

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Συστήματα Ελέγχου Αεροσκαφών



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΕΣ: ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΠΡΙΝΗ
ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΒΟΥΡΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ (Α.Υ)

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ
ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ
ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε





ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία της σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, εκπονήθηκε από τις φοιτήτριες Τσαγκάλη Παναγιώτα και Ζορμπά Λαμπρινή υπό την επίβλεψη του καθηγητή Βούρου Ανδρέα. Θα θέλαμε να τον ευχαριστήσουμε για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγησή του καθώς και για την υπομονή του μέχρι την ολοκλήρωση της πτυχιακής μας εργασίας. Επιπλέον θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε το προσωπικό της Διεύθυνσης Μελετών του Κεντρικού Εργοστασίου Αεροσκαφών στην Αεροπορική βάση Ελευσίνας και του Εργοστασίου Τηλεπικοινωνιακών και Ηλεκτρικών Μέσων της Πολεμικής Αεροπορίας στη Γλυφάδα για τη βοήθεια και τις γνώσεις που μας μετέδωσαν στον τομέα της αεροναυπηγικής. Τέλος, ευχαριστούμε τις οικογένειές μας για κάθε είδους στήριξη που μας έδωσαν όλα αυτά τα χρόνια σπουδών μας.

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστών: Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, αναλαμβάνοντας την ευθύνη επί ολοκλήρου του κειμένου εξ ίσου, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές
(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)

(Ονοματεπώνυμο)

.....

(Υπογραφή)



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρονται τα συστήματα ελέγχου που υπάρχουν σε ένα αεροσκάφος καθώς και οι αρχές λειτουργίας τους με σκοπό την ασφαλή πτήση κάτω από διάφορες συνθήκες.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή με σκοπό την κατανόηση του αεροσκάφους σαν ιπτάμενη μηχανή.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα στοιχεία τα οποία απαρτίζουν ένα αεροσκάφος καθώς και τα δομικά τους μέρη.

Συνεχίζοντας στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται κατανοητή η έννοια των αεροδυναμικών δυνάμεων που ασκούνται στο αεροσκάφος καθ' όλη τη διάρκεια της πτήσης, από την απογείωση μέχρι την προσγείωση.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποσαφηνίζει την έννοια των ελέγχων πτήσης και τις υποκατηγορίες που την αποτελούν.

Ακολούθως, στο πέμπτο κεφάλαιο αναφέρονται όλα τα συστήματα που υπάρχουν σε ένα αεροσκάφος καθώς και οι λειτουργίες τους, ενώ στο έκτο παρατίθεται ο τρόπος με τον οποίο πραγματοποιούνται οι έλεγχοι αυτών των συστημάτων.

Κλείνοντας, στο έβδομο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι νέες τεχνολογίες της σημερινής και σύγχρονης αεροναυπηγικής.



SUMMARY

This thesis describes the control systems on an aircraft and their operating principles for safe flight under different conditions.

More specifically, in the first chapter a historical review is made to understand the aircraft as a flying machine.

The second chapter refers to the basic structure and components of an airplane. In addition, in the third chapter the four forces acting on a plane are described.

Subsequently, the fifth chapter lists all the systems that exist on an aircraft and their functions, while the sixth lists the way in which these systems are controlled.

Finally, the seventh chapter presents the new technologies and state of the art modern aeronautics.



ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
SUMMARY.....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	9
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – Ιστορική Αναδρομή.....	13
2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΔΟΜΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ.....	17
2.1 Δομικά Μέρη.....	18
2.1.1 Άτρακτος.....	18
2.1.2 Άτρακτος τύπου δικτύωμα (truss type).....	18
2.1.3 Ολοφέρουσα άτρακτος (monocoque type).....	19
2.1.4 Ημικελυφοειδής Άτρακτος.....	20
2.1.5 Πίεση.....	21
2.1.6 Πτέρυγα.....	22
2.1.7 Ουραίο Τμήμα.....	23
2.1.8 Πηδάλιο κλίσης (aileron).....	23
2.1.9 Σταθεροποιητής.....	24
2.1.10 Μονάδα Τροφοδοσίας.....	24
2.1.11 Σύστημα Προσγείωσης.....	24
2.1.12 Υλικό Πλαισίου Αεροσκάφους.....	25
2.2 Σημαντικές Δομικές Καταπονήσεις.....	26
3. ΑΡΧΕΣ ΠΤΗΣΗΣ.....	29
3.1 Δυνάμεις Φόρτισης Αεροσκάφους.....	29
3.1.1 Ωση.....	30
3.1.2 Άντωση.....	31
3.1.3 Οπισθέλκουσα (Drag).....	32
3.1.4 Οπισθέλκουσα μορφής (Parasite Drag - Παράσιτη).....	33



3.1.5.	Οπισθέλκουσα σχήματος (Form Drag).....	34
3.1.6.	Οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης (Interference Drag).....	34
3.1.7.	Οπισθέλκουσα επιφανειακής τριβής (Skin Friction Drag).	35
3.1.8.	Οπισθέλκουσα Επαγόμενη (Induced Drag).	36
3.1.9.	Βάρος.....	37
3.2	Αεροδυναμική της Πτήσης.....	37
3.2.1	Κατανομή Πίεσης.....	38
4.	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΤΗΣΗΣ.....	41
4.1	Αρχές Ελέγχου Πτήσης.....	41
4.2	Επιφάνειες Ελέγχου Πτήσης.....	42
4.3	Κύριες Επιφάνειες Ελέγχου.....	43
4.3.1	Πηδάλιο Κλίσης.....	44
4.3.2	Πηδάλιο Ανόδου – Καθόδου.....	45
4.3.3	Πηδάλιο Διευθύνσεως.....	45
4.3.4	Επιφάνειες διπλού σκοπού.....	46
4.4	Δευτερεύουσες Επιφάνειες Ελέγχου.....	48
4.4.1	Πτερύγια Καμπυλότητας (Flaps).....	48
4.4.2	Spoilers (Φθορείς Άντωσης).....	50
4.4.3	Slats and Slots: Πτερύγιο Καμπυλότητας χείλους προσβολής.....	51
4.4.4	Πτερύγια Αντιστάθμισης (trim tabs).....	52
4.5	Συστήματα TRIM & FEEL.....	53
4.5.1	Συστήματα Αντιστάθμισης (TRIM).....	53
4.5.2	Συστήματα Αίσθησης (FEEL).....	54
4.5.3	Συστήματα Ελέγχου Σύνδεσης Πτήσης.....	55
4.5.4	Συστήματα Ράβδων Ελέγχου (Push - Pull).....	55
4.5.5	Συστήματα Συρμάτων και Τροχαλιών.....	58
4.6	Τύποι Κινητήρων.....	58
4.6.1	Αεριοστρόβιλοι.....	58
4.6.2	Εμβολοφόροι Κινητήρες.....	61
4.7	Έλεγχος Ωσης – Προβλήματα Ελέγχου.....	62



4.7.1	Έλεγχος Ροής Καυσίμου.....	62
4.7.2	Έλεγχος Ροής Αέρα.....	63
4.7.3	Συστήματα Ελέγχου και Παραμέτρων.....	63
4.7.4	Σήματα Εισόδου.....	63
4.7.5	Σήματα Εισόδου.....	64
4.8	Αρχές Εκκίνησης του Κινητήρα.....	64
4.9	Λάδια Κινητήρα.....	65
4.10	Συστήματα Επιβράδυνσης.....	66
5.	ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	71
5.1	Υδραυλικό Υγρό.....	71
5.2	Υδραυλικές Αντλίες.....	71
5.3	Υδραυλικοί Κινητήρες και Κύλινδροι.....	72
5.4	Υδραυλικά Εξαρτήματα.....	73
5.5	Υδραυλικό Σύστημα Πλεονασμού.....	75
6.	ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	77
6.1	Συστήματα Υψηλής Πίεσης.....	77
6.2	Εξαρτήματα Πνευματικού Συστήματος.....	78
6.3	Συστήματα Αντιγράφων Ασφαλείας Έκτακτης Ανάγκης.....	80
6.4	Συστήματα Μέσης Πίεσης.....	80
6.5	Συστήματα Χαμηλής Πίεσης.....	80
6.6	Σύστημα Καυσίμου.....	82
6.7	Σύστημα Προσγείωσης.....	82
6.8	Σύστημα Οξυγόνου – Κλιματισμού – Έκτακτης Ανάγκης.....	83
7.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ FLY BY WIRE (FBW).....	85
7.1.	Ενεργοποίηση Ελέγχου Πτήσης.....	85
7.2.	Συμβατικός Γραμμικός Ενεργοποιητής.....	85
7.3.	Μηχανική Λειτουργία με Ηλεκτρική Σηματοδότηση.....	86
7.4.	Πολλαπλή Ενεργοποίηση Ασφάλειας (REDUNDANCY).....	86
7.5.	Μηχανισμός Βιδωτού Ενεργοποιητή.....	88
7.6.	Ενσωματωμένο Πακέτο Ενεργοποιητή IAP.....	88



7.7.	Προηγμένες Εφαρμογές Ενεργοποίησης.....	89
7.7.1	Ενεργοποίησης Άμεσης Κίνησης.....	89
7.7.2	Ενεργοποίηση Fly by Wire (FBW).....	89
7.8.	Ηλεκτρο – Υδροστατικός Ενεργοποιητής (ΕΗΑ).....	90
7.9.	Ηλεκτρομηχανικός Ενεργοποιητής (ΕΜΑ).....	90
8.	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ (FBW).....	93
8.1.	Λειτουργία FBW.....	94
8.1.1.	Πλεονεκτήματα FBW.....	94
8.1.2.	Ψηφιακό FBW.....	95
8.1.3.	Επιπλέον Σύστημα Ασφάλειας.....	95
8.2.	Αυτόματα Συστήματα Ελέγχου Πτήσης (AFCS).....	95
8.2.1.	Εξαρτήματα AFCS.....	96
8.3	ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	105
8.4	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ AFCS.....	105
9.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ.....	107
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	108



ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Το ανεμόπτερο του George Cayley 1852 [21]	13
Εικόνα 2: Το μονοπλάτο του Otto Lilienthal, 1894 [21]	14
Εικόνα 3: Το ανεμόπτερο του Percy Pilcher [21]	14
Εικόνα 4: Το ανεμόπτερο των Wright - Flyer I, 1903 [21].....	15
Εικόνα 5: Το αεροναυτικό τρίγωνο, ΗΠΑ 1886 – 1916 [21]	15
Εικόνα 6: Δομή αεροσκάφους https://goo.gl/images/zcz1SV	17
Εικόνα 7 Πρωταρχικές μονάδες αεροσκάφους [9].....	18
Εικόνα 8 Άτρακτος τύπου δικτυώματος [9].....	19
Εικόνα 9 Ολοφέρουσα άτρακτος [9].....	20
Εικόνα 10 Ημικελυφοειδής άτρακτος [9].....	21
Εικόνα 11 Διάφορα σχήματα σχεδιασμού πτερυγίων για διαφορετικές επιδόσεις [9].....	22
Εικόνα 12 Εξαρτήματα ουραίου τμήματος [9].....	24
Εικόνα 13 Εξαρτήματα πτερυγίου [23].	25
Εικόνα 14 Σύστημα προσγείωσης [6].....	26
Εικόνα 15 Οι πέντε καταπονήσεις που ασκούνται σε ένα αεροσκάφος και στα μέρη του [6].....	27
Εικόνα 16 Η σχέση των τεσσάρων δυνάμεων που δρουν στο αεροσκάφος [23].....	30
Εικόνα 17 Δυνάμεις που δρουν στο αεροπλάνο https://goo.gl/images/CRO1SE	33
Εικόνα 18 Σχέση των οπισθέλκουσων δυνάμεων (https://goo.gl/images/RAECAU)	33
Εικόνα 19 Οπισθέλκουσα σχήματος [23].....	34
Εικόνα 20 Οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης (https://goo.gl/images/LFrU5s).....	35
Εικόνα 21 Οπισθέλκουσα επιφανειακής τριβής (https://goo.gl/images/7Pn7YH).....	36
Εικόνα 22 Επαγόμενη οπισθέλκουσα (https://goo.gl/images/6ismGk).....	36
Εικόνα 23 Αρχή του Bernoulli (https://goo.gl/images/pDRtrN).....	38
Εικόνα 24 Φορείς δυνάμεων κατά τη διάρκεια μιας σταθεροποιημένης πτήσης [23].	38
Εικόνα 25 Κατανομή πίεσης (https://www.mh-aerotoools.de/airfoils/velocitydistributions.htm).	39
Εικόνα 26 Κίνηση του αεροσκάφους σε τρισδιάστατο σύστημα αξόνων XYZ (https://goo.gl/images/hmVaDM)	42
Εικόνα 27 Οι επιφάνειες ελέγχου πτήσης κινούν το αεροσκάφος γύρω από τους τρεις άξονες [5]	43
Εικόνα 28 Τυπική δομή μιας επιφάνειας ελέγχου από αλουμίνιο [5].....	44
Εικόνα 29 Θέση πηδαλίου σε διάφορα είδη πτερυγίων [5].	44
Εικόνα 30 Τυπικές επιφάνειες ελέγχου σε επιβατικό αεροσκάφος [5].....	45
Εικόνα 31 Επιφάνειες ελέγχου πτήσης [5].....	46
Εικόνα 32 Συνδυασμένο πηδάλιο διεύθυνσης και ανόδου – καθόδου [5].	47
Εικόνα 33 Συνδυασμένο πτερύγιο καμπυλότητας χείλους εκφυγής και πηδάλιο κλίσεως [5].	47
Εικόνα 34 Συνδυασμένα πηδάλια ανόδου – καθόδου και κλίσεως [5].....	47
Εικόνα 35 Δευτερεύουσες και βοηθητικές επιφάνειες ελέγχου [5].....	48



Εικόνα 36 Τριπλό πτερύγιο καμπυλότητας με σχισμή [5].....	49
Εικόνα 37 Πτερύγιο καμπυλότητας χείλους προσβολής [5].	49
Εικόνα 38 Βασικοί τύποι πτερυγίων [5].....	50
Εικόνα 39 Φρένα ταχυτήτων [5].....	50
Εικόνα 40 Φθορείς άντωσης (https://goo.gl/images/MgGN8d).	51
Εικόνα 41 Πτερύγια με σχισμή (https://goo.gl/images/HwYkFP).....	51
Εικόνα 42 Πτερύγιο αντιστάθμισης (https://goo.gl/images/dL4MUK).....	52
Εικόνα 43 Πτερυγίδια αντιστάθμισης (https://goo.gl/images/mGBY9w).....	52
Εικόνα 44 Πτερυγίδια ελέγχου πτήσης (https://goo.gl/images/aMEKJ7).....	53
Εικόνα 45 Δυνάμεις πρόνευσης που δρουν σε μια επίπεδη πτήσης [5].	53
Εικόνα 46 Σύστημα Basic Q Feel [5].....	54
Εικόνα 47 Σύστημα Hydraulic Q Feel [5].....	55
Εικόνα 48 Μεταφορά εισόδων επιφανειών ελέγχου από το πιλοτήριο (https://goo.gl/images/u6Mp8F).....	57
Εικόνα 49 Σωλήνας ροπής στρέψης (https://goo.gl/images/quJsci).....	57
Εικόνα 50 Μηχανικό σύστημα ελέγχου πτήσης [5].	58
Εικόνα 51 Turbojet engine – Στροβιλοκινητήρας [5].	59
Εικόνα 52 Turboprop engine – ελικοστρόβιλος (https://goo.gl/images/7FXpxB).....	59
Εικόνα 53 Turbohaft – αξονοστρόβιλος (https://goo.gl/images/aBjNKQ).....	60
Εικόνα 54 Turbofan – στροβιλοκινητήρας (https://goo.gl/images/5yMDvr).....	60
Εικόνα 55 Εμβολοφόρος κινητήρας (https://goo.gl/images/p2QZDT).....	62
Εικόνα 56 Μοχλός γκαζιού (https://goo.gl/images/iD2ipt).....	65
Εικόνα 57 Εκτόνωση κινητήρα (https://goo.gl/images/Sx2SMp).....	66
Εικόνα 58 Αντίστροφη ώση (https://goo.gl/images/8pKiLd).....	67
Εικόνα 59 Έλικα μεταβλητού βήματος [5].....	67
Εικόνα 60 Φρένα τροχών (https://goo.gl/images/t7Ug74).....	68
Εικόνα 61 Αερόφρενα (https://goo.gl/images/oHPA3Z).....	68
Εικόνα 62 Αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας/ drag parachutes (https://goo.gl/images/hwp2wh).....	69
Εικόνα 63 Άγκιστρο ανάσχεσης (https://goo.gl/images/ZFqV6m).....	69
Εικόνα 64 Υδραυλική αντλία (https://goo.gl/images/PGLXxU).....	72
Εικόνα 65 Υδραυλικό σύστημα (https://goo.gl/images/Hs3yzf).....	73
Εικόνα 66 Σφαιρικός συσσωρευτής (https://goo.gl/images/eEv4uL).....	74
Εικόνα 67 Εξαρτήματα πεπιεσμένου αέρα (https://goo.gl/images/AJpxGx).....	74
Εικόνα 68 Η θέση ενός ρυθμιστή πίεσης σε ένα βασικό υδραυλικό σύστημα (https://goo.gl/images/rzsddV).....	75
Εικόνα 69 Πνευματικό σύστημα πέδησης αεροσκάφους (https://goo.gl/images/wmkNcX).....	77
Εικόνα 70 Βαλβίδα ελέγχου πνευματικών (https://goo.gl/images/PnQHNN).....	78
Εικόνα 71 Βαλβίδα αντεπιστροφής τύπου πτερυγίου http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html).....	79



