ΤΖΙΟΛΑ. Ανάκτηση από www.tziola.gr