



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής

Σχολή Μηχανικών

Τμήμα Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής

Τομέας Βιομηχανικών Συστημάτων και Ελέγχου

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ ΘΕΣΗΣ  
ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΔΙΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

Διπλωματική Εργασία

Του

Νικολουδάκου Βασίλειου

**Επιβλέπων Καθηγητής:** Δρ. Παπουτσιδάκης Μιχαήλ

Αιγάλεω, Σεπτέμβριος 2020

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο / Η κάτωθι υπογεγραμμένος / η ΝΙΚΟΛΟΥΔΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ,

του ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ, με αριθμό μητρώου 44251 φοιτητής / τρια του Τμήματος **Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής**, του **Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής** πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε.) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε., ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασης της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση της Π.Ε. με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε. πρέπει να ολοκληρωθεί εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσης της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18, παρ. 5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού.»

Ο Δηλών: ΝΙΚΟΛΟΥΔΑΚΟΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

Ημερομηνία: 09/10/2020

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον καθηγητή μου, κύριο Παπουτσιδάκη Μιχαήλ για την πολύτιμη και ανεκτίμητη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον συμφοιτητή μου Γκιολένα Μάριο για την απίστευτη υποστήριξη, ουσιαστική βοήθεια και συμπαράσταση. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη μητέρα μου, Λαλέα Σοφία, η οποία ως φιλόλογος, επιμελήθηκε τη διόρθωση συντακτικών, εκφραστικών και ορθογραφικών λαθών της διπλωματικής μου εργασίας.

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τα πνευματικά συστήματα διαδίδονται και εφαρμόζονται όλο και περισσότερο στη σύγχρονη βιομηχανία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι πολλά προβλήματα στη βιομηχανία μπορούν να επιλυθούν πιο εύκολα και οικονομικότερα με τη χρήση πνευματικών συστημάτων. Ένα πνευματικό σύστημα στην ουσία, είναι ένα σύστημα το οποίο χρησιμοποιεί σαν ενέργεια πεπιεσμένο αέρα και παράγει μηχανική κίνηση. Αυτό φέρει πολλά πλεονεκτήματα, διότι ο πεπιεσμένος αέρας είναι ανεξάντλητος και διαθέσιμος οπουδήποτε άρα και πιο οικονομικός. Επίσης τα πνευματικά συστήματα έχουν τη δυνατότητα αποθήκευσης και μεταφοράς ενέργειας, είναι κατάλληλα σε εφαρμογές που απαιτούνται μεγάλες ταχύτητες και μικρές δυνάμεις, είναι απόλυτα ασφαλή από θέμα κινδύνου εκρήξεων ή πυρκαγιάς και δεν μολύνουν ή λερώνουν σε περιπτώσεις διαρροών του αέρα από τις σωληνώσεις του πνευματικού συστήματος.

Σκοπός της παρούσης διπλωματικής εργασίας, είναι η προσομοίωση ενός ακριβή ελέγχου θέσης ενός πνευματικού εμβόλου διπλής ενέργειας, οδηγούμενο από μια αναλογική βαλβίδα 5/2. Πιο συγκεκριμένα, θα ορίζεται μια επιθυμητή τιμή θέσης του εμβόλου από τον χρήστη, στην οποία το έμβολο θα πρέπει να καταφθάνει. Για να επιτευχθεί αυτό, θα αναπτυχθεί ένα λεπτομερές μαθηματικό μοντέλο το οποίο θα περιγράφει όσο το δυνατόν πιο αξιόπιστα το σύστημα, δηλαδή το διπλής ενέργειας έμβολο, τη βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης καθώς επίσης και το μαθηματικό μοντέλο του ελεγκτή. Στη συνέχεια θα πραγματοποιηθεί μοντελοποίηση του συστήματος με βάση τις εξισώσεις που θα έχουν ήδη καταγραφεί θεωρητικά και παραμετροποιηθεί στο (MatlabSimulink).

Τέλος θα ξεκινήσει η διαδικασία πειραματισμού με διάφορες μεθόδους ελέγχου. Θα γίνει χρήση ελεγκτών όπως Proportional (P), Proportional-Integral (PI), Proportional - Derivative (PD), καθώς και Proportional - Integral-Derivative (PID) με σκοπό την σύγκριση των αποτελεσμάτων, έτσι ώστε να επιλεγεί ο πιο κατάλληλος ελεγκτής για την απαιτούμενη και σωστή λειτουργία του συστήματος.

## **ΛΕΞΕΙΣ - ΚΛΕΙΔΙΑ:**

Πνευματικό Σύστημα, Μέθοδοι Ελέγχου, Simulink, PID Controller, Ελεγκτής ασαφούς λογικής,

## **ABSTRACT**

Pneumatic systems are becoming more and more widespread and applied in modern industry. This is due to the fact that many problems in the industry can be solved more easily and economically with the use of pneumatic systems. A pneumatic system, in essence, is a system that uses compressed air as energy and produces mechanical motion. This has many advantages, because the compressed air is inexhaustible and available everywhere and therefore more economical. Pneumatic systems also have the ability to store and transfer energy, are suitable for applications that require high speeds and low forces, are completely safe from the risk of explosion or fire and do not contaminate or spoil in cases of air leaks from the piping of the pneumatic system.

The purpose of this thesis is to simulate a precise position control of a dual energy pneumatic piston driven by a 5/2 proportional valve. More specifically, a desired position of the piston will be set by the user, to which the piston should reach. To achieve this, a detailed mathematical model will be developed which will describe the system as reliably as possible, namely the dual-action piston, the steering control valve as well as the controller mathematical model. Then the system will be modeled based on the equations that will have already been theoretically recorded and configured in (Matlab Simulink)

Finally, the process of experimentation with various control methods will begin. Controllers such as Proportional (P), Proportional-Integral (PI), Proportional Derivative (PD), and Proportional-Integral-Derivative (PID) will be used to compare the results so that the most appropriate controller can be selected for the required and proper system operation.

## **KEYWORDS:**

Pneumatic System, Control Methods, Simulink, PID Controller, fuzzy logic controller

## Περιεχόμενα

Πίνακας Εικόνων .....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Εισαγωγή στα Πνευματικά Συστήματα. ....	3
1.1. Ορισμός των Πνευματικών Συστημάτων. ....	3
1.2. Ιστορική αναδρομή στα Πνευματικά Συστήματα. ....	4
1.3. Εφαρμογές των Πνευματικών Συστημάτων. ....	6
1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Πνευματικών Συστημάτων. ....	7
1.5. Περιγραφή Πνευματικών Συστημάτων. ....	7
1.6. Στοιχεία κίνησης των Πνευματικών Συστημάτων. ....	9
1.6.1. Κύλινδροι απλής ενέργειας. ....	9
1.6.2. Κύλινδροι διπλής ενέργειας. ....	10
1.6.3. Στοιχεία ελέγχου Πνευματικών Συστημάτων. ....	12
1.6.4. Βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης Πνευματικών Συστημάτων. ....	15
1.6.5. Βαλβίδες σημάτων Πνευματικού Συστήματος. ....	16
1.6.6. Αντεπίστροφες βαλβίδες Πνευματικών Συστημάτων. ....	17
1.6.7. Βαλβίδες ελέγχου πιέσεως Πνευματικών Συστημάτων. ....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 -Μοντέλα Προσομοίωσης. ....	18
2.1. Μέθοδος μελέτης με χρήση προσομοίωσης. ....	18
2.2. Τύποι προσομοιώσεων. ....	18
2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προσομοίωσης. ....	18
2.3.1. Πλεονεκτήματα προσομοίωσης. ....	18
2.3.2. Μειονεκτήματα προσομοίωσης. ....	19
2.4. Matlab. ....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-Εφαρμογή Μοντέλων Προσομοίωσης. ....	20
3.1. Προσομοίωση Κλασικών Μεθόδων Ελέγχου στα Πνευματικά Συστήματα. ....	21
3.2. Αναλογικός-Ολοκληρωτικός (PI) ελεγκτής. ....	23
3.3. Αναλογικός-Διαφορικός (PD) ελεγκτής. ....	24
3.4. Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός (PID) ελεγκτής. ....	26
3.5. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό ελεγκτή (P). ....	27
3.6. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικού-Ολοκληρωτικού ελεγκτή (PI). ....	28

3.7. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό -Διαφορικό Ελεγκτή (PD).....	29
3.8. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό-Ολοκληρωτικό-Διαφορικό Ελεγκτή (PID).....	30
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντικές Βελτιώσεις στον έλεγχο των πνευματικών συστημάτων.....	31
4.1. Λύση κλασικών μεθόδων ελέγχου.....	31
4.2. Προτάσεις για Μελλοντικές βελτιώσεις.....	33
4.2.1. Ελεγκτής ασαφούς λογικής (fuzzy logic Controller).....	33
4.2.2. Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT).....	35
Βιβλιογραφία .....	38

## Πίνακας Εικόνων

ΕΙΚΟΝΑ 1 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΑΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	10
ΕΙΚΟΝΑ 2 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΑΠΛΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΜΕ ΕΛΑΤΗΡΙΟ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ .....	10
ΕΙΚΟΝΑ 3 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΑΠΛΟΥ ΒΑΚΤΡΟΥ .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 4ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΔΙΠΛΟΥ ΒΑΚΤΡΟΥ .....	11
ΕΙΚΟΝΑ 5 ΤΗΛΕΣΚΟΠΙΚΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 6 ΚΥΛΙΝΔΡΟΣ ΕΠΙΒΡΑΔΥΝΣΗΣ .....	12
ΕΙΚΟΝΑ 7 ΒΑΛΒΙΔΑ ΔΥΟ ΘΕΣΕΩΝ .....	13
ΕΙΚΟΝΑ 8 ΒΑΛΒΙΔΑ ΤΡΙΩΝ ΘΕΣΕΩΝ.....	13
ΕΙΚΟΝΑ 9 ΡΟΗ ΑΕΡΑ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 10 ΔΙΑΚΟΠΗ ΡΟΗΣ ΑΕΡΑ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 11 ΒΑΛΒΙΔΑ ΤΡΙΩΝ ΟΠΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΔΥΟ ΡΟΗΣ, ΜΙΑ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 12 ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΕΝΤΕ ΟΠΩΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ: ΤΡΙΩΝ ΡΟΗΣ, ΔΥΟ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ .....	14
ΕΙΚΟΝΑ 13 ΒΑΛΒΙΔΑ 5/2.....	15
ΕΙΚΟΝΑ 14 ΒΑΛΒΙΔΑ 5/3 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΑΝΟΙΧΤΗ ΘΕΣΗ .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 15 ΒΑΛΒΙΔΑ 5/3 ΜΕ ΕΝΔΙΑΜΕΣΗ ΘΕΣΗ ΚΛΕΙΣΤΗ .....	16
ΕΙΚΟΝΑ 16 ΒΑΛΒΙΔΑ 3/2.....	17
ΕΙΚΟΝΑ 17 ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΕΝΟΣ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ .....	21
ΕΙΚΟΝΑ 18 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑΡΙΕΛΕΓΚΤΗ.....	23
ΕΙΚΟΝΑ 19 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ PD ΕΛΕΓΚΤΗ.....	25
ΕΙΚΟΝΑ 20 ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ PID ΕΛΕΓΚΤΗ.....	27

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας, έχει ξεκινήσει μια προσπάθεια να εισαχθούν στην καθημερινότητα μας τεχνολογικά μέσα, έτσι ώστε να μπορέσουν να καλυφθούν με τον καλύτερο δυνατό τρόπο οι καθημερινές μας ανάγκες. Στον τομέα της βιομηχανίας, της έρευνας, των εφαρμογών, διαπιστώθηκε η ανάγκη ύπαρξης και χρήσης προγραμμάτων προσομοίωσης, διότι παρέχουν ασφάλεια, μειώνουν το κόστος και είναι προσιτά ως προς την χρήση, τόσο για επαγγελματίες όσο και για φοιτητές.

Στην παρούσα διπλωματική θα παρουσιάσω τη μελέτη εφαρμογής μεθόδων ελέγχου ενός «πνευματικού συστήματος» σε περιβάλλον προσομοίωσης. Ακόμα, θα αναλύσω και θα περιγράψω τη λειτουργία αυτού του πνευματικού συστήματος, όπως επίσης και όλες τις μεθόδους ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν στο πνευματικό σύστημα. Η μελέτη αυτή σαν αντικείμενο έχει, αφενός την προσπάθεια να απαντήσει σε ερωτήματα όπως, εάν είναι κατάλληλες οι συγκεκριμένες μέθοδοι ελέγχου και αν είναι αποτελεσματικές για το εν λόγω πνευματικό σύστημα, και αφετέρου να προτείνει επιπρόσθετες ιδέες για χρήση διαφορετικών τρόπων ελέγχου, σε πιθανή μελλοντική μελέτη των μεθόδων ελέγχου ενός πνευματικού συστήματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- Εισαγωγή στα Πνευματικά Συστήματα.

### 1.1. Ορισμός των Πνευματικών Συστημάτων.

Για να ορίσουμε το τι είναι ένα πνευματικό σύστημα πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε την λέξη «πνεύμα». Η λέξη πνεύμα προέχεται από την αντίστοιχη αρχαία Ελληνική λέξη (πνεύμα), όπου στα αρχαία Ελληνικά είχε την σημασία του ανέμου, του αέρα και της αναπνοής. Κατά την διάρκεια της ύστερης αρχαιότητας και του μεσαίωνα ξεκινά να αποκτά διάφορες τεχνικές έννοιες, κυρίως στην επιστήμη της ιατρικής.