Εικόνα 72 Μεταβλητός πνευματικός περιοριστής (http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html).....	79
Εικόνα 73 Μεταβλητός πνευματικός περιοριστής (http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html).....	79
Εικόνα 74 Πνευματικό σύστημα έκτακτης επέκτασης συστήματος προσγείωσης (http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html).....	81
Εικόνα 75 Σχηματική περιγραφή της αντλίας τύπου πτερυγίου (http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html).....	81
Εικόνα 76 Σύστημα καυσίμου (http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html)	82
Εικόνα 77 Συμβατικός γραμμικός ενεργοποιητής (https://goo.gl/images/ddrRNL)	85
Εικόνα 78 Συμβατικός γραμμικός ενεργοποιητής αυτόματου πιλότου [5].....	86
Εικόνα 79 Απλοποιημένο σχηματικό μπλοκ - διάγραμμα ενός πολλαπλού ενεργοποιητή μείωσης ηλεκτρικά σηματοδοτούμενου [5].....	87
Εικόνα 80 Tornado Taileron/Rudder CSAS δια επαφή κίνησης [5].....	87
Εικόνα 81 Μηχανισμός βιδωτού ενεργοποιητή [5].....	88
Εικόνα 82 Ενσωματωμένο πακέτο ενεργοποιητή IAP [5].....	89
Εικόνα 83 Ενεργοποιητής FBW [5].....	90
Εικόνα 84 Ηλεκτρο - υδροστατικός ενεργοποιητής (EHA) [5]	90
Εικόνα 85 Ηλεκτρομηχανικός ενεργοποιητής (EMA) [5].....	91
Εικόνα 86 Σύστημα FBW [5]	93
Εικόνα 87 Concorde [5]	93
Εικόνα 88 Αυτόματο σύστημα ελέγχου (https://goo.gl/images/cexvzM).....	95
Εικόνα 89 Πίνακας ελέγχου (https://goo.gl/images/S6aDqE).....	96
Εικόνα 90 Air-Navigator computer (A) , Κανάλι ενισχυτή/computer (B) (https://goo.gl/images/2fg12o)...	97
Εικόνα 91 Χειριστήριο ελέγχου [5]	97
Εικόνα 92 Γεννήτρια σήματος [5]	98
Εικόνα 93 Αναφορά κάθετης πρόνευσης και διατοιχισμού [5]	99
Εικόνα 94 Διάγραμμα προσανατολισμού γυροσκοπικού ρυθμού τριών αξόνων [5].....	99
Εικόνα 95 Παλαιού τύπου πυξίδα [5].....	100
Εικόνα 96 Ταχύμετρο [5].....	100
Εικόνα 97 Βαρομετρικός έλεγχος ύψους (A) – Εσωτερικά μέρη (B) Σχηματικά απλοποιημένα (C) (https://goo.gl/images/vFNcqD).....	101
Εικόνα 98 Διακόπτης θέσης πτερυγίου καμπυλότητας (https://goo.gl/images/BevSw4).....	101
Εικόνα 99 Πομπός επιταχυνσιόμετρου [5].....	102
Εικόνα 100 Αναλυτική προβολή ενός κατακόρυφου αισθητήρα [5].....	102
Εικόνα 101 Διάγραμμα υδραυλικού ενισχυτή [5]	103
Εικόνα 102 Μπλοκ – διάγραμμα αυτόματης αντιστάθμισης πρόνευσης [5].....	104
Εικόνα 103 Διάγραμμα συστήματος ILS [5, 29].....	105

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

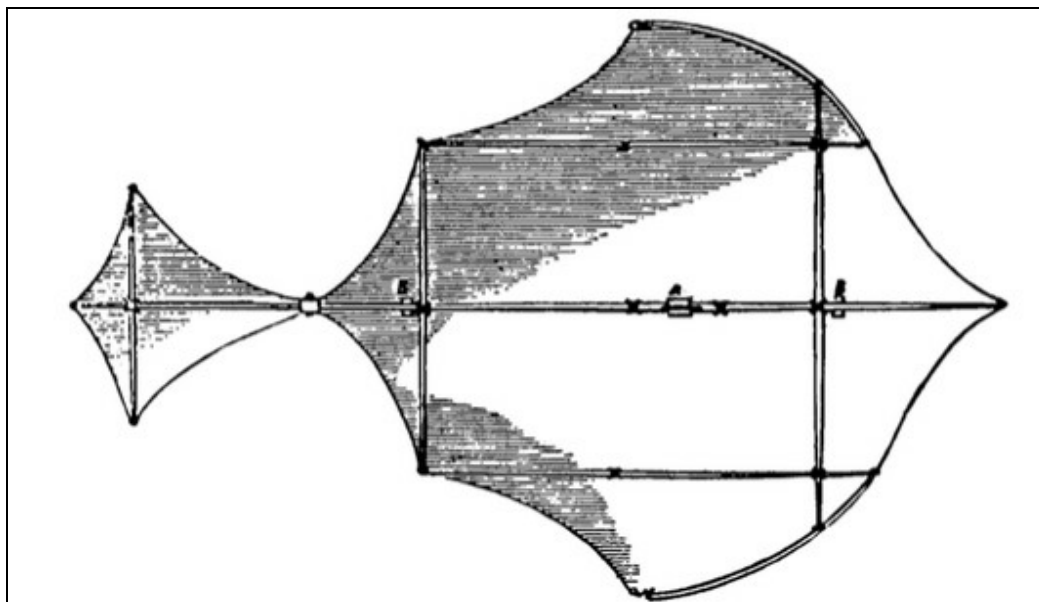
ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε





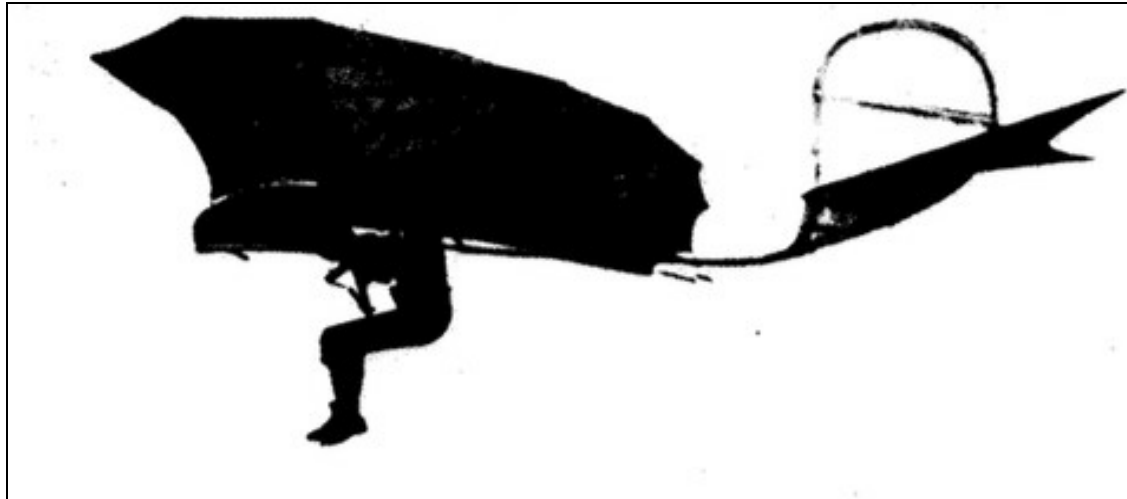
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ – Ιστορική Αναδρομή.

Η ιδέα των ανθρώπων να πετούν, ξεκίνησε από τα πρώτα στάδια της ανθρωπότητας παρατηρώντας τις κινήσεις των πουλιών. Έχουμε μυθολογικές αναφορές από την αρχαία Ελλάδα, που φέρουν το Δαίδαλο και το γιο του Ίκαρο, να πετούν κοντά στον ήλιο, με φτερά που είχαν δεμένα στα σανδάλια τους. Το 1783, οι αδελφοί Montgolfier, κατάφεραν να κάνουν ένα αερόστατο να πετάξει για πέντε λεπτά στο Παρίσι, χρησιμοποιώντας τη δύναμη της άντωσης. Τα σύγχρονα αεροπλάνα, έχουν ως προέλευση, τη σχεδίαση που εκπονήθηκε από τον George Cayley, το 1799. Ωστόσο το 1853, κατάφερε να κατασκευάσει σύμφωνα με τις δικές του προδιαγραφές, ένα ανεμόπτερο (μονοπλάνο) που χρησιμοποιούσε ανοδικά ρεύματα αέρος για να πετάξει.

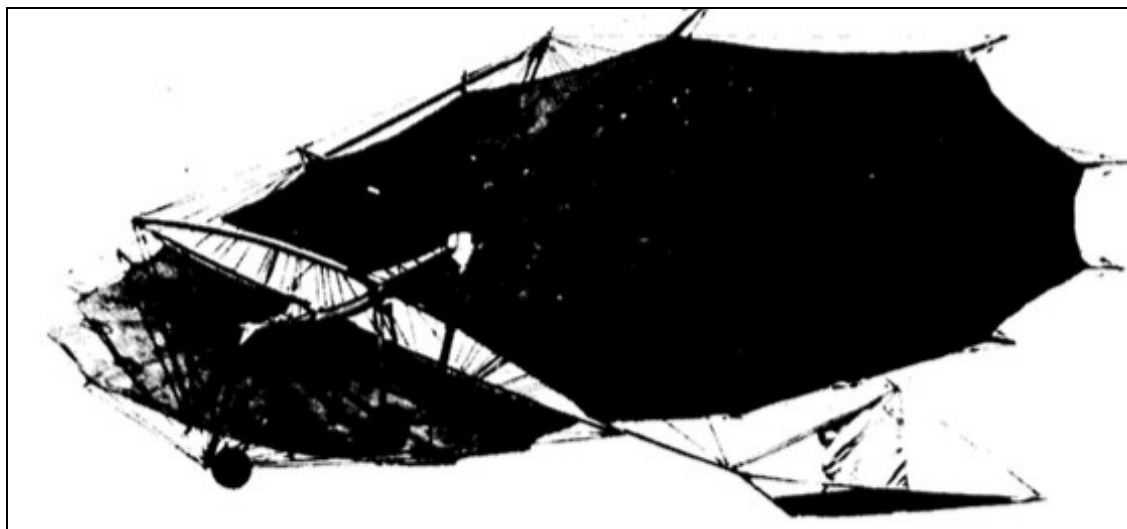


Εικόνα 1: Το ανεμόπτερο του George Cayley 1852 [21]

Οι δύο πρώτες αναπηδήσεις στην ιστορία με μηχανική τροφοδοσία, επιτεύχθηκαν από τον Felix Du Temple το 1874 και τον Alexander F. Mozhaiski το 1884. Ωστόσο, οι αναπηδήσεις αυτές δεν αναπαριστούν μια καθαρά ελεγχόμενη και συνεχή πτήση. Ο Otto Lilienthal, το 1891 σχεδίασε το πρώτο ελεγχόμενο ανεμόπτερο στην ιστορία, το οποίο κατάφερε να πετάξει. Σε περίοδο πέντε ετών (1891-1896) έφερε εις πέρας πάνω από 2.500 πτήσεις με ανεμόπτερο. Χρησιμοποιούσε καμπύλα σχήματα αεροτομής στην πτέρυγα κι ενσωματωμένα κάθετα και οριζόντια ουραία τμήματα στο πίσω μέρος, για ευστάθεια. Αυτά τα μηχανήματα ήταν ανεμόπτερα χειρός και ο έλεγχος πτήσης ασκούνταν μετακινώντας το κέντρο βάρους του χειριστή κάτω από το ανεμόπτερο.



Εικόνα 2: Το μονοπλάτο του Otto Lilienthal, 1894 [21]

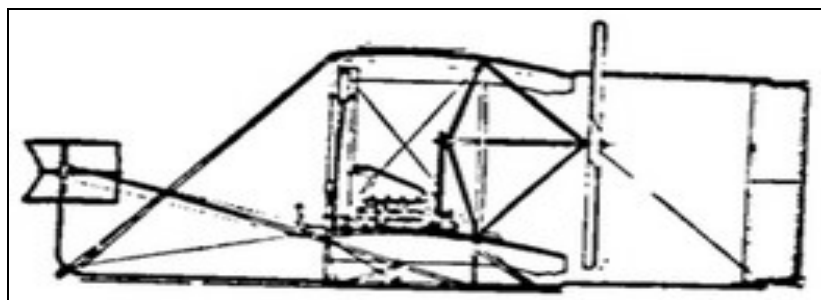


Εικόνα 3: Το ανεμόπτερο του Percy Pilcher [21]

Το 1899 ο Percy Pilcher υπολόγισε ότι μια μηχανή 4hp, που ζυγίζει περίπου 40lb και αποτελείται από μια προπέλα διαμέτρου 5ft, θα ήταν ικανή να απογειώσει το Hawk του και τα κατάφερε. Δυστυχώς όμως με μοιραία κατάληξη, καθώς σκοτώθηκε στη δεύτερη επίδειξη της πτήσης του. Το 1896, ο Samuel Pierpont Langley κατόρθωσε να επιτύχει την πρώτη πιο βαριά από τον αέρα, μη επανδρωμένη, τροφοδοτούμενη πτήση στην ιστορία, με το μικρής κλίμακας αεροπλάνο του. Όμως οι προσπάθειές του για επανδρωμένες πτήσεις ήταν ανεπιτυχείς. Στις 17 Δεκεμβρίου του 1903, οι Orville και Wilbur Wright πετυχαίνουν την πρώτη ελεγχόμενη, συνεχή, τροφοδοτούμενη, βαρύτερη του αέρα κι επανδρωμένη πτήση που έγινε ποτέ. Με έναν κινητήρα 12 ίππων τοποθετημένο στην επάνω επιφάνεια της κάτω πτέρυγας, ελαφρώς δεξιά του κέντρου.

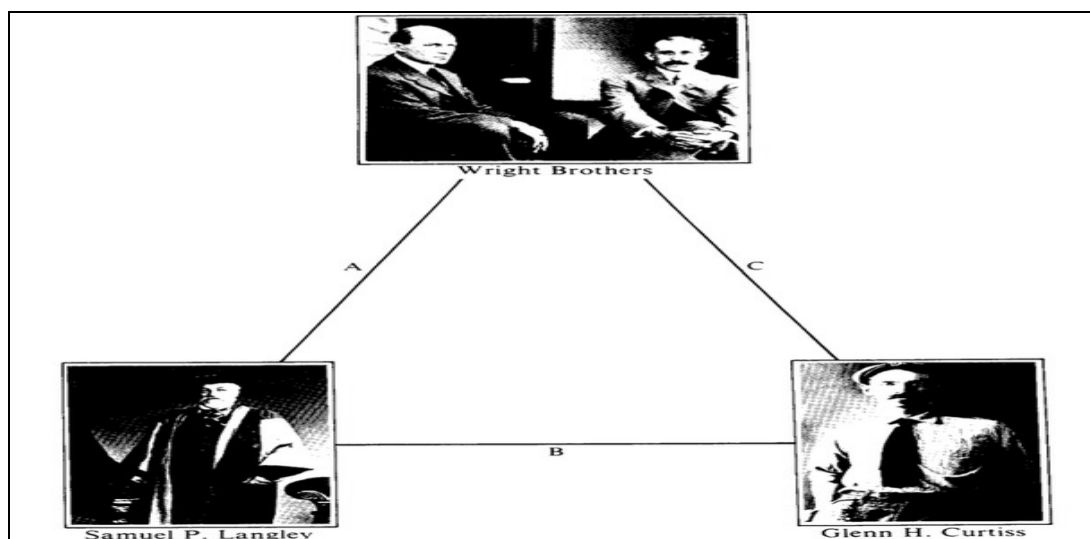


Αριστερά του κινητήρα βρισκόταν ο Orville Wright, ενώ πίσω του περιστρέφονταν δύο προπέλες, οδηγούμενες από δύο αλυσίδες και τροχαλίες συνδεδεμένες στον ίδιο κινητήρα. Το Wright Flyer I ξεκίνησε να μετακινείται για περίπου 60 πόδια, στο επίπεδο της Γης, με τον Wilbur Wright να τρέχει από τη δεξιά πλευρά, υποστηρίζοντας το ακροπερύγιο, ώστε να μη συρθεί στην άμμο, με αποτέλεσμα το Wright Flyer I να σηκωθεί στον αέρα σε ύψος περίπου 10 ποδιών για 12 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 4: Το ανεμόπλανο των Wright - Flyer I, 1903 [21]

Η ανάπτυξη της αεροναυπηγικής απογειώθηκε εκθετικά μετά την επίδειξη των αδερφών Wright σε Ευρώπη και Η.Π.Α το 1908. Η συνεχής εργασία του Glenn Curtiss και των αδερφών Wright καθώς και η επιρροή από την προγενέστερη δουλειά του Langley, δημιούργησαν το “αεροναυπηγικό τρίγωνο” στην εξέλιξη της αεροναυπηγικής, πριν τον πρώτο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η ιστορία της δομής των αεροσκαφών αντικατοπτρίζει ολόκληρη την ιστορία της αεροναυπηγικής. Η πρόοδος και η ανάπτυξη της τεχνολογίας, των υλικών και των διαδικασιών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των εναέριων μέσων και των κινητήρων, οδήγησαν στην εξέλιξη των απλών κατασκευών από δοκούς, ξύλα και σύρματα στις ιπτάμενες μηχανές της σημερινής εποχής. [12,19,20,21].