Στην σημερινή εποχή, ο όρος «πνευματικό σύστημα» χρησιμοποιείται για να παρουσιάσει αυτόματα συστήματα κίνησης, τα οποία έχουν σαν ενεργειακό μέσο πεπιεσμένο αέρα και η λειτουργία τους έχει σαν αποτέλεσμα την παλινδρομική κίνηση εμβόλων ή την περιστροφή κινητήρων.» [1]

Πιο απλά θα μπορούσαμε να ορίσουμε ως πνευματικό σύστημα κάθε σύστημα το οποίο παράγει έργο χρησιμοποιώντας ως ενέργεια αποθηκευμένο πεπιεσμένο αέρα.



## 1.2. Ιστορική αναδρομή στα Πνευματικά Συστήματα.

Τα πνευματικά συστήματα όπως προαναφέραμε χρησιμοποιούν τον πεπιεσμένο αέρα ως ενεργειακό μέσο. Η χρήση του αέρα σαν μορφή κινητικού μέσου ανάγεται ήδη στην αρχαιότητα. Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν ήδη, από αρχαιοτάτων χρόνων, μέσα, με τα οποία δάμαζαν την ενέργεια του ανέμου προς όφελός τους.

Ένα από τα πιο γνωστά ίσως παραδείγματα είναι τα πανιά των πλοίων. Τα πανιά των πλοίων, αν και τα παραγνωρίζουμε σαν εφεύρεση, συνέβαλαν τρομερά στην ανάπτυξη της ανθρωπότητας. Αυτό έγινε μέσω της ανάπτυξης του εμπορίου, οπότε προέκυψε η ανάπτυξη της βιοτεχνίας και η ανταλλαγή ιδεών και απόψεων που οδήγησαν στην εξέλιξη του ανθρώπινου γένους.

Ένα άλλο παράδειγμα, είναι αυτό του ανεμόμυλου. Οι ανεμόμυλοι χρησιμοποιούνταν από την αρχαιότητα μέχρι και πριν από μερικές δεκαετίες με την ίδια ακριβώς μορφή που είχαν και πριν από μία και δύο χιλιετίες. Χρησιμοποιούνταν τόσο για την άλεση των σιτηρών όσο και για την άντληση των υδάτων.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν ότι, ήδη από την πρώιμη αρχαιότητα, η χρήση του αέρα ως μέσο κινητικής ενέργειας, απασχολούσε έντονα τους εφευρέτες – μηχανικούς της τότε εποχής. Αυτό οδήγησε στην ανακάλυψη και δημιουργία μεγάλου πλήθους μηχανικών εφαρμογών, που είχαν τον αέρα ως κινητήρια δύναμη, δημιουργώντας ουσιαστικά τις κατηγορίες των συστημάτων που ονομάζουμε σήμερα «αιολικά» καθώς και τα «πνευματικά».

- Ο Κτησίβιος ο Αλεξανδρεύς (228 – 222 π.Χ.), ο οποίος ήταν γνωστός μαθηματικός, μηχανικός και εφευρέτης από την Αλεξάνδρεια της Αιγύπτου, θεωρείται ο πατέρας της πνευματικής επιστήμης. Αν και δεν έχει διασωθεί κάποιο από τα έργα του, βρίσκουμε πληροφορίες γι' αυτόν στον Βιτρούβιο, τον Φίλωνα τον Βυζάντιο, τον Αθηναίο, καθώς και σε άλλους. Από τα πιο γνωστά πνευματικά συστήματα που σχεδίασε είναι τα «τηλεβόλα» όπλα. Ήταν βλητικές μηχανές που λειτουργούσαν με την χρήση πεπιεσμένου αέρα.

- Όμως, ο πιο γνωστός εφευρέτης – μηχανικός από την αρχαιότητα που ασχολήθηκε με τα πνευματικά συστήματα ήταν ο Ήρων ο Αλεξανδρεύς (~10 μ.Χ. – 73 μ.Χ.), ο οποίος είναι και ο συγγραφέας των Πνευματικών Α΄ και Β΄.
- Ο Otto von Guericke (1602 – 1686) ήταν ένας σπουδαίος Γερμανός επιστήμονας – εφευρέτης – μηχανικός, ο οποίος το 1650 εφευρέ μια αντλία κενού, με την οποία πραγματοποίησε και το γνωστό πείραμα των «Ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου». Ο Otto von Guericke είναι αυτός που θεμελίωσε την «φυσική του κενού».

Δύο αιώνες μετά το περιβόητο πείραμα των «Ημισφαιρίων του Μαγδεμβούργου» από τον Otto von Guericke τα πνευματικά συστήματα έπαψαν να είναι απλά αξιοπερίεργα αντικείμενα ή συσκευές διασκέδασης (για παράδειγμα μηχανικά πουλιά, μουσικά όργανα και άλλα). Μπαίνουμε σε μία εποχή όπου τα πνευματικά συστήματα ξεκινούν να είναι πιο πρακτικά και να εξυπηρετούν καθημερινές ανάγκες ή δραστηριότητες αυτών που τα χρησιμοποιούν. Το 1829, πατεντάρεται ο πρώτος αεροσυμπιεστής από τον George Stephenson (στα πλαίσια της προσπάθειας του να αξιοποιήσει την κινητήρια δύναμη του ατμού), ο οποίος είχε την ικανότητα να συμπιέζει τον αέρα σε διαδοχικούς θαλάμους.

Καθ' όλη τη διάρκεια του 19<sup>ου</sup> αιώνα, γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη και διάδοση οι λεγόμενοι «πνευματικοί σωλήνες» ή αλλιώς «σωληνωτά ταχυδρομεία», τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ευρύτατα στην Βικτωριανή Αγγλία για την μεταφορά τηλεγραφημάτων από τον ένα τηλεγραφικό σταθμό στον άλλο. Επίσης ευρεία διάδοση γνωρίζουν και στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής.

Το 1867 ο Alfred Beach (1826 – 1896) δημιούργησε την πιο εξελιγμένη θα λέγαμε μορφή των πνευματικών σωλήνων. Ουσιαστικά δημιούργησε τον πρώτο υπόγειο σιδηρόδρομο, στη Νέα Υόρκη, ο οποίος λειτουργούσε με την χρήση πνευματικής ενέργειας. Η γραμμή ουσιαστικά είχε μόνο δύο σταθμούς και έναν συρμό και λειτούργησε από το 1870 μέχρι και το 1873.

Το 1871 έχουμε την εφεύρεση του πρώτου πνευματικού εργαλείου. Εφευρέθηκε το «πνευματικό τρυπάνι», το οποίο από ορισμένες πηγές αποδίδεται στον Simon Ingresol (1818 – 1894) πληροφορία που είναι αμφισβητούμενη. Το 1890 ο Charles

Brandy (1869 – 1957)δημιουργεί το «πνευματικό σφυρί», το οποίο χρησιμοποιείται ευρύτατα στην κατασκευή σκαφών καθώς και στην κατασκευή των σιδηροδρομικών γραμμών.

Τις τελευταίες δεκαετίες οι συσκευές που χρησιμοποιούν τον συμπιεσμένο αέρα αναπτύχθηκαν σε τέτοιο βαθμό, ώστε να έχουμε μία πάρα πολύ μεγάλη γκάμα συστημάτων, τα οποία χρησιμοποιούν την πνευματική ενέργεια. Τα πνευματικά συστήματα αποκτούν όλο και μεγαλύτερη θέση στην βιομηχανία, αφού αποτελούν συνήθως οικονομικότερες λύσεις, πιο φιλικές τόσο ως προς τον χρήστη όσο και ως προς το περιβάλλον. Τα πνευματικά συστήματα διένυσαν μία μεγάλη απόσταση για να φτάσουν σήμερα να αποτελούν μέρος της καθημερινότητας του μέσου ανθρώπου.

### 1.3. Εφαρμογές των Πνευματικών Συστημάτων.

Αρκετά συχνά ελέγχουμε την πίεση του αέρα των ελαστικών μας· άλλοτε πηγαίνουμε στον οδοντίατρο για έναν καθαρισμό δοντιών ή βλέπουμε τα δελτία καιρού στις ειδήσεις ή ακούμε πυροβολισμούς από ένα πυροβόλο όπλο σε μία ταινία. Το κοινό που έχουν όλα αυτά τα παραδείγματα μεταξύ τους, είναι ότι χρησιμοποιείται για όλα κάποιο είδος πνευματικού συστήματος.

Γίνεται λοιπόν αντιληπτό, ότι τις εφαρμογές των πνευματικών συστημάτων τις συναντάμε σε κάθε πτυχή της καθημερινότητας μας.

Στην παρούσα εργασία πρόκειται να ασχοληθούμε με τις βιομηχανικές εφαρμογές τους. Οι βιομηχανικές εφαρμογές των πνευματικών συστημάτων όπως τις αντιλαμβανόμαστε σήμερα σε σχέση με την αυτοματοποίηση των γραμμών παραγωγής, ξεκινάει από την δεκαετία του 1950 και έκτοτε η χρήση τους διαρκώς αυξάνεται. Χάρη στην χρήση των πνευματικών συστημάτων ελέγχου, μπορεί να πραγματοποιηθεί κάθε συνάρτηση δυαδικού ελέγχου, καθώς επίσης δύναται να σχεδιαστούν και πραγματοποιηθούν τα περισσότερα κυκλώματα αυτόματου ελέγχου, που βασίζονται στην ψηφιακή δυαδική λογική.

#### 1.4. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των Πνευματικών Συστημάτων.

Όπως είδαμε παραπάνω, τα Πνευματικά συστήματα αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς μας, τόσο σε ατομικό επίπεδο, όσο και σε βιομηχανικές εφαρμογές. Πριν την περιγραφή ενός Πνευματικού συστήματος, κρίνεται κατάλληλο να πραγματοποιήσουμε μία αντιπαραβολή ανάμεσα στα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα των Πνευματικών Συστημάτων είναι:

- Η ικανότητά τους να αναπτύσσουν μεγάλες δυνάμεις.
- Η υψηλή ταχύτητα απόκρισής τους.
- Η δυνατότητα της συμπίεσης του αέρα και η αποθήκευσή του.
- Η μεγάλη προσαρμοστικότητα στη ρύθμιση της ταχύτητας και της δύναμής τους.
- Το κόστος συντήρησης και κατασκευής των συστημάτων ρύθμισης και ελέγχου είναι πολύ χαμηλό, με τα εξαρτήματά τους να βρίσκονται άμεσα και εύκολα.
- Μη επιβάρυνση του περιβάλλοντος από ρύπους.
- Μπορούν να εργάζονται σε ακραίες περιβαλλοντολογικές συνθήκες, επειδή έχουν το πλεονέκτημα ότι δεν κινδυνεύουν από υπερφόρτιση.

Τα κυριότερα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν τα Πνευματικά Συστήματα είναι τα εξής:

- Το πολύ υψηλό κόστος για την παραγωγή του πεπιεσμένου αέρα.
- Βραδύτερος χρόνος απόκρισης του σήματος σε σχέση με τα ηλεκτρικά.
- Η παραγωγή μεγάλων δυνάμεων προϋποθέτει ογκώδεις και υψηλού κόστους πνευματικούς ενεργοποιητές. (Λιγνός Ι, Μπουσλής Π, Πολίτης Γ., Χαμηλοθώρης Γ., Αθήνα 2001. 102)

#### 1.5. Περιγραφή Πνευματικών Συστημάτων.

Ο θεμελιώδης στόχος ενός Πνευματικού Συστήματος είναι η παραγωγή, η διάθεση και η διανομή πεπιεσμένου αέρα σε ένα Πνευματικό Σύστημα. Ο αέρας πρέπει να είναι απαλλαγμένος από σκόνες και ρύπους, δίχως υγρασία και πρέπει επίσης να βρίσκεται υπό μία απαιτούμενη από την εφαρμογή πίεση. Η πίεση αέρα που απαιτούν τα συμβατικά Πνευματικά Συστήματα αυτοματισμού, κυμαίνεται μεταξύ 1,5atm έως 12 atmπίεσης. Η παραγωγή του πεπιεσμένου αέρα γίνεται από τους αεροσυμπιεστές (compressors) και από αυτούς γίνεται η μεταφορά και διανομή στο δίκτυο εγκατάστασης. Τα βασικά μέρη από τα οποία αποκαλείται ένα Πνευματικό Σύστημα είναι τα ακόλουθα:

- Ο αεροσυμπιεστής (Power Unit), ο οποίος αποτελεί την βασική μονάδα που επεξεργάζεται και παρέχει πεπιεσμένο αέρα.
- Το αεριοφυλάκιο (Pressure vessel), το οποίο είναι ένα δοχείο σχεδιασμένο να αποθηκεύει αέρια σε μεγαλύτερη πίεση από το εξωτερικό περιβάλλον.
- Μονάδα ψύξης και ξήρανσης ,η οποία ελέγχει και ρυθμίζει τη θερμοκρασία του αέρα και τις επιδράσεις της στο σύστημα, καθώς και επιτυγχάνει τα βέλτιστα επίπεδα υγρασίας για την αποφυγή της διάβρωσης του συστήματος.
- Βαλβίδες, οι οποίες έχουν πολλαπλούς ρόλους: παροχή αέρα (Signal), επεξεργασία σήματος (Processing) και έλεγχο κατεύθυνσης του αέρα στο δίκτυο (Control Valve).
- Έμβολα αέρος.

Εφόσον πληρούνται οι απαραίτητες προϋποθέσεις ως προς την συμπίεση, την καθαριότητα, τα ποσοστά υγρασίας και λίπανσης για την σωστή λειτουργία όλων των μερών που απαρτίζουν το πνευματικό σύστημα, το αμέσως επόμενο σε ιεραρχία, ως στοιχείο ενός πνευματικού συστήματος, είναι το έμβολο αέρος. Τα έμβολα αέρος συνοδεύονται πάντα από βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης, οι οποίες είναι απολύτως απαραίτητες για την εύρυθμη λειτουργία του εμβόλου και πρέπει να βρίσκονται σε όσο το δυνατόν μικρότερη απόσταση από αυτό. Μεταξύ του εμβόλου και της βαλβίδας ελέγχου, παρεμβάλλονται διάφορες άλλες ρυθμιστικές βαλβίδες, οι οποίες δίνουν και τα απαραίτητα σήματα για την ενεργοποίηση της βαλβίδας ελέγχου. Όλα τα ανωτέρω μέρη του πνευματικού συστήματος, συνδέονται μεταξύ τους με σωλήνες υψηλής πίεσης, κατάλληλες για την μεταφορά πεπιεσμένου αέρα. [1],[2],[3],[4],[5],[6]

Σε περίπτωση που ένα πνευματικό σύστημα διαθέτει περισσότερα του ενός έμβολα, το κάθε έμβολο έχει την δική του βαλβίδα ελέγχου καθώς και βαλβίδες συστήματος και επεξεργασίας, ώστε ουσιαστικά το σύνολο του πνευματικού αυτοματισμού να απαρτίζεται από υποσύνολα του ενός εμβόλου, τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.

## 1.6. Στοιχεία κίνησης των Πνευματικών Συστημάτων.

Τα κινητά μέρη (Στοιχεία κίνησης) των Πνευματικών συστημάτων, είναι οι κύλινδροι που μπορούν και μετατρέπουν την παραγόμενη ισχύ από τον πεπιεσμένο αέρα σε γραμμική κίνηση, η οποία χρησιμοποιείται για λειτουργίες όπως:

- Ωθηση – έλξη.
- Ανύψωση φορτίων.
- Τροφοδοσία συσκευών.
- Ενεργοποιητή μοχλών
- Και λειτουργίες άλλων συστημάτων αυτοματισμού.

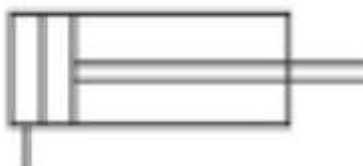
Για να επιτύχουμε την επιθυμητή παλινδρομική κίνηση, χρησιμοποιούμε πνευματικούς κύλινδρους. Οι πνευματικοί κύλινδροι αποτελούν απλές κατασκευές που περιλαμβάνουν έναν θάλαμο, μέσα στον οποίο βρίσκονται ένα πιστόνι και μία ράβδος επενέργειας, η οποία πραγματοποιεί την ευθύγραμμη κίνηση, καθώς και τις θύρες εισόδου και εξόδου του αέρα. Οι πνευματικοί κύλινδροι διακρίνονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

### 1.6.1. Κύλινδροι απλής ενέργειας.

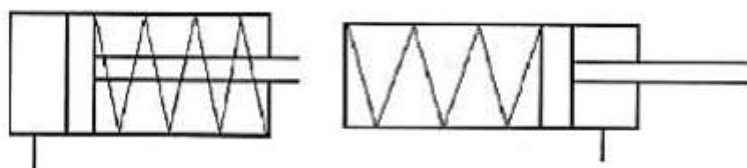
Στους κύλινδρους απλής ενέργειας ο πεπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για να παράγει έργο μονής κατεύθυνσης. Η κίνηση του άξονα προς την επιθυμητή κατεύθυνση, επιτυγχάνεται με την χρήση του αέρα, ενώ η επιστροφή στην αρχική θέση, πραγματοποιείται, είτε από εξωτερικά ασκούμενη δύναμη ή από την χρήση ελατηρίων έλξης, η δύναμη των οποίων επιλέγεται ώστε η επιστροφή να γίνεται σε

πολύ υψηλή ταχύτητα. Οι κύλινδροι απλής ενέργειας με ενσωματωμένο ελατήριο, έχουν περιορισμένο μήκος, λόγω των περιορισμών που διαθέτει το ελατήριο.

Το Βάκτρο των κυλίνδρων απλής ενέργειας, συνήθως καταλήγει σε σπείρωμα ούτως ώστε να μπορεί να συνδέεται με κάποιο εξάρτημα. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε την δύναμη που ασκείται στο έμβολο ενός κυλίνδρου απλής ενέργειας, η δύναμη αυτή ισούται με την παραγόμενη δύναμη από τον πεπιεσμένο αέρα, αφού αφαιρέσουμε την δύναμη που ασκείται από το ελατήριο.



Εικόνα 1 Κύλινδρος απλής ενέργειας χωρίς ελατήριο επαναφοράς



Εικόνα 2 Κύλινδρος απλής ενέργειας με ελατήριο επαναφοράς

Επομένως, καταλήγουμε στην σχέση:

$$F = (P1 - P2) \cdot A - F_{ελ}$$

Όπου:

A: επιφάνεια εμβόλου

P1: απόλυτη πίεση αέρα

P2: ατμοσφαιρική πίεση.

F<sub>ελ</sub>: δύναμη ελατηρίων

### 1.6.2. Κύλινδροι διπλής ενέργειας.

Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας διαθέτουν δύο στόμια, με τέτοια διάταξη, ώστε η δύναμη που ασκείται από τον πεπιεσμένο αέρα στο κάθε στόμιο να κινεί το έμβολο προς την μία ή την άλλη κατεύθυνση. Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας χρησιμοποιούνται εκεί όπου είναι απαραίτητη η εκτέλεση έργου κατά την έξοδο ή και κατά την είσοδο του Βάκτρου.

Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας χωρίζονται σε υποκατηγορίες οι οποίες είναι:

- Κύλινδροι διπλής ενέργειας με απλό βάκτρο.
- Κύλινδροι διπλής ενέργειας με διπλό βάκτρο.
- Τηλεσκοπικοί κύλινδροι διπλής ενέργειας.
- Κύλινδροι διπλής ενέργειας με διάταξη επιβράδυνσης.

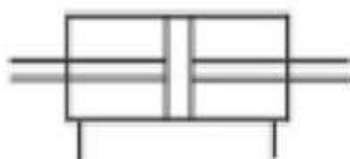
Οι κύλινδροι διπλής ενέργειας έχουν περισσότερες εφαρμογές και μεγαλύτερη διάδοση από τους κυλίνδρους απλής ενέργειας, διότι, τόσο η έκταση όσο και η σύμπτυξη του βάκτρου, γίνεται με την χρήση πεπιεσμένου αέρα.

Ο συμβολισμός του κυλίνδρου απλού βάκτρου είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 3 Κύλινδρος απλού βάκτρου

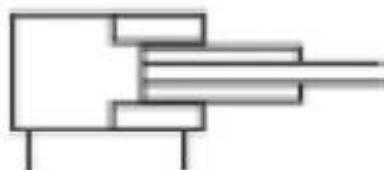
Ο συμβολισμός κυλίνδρου διπλού βάκτρου είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 4 κύλινδρος διπλού βάκτρου

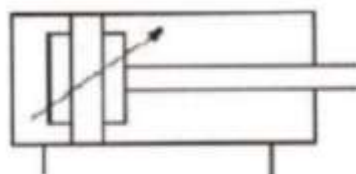


Ο συμβολισμός του τηλεσκοπικού κυλίνδρου είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 5 Τηλεσκοπικός κύλινδρος

Ο συμβολισμός κυλίνδρου επιβράδυνσης είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 6 Κύλινδρος επιβράδυνσης

Ο υπολογισμός της ενέργειας στους κυλίνδρους διπλής ενέργειας, είναι παρόμοιος με αυτόν που αναφέραμε προηγουμένως στους κυλίνδρους απλής ενέργειας, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η συνιστώσα του ελατηρίου και δίνεται από τον τύπο:

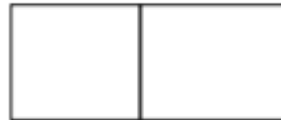
$$F = (P1 - P2) \cdot A$$

Το βασικό πλεονέκτημα που έχουν οι κύλινδροι διπλής ενέργειας ως προς τους κυλίνδρους απλής ενέργειας, είναι το μήκος της διαδρομής που δύνανται να καλύψουν, αφού είναι θεωρητικά άπειρο και οι μόνοι περιορισμοί που υπάρχουν ως προς αυτό, είναι η πιθανή καταπόνηση του βάρκρου, που μπορεί να οδηγήσει σε θραύση ή κάμψη αυτού. Η βέλτιστη σχέση μεταξύ διαδρομής ως προς την διάμετρο του εμβόλου για την αποφυγή μηχανικών προβλημάτων και αστοχιών είναι 15:1.

### 1.6.3. Στοιχεία ελέγχου Πνευματικών Συστημάτων.

Για να μπορέσουμε να ελέγξουμε τις λειτουργίες σε ένα Πνευματικό Σύστημα, χρειαζόμαστε απαραίτητως βαλβίδες. Οι βαλβίδες είναι συσκευές οι οποίες ρυθμίζουν διάφορες λειτουργίες του εμβόλου, όπως την ρύθμιση της κίνησης ή της στάσης του εμβόλου, αλλά και τον καθορισμό της κατεύθυνσης του πεπιεσμένου αέρα.

- Οι βαλβίδες κατά την μοντελοποίηση των συστημάτων, συμβολίζονται με την χρήση τετραγωνιδίων.
  - Βαλβίδα δύο τετραγωνιδίων ονομάζεται βαλβίδα δύο θέσεων και συμβολίζεται ως εξής:



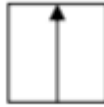
*Εικόνα 7 Βαλβίδα δύο θέσεων*

- Βαλβίδα τριών τετραγωνιδίων ονομάζεται βαλβίδα τριών θέσεων και συμβολίζεται ως εξής:



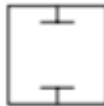
*Εικόνα 8 Βαλβίδα τριών θέσεων*

- Στα τετραγωνίδια υπάρχουν γραμμές ή βέλη που χαρακτηρίζουν την ροή του αέρα σε όποια κατάσταση:
  - Η ροή του αέρα συμβολίζεται ως εξής:



Εικόνα 9 Ροή αέρα

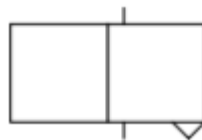
- Η διακοπή ροής του αέρα συμβολίζεται ως εξής:



Εικόνα 10 Διακοπή ροής αέρα

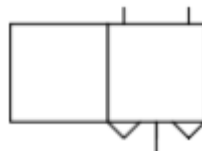
- Έξω από τα τετραγωνίδια υπάρχουν κάποιες γραμμές που δείχνουν τις οπές της βαλβίδας:

- Βαλβίδα με τρεις οπές εργασίας: δύο ροής και μία εκτόνωσης και συμβολίζεται ως εξής:



Εικόνα 11 Βαλβίδα τριών οπών εργασίας: δύο ροής, μία εκτόνωσης

- Βαλβίδα πέντε οπών εργασίας: τριών ροής και δύο εκτόνωσης και συμβολίζεται ως εξής:

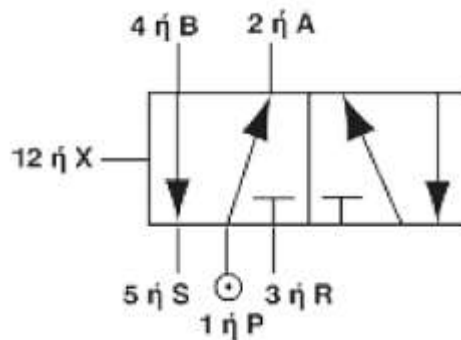


Εικόνα 12 Βαλβίδα πέντε οπών εργασίας: τριών ροής, δύο εκτόνωσης

Το τετραγωνίδιο όπου βρίσκονται οι γραμμές, περιγράφει την κατάσταση ηρεμίας της βαλβίδας και εξαρτάται από τον αριθμό των δυνατών θέσεων και τον αριθμό των οπών. Ο χαρακτηρισμός των βαλβίδων γίνεται με κλάσμα ( π.χ. βαλβίδα 5/3).

#### 1.6.4. Βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης Πνευματικών Συστημάτων.

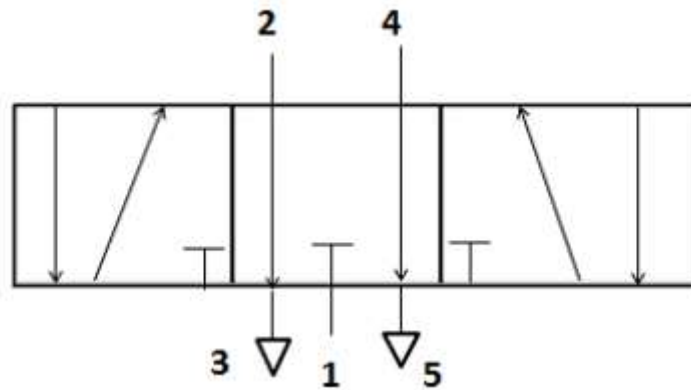
Οι βαλβίδες ελέγχου κατεύθυνσης των πνευματικών συστημάτων, είναι ουσιαστικά μηχανισμοί που διοχετεύουν συμπιεσμένο αέρα από και προς το έμβολο, ελέγχοντας την είσοδο και την έξοδο του βάρτη. Για τους κυλίνδρους διπλής ενέργειας, η βαλβίδα ελέγχου δύο θέσεων, που εκτελεί τον έλεγχο εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα (ακραίες θέσεις) συμβολίζεται ως εξής:



Εικόνα 13 Βαλβίδα 5/2

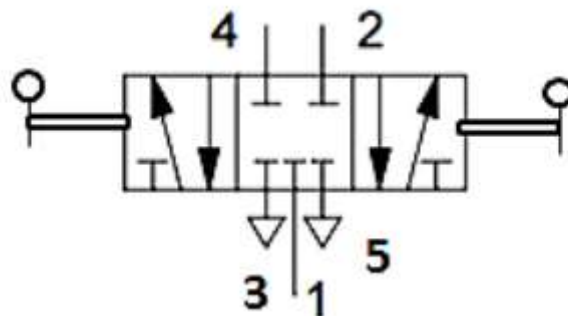
- Δίοδος 1-P παροχή πεπιεσμένου αέρα.
- Δίοδοι 2- A και 4-B συνδέονται με το έμβολο.
- Δίοδος 3-R και 5-S είναι υπεύθυνες για την εξαγωγή του αέρα από τον θάλαμο της βαλβίδας.
- Το σημείο 12-X χαρακτηρίζει την θέση της βαλβίδας.