Εικόνα 5: Το αεροναυπηγικό τρίγωνο, ΗΠΑ 1886 – 1916 [21].

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε



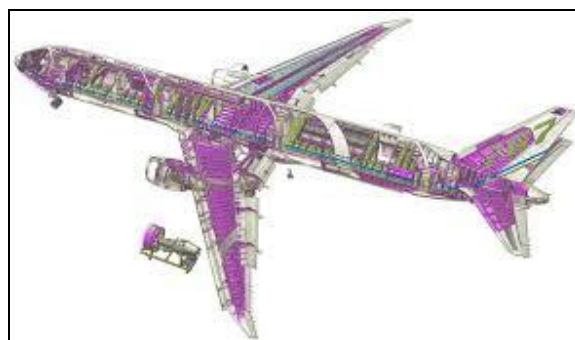


2. ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΔΟΜΗ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ.

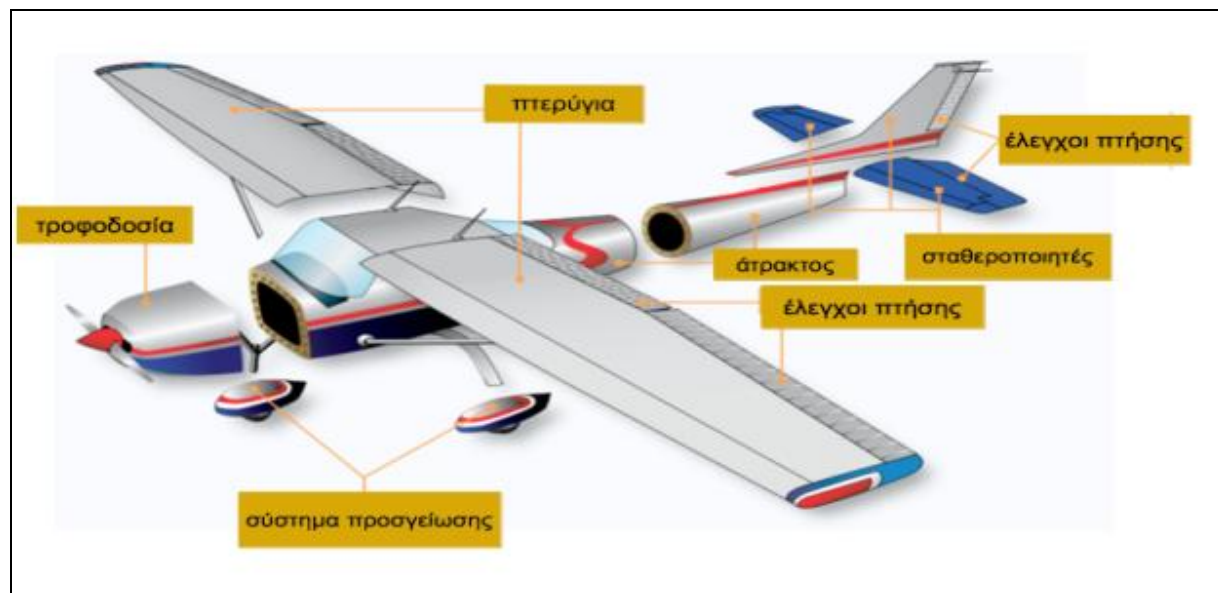
Τα αεροσκάφη είναι μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για εναέριες πτήσεις. Σημαντικές κατηγορίες αεροσκαφών είναι τα αεροπλάνα ,τα στροφόπτερα και τα οχήματα ελαφρύτερα του αέρος. Το πιο συνηθισμένο είδος, είναι το αεροσκάφος σταθερών πτερύγων. Τα πτερύγια σε αυτό το είδος ιπτάμενου μηχανήματος συνδέονται στην άτρακτο και δεν κινούνται ανεξάρτητα έτσι ώστε να δημιουργηθεί άντωση. Απαντώνται ένα, δύο ή τρία ζεύγη πτερυγίων αναλόγως το σκοπό του αεροσκάφους. Επίσης, ευρέως διαδεδομένα είναι και τα αεροσκάφη μεταβλητών πτερύγων.

Η δομή ενός αεροσκάφους σταθερής πτέρυγας αποτελείται από πέντε κύριες μονάδες: την άτρακτο, τα πτερύγια, τους σταθεροποιητές, τις επιφάνειες ελέγχου πτήσης και το σύστημα προσγείωσης. Τα αεροσκάφη μεταβλητών πτερύγων αποτελούνται από την άτρακτο, τον κύριο ρότορα και το αντίστοιχο κιβώτιο ταχυτήτων, το στροφέιο ουράς (μόνο σε ελικόπτερα που διαθέτουν ένα κύριο στροφέιο) και το σύστημα προσγείωσης. Τα δομικά στοιχεία του αεροσκάφους κατασκευάζονται από μια ευρεία ποικιλία υλικών. Τα πρώτα αεροσκάφη κατασκευάστηκαν κυρίως από ξύλο. Ακολούθησαν κατασκευές με σωλήνες από χάλυβα και στη συνέχεια από αλουμίνιο. Πολλά αεροσκάφη πρόσφατα πιστοποιημένα είναι κατασκευασμένα από χυτά σύνθετα υλικά, όπως οι ίνες άνθρακα.

Τα δομικά μέρη της ατράκτου του αεροσκάφους περιλαμβάνουν διαμήκεις δοκούς, νευρώσεις, δοκίδες, διαφράγματα και άλλα. Το κύριο δομικό μέρος της πτέρυγας ονομάζεται δοκός πτέρυγας. Η επιφάνεια των αεροσκαφών μπορεί επίσης να κατασκευαστεί από μια μεγάλη ποικιλία υλικών, ξεκινώντας από εμποτισμένο ύφασμα μέχρι κόντρα πλακέ (πολύφυλλο ξύλο), αλουμινίου ή σύνθετων υλικών. Κάτω από την επιφάνεια και προσαρτημένα στη δομή της ατράκτου υπάρχουν τα εξαρτήματα που υποστηρίζουν τη λειτουργία του αεροσκάφους. Ολόκληρη η άτρακτος και τα εξαρτήματά της συνδέονται με πριτσίνια, μπουλόνια, βίδες και άλλους δομικούς συνδέσμους, ή με ειδικές τεχνικές συγκόλλησης. [10,11,17,22,23].



Εικόνα 6: Δομή αεροσκάφους <https://goo.gl/images/zcz1SV>.



Εικόνα 7 Πρωταρχικές μονάδες αεροσκάφους [9].

2.1 Δομικά Μέρη.

2.1.1 Άτρακτος

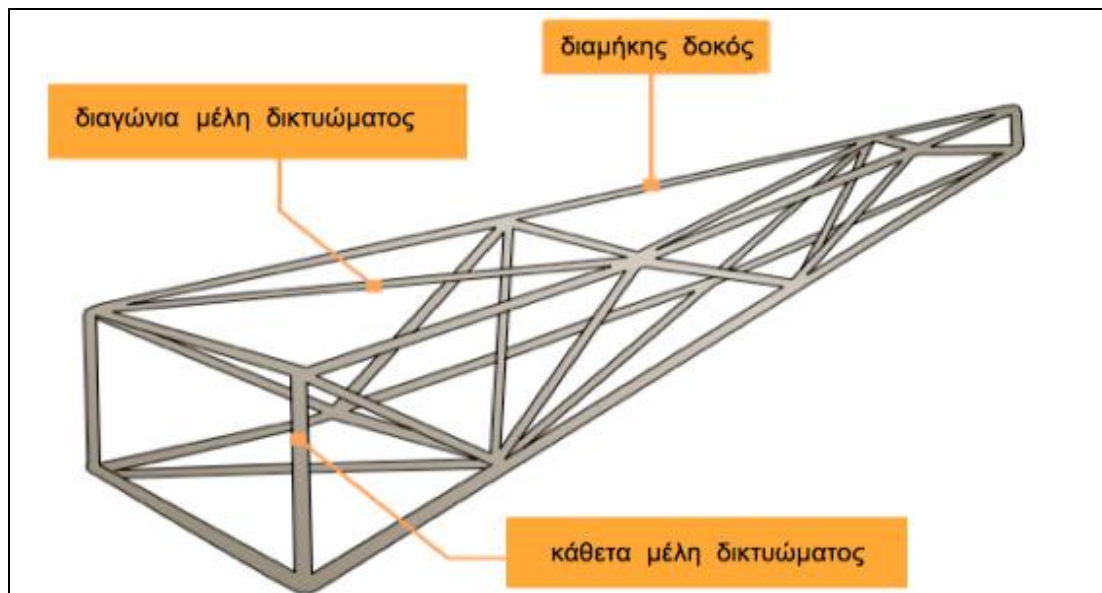
Η άτρακτος είναι η κύρια δομή του αεροσκάφους σταθερής πτέρυγας. Βρίσκεται στο κέντρο του και είναι η περιοχή όπου στεγάζεται το πλήρωμα, φορτία, χειριστήρια, αξεσουάρ, επιβάτες και τα όργανα έλεγχου που απαιτούνται για τη λειτουργία και τον έλεγχο πτήσης του αεροσκάφους. Είναι ένας μεγάλος κοίλος σωλήνας, κωνοειδής προς την πίσω πλευρά, όπου επάνω του συνδέονται τα πτερύγια και η διάταξη σταθεροποιητικών επιφανειών στην ουρά του αεροσκάφους. Ο σχεδιασμός της άτρακτου ποικίλλει ανάλογα με τη λειτουργία και το σκοπό του αεροσκάφους. Σε μονοκινητήρια αεροσκάφη, η άτρακτος στεγάζει τον κινητήρα. Σε αεροσκάφη πολλαπλών κινητήρων, οι κινητήρες μπορεί να βρίσκονται είτε στην άτρακτο, είτε να στεγάζονται επάνω της. Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι κατασκευής άτρακτου, η ολοφέρουσα άτρακτος και η ημικελυφοειδής [22,23].

2.1.2 Άτρακτος τύπου δικτύωμα (truss type)

Δικτύωμα ονομάζεται ένα άκαμπτο πλαίσιο που αποτελείται από μέρη όπως δοκοί, αποσβεστήρες και μπάρες, για να αντισταθεί στην παραμόρφωση από τα εφαρμοζόμενα φορτία. Αυτού του είδους η άτρακτος είναι καλυμμένη με ύφασμα και είναι κατασκευασμένη από χαλύβδινες σωληνώσεις συγκολλημένες μεταξύ τους με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε όλα τα μέλη του δικτύωματος να μπορούν να φέρουν φορτία εφελκυσμού και θλίψης. Σε ορισμένα αεροσκάφη, κυρίως στα ελαφριά, μονοκινητήρια μοντέλα, τα πλαίσια της άτρακτου μπορούν να



κατασκευαστούν από κράμα αλουμινίου και να βιδωθούν ή να πριτσινωθούν σε ένα τεμάχιο, σε σταυροειδή στήριξη χρησιμοποιώντας στερεούς σωλήνες ή ράβδους [22,23].



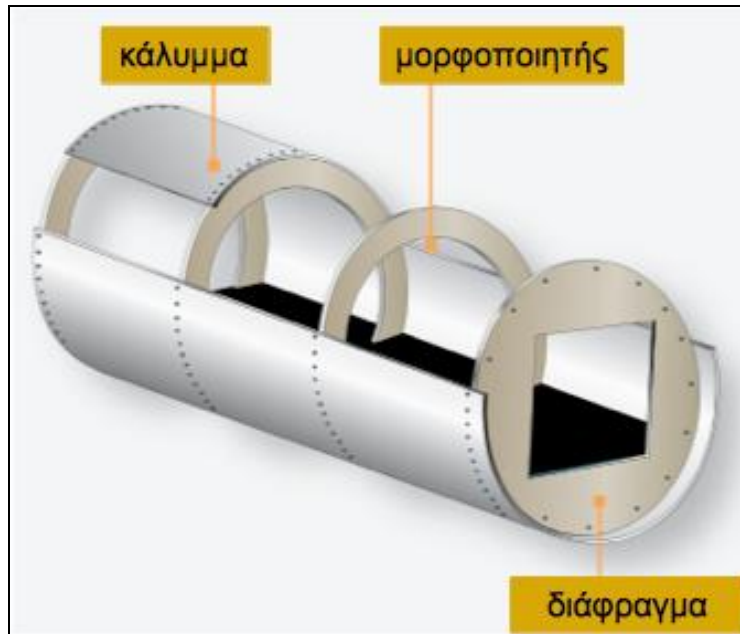
Εικόνα 8 Ατρακτος τύπου δικτυώματος [9].

2.1.3 Ολοφέρουσα άτρακτος (monocoque type).

Η ολοφέρουσα άτρακτος (κελυφοειδής) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη δύναμη του δέρματος ή του καλύμματος για να φέρει τα κύρια φορτία που επιδρούν επάνω της. Ο σχεδιασμός της, μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες:

1. Ολοφέρουσα
2. Ημικελυφοειδής

Διαφορετικά τμήματα της ίδιας ατράκτου μπορούν να ανήκουν σε μία από τις δύο κατηγορίες, αλλά τα περισσότερα σύγχρονα αεροσκάφη θεωρείται ότι είναι τύπου ημικελυφοειδή (semimonocoque). Η πραγματική ολοφέρουσα κατασκευή χρησιμοποιεί μορφοποιητές, συγκροτήματα πλαισίου και διαφράγματα για να δίνουν σχήμα στην άτρακτο. Το βαρύτερο από αυτά τα δομικά μέλη είναι τοποθετημένα κατά διαστήματα για να μεταφέρουν συγκεντρωμένα φορτία και σε σημεία όπου χρησιμοποιούνται προσαρμογείς για την προσάρτηση άλλων μονάδων όπως πτερύγια, κινητήρες και σταθεροποιητές. Καθώς δεν υπάρχουν άλλα στοιχεία στήριξης, το δέρμα ή κάλυμμα, πρέπει να έχει αντοχή στις πρωταρχικές καταπονήσεις και να διατηρεί την άτρακτο άκαμπτη. Έτσι, το μεγαλύτερο πρόβλημα που διαφαίνεται στις ολοφέρουσες κατασκευές είναι η διατήρηση αρκετών αντοχών παράλληλα με τη διατήρηση του βάρους μέσα στα επιτρεπόμενα όρια [22,23].