Αν θέλουμε να επιτύχουμε τρεις θέσεις ελέγχου σε έναν κύλινδρο διπλής ενέργειας, χρησιμοποιούμε την βαλβίδα πέντε διόδων και τριών θέσεων. Αυτό επιτυγχάνεται όταν η βαλβίδα στην μεσαία θέση είναι ανοιχτή και συνδέεται με την δίοδο 1, οπότε διακόπτεται η παροχή αέρα στην δίοδο 1 ενώ οι άλλες θέσεις 2-3/4-5 είναι ανοιχτές, έτσι ώστε ο συνδεδεμένος κύλινδρος διπλής ενέργειας να εκτονώνει τον αέρα των θαλάμων 2-4.



Εικόνα 14 Βαλβίδα 5/3 με ενδιάμεση ανοιχτή θέση

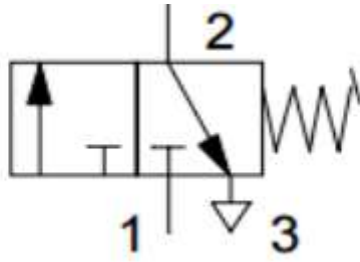
Στην αντίθετη περίπτωση όπου η μεσαία θέση είναι κλειστή, τότε οι θέσεις 2-3/4-5 είναι κλειστές, με αποτέλεσμα να εγκλωβίζεται ο αέρας στους ακραίους θαλάμους του πνευματικού εμβόλου, με συνέπεια να υπάρχει ισορροπία σε μία ενδιάμεση θέση και το βάκτρο να είναι σταθερό.



Εικόνα 15 Βαλβίδα 5/3 με ενδιάμεση θέση κλειστή

#### 1.6.5. Βαλβίδες σημάτων Πνευματικού Συστήματος.

Οι βαλβίδες σημάτων των Πνευματικών Συστημάτων, είναι οι ενεργοποιητές των βαλβίδων ελέγχου κατεύθυνσης του εμβόλου, παρέχοντας μία αμελητέα ποσότητα αέρα. Οι βαλβίδες σημάτων αποτελούνται από τρεις διόδους και δύο θέσεις (βαλβίδα 3/2)



Εικόνα 16 Βαλβίδα 3/2

- Δίοδος 1 είναι συνδεδεμένη με τον αέρα.
- Δίοδος 2 συνδεδεμένη με τον δέκτη του σήματος.
- Δίοδος 3 είναι ελεύθερη προς την ανακούφιση / εκτόνωση.

#### 1.6.6. Αντεπίστροφες βαλβίδες Πνευματικών Συστημάτων.

Οι αντεπίστροφες βαλβίδες των σημάτων επιτρέπουν την ροή του αέρα μόνο προς την μία κατεύθυνση, ενώ σταματούν τελείως την ροή προς την αντίθετη κατεύθυνση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται στεγανότητα της βαλβίδας.

#### 1.6.7. Βαλβίδες ελέγχου πίεσεως Πνευματικών Συστημάτων.

Οι βαλβίδες ελέγχου πίεσης των πνευματικών συστημάτων είναι εκείνα τα στοιχεία τα οποία ρυθμίζουν ή ελέγχουν την πίεση του αέρα. Οι βαλβίδες ελέγχου χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Βαλβίδες ρύθμισης πίεσης που στόχο έχουν να διατηρούν σταθερή την πίεση του συστήματος χωρίς μεταβολές, ακόμα και όταν υπάρχουν αυξομειώσεις στην πίεση του συστήματος.
2. Βαλβίδες περιορισμού πίεσης: είναι ασφαλιστικές βαλβίδες, οι οποίες μπορούν σε περίπτωση υπερφόρτωσης του πνευματικού συστήματος να το αποσυμπιέσουν.
3. Βαλβίδες διαδοχικής δράσης οι οποίες χρησιμοποιούνται σε συστήματα πνευματικού ελέγχου, όταν έχουμε συγκεκριμένες απαιτήσεις πίεσης, ώστε να πραγματοποιήσουν αλλαγές καταστάσεων πίεσης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 -Μοντέλα Προσομοίωσης.

### 2.1. Μέθοδος μελέτης με χρήση προσομοίωσης.

Η προσομοίωση (simulation) είναι μία μορφή τεχνικής αναπαράστασης της συμπεριφοράς ενός συστήματος με την χρήση ενός άλλου, η οποία έχει πάρα πολύ μεγάλη χρηστικότητα για εκπαιδευτικούς και ερευνητικούς σκοπούς. Τα συστήματα προσομοίωσης είναι ως επί το πλείστον μοντέλα τα οποία τρέχουν σε έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή, ούτως ώστε να μην χρειάζεται ο χρήστης του προγράμματος να εκτελέσει τα πειράματά του σε ένα πραγματικό σύστημα όπως αυτό που μελετά.

### 2.2. Τύποι προσομοιώσεων.

Οι τύποι προσομοίωσης είναι:

A) Η φυσική προσομοίωση με την οποία αναπαριστούμε ένα φυσικό φαινόμενο μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή, βοηθώντας τον χρήστη να αντλήσει πληροφορίες από αυτό.

B) Η επαναληπτική προσομοίωση, κατά την οποία εκτελούνται διαδοχικές επαναλήψεις με διάφορες τιμές.

Γ) Η διαδικτυακή προσομοίωση επιδιώκει να παρουσιάσει την απαιτούμενη αλληλουχία διεργασιών για την επίτευξη ενός στόχου.

Δ) Η προσομοίωση κατάστασης όπου ο χρήστης μελετά και ανακαλύπτει διαφορετικές διαδρομές σε ένα σύστημα, με σκοπό να μελετήσει τις επιπτώσεις τους.

[7]

### 2.3. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα προσομοίωσης.

#### 2.3.1. Πλεονεκτήματα προσομοίωσης.

Η προσομοίωση είναι η μοναδική λύση σε προβλήματα που αφορούν την μελέτη λειτουργίας και την εύρεση λύσης των προβλημάτων σε απροσπέλαστα συστήματα: πολύ ασφαλέστερη, αφού το άτομο δεν εκτίθενται σε πραγματικά πειράματα: πολύ χαμηλότερο κόστος, σε σύγκριση με τα πραγματικά πειράματα. Μπορεί να γίνει επανάληψη του φαινομένου – πειράματος, όποτε επιθυμεί ο χρήστης. Παρέχει την δυνατότητα μελέτης του συστήματος από όλες τις πιθανές παραμέτρους. [8]

### 2.3.2. Μειονεκτήματα προσομοίωσης.

Αυξημένος χρόνος δημιουργίας της προσομοίωσης. Υπό ορισμένες προϋποθέσεις, μπορεί να μην είναι δυνατή η σωστή απόδοση του προβλήματος, με αποτέλεσμα να μην έχουμε πάντα ως τελικό αποτέλεσμα την βέλτιστη λύση ή να μην λαμβάνουμε τις ρυθμίσεις που θέλουμε με απόλυτη ακρίβεια.

## 2.4. Matlab.

Το Matlab αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για αριθμητικούς υπολογισμούς μέσω της χρήσης πινάκων ή διανυσμάτων. Συνδυάζει πολύπλοκα συστήματα υπολογισμών, γραφικών, προσομοιώσεων και προγραμματισμού.

Το Matlab, το οποίο παίρνει το όνομά του από το Matrix Laboratory, είναι ένα πρόγραμμα που ξεκίνησε να αναπτύσσεται κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1970 από τον Cleve Moller, λόγω του ότι είχε διαπιστωθεί η ανάγκη προγραμματισμού μέσω μίας πιο απλής γλώσσας. Από το 1980 το πρόγραμμα ξαναγράφεται, αυτή τη φορά με την χρήση της γλώσσας C, αποκτώντας έτσι πιο πολλές λειτουργίες, όπως την δυνατότητα γραφικών απεικονίσεων και άλλα. Φτάνουμε έτσι στο 1984, όπου δημιουργείται η εταιρεία Math Works Inc, η οποία έχει την διαχείριση του Matlab έως και σήμερα. [9]

Τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η χρήση του Matlab είναι πολλά. Επιγραμματικά αναφέρουμε τα εξής:

- Εύκολη χρήση.
- Ταχεία και αποτελεσματική διαχείριση πινάκων.



- Εύχρηστο περιβάλλον βοήθειας.
- Χρήση κώδικα υψηλού επιπέδου.
- Βιβλιοθήκες έτοιμων εντολών, με πολύ μεγάλο αρχείο.
- Ιδιαίτερα διευρυμένο επομένως πλήθος πηγών.

Ως μειονεκτήματα του Matlab, θα μπορούσαμε να αναφέρουμε τα ακόλουθα:

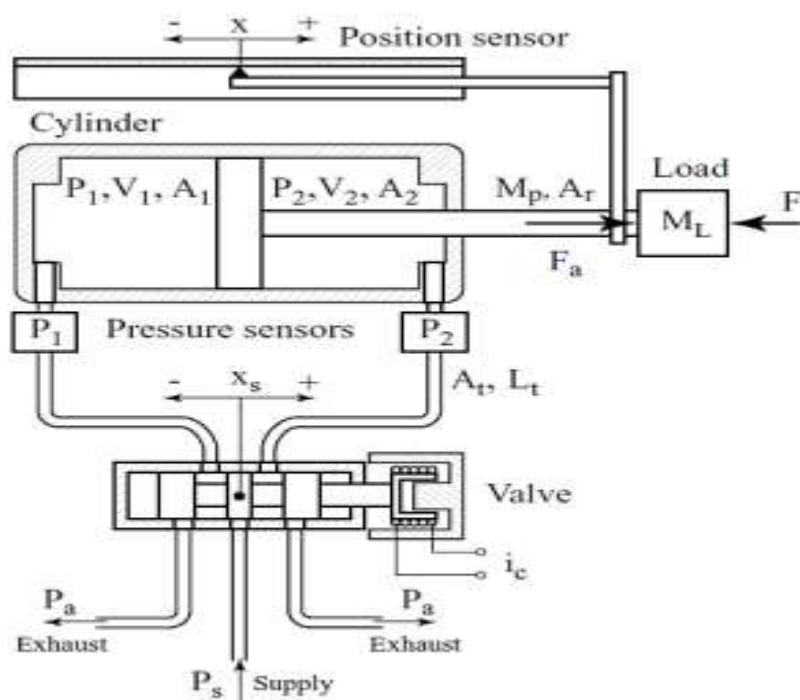
- Καταρχήν η πολύ εξειδικευμένη γλώσσα προγραμματισμού, που αν και προσφέρεται για υπολογισμούς, δεν είναι κατάλληλη για άλλες λειτουργίες.
- Δεν παράγει αυτόνομα εκτελέσιμα προγράμματα.
- Είναι πιο αργό από άλλες προγραμματιστικές γλώσσες.

Το Simulink αποτελεί ένα εργαλείο του Matlab χάρη στο οποίο είναι δυνατή η προσομοίωση των συστημάτων, τα οποία προέρχονται από ένα τεράστιο εύρος επιστημονικών περιοχών. Για την χρήση του δεν είναι απαραίτητη η γνώση του Matlab, παρόλα αυτά η γνώση Matlab είναι σημαντικό προτέρημα το οποίο παρέχει την δυνατότητα αποδοτικότερης και γρηγορότερης χρήσης του. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του Simulink είναι η απλότητά του, καθώς παρέχει στον χρήστη μεγάλες διευκολύνσεις. Το Simulink ενεργοποιείται με την πληκτρολόγηση της εντολής Simulink στο Command Window του Matlab ή με αριστερό click στην συντόμευση στην γραμμή του menu. Όταν γίνει αυτό, ανοίγει ένα παράθυρο με τον τίτλο Simulink Library Browser. Στα αριστερά του παραθύρου απεικονίζονται οι βιβλιοθήκες για τις διάφορες εφαρμογές. Οι βιβλιοθήκες αποτελούνται από μικρότερες βιβλιοθήκες και η καθεμία απ' αυτές έχει έναν αριθμό στοιχείων (τα blocks), που εμφανίζονται στα δεξιά τμήματα του παραθύρου. Οι βιβλιοθήκες καλύπτουν ένα τεράστιο πεδίο εφαρμογών, όμως η ανάλυση μας θα εντοπιστεί μόνο στην βιβλιοθήκη του Simulink.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3-Εφαρμογή Μοντέλων Προσομοίωσης.