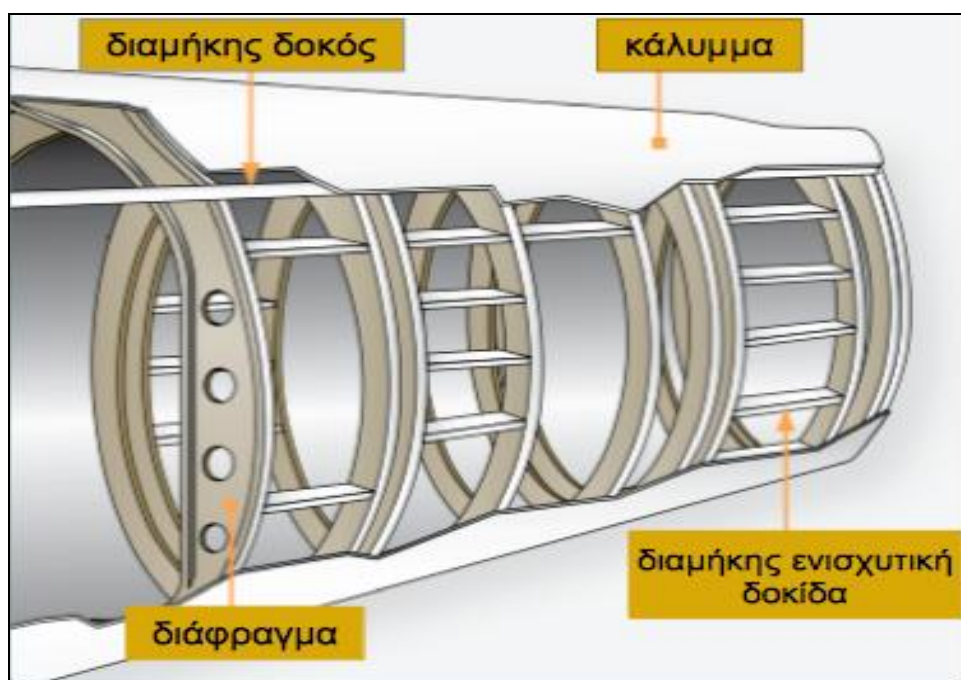
Εικόνα 9 Ολοφέρουσα άτρακτος [9].

2.1.4 Ημικελυφοειδής Άτρακτος.

Με σκοπό να ξεπεραστεί το πρόβλημα της κελυφοειδούς κατασκευής, αναπτύχθηκε μια τροποποίηση που ονομάζεται ημικελυφοειδής κατασκευή. Αποτελείται επίσης από συγκροτήματα πλαισίων, διαφράγματα και μορφοποιητές, αλλά επιπροσθέτως, το δέρμα ενισχύεται από διαμήκη μέλη που ονομάζονται διαμήκεις δοκοί. Οι διαμήκεις δοκοί είναι συνήθως κατασκευασμένοι από κράμα αλουμινίου και εκτείνονται σε διάφορα μέλη του πλαισίου βοηθώντας το δέρμα να υποστηρίξει τα αρχικά φορτία κάμψης. Ωστόσο σε αυτού του είδους τις ατράκτους χρησιμοποιούνται διαμήκεις ενισχυτικές δοκίδες (stringers). Οι δοκίδες αυτές είναι περισσότερες σε αριθμό και ταυτόχρονα ελαφρύτερες από τους διαμήκεις δοκούς. Ποικίλλουν σε σχήμα και συνήθως κατασκευάζονται από εξωθήσεις κράματος αλουμινίου ή από διαμορφωμένο αλουμίνιο. Οι δοκίδες είναι σχεδόν άκαμπτες, αλλά χρησιμοποιούνται κυρίως για να δώσουν σχήμα και για να βοηθήσουν στην προσκόλληση του δέρματος. Οι δοκίδες και οι διαμήκεις δοκοί από κοινού εμποδίζουν τη θλίψη και τον εφελκυσμό της ατράκτου. Η ημικελυφοειδής άτρακτος κατασκευάζεται κυρίως από κράματα αλουμινίου και μαγνησίου, αν και μερικές φορές, σε περιοχές υψηλών θερμοκρασιών προτιμάται ο χάλυβας και το τιτάνιο. Μεμονωμένα, κανένα από τα προαναφερθέντα εξαρτήματα δεν είναι αρκετά ισχυρό για να μεταφέρει τα φορτία που επιβάλλονται κατά τη διάρκεια της πτήσης και της προσγείωσης. Όταν όμως αυτά συνδυαστούν, τα στοιχεία αυτά αποτελούν ένα ισχυρό, άκαμπτο πλαίσιο. Αυτό επιτυγχάνεται με ενισχυτικά ελάσματα, ήλους, πριτσίνια, περικόχλια, μπουλόνια, βίδες, ακόμα και με συγκόλληση διά τριβής με ανάδευση (FSW) [22,23].



Τα πλεονεκτήματα της ημικελυφοειδούς ατράκτου είναι πολλά. Τα διαφράγματα, τα πλαίσια, οι δοκίδες και οι διαμήκεις δοκοί διευκολύνουν το σχεδιασμό και την κατασκευή μιας αεροδυναμικής ατράκτου που είναι τόσο άκαμπτη όσο και ισχυρή. Η κατανομή φορτίων μεταξύ αυτών των δομών και του καλύμματος σημαίνει ότι κανένα κομμάτι δε βρίσκεται σε κρίσιμο σημείο αποτυχίας. Οι άτρακτοι γενικά κατασκευάζονται σε δύο ή περισσότερα τμήματα. Σε μικρά αεροσκάφη, είναι κατασκευάζονται σε δύο ή τρία τμήματα, ενώ στα μεγαλύτερα αεροσκάφη, φτιάχνονται έξι ή και περισσότερα τμήματα πριν συναρμολογηθούν. [23]



Εικόνα 10 Ημικελυφοειδής άτρακτος [9].

2.1.5 Πίεση.

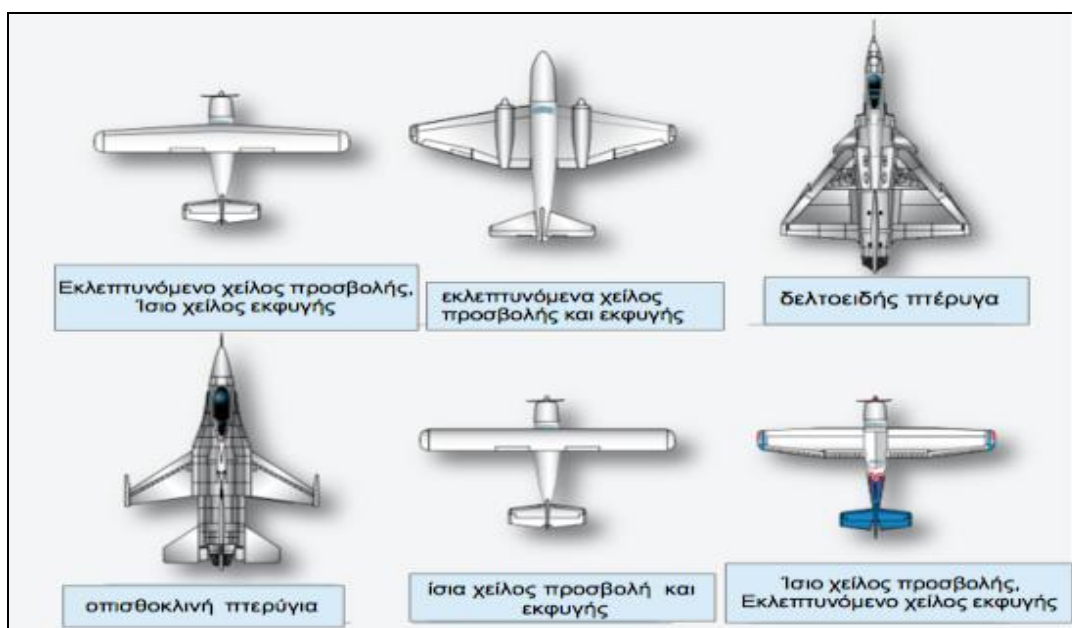
Πολλά αεροσκάφη βρίσκονται υπό πίεση. Αυτό σημαίνει ότι ο αέρας αντλείται μέσα στην καμπίνα μετά την απογείωση και δημιουργείται μια διαφορά πίεσης μεταξύ του αέρα μέσα στην καμπίνα και του αέρα έξω από αυτήν. Αυτή η διαφορά ρυθμίζεται και διατηρείται. Με αυτόν τον τρόπο, διατίθεται αρκετό οξυγόνο στους επιβάτες να αναπνέουν κανονικά και να κινούνται γύρω από την καμπίνα χωρίς ειδικό εξοπλισμό σε μεγάλα υψόμετρα. Η πίεση προκαλεί σημαντικές τάσεις στη δομή της ατράκτου και συμβάλλει στην πολυπλοκότητα του σχεδιασμού της. Εκτός από τη διατήρηση στη διαφορά πίεσης μεταξύ του αέρα μέσα και έξω από την καμπίνα, η ακολουθία του μη συμπιεσμένου αέρα σε πεπιεσμένο και αντίθετα, σε κάθε πτήση, προκαλεί κόπωση του μετάλλου [22,23].



2.1.6 Πτέρυγα.

Τα πτερύγια είναι αεροτομές προσκολλημένες στην κάθε πλευρά της ατράκτου και είναι οι κύριες επιφάνειες άντωσης που υποστηρίζουν το αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της πτήσης. Υπάρχουν διάφορα μεγέθη, σχήματα και σχεδιασμοί πτερυγίων, που εξυπηρετούν συγκεκριμένες ανάγκες. Το μπροστινό μέρος ονομάζεται χείλος προσβολής της πτέρυγας ενώ το πίσω μέρος ονομάζεται πίσω άκρο ή χείλος εκφυγής. Τα πτερύγια μπορούν να συνδεθούν στο επάνω, το μεσαίο ή το κατώτερο σημείο της ατράκτου. Μπορούν να εκτείνονται κάθετα στο οριζόντιο επίπεδο της ατράκτου ή μπορεί να γέρνουν ελαφρώς. Η γωνία που δημιουργείται λόγω αυτής της κλίσης, ονομάζεται διεδρο της πτέρυγας. Η διεδρη γωνία επηρεάζει την πλευρική σταθερότητα του αεροσκάφους. Ο αριθμός των πτερυγίων μπορεί επίσης να ποικίλλει. Τα αεροσκάφη με ένα σετ πτερυγίων ονομάζονται μονοπλάνα, ενώ αυτά που διαθέτουν δύο σετ ονομάζονται διπλάνα.

Πολλά αεροσκάφη με πτερύγια τοποθετημένα ψηλά, έχουν εξωτερικούς βραχίονες ή στύλους που μεταδίδουν τα φορτία πτήσης και προσγείωσης μέσω των στύλων, στην κύρια δομή της ατράκτου. Συνήθως αυτός ο τύπος κατασκευής ονομάζεται ημι- πρόβολο. Λίγα αεροσκάφη διαθέτουν πτερύγια πλήρους πρόσωσης, τα οποία έχουν σχεδιασθεί για να μεταφέρουν φορτία χωρίς εξωτερικά στηρίγματα. Τα κυριότερα δομικά τμήματα των πτερυγίων είναι οι ράβδοι, οι δοκοί και οι χορδές. Αυτά είναι ενισχυμένα με στηρίγματα, δοκούς (I), σωληνώσεις ή καλύπτονται από ύφασμα, αλουμίνιο ή κάποιο άλλο κέλυφος σύνθετου υλικού. Οι εγκάρσιες νευρώσεις πτέρυγας καθορίζουν το σχήμα και το πάχος του πτερυγίου.



Εικόνα 11 Διάφορα σχήματα σχεδιασμού πτερυγίων για διαφορετικές επιδόσεις [9].

Στο πίσω μέρος τους βρίσκεται το πηδάλιο κλίσεως (aileron) και τα πτερύγια κλίσεως (flaps) που αλλάζουν το σχήμα της πτέρυγας έτσι ώστε να δημιουργούν μεγαλύτερη ή μικρότερη άντωση, ανάλογα με τις απαιτήσεις της πτήσης. Στα περισσότερα σύγχρονα αεροσκάφη, οι δεξαμενές καυσίμου είναι είτε αναπόσπαστο κομμάτι της δομής της πτέρυγας, είτε αποτελούμενο



από εύκαμπτα δοχεία τοποθετημένα στο εσωτερικό της πτέρυγας. Το αλουμίνιο είναι το πιο συνηθισμένο υλικό κατασκευής πτερυγίων, αλλά μπορούν επίσης να είναι κατασκευασμένα από κράμα μαγνησίου ή να είναι ξύλινα καλυμμένα με ύφασμα. Επιπλέον, υπάρχουν πτερύγια που κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου από ίνες άνθρακα ή άλλα σύνθετα υλικά, για μέγιστη αντοχή σε βάρος [22,25].

2.1.7 Ουραίο Τμήμα.

Το ουραίο τμήμα του αεροσκάφους αποτελείται από σταθερές αεροδυναμικές επιφάνειες, όπως ο κατακόρυφος σταθεροποιητής και ο οριζόντιος σταθεροποιητής και κινητές επιφάνειες, όπως το πηδάλιο διεύθυνσης, το πηδάλιο ανόδου – καθόδου κι ένα από τα πτερύγια αντιστάθμισης. Το πηδάλιο διεύθυνσης συνδέεται στο πίσω μέρος του κατακόρυφου σταθεροποιητή. Κατά τη διάρκεια της πτήσης, χρησιμοποιείται για να μετακινήσει το ρύγχος του αεροπλάνου αριστερά και δεξιά. Το πηδάλιο ανόδου – καθόδου, το οποίο είναι συνδεδεμένο στο πίσω μέρος του οριζόντιου σταθεροποιητή, χρησιμοποιείται για να μετακινεί το ρύγχος του αεροπλάνου προς τα πάνω και προς τα κάτω στην πτήση. Τα πτερύγια αντιστάθμισης είναι μικρά, κινητά τμήματα του οπίσθιου άκρου της επιφάνειας ελέγχου. Ελέγχονται από το θάλαμο διακυβέρνησης και μειώνουν τις πιέσεις ελέγχου. Μπορούν να τοποθετηθούν στο πηδάλιο κλίσεως, στο πηδάλιο διεύθυνσης και στο πηδάλιο ανόδου – καθόδου.

Ένας άλλος σχεδιασμός ουραίου τμήματος δεν απαιτεί εγκατάσταση πηδαλίου ανόδου – καθόδου. Αντ' αυτού ενσωματώνει έναν οριζόντιο σταθεροποιητή, ο οποίος περιστρέφεται από ένα κεντρικό σημείο γυγλισμού. Αυτός ο τύπος σχεδιασμού ονομάζεται stabilator (σταθεροποιητής), δηλαδή stabilizer και elevator ταυτόχρονα. Μετακινείται χρησιμοποιώντας τον τροχό ελέγχου, ακριβώς όπως και για τη μετακίνηση του πηδαλίου ανόδου – καθόδου. Παραδείγματος χάριν, όταν ένας πιλότος τραβά προς τα πίσω τον τροχό ελέγχου, ο σταθεροποιητής περιστρέφεται έτσι ώστε η άκρη του πίσω μέρους του να κινηθεί προς τα επάνω. Αυτό αυξάνει το αεροδυναμικό φορτίο της ουράς και προκαλεί την κίνηση του ρύγχους του αεροπλάνου προς τα πάνω. Οι σταθεροποιητές διαθέτουν ένα αντιζυγοσταθμιστικό πτερυγίδιο που εκτείνεται σε όλη την οπίσθια ακμή τους. Τα αντιζυγοσταθμιστικά πτερυγίδια κινούνται στην ίδια κατεύθυνση με την πίσω άκρη του σταθεροποιητή και συμβάλλουν στη μείωση της ευαισθησίας του σταθεροποιητή. Επίσης, λειτουργούν ως εξαρτήματα ρύθμισης για την ανακούφιση των πιέσεων ελέγχου και βοηθούν στη διατήρηση του σταθεροποιητή στην επιθυμητή θέση [23].

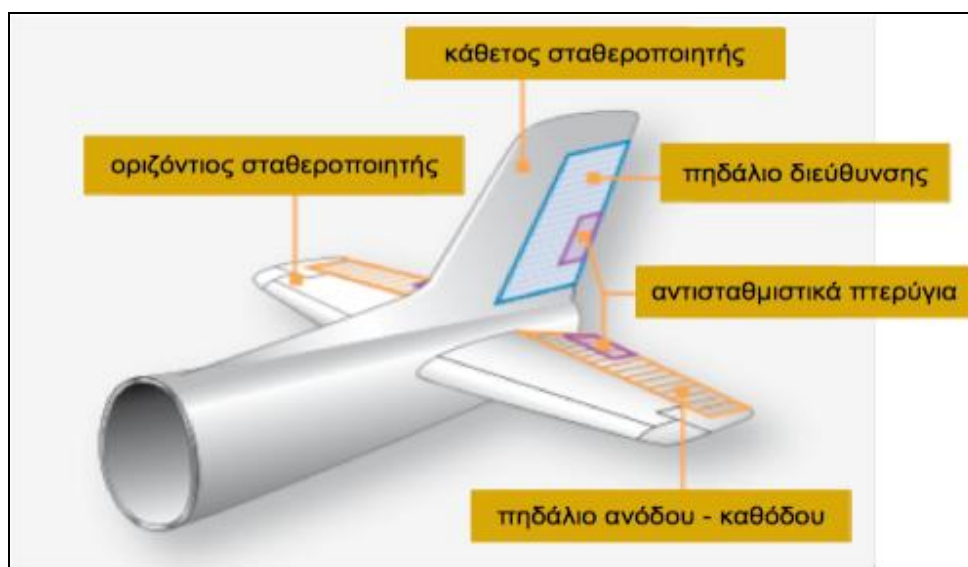
2.1.8 Πηδάλιο κλίσης (aileron).

Βρίσκεται κοντά στο άκρο της πτέρυγας, στην πίσω άκρη. Πρόκειται για μια αεροτομή ορθογώνιου σχήματος που σηκώνεται για να διαταράξει τη ροή του αέρα πάνω από την πτέρυγα. Λειτουργεί έτσι ώστε να διακόπτει τη ροή του αέρα πάνω από την πτέρυγα, δημιουργώντας περισσότερη άντωση στη μια πλευρά της πτέρυγας από την άλλη. Τα πηδάλια κλίσεως χρησιμοποιούνται για να στρέψουν το αεροσκάφος.



2.1.9 Σταθεροποιητής

Το ουραίο τμήμα αποτελείται από τον κατακόρυφο σταθεροποιητή και τον οριζόντιο σταθεροποιητή. Το πηδάλιο διεύθυνσης (rudder) είναι ένα κινητό κομμάτι του κατακόρυφου σταθεροποιητή που επιτρέπει στο αεροσκάφος να στρίβει δεξιά ή αριστερά γύρω από τον κάθετο άξονα του αεροσκάφους, όταν είναι ενεργοποιημένο. Συνδέεται με τα πηδάλια του ποδιού στο θάλαμο διακυβέρνησης του αεροσκάφους. Το πηδάλιο ανόδου – καθόδου (elevator) βρίσκεται στο πίσω μέρος του οριζόντιου σταθεροποιητή. Μετακινείται πάνω - κάτω, έτσι ώστε να στρέφεται η μύτη του αεροπλάνου προς τα πάνω ή προς τα κάτω και συνδέεται με το ζυγό ελέγχου (yoke). Αν ο ζυγός ελέγχου τραβηχτεί προς τα πάνω, αναγκάζει τον οριζόντιο σταθεροποιητή να πέσει προς τα κάτω και η μύτη του αεροσκάφους θα ανέβει προς τα πάνω. Επίσης υπάρχει συνδυασμένος σταθεροποιητής και πηδάλιο ανόδου – καθόδου (stabilator), στο ουραίο του αεροσκάφους.



Εικόνα 12 Εξαρτήματα ουραίου τμήματος [9].

2.1.10 Μονάδα Τροφοδοσίας.

Αποτελείται από τον κινητήρα και όλα τα εξαρτήματά του, την έλικα και το ηλεκτρικό σύστημα. Βρίσκεται στο μπροστινό μέρος της ατράκτου ή προς το πίσω μέρος του αεροσκάφους. Στα αεροσκάφη πολλών κινητήρων, οι κινητήρες βρίσκονται συνήθως κάτω από την πτέρυγα σε κάθε πλευρά.

2.1.11 Σύστημα Προσγείωσης.

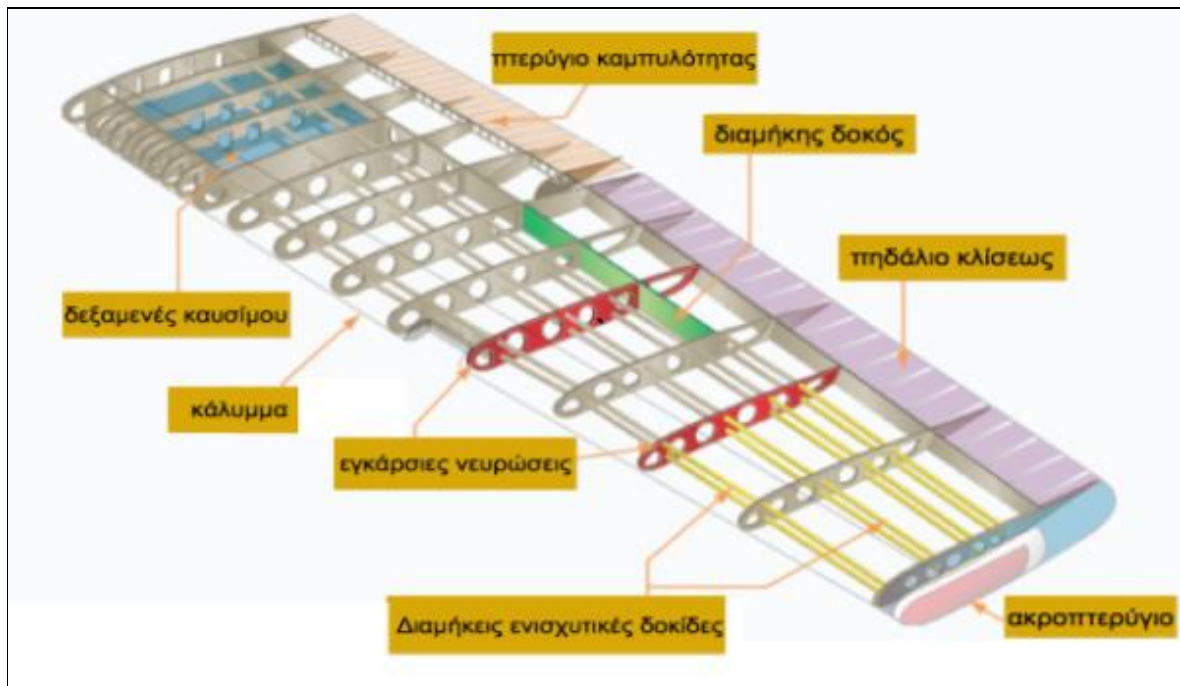
Το σύστημα προσγείωσης αποτελεί την κύρια υποστήριξη του αεροσκάφους όταν αυτό είναι σταθμευμένο, όταν ταξιδεύει, απογειώνεται ή προσγειώνεται. Ο πιο συνηθισμένος τύπος μηχανισμού προσγείωσης αποτελείται από τροχούς, αλλά τα αεροπλάνα μπορούν επίσης να



εξοπλιστούν με πλωτήρες για λειτουργία με νερό ή σκι για προσγείωση στο χιόνι. Ένα τυπικό αεροσκάφος θα έχει είτε τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης είτε συμβατικό σύστημα προσγείωσης. Τρίκυκλο σύστημα σημαίνει ότι υπάρχουν δύο κύριοι τροχοί με έναν ακόμη μπροστινό τροχό. Στα αεροσκάφη με συμβατικό μηχανισμό, υπάρχουν δύο κύριοι τροχοί με έναν τροχό στο πίσω μέρος, κάτω από το ουραίο. Τα περισσότερα αεροσκάφη οδηγούνται μετακινώντας τα πηδάλια διεύθυνσης, ωστόσο υπάρχουν αεροσκάφη που καθοδηγούνται με διαφορεική πέδηση [23].

2.1.12 Υλικό Πλαισίου Αεροσκάφους.

Τα αεροσκάφη μπορούν να κατασκευαστούν από διαφορετικούς τύπους υλικών και μεθόδων, συμπεριλαμβανομένων δομικών, μονόκοκκων και ημι-μονόκοκκων σύνθετων υλικών.



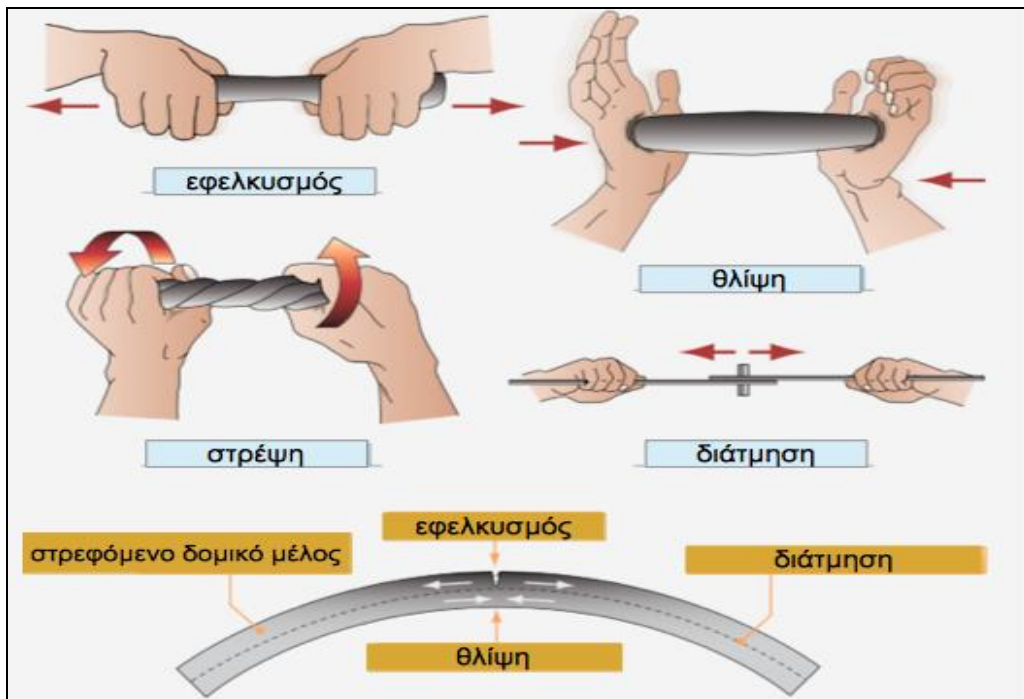
Εικόνα 13 Εξαρτήματα πτερυγίου [23].



Εικόνα 14 Σύστημα προσγείωσης [6].

2.2 Σημαντικές Δομικές Καταπονήσεις.

Κατά το σχεδιασμό ενός αεροσκάφους, κάθε τετραγωνική ίντσα της πτέρυγας και της ατράκτου, κάθε δοκός, ράβδος και κάθε στήριγμα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε σχέση με τα φυσικά χαρακτηριστικά του υλικού από το οποίο έχει κατασκευαστεί. Τα δομικά μέρη του αεροσκάφους είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να φέρουν το φορτίο που τους επιβάλλεται ή να αντιστέκονται στην τάση που προκαλείται. Ο προσδιορισμός των φορτίων ονομάζεται ανάλυση τάσεων. Ο όρος τάση συχνά εκφράζεται και ως παραμόρφωση και προκαλείται χάριν εξωτερικών δυνάμεων ή φορτίων. Η τάση είναι η εσωτερική αντίσταση του υλικού ή η αντίθετη δύναμη, που αντιστέκεται στην παραμόρφωση. Όταν σε ένα υλικό ασκείται δύναμη ή φορτίο, το υλικό αυτό παραμορφώνεται, ανεξάρτητα από το πόσο ισχυρό είναι το υλικό ή πόσο ελαφρύ είναι το φορτίο.



Εικόνα 15 Οι πέντε καταπονήσεις που ασκούνται σε ένα αεροσκάφος και στα μέρη του [6].

Υπάρχουν πέντε σημαντικές κατηγορίες καταπονήσεων στις οποίες υπόκεινται όλα τα αεροσκάφη. Αυτές είναι ο εφελκυσμός, η θλίψη, η στρέψη, η κάμψη και η διάτμηση.

Στρέψη είναι η ροπή, η οποία τείνει να περιστρέψει ένα σώμα γύρω από τον διαμήκη άξονά του. Κατά τη μετακίνηση του αεροσκάφους προς τα εμπρός, ο κινητήρας τείνει να το στρέψει προς στη μία πλευρά, αλλά τα υπόλοιπα εξαρτήματα του αεροσκάφους το διατηρούν στην πορεία που ακολουθούσε προηγουμένως.

Διάτμηση ονομάζεται η καταπόνηση που εμφανίζεται σε ένα σώμα όταν δύο ίσες κι αντίθετες δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονά του. Διατμητική τάση ονομάζεται το πηλίκο της παράλληλης ή εφαπτομενικής δύναμης που εφαρμόζεται σε μια διατομή του υλικού προς την επιφάνεια της διατομής. Δύο πριτσινωμένες πλάκες υποβάλλουν τα πριτσίνια σε διάτμηση. Συνήθως, η αντοχή ενός υλικού σε διάτμηση είναι είτε ίση είτε μικρότερη από την αντοχή του σε εφελκυσμό ή σε θλίψη.

Εφελκυσμός είναι η μονοαξονική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το επιμηκύνουν, τεντώνοντάς το. Ο κινητήρας έλκει το αεροσκάφος προς τα εμπρός, αλλά η αντίσταση του αέρα προσπαθεί να το κρατήσει πίσω. Το αποτέλεσμα είναι η παρουσία του εφελκυσμού, η οποία εκτείνεται στο αεροσκάφος.

Θλίψη ονομάζεται η μονοαξονική κατάσταση κατά την οποία σε ένα σώμα ασκούνται δυνάμεις αντίθετης φοράς που τείνουν να το συμπίεσουν. Τα μέρη του αεροσκάφους, ειδικά οι βίδες, οι κοχλίες και τα πριτσίνια, υπόκεινται συχνά σε διάτμηση.



Κάμψη ονομάζεται το αποτέλεσμα κάθετων δυνάμεων ή ροπών που ασκούνται σε ένα σώμα. Όταν το σώμα τείνει να καμπυλωθεί, στη μία πλευρά του προκαλείται θλίψη και στην άλλη εφελκυσμός. Η κάμψη προκαλεί την παραμόρφωση ή ακόμη και τη θραύση του σώματος.

Ωστόσο, υπάρχουν πολλά χαρακτηριστικά πέραν του σχεδιασμού για τον έλεγχο των καταπονήσεων, όπως για παράδειγμα κελύφη και αεροδυναμικά καλύμματα που έχουν βελτιωμένα σχήματα για να ικανοποιούν τις αεροδυναμικές απαιτήσεις όπως η μείωση της οπισθέλκουσας και η κατεύθυνση της ροής του αέρα. Η βασική δομή και τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός τυπικού αεροσκάφους είναι η άτρακτος, τα πτερύγια, το ουραίο, ο οριζόντιος σταθεροποιητής, η μονάδα τροφοδοσίας και το σύστημα προσγείωσης σε συνδυασμό με τα δομικά στοιχεία και το σχεδιασμό του πλαισίου.



3. ΑΡΧΕΣ ΠΤΗΣΗΣ.

Ένα αεροσκάφος κατά τη διάρκεια της πτήσης του είναι δυνατόν να περιστραφεί γύρω από τρεις άξονες, το διαμήκη ή άξονα διατοιχισμού, τον εγκάρσιο ή άξονα πρόνευσης και τον κάθετο ή άξονα εκτροπής. Προκειμένου να γίνει κατανοητή η λειτουργία των κυριότερων συνιστωσών και υποσυστημάτων ενός αεροσκάφους, είναι σημαντικό να κατανοηθούν οι βασικές αεροδυναμικές έννοιες. Τέσσερις είναι οι δυνάμεις που δρουν στο κέντρο βάρους ενός αεροσκάφους σε σχέση με την ομαλή και μη επιταχυνόμενη πτήση (ευθύγραμμη ομαλή κίνηση). Αυτές οι δυνάμεις είναι η ώση, η άντωση, το βάρος και η οπισθέλκουσα [2,3].

3.1 Δυνάμεις Φόρτισης Αεροσκάφους.

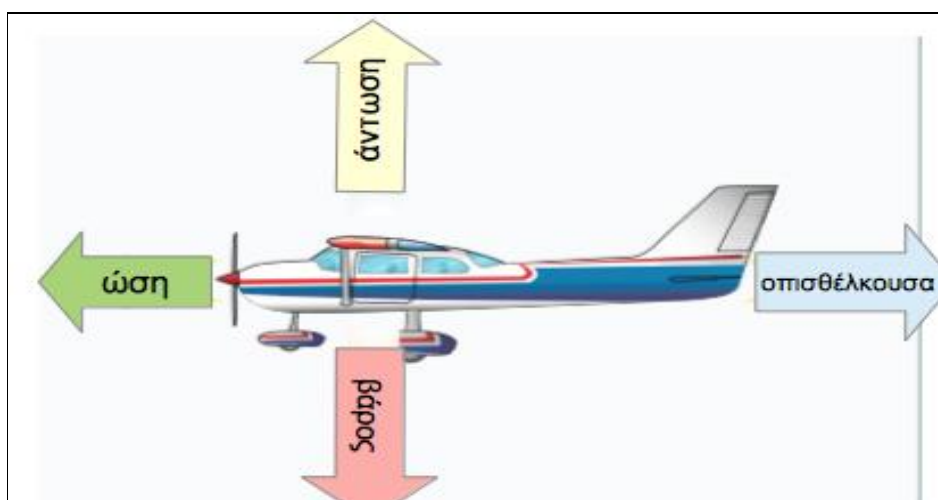
- Ø Η **ώση** είναι η προς τα εμπρός δύναμη που παράγεται από την τροφοδοσία ή την έλικα. Αντιτίθεται ή υπερνικά τη δύναμη της οπισθέλκουσας. Κατά γενικό κανόνα, λέγεται ότι ενεργεί παράλληλα με τον διαμήκη άξονα. Αυτό δεν συμβαίνει πάντα όπως εξηγείται αργότερα.
- Ø Η **οπισθέλκουσα** είναι μια δύναμη επιβράδυνσης, με φορά προς τα πίσω και προκαλείται από διαταραχή της ροής του αέρα από την πτέρυγα, την άτρακτο και άλλα προεξέχοντα αντικείμενα. Η οπισθέλκουσα αντιτίθεται στην ώση και λειτουργεί προς τα πίσω παράλληλα με το σχετικό άνεμο.
- Ø **Βάρος** ονομάζεται το μικτό φορτίο του ίδιου του αεροσκάφους, του πληρώματος, του καυσίμου και των αποσκευών. Το βάρος τραβά το αεροσκάφος προς τα κάτω λόγω της βαρύτητας. Αντιτίθεται στην άντωση και δρα κατακόρυφα προς τα κάτω μέσω του κέντρου βάρους του αεροσκάφους.
- Ø Η **άντωση** αντιτίθεται στην προς τα κάτω δύναμη του βάρους, παράγεται από τη δυναμική επίδραση του αέρα που επενεργεί επί της πτέρυγας και δρα κάθετα προς τη διαδρομή πτήσης μέσω του κέντρου άντωσης του πτερυγίου.