### 3.1. Προσομοίωση Κλασικών Μεθόδων Ελέγχου στα Πνευματικά Συστήματα.

Στο ακόλουθο σχήμα παρουσιάζεται η μαθηματική σχέση ενός κλασικού πνευματικού συστήματος, το οποίο περιέχει έναν κύλινδρο διπλής ενέργειας με απλό βάκτρο, μια βαλβίδα ελέγχου κατεύθυνσης 5/3, σωληνώσεις, τα αισθητήρια θέσης και πίεσης, καθώς και μια εξωτερική δύναμη ( $F$ ). Το εν λόγω πνευματικό σύστημα είναι ένα μη γραμμικό σύστημα 3ης τάξης.[1],[9],[10]



Εικόνα 17 Αναπαράσταση ενός Πνευματικού Συστήματος

Η εξίσωση της κίνησης αποδίδεται ως εξής:

$$(M_L + M_p) \cdot \ddot{x} + B \cdot \dot{x} + F_f + F_L = P_1 \cdot A_1 - P_2 \cdot A_2 - P_a \cdot A_r$$

Το  $M_L$  αποδίδει την εξωτερική μάζα του φορτίου, ως  $x$  ορίζεται η θέση του εμβόλου, το  $M_p$  αποδίδει την μάζα του εμβόλου και του βάκτρου, το  $B$  χαρακτηρίζει τον συντελεστή τριβής, το  $F_f$  την δύναμη της τριβής, το  $F_L$  είναι η εξωτερική δύναμη, τα  $P_1$  και  $P_2$  αποτελούν τις απόλυτες πιέσεις του αέρα στους θαλάμους του κυλίνδρου,

το  $P_a$  την πίεση του περιβάλλοντος, τα  $A_1$  και  $A_2$  δείχνουν τις ενεργές επιφάνειες του εμβόλου και η  $A_f$  αποτελεί την εγκάρσια διατομή του βάκτρου.

Η εξίσωση που αποδίδει την αλλαγή της πίεσης στους δύο θαλάμους του κυλίνδρου εκφράζεται ως:

$$\dot{P}_i = \frac{RT}{V_{0i} + A_i \left(\frac{1}{2}L \pm x\right)} (a_{in}\dot{m}_{in} - a_{out}\dot{m}_{out}) - \alpha \frac{PA_i}{V_{0i} + A_i \left(\frac{1}{2}L \pm x\right)} \dot{x}, \quad i = 1,2$$

Το  $P$  δείχνει την πίεση του κυλίνδρου, το  $L$  χαρακτηρίζει τη μέγιστη διαδρομή του βάκτρου του εμβόλου, το  $R$  είναι η παγκόσμια σταθερά των ιδανικών αερίων, το  $V_{0i}$  χαρακτηρίζει τον νεκρό όγκο της εισόδου των διόδων του ενεργοποιητή, το  $T$  ορίζει τη θερμοκρασία σε Kelvin, το  $A_i$  δηλώνει την ενεργή επιφάνεια του εμβόλου, τα  $\dot{m}_{in}/\dot{m}_{out}$  συμβολίζουν τις ροές της μάζας του αέρα που εισρέουν και εκρέουν από τον θάλαμο, το  $x$  ορίζει την θέση του εμβόλου. Οι σταθερές  $a_{in}/a_{out}$  της εξίσωσης μπορούν να λάβουν τιμές από το 1 έως το  $k$ , ανάλογα με την πραγματική μεταφορά θερμότητας.

Σχετικά με το μοντέλο της ροής της μάζας μέσα από την δίοδο της βαλβίδας, πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι η μείωση της πίεσης κατά μήκος της διόδου της βαλβίδας είναι αρκετά αυξημένη και η ροή της πρέπει να αντιμετωπίζεται. Σε περίπτωση που ο λόγος της ανοδικής ως προς την καθοδική τιμή της πίεσης είναι μεγαλύτερος από την κρίσιμη τιμή  $P_{cr}$ , τότε στην εν λόγω περίπτωση, η ροή της μάζας είναι γραμμικά εξαρτώμενη από την άνοδο της πίεσης. [11],[12],[13]

Στην αντίθετη περίπτωση, η ροή της μάζας δεν εξαρτάται γραμμικά από τις δύο πιέσεις. Η εξίσωση της ροής της μάζας μέσα από την δίοδο της βαλβίδας μπορεί να αποδοθεί ως εξής:

$$\dot{m}_u = \begin{cases} C_f A_u C1 \frac{P_u}{\sqrt{T}} & \text{αν } \frac{P_d}{P_u} \leq P_{cr} \\ C_f A_u C2 \frac{P_u}{\sqrt{T}} \left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{\frac{1}{k}} \sqrt{1 - \left(\frac{P_d}{P_u}\right)^{\frac{(k-1)}{k}}} & \text{αν } \frac{P_d}{P_u} > P_{cr} \end{cases}$$

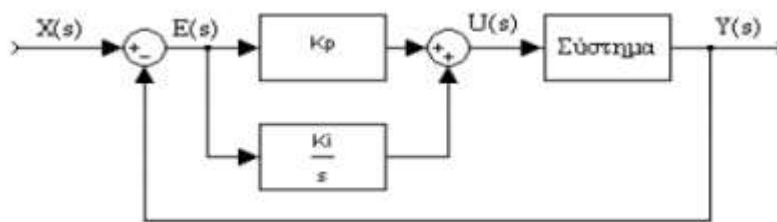
όπου  $\dot{m}_u$  αποτελεί τη ροή της διερχόμενης μάζας μέσα από την διόδο της βαλβίδας. Το  $A_u$  αποδίδει την επιφάνεια της διόδου, το  $C_f$  τον συντελεστή παροχής και είναι αδιάστατη σταθερά, τα  $P_u/P_d$  αποτελούν τις τιμές που λαμβάνουμε από την αύξηση και την μείωση της πίεσης αντίστοιχα, και τέλος τα  $C1/C2$  είναι οι σταθερές ενός δεδομένου ρευστού, στην εν λόγω περίπτωση του αέρα, με εξισώσεις:

$$C1 = \sqrt{\frac{k}{R} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}, C2 = \sqrt{\frac{2k}{R(k-1)}}, P_{cr} = \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$$

όπου το  $k=1.4$ , το οποίο μας δίνει την θερμική σταθερά της τιμής του αέρα.

### 3.2. Αναλογικός-Ολοκληρωτικός (PI) ελεγκτής.

Ο ελεγκτής PI αθροίζει τον αναλογικό και τον ολοκληρωτικό έλεγχο. Η συνδεσμολογία του δίνεται στο παρακάτω σχήμα. [14],



Εικόνα 18 Συνδεσμολογία PI ελεγκτή

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή PI εισάγει ένα πόλο στο μηδέν και ένα μηδενιστή στο  $-K_i/K_p$ .

$$PI_{(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} = \frac{s^*K_p + K_i}{s} \rightarrow PI_{(s)} = K_p * \frac{s + \frac{K_i}{K_p}}{s}$$

Η χρήση του ολοκληρωτή έχει σαν σκοπό την εξάλειψη του σφάλματος στη μόνιμη κατάσταση μεταβάλλοντας το κέρδος. Ο αναλογικός ελεγκτής βελτιώνει την ευστάθεια, αυξάνοντας την ταχύτητα απόκρισης του συστήματος. Σε περίπτωση που το σύστημα είναι πρώτης τάξης με συνάρτηση μεταφοράς:

$$G(s) = \frac{1}{s+A}$$

τότε σαν συνάρτηση μεταφοράς συστήματος κλειστού βρόχου με PI ελεγκτή ορίζουμε:

$$G_{c(s)} = \frac{\frac{s^*K_p + K_i}{s} * \frac{1}{s+A}}{1 + \frac{s^*K_p + K_i}{s} * \frac{1}{s+A}} \rightarrow G_{c(s)} = \frac{\frac{s^*K_p + K_i}{s^*(s+A)}}{\frac{s^*(s+A) + s^*K_p + K_i}{s^*(s+A)}} \rightarrow$$

$$\rightarrow G_{c(s)} = \frac{s^*K_p + K_i}{s^2 + A*s + s^*K_p + K_i} \rightarrow G_{c(s)} = \frac{s^*K_p + K_i}{s^2 + (A+K_p)*s + K_i}$$

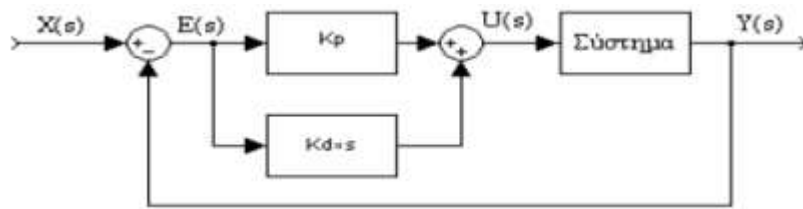
Το σύστημα γίνεται:

$$\omega_n = K_i \text{ και } 2*\zeta*\omega_n = A + K_p$$

όπου με την εισαγωγή του όρου ολοκλήρωσης **I** στο σύστημα για βηματική είσοδο παρουσιάζει μηδενικό σφάλμα.[14]

### 3.3. Αναλογικός-Διαφορικός (PD) ελεγκτής.

Ο διαφορικός ελεγκτής PD συνδυάζει τον αναλογικό και το διαφορικό ελεγκτή. Η συνδεσμολογία του παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα: [14]



Εικόνα 19 Συνδεσμολογία PD ελεγκτή

Ο ελεγκτής PD εισάγει ένα πόλο στο  $-K_p/K_d$  στο οποίο καταλήγουμε από τη συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή:

$$PD_{(s)} = K_p + s * K_d \rightarrow PD_{(s)} = s + \frac{K_p}{K_d}$$

Ο ελεγκτής PD αυξάνει την απόσβεση του συστήματος και περιορίζει την υπερύψωση του, παρόλα αυτά δεν διορθώνει άμεσα το σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Αν η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος είναι:

$$G_{(s)} = \frac{1}{s^2 + A * s + B}$$

τότε με την χρήση του ελεγκτής PD προκύπτει:

$$\begin{aligned}
G_{c(z)} &= \frac{(K_p + s * K_d) * \frac{1}{s^2 + A * s + B}}{1 + (K_p + s * K_d) * \frac{1}{s^2 + A * s + B}} \rightarrow \\
\rightarrow G_{c(z)} &= \frac{\frac{(K_p + s * K_d)}{s^2 + A * s + B}}{\frac{s^2 + A * s + B + K_p + s * K_d}{s^2 + A * s + B}} \rightarrow \\
\rightarrow G_{c(z)} &= \frac{K_p + s * K_d}{s^2 + (A + K_d) * s + (B + K_p)}
\end{aligned}$$

με χαρακτηριστικά του νέου συστήματος:

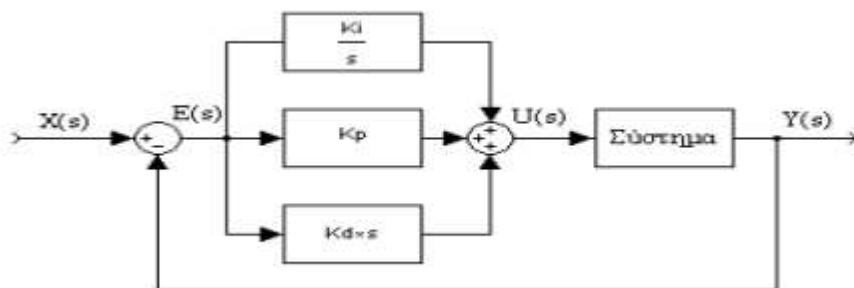
$$\omega_n = B + K_p \text{ και } 2 * \zeta * \omega_n = A + K_d$$

Άρα, η αύξηση του αναλογικού κέρδους **Kp** έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της συχνότητας του συστήματος και τη ταχύτερη απόκρισή του. Η αύξηση του διαφορικού συντελεστή **Kd** επιφέρει την αύξηση του γινομένου  $2 * \zeta * \omega_n$  με σταθερή τη φυσική συχνότητα, αυξάνοντας τον συντελεστή απόσβεσης του συστήματος, με επακόλουθο την μείωση της υπερψώσης της απόκρισης του. [14]

Όσο αυξάνεται το αναλογικό κέρδος, τόσο ελαττώνεται το σφάλμα της μόνιμης κατάστασης, μη επηρεαζόμενο από τις μεταβολές του διαφορικού συντελεστή.

### 3.4. Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός (PID) ελεγκτής.

Ο Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός PID έλεγχος συνδυάζει τις επιδράσεις των τριών βασικών όρων του ελέγχου. Η συνδεσμολογία Αναλογικού - Ολοκληρωτικού - Διαφορικού PID ελέγχου αποδίδεται με το παρακάτω σχήμα. [14]



Εικόνα 20 Συνδεσμολογία PID ελεγκτή

Ο ελεγκτής Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός PID εισάγει στο υπό έλεγχο σύστημα κλειστού βρόγχου ένα πόλο στο μηδέν και δύο μηδενιστές.