Ένα αεροσκάφος **κινείται σε τρεις διαστάσεις** και ελέγχεται μετακινώντας το γύρω από έναν ή περισσότερους από τους άξονές του. Ο διαμήκης άξονας εκτείνεται μέσω του αεροσκάφους από το ριναίο στο ουραίο, διερχόμενος από το **κέντρο βάρους**. Ο πλευρικός άξονας εκτείνεται κατά μήκος του αεροσκάφους σε μια γραμμή μέσω των άκρων των πτερυγίων, περνώντας και πάλι μέσω του κέντρου βάρους. Ο κάθετος άξονας διέρχεται μέσα από το αεροσκάφος κάθετα, διασχίζοντας το κέντρο βάρους. Όλες οι κινήσεις ελέγχου αναγκάζουν το αεροσκάφος να κινείται γύρω από έναν ή περισσότερους από αυτούς τους άξονες και επιτρέπει τον έλεγχο του αεροσκάφους κατά την πτήση.

Ένα από τα σημαντικότερα συστατικά του σχεδιασμού των αεροσκαφών είναι το κέντρο βάρους. Είναι το συγκεκριμένο σημείο όπου μπορεί να λεχθεί ότι η μάζα ή το βάρος ενός αεροσκάφους είναι το κέντρο, δηλαδή ένα σημείο γύρω από το οποίο, εάν το αεροσκάφος



μπορούσε να ανασταλεί ή να εξισορροπηθεί, θα παρέμενε σχετικά επίπεδο. Η θέση του κέντρου βάρους ενός αεροσκάφους καθορίζει τη σταθερότητα του αεροσκάφους κατά την πτήση. Καθώς το κέντρο βάρους κινείται προς τα πίσω, το αεροσκάφος καθίσταται όλο και πιο δυναμικά ασταθές. Σε αεροσκάφη με δεξαμενές καυσίμων που βρίσκονται μπροστά από το κέντρο βάρους, είναι σημαντικό το κέντρο βάρους να ρυθμιστεί με κενή δεξαμενή καυσίμων. Διαφορετικά, καθώς χρησιμοποιείται το καύσιμο, το αεροσκάφος θα καθίσταται ασταθές. Το κέντρο βάρους υπολογίζεται κατά τον αρχικό σχεδιασμό και την κατασκευή και επηρεάζεται περαιτέρω από την εγκατάσταση του εξοπλισμού επί του σκάφους, τα φορτία που φέρει το αεροσκάφος (επιβάτες, προσωπικό, αποσκευές κλπ.) και άλλους παράγοντες [19,25].



Εικόνα 16 Η σχέση των τεσσάρων δυνάμεων που δρουν στο αεροσκάφος [23]

3.1.1. Ώση.

Για να ξεκινήσει να κινείται ένα αεροσκάφος, πρέπει να επιτευχθεί ώση, μεγαλύτερη από την οπισθέλκουσα. Το αεροσκάφος συνεχίζει να κινείται και να ανακτά ταχύτητα, μέχρις ότου η ώση έρθει σε ισορροπία με την οπισθέλκουσα. Για να διατηρηθεί μια σταθερή και συνεχής ταχύτητα αέρος, η ώση πρέπει να παραμείνει ίση με την οπισθέλκουσα, όπως επίσης η άντωση πρέπει να είναι ίση με το βάρος για να διατηρείται ένα συνεχές υψόμετρο.

Σε μια επίπεδη πτήση, αν η τροφοδοσία του κινητήρα μειωθεί, η ώση ελαττώνεται και το αεροσκάφος χάνει ταχύτητα. Όσο η ώση είναι μικρότερη από την οπισθέλκουσα, το αεροσκάφος συνεχίζει να επιβραδύνει. Στο σημείο όπου το αεροσκάφος χάνει ταχύτητα, η δύναμη της οπισθέλκουσας μειώνεται επίσης. Το αεροσκάφος θα συνεχίσει να επιβραδύνει μέχρι η ώση να φτάσει σε ίση τιμή με την οπισθέλκουσα και να σταθεροποιηθεί η ταχύτητα του αέρα. Σε αντίθετη περίπτωση, αν αυξηθεί η δύναμη του κινητήρα, η ώση έχει μεγαλύτερη τιμή από την οπισθέλκουσα και η ταχύτητα του αέρα αυξάνεται. Όσο η ώση συνεχίζει να είναι μεγαλύτερη από την οπισθέλκουσα, το αεροσκάφος επιταχύνει. Όταν οι δυνάμεις αυτές έρθουν σε ισοτιμία, το αεροσκάφος αποκτά σταθερή ταχύτητα.

Η ευθεία και η επίπεδη ομαλή πτήση μπορεί να διατηρηθεί σε ένα ευρύ φάσμα ταχυτήτων. Ο πιλότος συντονίζει τη γωνία προσβολής και την ώση σε όλες τις ταχύτητες, εάν το



αεροσκάφος πρόκειται να κρατηθεί σε επίπεδη πτήση. Ένα σημαντικό γεγονός που σχετίζεται με την αρχή της άντωσης (για ένα δεδομένο σχήμα αεροτομής) είναι ότι η άντωση ποικίλλει ανάλογα με τη γωνία προσβολής και την ταχύτητα του αέρα. Επομένως, μια μεγάλη γωνία προσβολής σε χαμηλές ταχύτητες αέρα παράγει μια ίση ποσότητα άντωσης σε υψηλές ταχύτητες αέρα με μικρή γωνία προσβολής. Τα καθεστώτα ταχύτητας της πτήσης μπορούν να ομαδοποιηθούν σε τρεις κατηγορίες: πτήση χαμηλής ταχύτητας, πτήση πλεύσης και πτήση υψηλής ταχύτητας.

Όταν αυξάνεται η ώση σε μια επίπεδη πτήση, το αεροσκάφος επιταχύνει και η άντωση αυξάνεται. Το αεροσκάφος θα αρχίσει να ανυψώνεται εκτός εάν η γωνία προσβολής μειωθεί αρκετά έτσι ώστε να διατηρείται η σχέση μεταξύ άντωσης και βάρους. Ο χρονισμός αυτής της μείωσης της γωνίας προσβολής πρέπει να συντονιστεί με την αύξηση της ώσης και της ταχύτητας του αέρα. Με άλλα λόγια, αν μειωθεί πολύ γρήγορα η γωνία προσβολής, το αεροσκάφος θα έχει κίνηση προς τα κάτω. Αντίθετα, αν η γωνία προσβολής μειωθεί πολύ αργά, το αεροσκάφος θα έχει κίνηση προς τα πάνω. Καθώς η ταχύτητα του αέρα ποικίλλει λόγω της ώσης, η γωνία προσβολής πρέπει επίσης να ποικίλει για να διατηρεί την πτήση σε ένα επίπεδο. Σε πολύ υψηλές ταχύτητες, είναι πιθανό να έχουμε ελαφρώς αρνητική γωνία προσβολής.

Καθώς η ώση μειώνεται και η ταχύτητα του αέρα ελαττώνεται, η γωνία προσβολής πρέπει να αυξηθεί για να διατηρηθεί το υψόμετρο. Εάν η ταχύτητα μειωθεί αρκετά, η απαιτούμενη γωνία προσβολής θα αυξηθεί στο κρίσιμο σημείο της. Οποιαδήποτε περαιτέρω αύξηση της γωνίας θα έχει ως αποτέλεσμα την πτώση του πτερυγίου. Ως εκ τούτου, απαιτείται αυξημένη επαγρύπνηση σε μειωμένες ρυθμίσεις ώσης και χαμηλές ταχύτητες έτσι ώστε η γωνία προσβολής να μην υπερβαίνει την κρίσιμη τιμή της. Εάν το αεροσκάφος είναι εξοπλισμένο με δείκτη γωνίας προσβολής, θα πρέπει να αναφέρεται για να βοηθήσει στην παρακολούθηση της εγγύτητας με την κρίσιμη τιμή της γωνίας προσβολής. Ορισμένα αεροσκάφη έχουν τη δυνατότητα αλλαγής κατεύθυνσης της ώσης αντί να αλλάζουν τη γωνία προσβολής. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με περιστροφή των κινητήρων είτε με κατάλληλη διανομή των καυσασερίων.

3.1.2. Άντωση.

Ο πιλότος μπορεί να ελέγξει την άντωση. Κάθε φορά που ο ζυγός ελέγχου ή η ράβδος ελέγχου κινείται μπρος ή πίσω, η γωνία προσβολής μεταβάλλεται. Όσο η γωνία προσβολής αυξάνεται, αυξάνεται και η άντωση. Όταν το αεροσκάφος φτάσει στη μέγιστη κλίση που μπορεί να λάβει η γωνία προσβολής, γνωστή και ως κρίσιμη γωνία προσβολής, Cl_{max} , η άντωση αρχίζει να μειώνεται γρήγορα.

Εάν ένα αεροσκάφος πρόκειται να συνεχίσει να πετά, η αεροτομή που παράγει άντωση πρέπει να συνεχίσει να κινείται. Για άλλους τύπους αεροσκαφών, όπως αεροπλάνα ή ανεμόπτερα, ο αέρας πρέπει να κινείται κατά μήκος της επιφάνειας άντωσης. Αυτό επιτυγχάνεται με την προς τα εμπρός ταχύτητα του αεροσκάφους. Η άντωση είναι ανάλογη του τετραγώνου της ταχύτητας του αεροσκάφους. Για παράδειγμα, ένα αεροπλάνο που ταξιδεύει με 200 κόμβους έχει τέσσερις φορές μεγαλύτερη άντωση, από ό,τι θα είχε αν ταξίδευε με 100 κόμβους, εάν φυσικά η γωνία προσβολής καθώς και άλλοι παράγοντες παραμένουν σταθεροί. Αυτό αποδεικνύεται μαθηματικά από την κάτωθι εξίσωση:



$$L = \frac{(C_L * \rho * V^2 * S)}{2}$$

Παρατηρείται ότι η άντωση (L) προσδιορίζεται μέσω της σχέσης της πυκνότητας του αέρα (ρ), της ταχύτητας της αεροτομής (V), της επιφάνειας του πτερυγίου (S) και του συντελεστή άντωσης (C_L) για τη δεδομένη αεροτομή.

Εξετάζοντας περαιτέρω την εξίσωση, μπορεί να παρατηρηθεί ότι ένα αεροσκάφος είναι αδύνατον να ταξιδεύει σε επίπεδη πτήση, σε σταθερό υψόμετρο και να διατηρεί την ίδια γωνία προσβολής αν η ταχύτητα αυξάνεται. Σε τέτοια περίπτωση, η άντωση θα αυξηθεί και το αεροσκάφος θα ανυψωθεί ως αποτέλεσμα της αυξημένης δύναμης της άντωσης ή της επιτάχυνσης της κίνησης. Επομένως, για να διατηρήσει το αεροσκάφος ίσια και επίπεδη πορεία, χωρίς να επιταχύνει προς τα πάνω, σε κατάσταση ισορροπίας με ταυτόχρονη αύξηση της ταχύτητας, η άντωση πρέπει να παραμένει σταθερή. Για να συμβεί αυτό, μειώνεται η γωνία προσβολής υποβιβάζοντας το ριναίο.

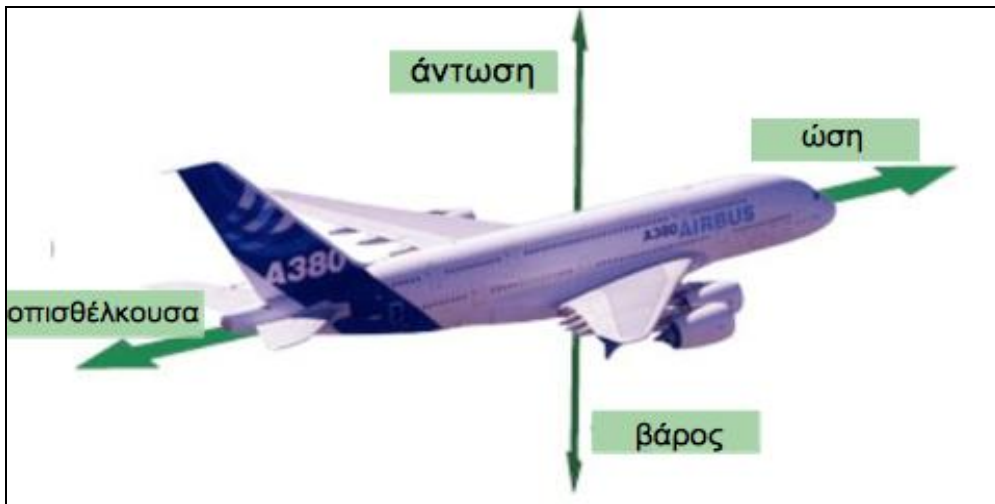
Αντιθέτως, όσο το αεροσκάφος επιβραδύνει, η μειούμενη ταχύτητα απαιτεί αύξηση της γωνίας προσβολής για να βοηθήσει στη διατήρηση επαρκούς άντωσης για τη διατήρηση της πτήσης. Υπάρχει ωστόσο ένα συγκεκριμένο όριο για τις τιμές τις οποίες θα λάβει η γωνία προσβολής, αν πρέπει να αποφευχθεί μια απώλεια στήριξης.

Δύο σημαντικοί αεροδυναμικοί παράγοντες από την πλευρά του πιλότου, είναι η άντωση και η ταχύτητα του αέρα, επειδή μπορούν να τεθούν υπό έλεγχο γρήγορα και με ακρίβεια. Σαφώς, ο πιλότος μπορεί επίσης να έχει τον έλεγχο της πυκνότητας προσαρμόζοντας το υψόμετρο και τον έλεγχο της πτέρυγας αν βέβαια το αεροσκάφος διαθέτει πτερύγια καμπυλότητας που διευρύνουν την επιφάνεια της πτέρυγας.

Παρόλα αυτά, για τις περισσότερες περιπτώσεις, ο πιλότος ελέγχει την άντωση και την ταχύτητα του αέρα για να χειριστεί το αεροσκάφος και να κάνει τους απαραίτητους ελιγμούς. Σε μια ευθύγραμμη ομαλή πτήση, που διατηρεί σταθερό υψόμετρο, το υψόμετρο παραμένει σταθερό λόγω της προσαρμογής της άντωσης, ώστε να ταιριάζει με την ταχύτητα του αεροσκάφους, ενώ παράλληλα διατηρείται μια κατάσταση ισορροπίας όπου η άντωση θα ισούται με το βάρος. Πλησιάζοντας στο έδαφος, όταν ο χειριστής θέλει να προσγειώσει το αεροσκάφος όσο πιο ομαλά και αργά γίνεται, πρέπει να αυξήσει τη γωνία προσβολής σχεδόν μέχρι τη μέγιστη τιμή της, με σκοπό τη διατήρηση της άντωσης σε ισοτιμία με το βάρος του αεροσκάφους.

3.1.3. Οπισθέλκουσα (Drag).