Η συνάρτηση μεταφοράς περιγράφεται παρακάτω:

$$PID_{(s)} = K_p + s * K_d + \frac{K_i}{s} \rightarrow PID_{(s)} = \frac{K_d * s^2 + K_p * s + K_i}{s}$$

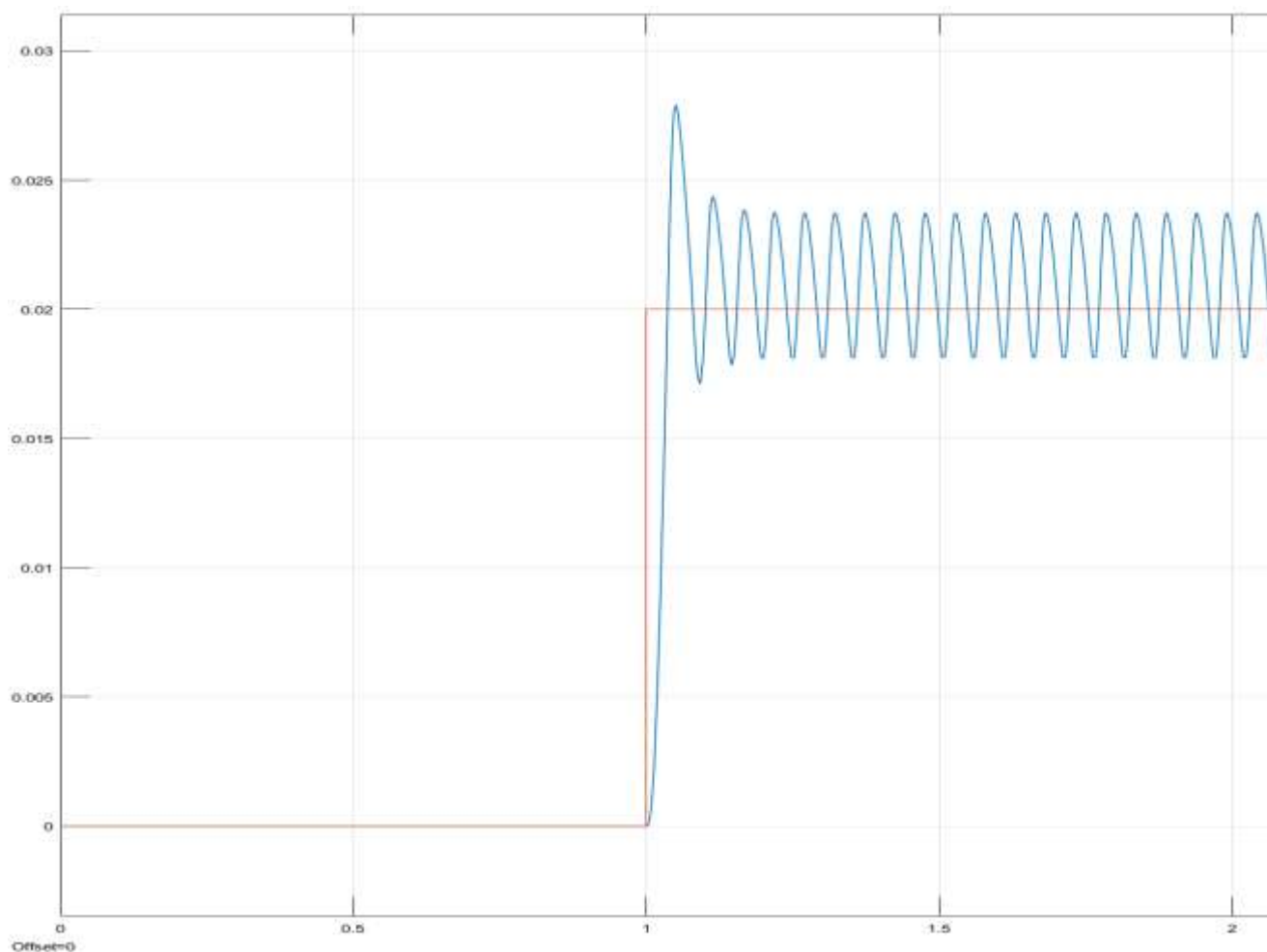
Ο Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός PID ελεγκτής έχει την βέλτιστη απόδοση, διότι εμφανίζει ταχεία απόκριση, μηδενική υπερψύωση και μηδενικό σφάλμα μόνιμης κατάστασης. Για την εφαρμογή του, θα πρέπει να επιλεγούν οι κατάλληλες παράμετροι του αναλογικού κέρδους, του ολοκληρωτικού συντελεστή και του διαφορικού συντελεστή, έτσι ώστε το σύστημα κλειστού βρόγχου να έχει τα βέλτιστα χαρακτηριστικά όλων των ελεγκτών που συνδυάζονται σε έναν Αναλογικό-Ολοκληρωτικό – Διαφορικό ελεγκτή PID. Το δυσκολότερο στη σχεδίαση του ελεγκτή Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός PID είναι να δοθούν οι κατάλληλες τιμές στα **K<sub>p</sub>**, **K<sub>d</sub>** και **K<sub>i</sub>** για να μην υπάρχει αρνητική επίδραση στη λειτουργία μεταξύ τους.

### 3.5. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό ελεγκτή (P).

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου με Αναλογικό ελεγκτή **P** του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το παραπάνω σύστημα με κύρια αλλαγή του ελεγκτή, χρησιμοποιώντας εκείνο το στοιχείο του Αναλογικού -Ολοκληρωτικού – Διαφορικού



**PID** ελεγκτή, δίνοντας τιμή μόνο στην παράμετρο του ελεγκτή  $P = 20$ . Με την τιμή αυτή το σύστημα επιτυγχάνει την επιθυμητή απόκριση με χρόνο προσομοίωσης τα 5 second. Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Αναλογικού **P** ελεγκτή του συστήματος.

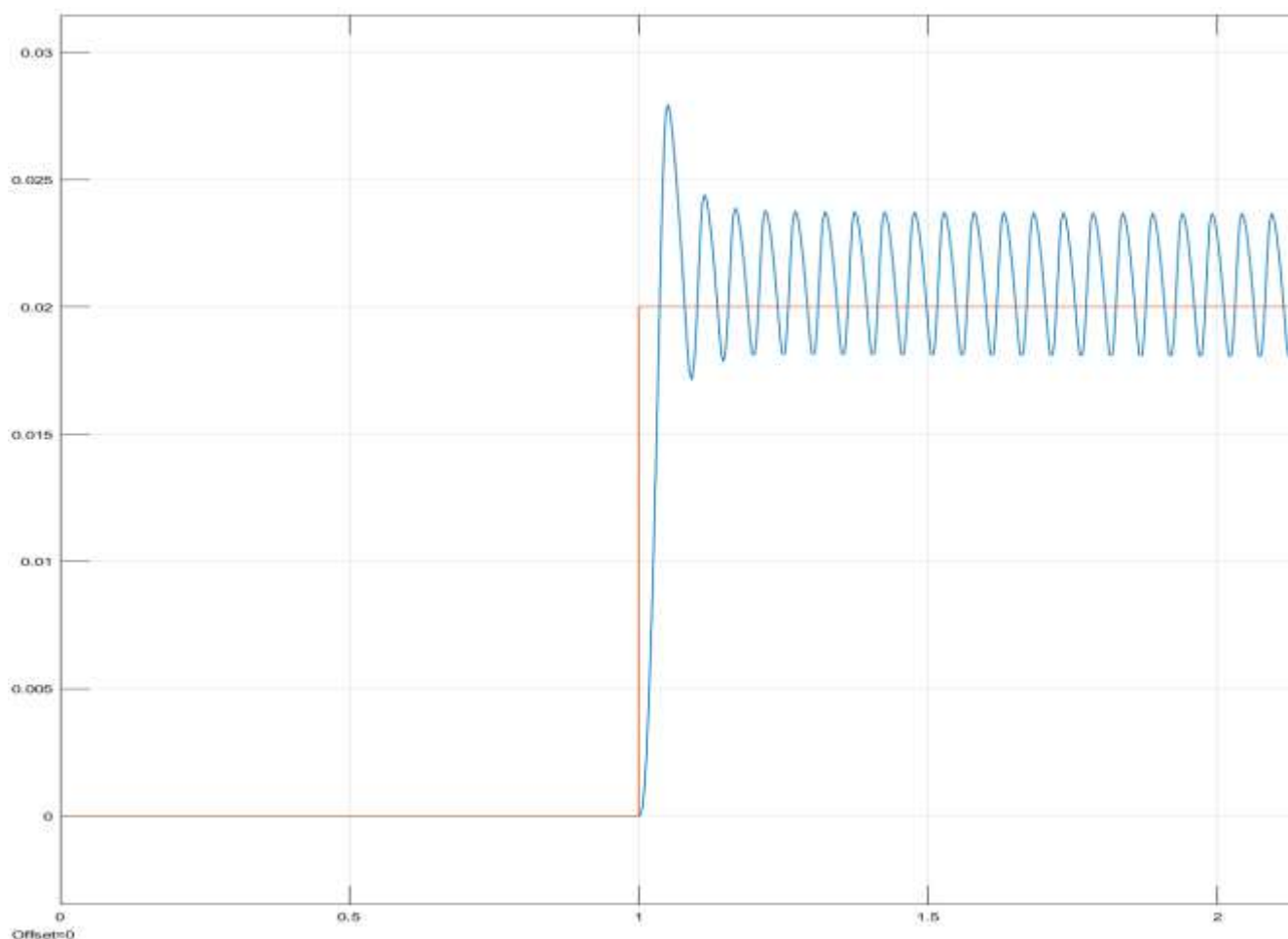


Εικόνα 21 Γραφική απεικόνιση του Αναλογικού **P** ελεγκτή του συστήματος

### 3.6. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικού-Ολοκληρωτικού ελεγκτή (PI).

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου με Αναλογικό -Ολοκληρωτικό **PI** ελεγκτή του συστήματος, χρησιμοποιήθηκε το ανωτέρω σύστημα με κύρια αλλαγή του εκλεκτή. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εκείνα τα στοιχεία του Αναλογικού - Ολοκληρωτικού – Διαφορικού **PID** ελεγκτή, δίνοντας τιμή μόνο στις παραμέτρους του ελεγκτή  $P = 20$  και  $I = 2$ . Με τις τιμές αυτές το σύστημα επιτυγχάνει την

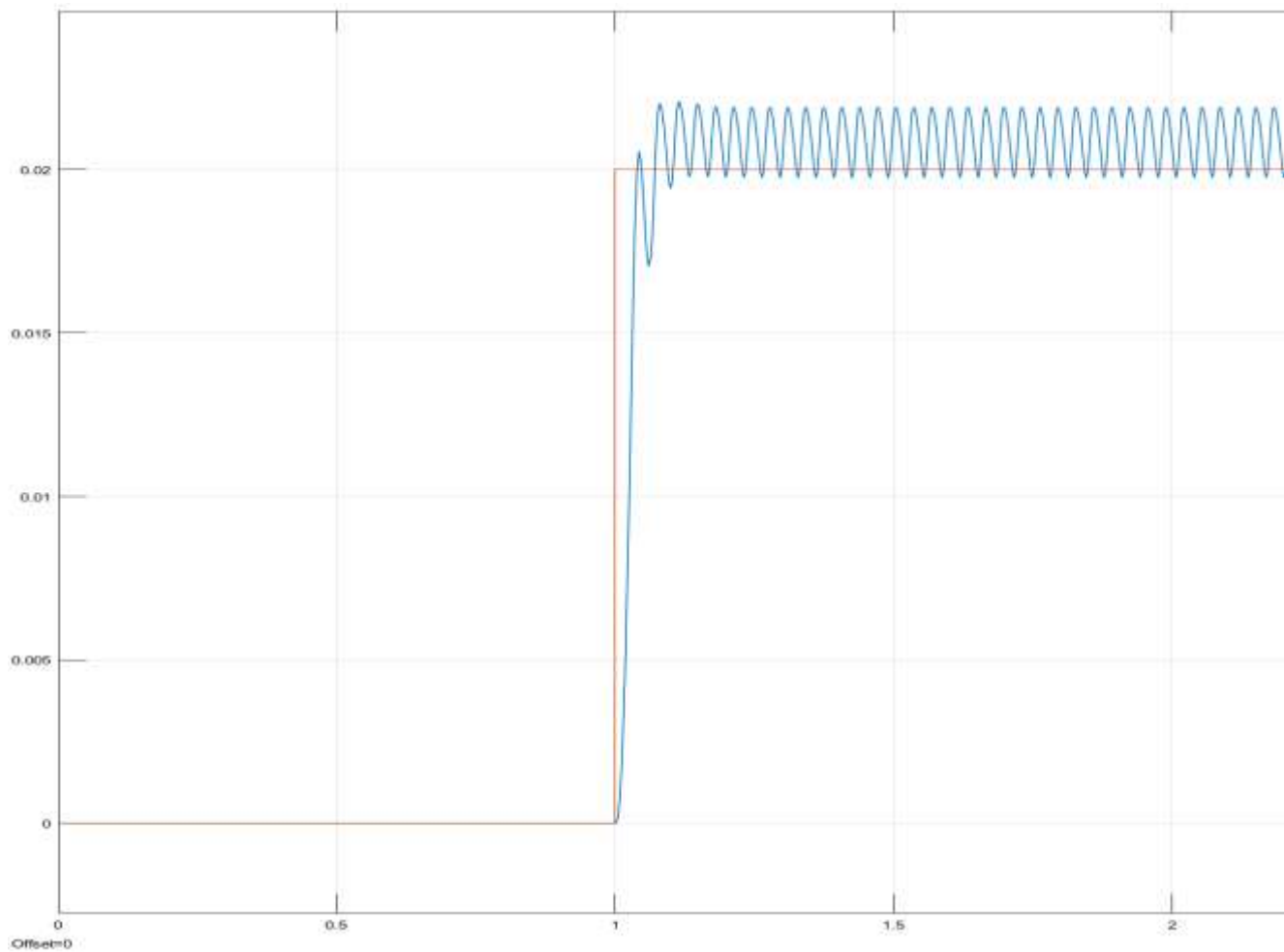
επιθυμητή απόκριση με χρόνο προσομοίωσης τα 5 second. Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Αναλογικού-Ολοκληρωτικού **PI** συστήματος.



Εικόνα 22 Γραφική απεικόνιση του Αναλογικού - Ολοκληρωτικού PI συστήματος

### 3.7. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό - Διαφορικό Ελεγκτή (PD).

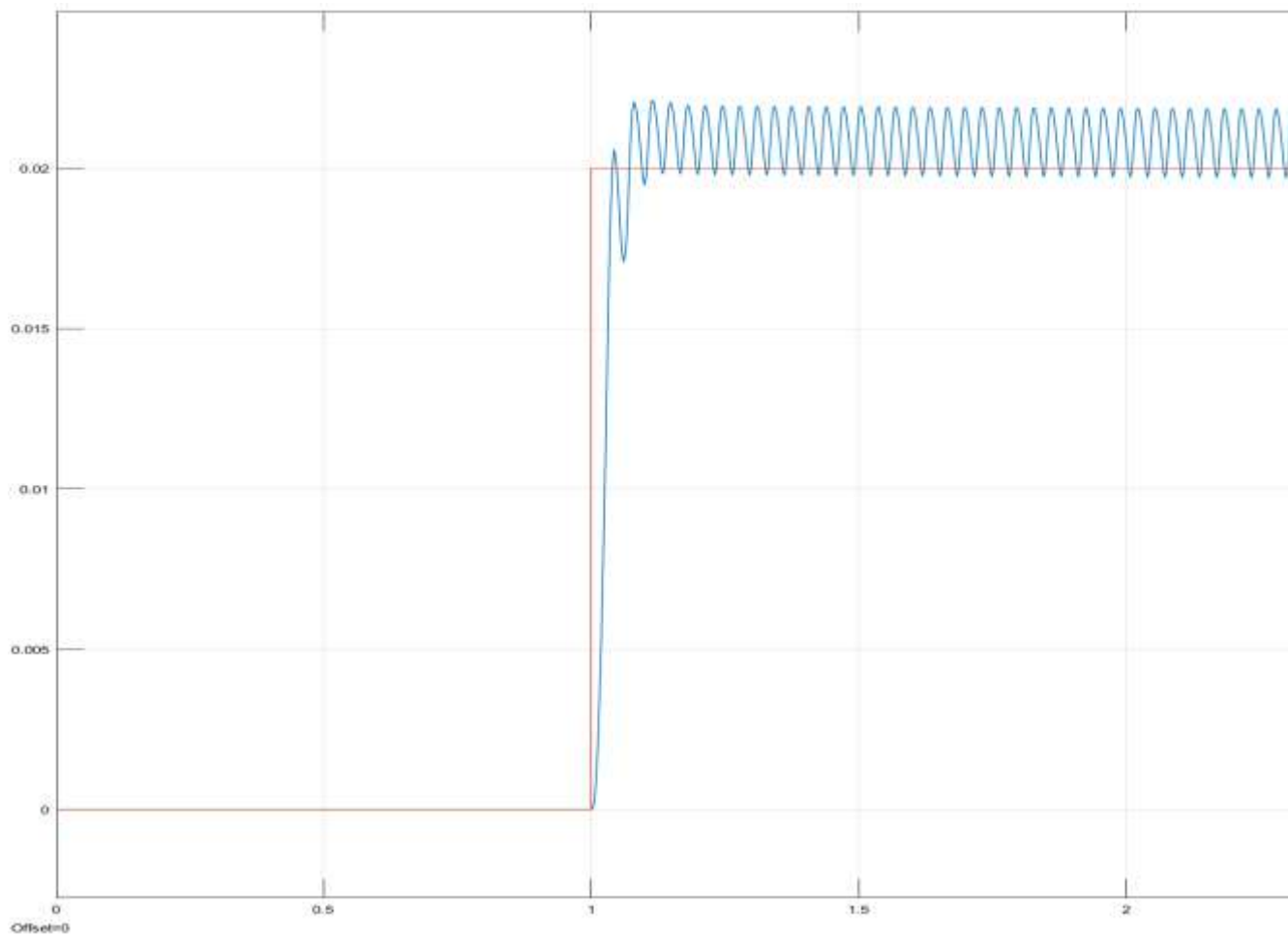
Για την πραγματοποίηση του ελέγχου με Αναλογικό - Διαφορικό ελεγκτή **PD** του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το παραπάνω σύστημα, με κύρια αλλαγή του εκλεκτηί, αξιοποιώντας εκείνα τα στοιχεία του Αναλογικού - Ολοκληρωτικού - Διαφορικού **PID** ελεγκτή, δίνοντας τιμή μόνο στις παραμέτρους του ελεγκτή  $P = 20$  και  $D = 0,3$ . Με τις τιμές αυτές το σύστημα επιτυγχάνει την επιθυμητή απόκριση με χρόνο προσομοίωσης τα 5 second. Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Αναλογικού - Διαφορικού **PD** ελεγκτή του συστήματος.



Εικόνα 23 Γραφική απεικόνιση του Αναλογικού -Διαφορικού PD ελεγκτή του συστήματος

### 3.8. Έλεγχος Πνευματικού Συστήματος με Αναλογικό-Ολοκληρωτικό-Διαφορικό Ελεγκτή (PID).

Για την πραγματοποίηση του ελέγχου με Αναλογικό -Ολοκληρωτικό – Διαφορικό **PID** ελεγκτή του συστήματος χρησιμοποιήθηκε το παραπάνω σύστημα, με κύρια αλλαγή του ελεγκτή, χρησιμοποιώντας εκείνα τα στοιχεία του Αναλογικού - Ολοκληρωτικού – Διαφορικού **PID** ελεγκτή, δίνοντας τιμή μόνο στις παραμέτρους του ελεγκτή  $P = 20$ ,  $I = 2$  και  $D = 0,3$ . Με τις τιμές αυτές, το σύστημα επιτυγχάνει την επιθυμητή απόκριση με χρόνο προσομοίωσης τα 5 second. Ακολουθεί η γραφική απεικόνιση του Αναλογικού -Ολοκληρωτικού – Διαφορικού **PID** ελεγκτή του συστήματος.



Εικόνα 24 Γραφική απεικόνιση του Αναλογικού -Ολοκληρωτικού – Διαφορικού PID ελεγκτή του συστήματος

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - Συμπεράσματα και Προτάσεις για Μελλοντικές Βελτιώσεις στον έλεγχο των πνευματικών συστημάτων.

### 4.1. Λύση κλασικών μεθόδων ελέγχου.

Εξετάζοντας τις αποκρίσεις του συστήματος, με το πνευματικό έμβολο να ισορροπεί στην επιθυμητή θέση, χρησιμοποιώντας τις κλασικές μεθόδους ελέγχου Αναλογικού-Ολοκληρωτικού ελεγκτή (PI), Αναλογικού -Διαφορικού ελεγκτή (PD), Αναλογικού –

Ολοκληρωτικού-Διαφορικού ελεγκτή (PID) καθώς και Αναλογικού ελεγκτή (P), απορρέουν τα εξής συμπεράσματα:

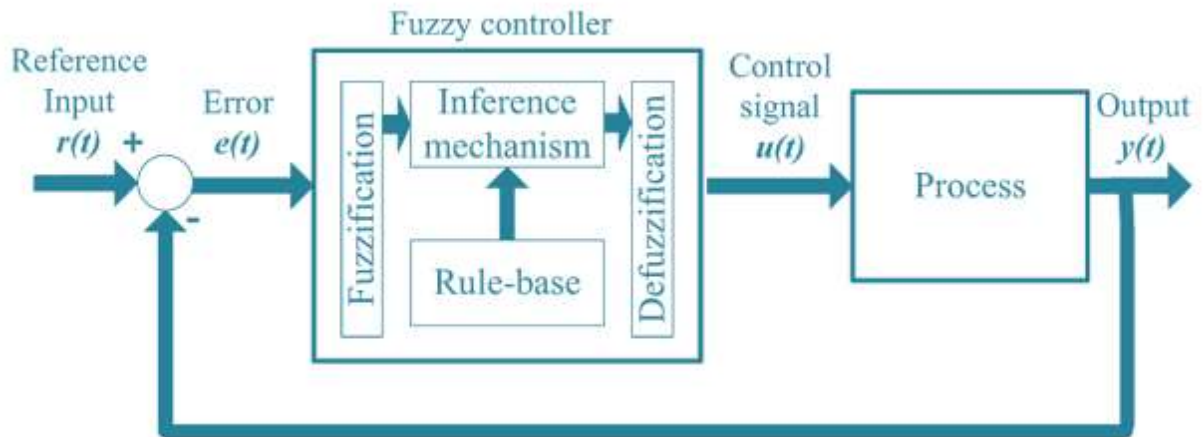
1. Χρησιμοποιώντας τον Αναλογικό ελεγκτή (P) το πνευματικό σύστημα αντιδρά γρήγορα και αποδίδει σχετικά ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Ο συγκεκριμένος ελεγκτής όμως, θεωρείται ακατάλληλος στις υψηλές απαιτήσεις των εφαρμογών, διότι η απόδοση του είναι κάτω από την επιρροή φορτίων που δεν μπορούν να προβλεφθούν, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ανταποκριθεί από μόνος του σε διαταραχές που πιθανόν μπορούν να προκύψουν στο σύστημα.[10]
2. Χρησιμοποιώντας τον Αναλογικό-Ολοκληρωτικό ελεγκτή (PI) το πνευματικό σύστημα αντιδρά γρήγορα χάρη στον αναλογικό ελεγκτή (P) χωρίς όμως να αποδίδει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα, διότι ο ολοκληρωτικός ελεγκτής I, ενισχύοντας τη δύναμη που επιδρά στο πνευματικό έμβολο, προκαλεί αποσταθεροποίηση λόγω υπερύψωσης της απόκρισης του (P) και δημιουργία ταλαντώσεων· εντούτοις διορθώνει το σφάλμα αποκατάστασης στο σύστημα. Ως εκ τούτου, ο Αναλογικός-Ολοκληρωτικός ελεγκτής (PI) δεν προτείνεται ως κατάλληλος, για το εν λόγω πείραμα.
3. Χρησιμοποιώντας τον Αναλογικό-Διαφορικό ελεγκτή (PD), το πνευματικό σύστημα αντιδρά άμεσα χάρη στον αναλογικό ελεγκτή (P), και διαθέτει υψηλή θέση ακρίβειας χωρίς να δημιουργείται υπερύψωση, χάρη στον αναλογικό ελεγκτή (D) ,προσφέροντας ένα πιο ικανοποιητικό αποτέλεσμα [16],[17],[18]. Ωστόσο, υπάρχει σφάλμα στη σταθεροποίηση της απόκρισης, εφόσον δεν χρησιμοποιείται ο ολοκληρωτικός έλεγχος I. Έρευνες έχουν δείξει όμως ότι ο αναλογικός-διαφορικός ελεγκτής (PD) έχει αρκετά ικανοποιητική απόδοση σε μη γραμμικά συστήματα.
4. Χρησιμοποιώντας τον Αναλογικό – Ολοκληρωτικό-Διαφορικό ελεγκτή (PID), το πνευματικό σύστημα δρα τάχιστα χάρη στον αναλογικό ελεγκτή (P), προσφέροντας το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης χάρη στον ολοκληρωτικό ελεγκτή I, ο οποίος ενισχύει τη δύναμη που επιδρά στο

πνευματικό έμβολο, προκαλείται μεν αποσταθεροποίηση του συστήματος και δημιουργία ταλαντώσεων, αλλά εξαλείφεται το σφάλμα αποκατάστασης. Ο διαφορικός ελεγκτής (D) μειώνει την υπερύψωση και τις ταλαντώσεις που δημιουργούνται από τους άλλους δύο όρους ( P και I), επιτυγχάνοντας έτσι την σταθεροποίηση του συστήματος [10],[16],[17]. Ως εκ τούτου, ο αναλογικός – ολοκληρωτικός-διαφορικός ελεγκτής (PID) είναι στο σύνολό του ιδανικός για μη γραμμικά συστήματα.

## 4.2. Προτάσεις για Μελλοντικές βελτιώσεις.

### 4.2.1. Ελεγκτής ασαφούς λογικής (fuzzy logic Controller).

Μελλοντικά, ως επέκταση του πνευματικού συστήματος της περίπτωσης μελέτης, θα μπορούσε να θεωρηθεί η εφαρμογή ενός ελεγκτή ασαφούς λογικής (fuzzy logic Controller). Η εφαρμογή του συγκεκριμένου ελεγκτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για τον ακόμη πιο επιτυχημένο έλεγχο της θέσης του εμβόλου του συστήματος, παρέχοντας νέα δεδομένα και νέα αποτελέσματα. Με αυτό τον τρόπο βελτιώνεται η αποτελεσματικότητα του συστήματος. Η ασαφής λογική (fuzzy logic) είναι μια από τις επεκτάσεις της κλασικής λογικής του Αριστοτέλη, βάσει της οποίας, πρόταση θα μπορούσε να υπάρξει με κάποιο βαθμό αληθείας και όχι να είναι απλά αληθής ή ψευδής. Οι βαθμοί αληθείας ορίζονται από τις συναρτήσεις συμμετοχής και παίρνουν τιμές μεταξύ μηδέν (0) και ένα (1) για να περιγράψουν το κατά πόσο ένα αντικείμενο συμμετέχει στο ασαφές σύνολο. Οι ελεγκτές ασαφούς λογικής, βασιζόμενοι στην ασαφή λογική μπορούν εύκολα να χειριστούν ασαφή στοιχεία, καθώς και στοιχεία όπου υπάρχει θόρυβος. Ο ασαφής έλεγχος (fuzzy logic Control) είναι στρατηγική έλεγχου που δεν βασίζεται σε κάποιο μαθηματικό μοντέλο ενός συστήματος, και που αρκετές φορές είναι διαφορετικό από το πραγματικό.