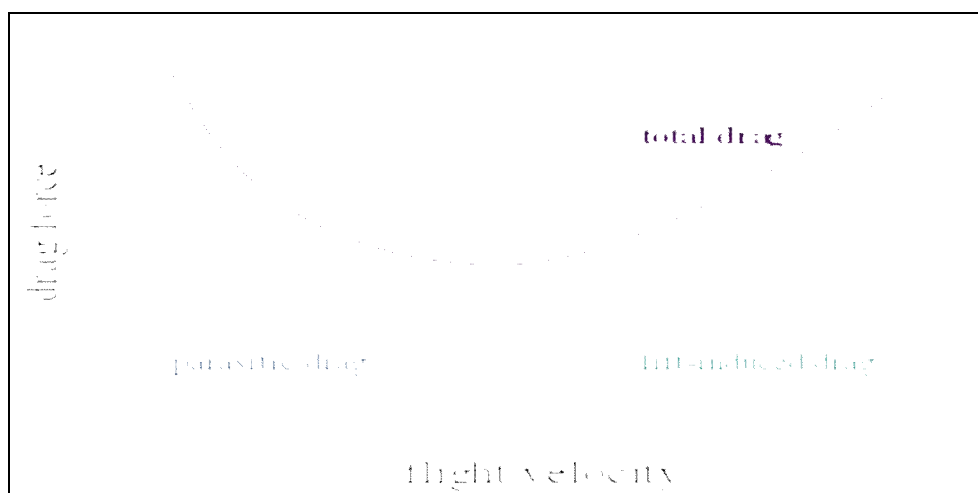
Οπισθέλκουσα ονομάζεται η δύναμη επιβράδυνσης που αντιστέκεται στην κίνηση ενός αεροσκάφους δια μέσω του αέρα. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι οπισθέλκουσας: οπισθέλκουσα μορφής (παράσιτη) κι επαγόμενη οπισθέλκουσα. Η πρώτη ονομάζεται παράσιτη, διότι σε καμία περίπτωση δεν λειτουργεί για να βοηθήσει την πτήση, ενώ η δεύτερη, είναι αποτέλεσμα μιας αεροτομής που παράγει άντωση.



Εικόνα 17 Δυνάμεις που δρουν στο αεροπλάνο <https://goo.gl/images/CRo1SE>

3.1.4. Οπισθέλκουσα μορφής (Parasite Drag - Παράσιτη).

Η παράσιτη οπισθέλκουσα αποτελείται από όλες εκείνες τις δυνάμεις που λειτουργούν για να επιβραδύνουν την κίνηση του αεροσκάφους. Αυτή η δύναμη δε συνδέεται με την παραγωγή άντωσης και περιλαμβάνει τη μετατόπιση του αέρα από το αεροσκάφος, την τυρβώδη ροή του αέρα ή την παρεμπόδιση του αέρα που κινείται πάνω από την επιφάνεια του αεροσκάφους και της αεροτομής. Υπάρχουν τρεις τύποι παράσιτης οπισθέλκουσας: η οπισθέλκουσα σχήματος, η οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης και η επιφανειακή τριβή [23].

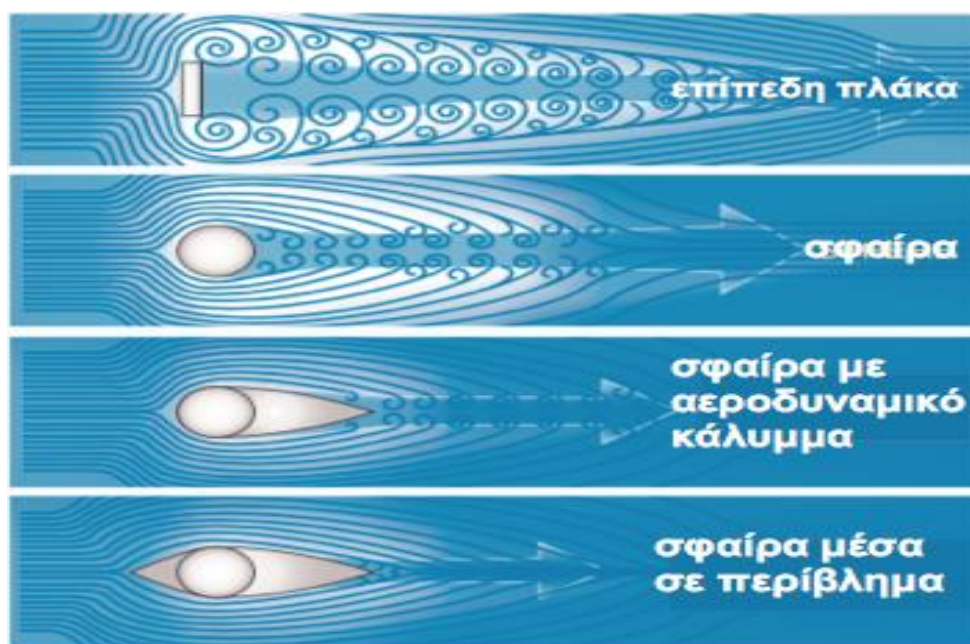


Εικόνα 18 Σχέση των οπισθέλκουσων δυνάμεων <https://goo.gl/images/RAECAU>



3.1.5. Οπισθέλκουσα σχήματος (Form Drag).

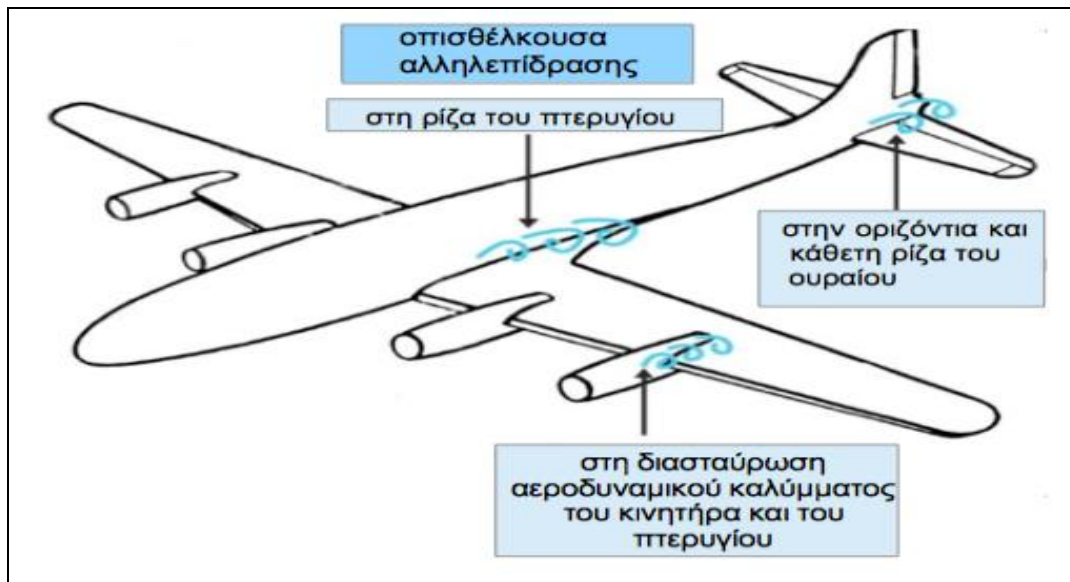
Οπισθέλκουσα σχήματος είναι το κομμάτι της παράσιτης οπισθέλκουσας που δημιουργείται από το αεροσκάφος λόγω του σχήματος και του τρόπου κατά τον οποίο ρέει ο αέρας γύρω του. Για παράδειγμα, τα κελύφη των μηχανών, οι κεραίες και το αεροδυναμικό σχήμα άλλων εξαρτημάτων. Όταν ο αέρας διαχωρίζεται για να κινηθεί γύρω από ένα κινούμενο αεροσκάφος και τα μέρη που αποτελούν το σώμα του, καταλήγει να επανασυνδεθεί αφού προσπεράσει το σώμα. Η ταχύτητα και η ομαλότητα της επανασύνδεσης είναι αντιπροσωπευτική της αντίστασης που δημιουργεί, η οποία απαιτεί επιπρόσθετη δύναμη για να ξεπεραστεί [23].



Εικόνα 19 Οπισθέλκουσα σχήματος [23]

3.1.6. Οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης (Interference Drag).

Η οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης, προέρχεται από τη διχοτόμηση των ρευμάτων αέρα που δημιουργούν δίννορεύματα, τύρβη ή περιορίζουν την ομαλή ροή του αέρα. Παραδείγματος χάριν, στο σημείο τομής του πτερυγίου και της ατράκτου στη ρίζα του πτερυγίου παρατηρείται σημαντική δύναμη οπισθέλκουσας αλληλεπίδρασης. Ο αέρας που ρέει γύρω από την άτρακτο συγκρούεται με τον αέρα που ρέει πάνω από την πτέρυγα, ενώ συγχωνεύεται σε ένα ρεύμα αέρος διαφορετικό από τα δύο αρχικά ρεύματα. Η μεγαλύτερη οπισθέλκουσα που παρατηρείται, είναι αυτή μεταξύ δύο επιφανειών που είναι κάθετες μεταξύ τους. Αεροδυναμικά καλύμματα χρησιμοποιούνται με σκοπό τη μείωση αυτής της τάσης [23].



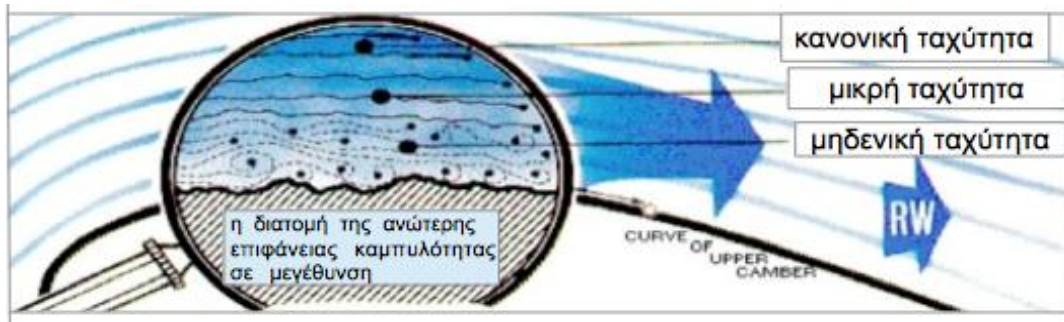
Εικόνα 20 Οπισθέλκουσα αλληλεπίδρασης (<https://goo.gl/images/LFrU5s>)

3.1.7. Οπισθέλκουσα επιφανειακής τριβής (Skin Friction Drag).

Οπισθέλκουσα επιφανειακής τριβής ονομάζεται η αεροδυναμική αντίσταση λόγω της επαφής του αέρα με την επιφάνεια του αεροσκάφους. Κάθε επιφάνεια, ανεξάρτητα πόσο τραχιά, ομαλή ή λεία φαίνεται, έχει μια τραχιά επιφάνεια η οποία μπορεί να παρατηρηθεί μόνο με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Τα μόρια αέρος που έρχονται σε άμεση επαφή με την επιφάνεια του πτερυγίου, είναι στιγμιαία ακίνητα. Κάθε στρώμα μορίων αέρος πάνω από την επιφάνεια, κινείται ελαφρώς ταχύτερα μέχρι τα μόρια να κινούνται με την ταχύτητα του αέρα που κινείται γύρω από το αεροσκάφος. Αυτή η ταχύτητα είναι η ταχύτητα ελεύθερης ροής. Η περιοχή ανάμεσα στην πτέρυγα και την ταχύτητα ελεύθερης ροής ονομάζεται οριακό στρώμα. Στην κορυφή του οριακού στρώματος, τα μόρια του αέρα αυξάνουν την ταχύτητά τους και κινούνται με την ίδια ταχύτητα με αυτή των μορίων εκτός του οριακού στρώματος. Η πραγματική ταχύτητα των μορίων αέρος, εξαρτάται από το σχήμα του πτερυγίου, το ιξώδες του αέρα και τη συμπίεστίότητά του. Η ροή του αέρα εκτός του οριακού στρώματος αντιδρά στο σχήμα του χείλους του οριακού στρώματος όπως θα αντιδρούσε επάνω σε μια επιφάνεια υπαρκτού αντικείμενου. Ο ρόλος του οριακού στρώματος είναι να δίνει σε οποιοδήποτε αντικείμενο ένα πιο αποτελεσματικό σχήμα, ελαχίστως διαφορετικό από το πραγματικό. Ωστόσο το οριακό στρώμα μπορεί να αποκολληθεί από το σώμα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αποτελέσματος επίσης διαφορετικού από το φυσικό σχήμα. Αυτή η αλλαγή στο φυσικό σχήμα του οριακού στρώματος προκαλεί δραματική μείωση στην άντωση και μεγάλη αύξηση της οπισθέλκουσας. Όταν συμβαίνει αυτό, η αεροτομή έχει απώλεια στήριξης. Για να μειωθεί το φαινόμενο της επίδρασης της οπισθέλκουσας επιφανειακής τριβής, χρησιμοποιούνται πριτσίνια και αφαιρούνται τυχόν ανωμαλίες που ίσως προεξέχουν από την επιφάνεια του πτερυγίου. Επίσης, οι επιφάνειες καθαρίζονται και γυαλίζονται με κερί μετά από φινιρίσμα, ώστε να βοηθούν στην ομαλή



μετάβαση του αέρα πάνω από αυτές [23].

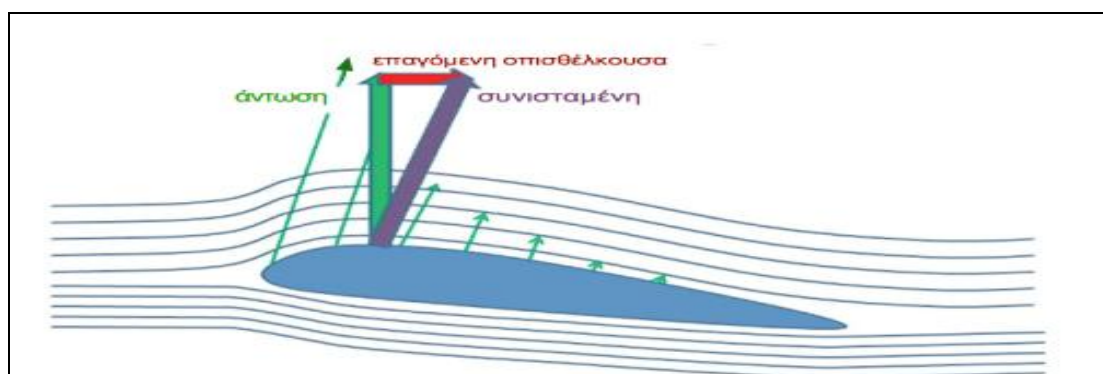


Εικόνα 21 Οπισθέλκουσα επιφανειακής τριβής (<https://goo.gl/images/7Pn7YH>).

3.1.8. Οπισθέλκουσα Επαγόμενη (Induced Drag).

Επαγόμενη οπισθέλκουσα ονομάζεται η ανύψωση η οποία παράγεται από τις αεροδυναμικές ιδιότητες ενός πτερυγίου. Η επαγόμενη οπισθέλκουσα είναι inherent εγγενής όπου μια αεροτομή παράγει άντωση και στην πραγματικότητα, αυτός ο τύπος οπισθέλκουσας είναι αδιαχώριστος από την παραγωγή της άντωσης. Συνεπώς, είναι πάντα παρούσα όταν παράγεται άντωση.

Μια αεροτομή παράγει τη δύναμη της άντωσης χρησιμοποιώντας την ενέργεια της ελεύθερης ροής του αέρα. Κάθε φορά που μια αεροτομή παράγει άντωση, η πίεση στην κάτω επιφάνεια είναι μεγαλύτερη από ό,τι στην άνω επιφάνεια. Ως αποτέλεσμα, ο αέρας τείνει να ρέει από την περιοχή υψηλής πίεσης κάτω από την αιχμή, προς τα επάνω, στην περιοχή χαμηλής πίεσης στην ανώτερη επιφάνεια. Στη γειτνίαση με τα άκρα, υπάρχει μια τάση να εξισώνονται αυτές οι πιέσεις, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μιας πλευρικής ροής προς τα έξω, από την κάτω προς την άνω επιφάνεια. Αυτή η πλευρική ροή μεταδίδει μια ταχύτητα περιστροφής στον αέρα, στις αιχμές tips, δημιουργώντας στροβιλισμούς που κινούνται ακολουθώντας την αεροτομή [23].



Εικόνα 22 Επαγόμενη οπισθέλκουσα (<https://goo.gl/images/6ismGk>)



3.1.9. Βάρος.