Εικόνα 25 Στοιχεία ελεγκτών ασαφούς λογικής

Στο παραπάνω σχήμα, βρίσκονται τα στοιχεία των ελεγκτών ασαφούς λογικής τα οποία είναι :

- Η βάση γνώσης (knowledge base)
- Ο ασαφοποιητής (fuzzifier).
- Ο μηχανισμός συμπερασμού (inference engine).
- Τα ασαφή σύνολα (fuzzy sets).
- Ο από-ασαφοποιητής (defuzzifier).

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσει ο σχεδιασμός ενός ασαφούς ελεγκτή είναι τα εξής:

- Η λεκτική κατανομή των εισόδων, δηλαδή η αναπαράσταση των μεταβλητών της εισόδου και της εξόδου με λεκτικούς όρους.

- Η διατύπωση των κανόνων του ελεγκτή, δηλαδή τα ασαφή σύνολα πρέπει να βρίσκονται υπό τη μορφή συναρτήσεων συμμετοχής, για να πραγματοποιηθεί η σωστή διατύπωση των κανόνων.

- Ο τύπος της ασαφούς συνεπαγωγής, δηλαδή ο καθορισμός του ασαφούς τύπου συνεπαγωγής. Οι πιο γνωστοί τέτοιοι τύποι είναι των Mamdani και Larsen.

• Η από-ασαφοποίηση, που μπορεί και παράγει μία αυστηρή τιμή από ένα ασαφές σύνολο. Οι μέθοδοι από-ασαφοποίησης είναι, η από-ασαφοποίηση κεντρικής τιμής (Center Of Area - COA), η από-ασαφοποίηση μέσου όρου των μεγίστων (Mean Of Maxima - MOM), η από-ασαφοποίηση μικρότερου από τους μεγίστους (Smallest Of maxima - SOM) και η από-ασαφοποίηση μεγαλύτερου από τους μεγίστους (Largest Of maxima - LOM) [19],[20],[21].

#### 4.2.2. Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT).

Πιθανή βελτίωση επίσης του συστήματος, μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (Linear Variable Differential Transformer – LVDT). Είναι ένας αισθητήρας για την μέτρηση της γραμμικής μετατόπισης. Οι τιμές των μετρούμενων μετατοπίσεων, κυμαίνονται ανάλογα με το LVDT και την εφαρμογή, από 0,1mm έως 1000mm.

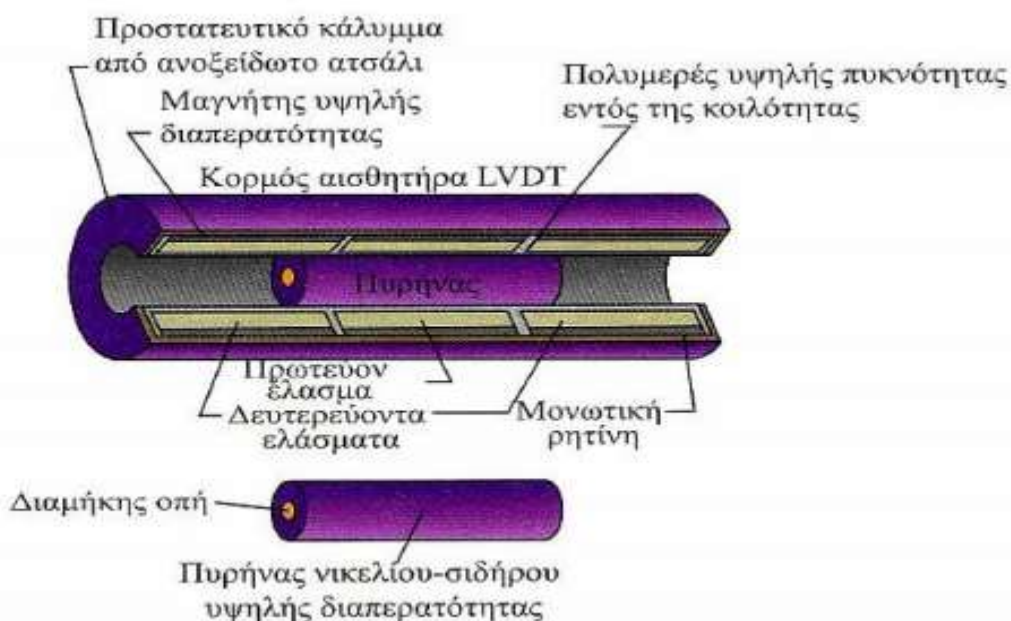
Οι μεταβλητοί γραμμικοί διαφορικοί μετασχηματιστές είναι όργανα ακριβείας και παρουσιάζουν το ελάχιστο σφάλμα ( $\pm 0.5\%$ ), το οποίο οφείλεται στον πυρήνα τους που δεν βρίσκεται σε επαφή με τα πηνία. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει ελάχιστη μηχανική τριβή και φθορά.

Ο Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται για την μέτρηση των μικρών μετατοπίσεων, είναι αρκετά ευαίσθητος και επηρεάζεται από τους κραδασμούς και την θερμοκρασία. Παρακάτω βλέπουμε την μορφή ενός Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (LVDT) καθώς και την εσωτερική δομή και διάταξη αυτού.





Εικόνα 26 Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT)



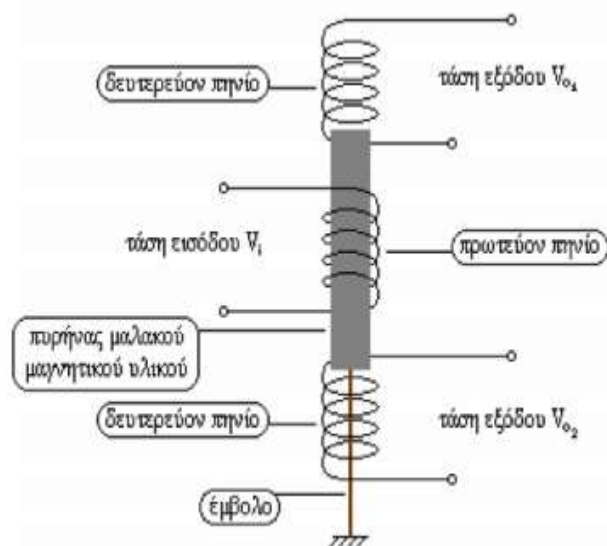
Εικόνα 27 Εσωτερική δομή του Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (LVDT)

Η διάταξη του Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (LVDT) περιέχει δυο δευτερεύοντα πηνία και ένα πρωτεύον, το οποίο περιέχει στο κέντρο του ένα πυρήνα από μαγνητικό υλικό.

Όταν ρέει το εναλλασσόμενο ρεύμα στον μετασχηματιστή του πρωτεύοντος πηνίου, παράγεται εναλλασσόμενη μαγνητική ροή και λόγω αυτού εφαρμόζεται ο νόμος της επαγωγής (Faraday), δηλαδή επάγεται ηλεκτρεγερτική δύναμη στα δευτερεύοντα πηνία. Σε περίπτωση που ο πυρήνας είναι στο κέντρο του συστήματος, όταν θα εφαρμοστεί εναλλασσόμενη τάση στην είσοδο του πρωτεύοντος πηνίου, τότε δημιουργείται μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του πυρήνα, λόγω του ρεύματος που

διέρχεται από το πρωτεύον πηνίο, το οποίο δημιουργεί ηλεκτρεγερτική δύναμη στα δευτερεύοντα πηνία με ίδια φάση και ίδιο πλάτος.

Η διάταξη του Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (LVDT) δίδεται στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 28 Διάταξη του Μεταβλητού Γραμμικού Διαφορικού Μετασχηματιστή (LVDT)

Ο Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) έχει αρκετές εφαρμογές στο βιομηχανικό χώρο κυρίως λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει η χρήση του. Συγκεκριμένα ο Μεταβλητός Γραμμικός Διαφορικός Μετασχηματιστής (LVDT) μπορεί να χρησιμοποιείται:

- Στον έλεγχο σε ένα δοχείο για την εύρεση στάθμης νερού.
- Σε μηχανουργεία.
- Σε ρομποτικές εφαρμογές.
- Στα συστήματα μέτρησης της δύναμης, της πίεσης και της επιτάχυνσης.
- Στον έλεγχο υδραυλικών και πνευματικών εμβόλων για την εύρεση της θέσης τους.
- Στον έλεγχο της κίνησης των γερανών

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα των Μεταβλητών Γραμμικών Διαφορικών Μετασχηματιστών (LVDT) αισθητήρων είναι τα εξής ακόλουθα:

- Μετρούν μόνο μικρές μετατοπίσεις, εφαρμογή από 0,1mm έως 1000mm.
- Ευαισθησία στους κραδασμούς.
- Ευαισθησία στην θερμοκρασία [22].

Παρουσιάζοντας τις προτάσεις για ενδεχόμενες βελτιώσεις στο τομέα του όσο πιο αποτελεσματικού ελέγχου των πνευματικών συστημάτων με τη χρήση και άλλων μεθόδων, ολοκληρώνεται η παρούσα διπλωματική εργασία.

## Βιβλιογραφία

[1] Υδραυλικά-Πνευματικά Συστήματα και Εφαρμογές, Αθανάσιος Τ. Ρούτουλας, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα 2008.

[2] Αυτοματισμοί και Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου, Α' τεύχος του τομέα Ηλεκτρολογίας, Λιγνός Ι, Μπουσλής Π, Πολίτης Γ., Χαμηλοθώρης Γ., Αθήνα 2001.

[3] A. Chitty, T. H. Lambert, "Modelling a Loaded Two-Way Pneumatic actuator", Measurement and Control, Vol 9, January, 1976.

[4] Al-Ibrahim, A.M., Otis, D.R., "Transient Air Temperature and Pressure Measurements During the Charging and Discharging Processes of an Actuating Pneumatic Cylinder", Proceedings of the 45th National Conference on Fluid Power, 1992.

[5] Mads Grahl-Madsen, "Computerised Analysis of a Pneumatic Actuator", c11, SIMS'S 96, Trondheim Norway.

[6] Kagawa T., Cai M.L., Fujita T., Takeuchi M. "Energy consideration of pneumatic cylinder actuating system", Proceedings of the Sixth Triennial International symposium on Fluid Control, Measurement and Visualization, Sherbrooke, Canada, 2000.

[7] Επιμορφωτικό υλικό για την εκπαίδευση των επιμορφωτών - Τεύχος 2: Κλάδοι ΠΕ60-70 ΕΑΙΤΥ - Τομέας Επιμόρφωσης και Κατάρτισης (ΤΕΚ).

[8] ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ SIMULINK, Εργαστήριο Ρύθμισης και Πληροφορικής Σχολή Χημικών Μηχανικών Ε.Μ.Π.

[9] Ιστορία της Τεχνολογίας & των Αυτομάτων, Σ. Βασιλειάδου και Δ. Καλλιγερόπουλος, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα, 2005.

[10] Astrom K., Häglund T., "PID Controllers Theory, Design and Tuning", Library of Congress Cataloguing-in-Publication Data, 1999.

[11] Gang B., Yujun L., Zuwen W., "The calculation of two-dimension viscous flow field in tube of pneumatic system", The Fifth International Conference on Fluid Power Transmission and Control (ICFP 2001), held in the Hangzhou, China, April 3-5, 2001.

[12] Esteve Codina, Josep Xercavins, "Flow Rate Characteristics of Pneumatic Fittings", Proceedings of the 45th National Conference on Fluid Power, 1992.

[13] Yildirim Hurmuzlu. Edmond Richer ., "A High Performance Force Actuator System Part 1 Nonlinear Mathematical Model", ASME Journals of Dynamics Systems Measurement and Control, Vol. 122, No3, pp. 416-425, 2000.

[14] Πτυχιακή εργασία: ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΛΕΚΤΩΝ, Δρόσο Ελευθέριο, Ντουντουλάκη Άρη, Τ.Ε.Ι. Κρήτης- Τμήμα Ηλεκτρονικής, Τομέας Αυτοματισμού

[15] Eduardo A. PERONDI, Raul GUENTHER, "Control of a Servopneumatic Drive with Friction Compensation", Proc. of 1st FPNI-PhD Symp. , pp. 117-127, Hamburg 2000

[16] K.K. Ahn, D.C Thanh, "Nonlinear PID Control to Improve the Control Performance of the Pneumatic Artificial Muscle Manipulator Using Neural Network", Journal of Mechanical Science and Technology, vol. 19, No1, pp. 106-115, 2005.

- [17] Yaolong Tan, "Nonlinear Observer/Controller Design and Its Application to Friction Compensation", PhD thesis, University Of California, Los Angeles, 2000.
- [18] Shen Dongkai Wang Zhanlin, "An adaptive controller based on neural networks for motor-drive load simulator", IEEE Proceedings of the 35th Conference on Decision Control, Kobe, Japan December 1996
- [19] Ευφυής Έλεγχος, P.E. Κίνγκ, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- [20] White D A & Sofge D A, Eds., "Handbook of Intelligent Control: Neural, Fuzzy, and Adaptive Approaches", Van Nostrand Reinhold, 1992.
- [21] Ming-Chang Shih, Niarn-Liarng Luor, "Self-Tuning Neural Fuzzy Control the Position of a Pneumatic Cylinder Under Vertical Load", IEEE Trans. on IE, Vol. 39, No. 6, pp. 472-489, 1992.
- [22] Ενότητα 6: Μέτρηση Κίνησης (μετατόπισης, προσέγγισης, ταχύτητας, επιτάχυνσης), Μηχανικής Τάσης και Βάρους, Λάμπρος Μπισδούνης, Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών, Τ.Ε.Ι. Δυτικής Ελλάδας.