Η βαρύτητα είναι η ελκτική δύναμη που τείνει να τραβήξει όλα τα σώματα στο κέντρο της γης. Το κέντρο βάρους μπορεί να ληφθεί ως ένα σημείο συγκέντρωσης του συνολικού βάρους του αεροσκάφους. Εάν το αεροσκάφος μπορούσε να υποστηριχθεί επακριβώς στο σημείο του κέντρου βάρους του, τότε θα μπορούσε να ισορροπεί σε οποιαδήποτε στάση, γεγονός που δείχνει τη σημασία του κέντρου βάρους για τη σταθερότητα ενός αεροσκάφους. Η επιτρεπόμενη θέση του κέντρου βάρους καθορίζεται από το γενικό σχεδιασμό του κάθε αεροσκάφους. Ο σχεδιασμός του αεροσκάφους επίσης ορίζει την απόσταση του κέντρου βάρους από το κέντρο πίεσης. Το ολικό βάρος ενός αεροσκάφους είναι συγκεντρωμένο στο κέντρο βάρους και οι αεροδυναμικές δυνάμεις της άντωσης εμφανίζονται στο κέντρο πίεσης. Όταν το κέντρο βάρους βρίσκεται μπροστά από το κέντρο πίεσης, το αεροσκάφος τείνει για προς τα κάτω πρόνευση. Όταν όμως βρίσκεται μπροστά το κέντρο πίεσης, τότε δημιουργείται μια στιγμή πρόνευσης προς τα πάνω.

Το βάρος έχει συγκεκριμένη σχέση για να ανυψωθεί. Η άντωση είναι η προς τα πάνω δύναμη του πτερυγίου που ενεργεί κάθετα στο σχετικό αέρα και στον πλευρικό άξονα του αεροσκάφους. Η άντωση απαιτείται για την αντιστάθμιση του βάρους του αεροσκάφους. Σε επίπεδη – σταθερή πτήση, όταν η δύναμη της άντωσης ισούται με αυτή του βάρους, το αεροσκάφος βρίσκεται σε κατάσταση ισορροπίας και δεν επιταχύνει προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Αν το βάρος είναι μικρότερο από την άντωση, η κατακόρυφη ταχύτητα θα αυξηθεί [2,3,19].

3.2 Αεροδυναμική της Πτήσης.

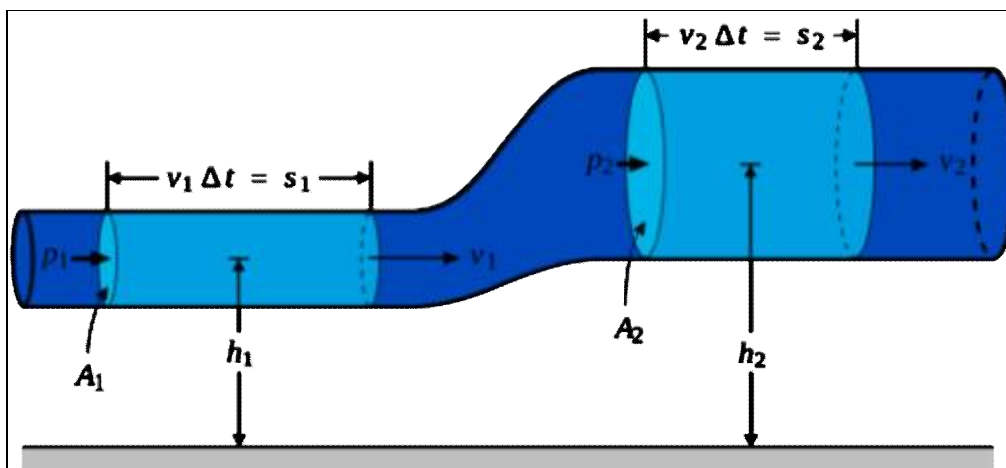
Καθώς ένα αεροπλάνο κινείται, τα πτερύγιά του προκαλούν αλλαγές στην ταχύτητα και την πίεση του αέρα που κινείται πέρα από αυτά. Αυτές οι αλλαγές, καταλήγουν στην ανοδική δύναμη που ονομάζεται άντωση. Σύμφωνα με την αρχή του Bernoulli, η αύξηση της ταχύτητας ενός υγρού συμβαίνει ταυτόχρονα με μια μείωση της πίεσης που ασκείται από το υγρό. Όταν ο κινούμενος αέρας συναντά ένα εμπόδιο, το μονοπάτι του στενεύει καθώς ρέει γύρω από αυτό. Η ποσότητά του, που κινείται σε οποιοδήποτε σημείο σε οποιοδήποτε δεδομένη στιγμή στη ροή, είναι η ίδια λόγω αρχής διατήρησης της μάζας. Για να συμβεί αυτό, ο αέρας είτε πρέπει να συμπιεστεί είτε να επιταχυνθεί εκεί όπου η ροή του στενεύει. Η μεταφορά ενέργειας από την τυχαία κίνηση των μορίων του στη ροή, έχει ως αποτέλεσμα χαμηλότερη πίεση.

Επομένως, ο ταχύτερα κινούμενος αέρας ασκεί λιγότερη πίεση στην πτέρυγα, με αποτέλεσμα μια ανοδική δύναμη στο πτερύγιο (άντωση). Η άνω καμπύλη επιφάνεια της πτέρυγας συγκρατεί τη ροή του αέρα περισσότερο από την κάτω επίπεδη επιφάνεια, προκαλώντας τον να επιταχυνθεί πάνω από την πτέρυγα. Κάθε περαιτέρω αύξηση της ταχύτητας του αέρα θα αυξήσει τη διαφορά πίεσης και θα αυξήσει την άντωση στην πτέρυγα.

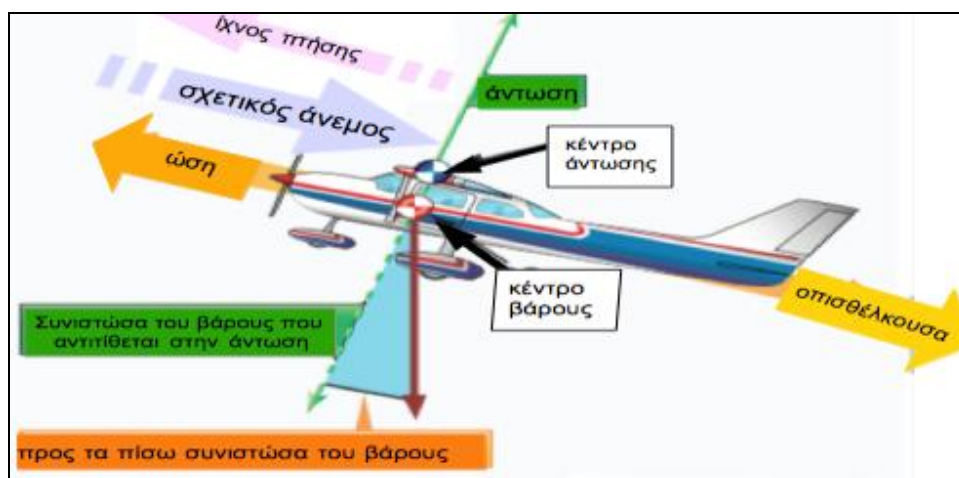
Οι παράγοντες που επηρεάζουν την άντωση είναι το μέγεθος και το σχήμα των πτερυγίων, η γωνία προσβολής του αέρα, η ταχύτητα με την οποία το αεροσκάφος κινείται και η πυκνότητα του αέρα. Ο αέρας διαιρείται αρμονικά γύρω από το στρογγυλεμένο εμπρόσθιο άκρο της πτέρυγας και ρέει ομαλά από την κωνική άκρη της, ακόμη και όταν η πτέρυγα έχει κλίση προς τα πάνω ή προς τα κάτω. Η κλίση της πτέρυγας αλλάζει τη γωνία προσβολής του εισερχόμενου αέρα και επηρεάζει την ικανότητα της πτέρυγας να παράγει άντωση.



Υπάρχουν πολλές μέθοδοι και θεωρίες οι οποίες έχουν αναπτυχθεί για την πρόβλεψη της απόδοσης ενός δεδομένου σχήματος πτερυγίων. Στην πράξη, το κατάλληλο σχήμα υπολογίζεται από τα κριτήρια της απόδοσης. [2]



Εικόνα 23 Αρχή του Bernoulli (<https://goo.gl/images/pDRtrN>)



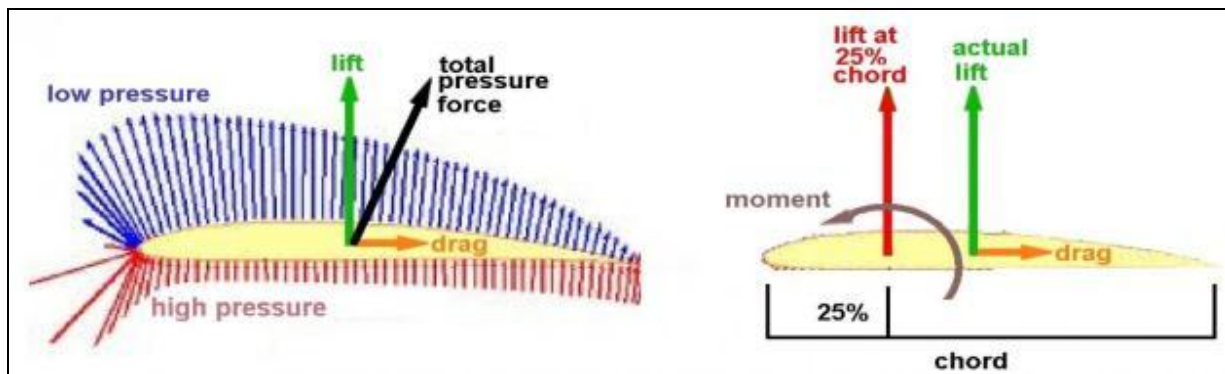
Εικόνα 24 Φορείς δυνάμειν κατά τη διάρκεια μιας σταθεροποιημένης πτήσης [23].

3.2.1 Κατανομή Πίεσης.

Η πιο χρήσιμη, μη μαθηματική μέθοδος είναι η εξέταση της ροής και της κατανομής πίεσης στην επιφάνεια των πτερυγίων κατά τη διάρκεια της πτήσης. Η ροή του αέρα γύρω από ένα αεροσκάφος που πετά με χαμηλές ταχύτητες εξαρτάται κυρίως από το σχήμα του και τη στάση του σχετικά με την ελεύθερη ροή. Άλλοι παράγοντες είναι το μέγεθος του αεροσκάφους, η πυκνότητα, το ιξώδες και η ταχύτητα ροής του αέρα. Αυτοί οι παράγοντες σχεδιάζονται για να σχηματίσουν μια παράμετρο γνωστή ως αριθμός Reynolds και μετέπειτα η ροή του αέρα



εξαρτάται μόνο από το σχήμα, τη συμπεριφορά και τον αριθμό Reynolds, ο οποίος σε συνδυασμό με την κατάσταση της επιφάνειας την οποία μελετούμε, καθορίζουν τα χαρακτηριστικά του οριακού στρώματος. Αυτό με τη σειρά του, τροποποιεί τη ροή του αέρα και την κατανομή της πίεσης γύρω από το αεροσκάφος. Η επίδραση του οριακού στρώματος στην άντωση που παράγεται από τα πτερύγια μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα στο εύρος λειτουργίας της γωνίας προσβολής.



Εικόνα 25 Κατανομή πίεσης (<https://www.mh-aerotoools.de/airfoils/velocitydistributions.htm>).

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε





4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΤΗΣΗΣ.

Οι έλεγχοι πτήσης έχουν εξελιχθεί σημαντικά με την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Στα πρώιμα αεροπλάνα, ο έλεγχος πτήσης επιτυγχάνεται με τη στρέβλωση των πτερυγίων και των επιφανειών ελέγχου μέσω καλωδίων προσαρτημένων στους πτητικούς ελέγχους στο θάλαμο διακυβέρνησης. Αυτός ο τρόπος άσκησης ελέγχου ήταν ξεκάθαρα στοιχειώδης και συνήθως ελάχιστα επαρκής για χειρωνακτική χρήση παρόλο που συνεχίστηκε για πολλά χρόνια μέχρις ότου η πρόοδος στην απόδοση των αεροσκαφών κατέστησε αυτή την τεχνική ακατάλληλη για όλα τα αεροσκάφη εκτός από τα πολύ απλουστευμένα. Αργότερα, ακολούθησε η χρήση αρθρωμένων επιφανειών ελέγχου πτήσης.

Όταν η μέγιστη ταχύτητα που μπορούσε να επιτευχθεί στη διηχητική περιοχή αυξήθηκε, μεγάλωσε και η ανάγκη για πιο πολύπλοκες κι εκλεπτυσμένες μεθόδους. Οι μεγαλύτερες ταχύτητες οδήγησαν σε μεγαλύτερα φορτία στις επιφάνειες ελέγχου πτήσης. Η εκτέλεση των αποσβεστήρων εκτροπής και των συστημάτων αυτόματης σταθεροποίησης, ενέταξαν την εισαγωγή των ηλεκτρονικών στους ελέγχους πτήσης. Οι αυτόματοι πιλότοι χρησιμοποιούσαν ταυτόχρονα ηλεκτρονικά και καθοδηγούμενα από τον αέρα μέσα ώστε να παρέχουν τη δυνατότητα αυτόματης πτήσης του αεροσκάφους, συνεπάγοντας μικρότερο αριθμό πληρώματος. Οι ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν για τις λειτουργίες ελέγχου συνδύαζαν αναλογικούς αισθητήρες και συσκευές ενεργοποίησης που ήταν ικανοί να ανταπεξέρχονται σε πολύπλοκες απαιτήσεις. Η τεχνολογία προχώρησε στο σημείο όπου ήταν πιθανό να αφαιρεθεί ο σύνδεσμος μεταξύ πιλότου και ενεργοποιητών ελέγχου. [9,10,25]

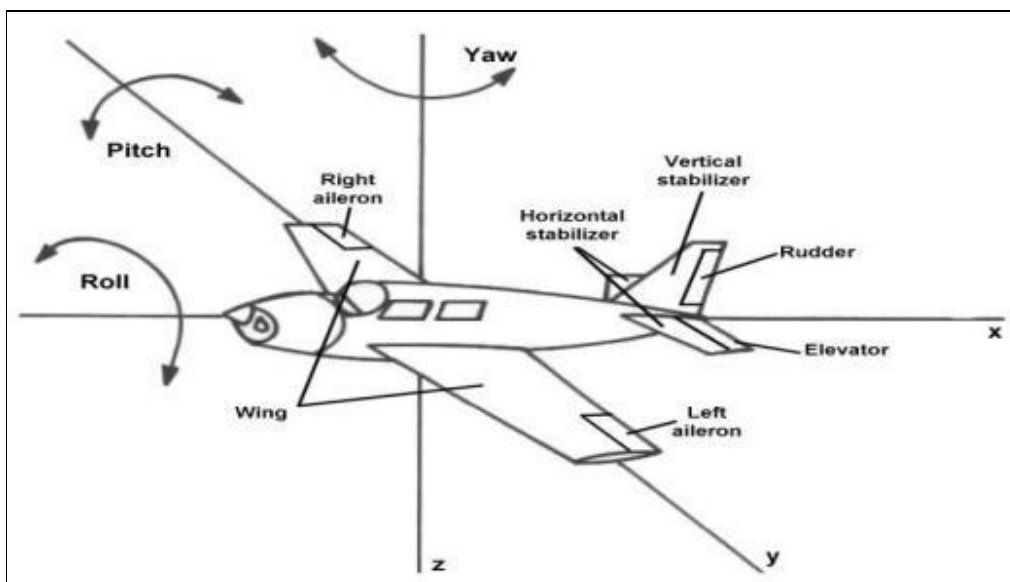
4.1 Αρχές Ελέγχου Πτήσης.

Όλα τα αεροσκάφη κυβερνώνται από τις ίδιες βασικές αρχές, με κάποιες διαφοροποιήσεις ανάλογα με την πολυπλοκότητά τους. Η κίνηση ενός αεροσκάφους προσδιορίζεται σε σχέση με την ευθύγραμμη και την περιστροφική του κίνηση γύρω από ένα σταθερό σύστημα αξόνων. Ευθύγραμμη ονομάζεται η κίνηση που κάνει ένα όχημα όταν ταξιδεύει από ένα σημείο σε ένα άλλο στο χώρο. Για ένα κανονικό αεροσκάφος, η κατεύθυνση στην οποία λαμβάνει χώρα η ευθύγραμμη κίνηση, είναι η κατεύθυνση προς την οποία κινείται το αεροσκάφος, δηλαδή η κατεύθυνση στην οποία στοχεύει το ριναίο. Η περιστροφική κίνηση σχετίζεται με την κίνηση του αεροσκάφους γύρω από τρεις σταθερούς άξονες, x,y,z.

Για την περισσότερη διάρκεια της πτήσης, το αεροσκάφος θα κινείται ευθεία, με το διάνυσμα της ταχύτητας να είναι παράλληλο με την επιφάνεια της Γης προσεγγίζοντας την κατεύθυνση που έχει ορίσει ο πιλότος. Αν ο πιλότος θέλει να κινήσει το αεροσκάφος προς τα πάνω, το σύστημα ελέγχου καλείται να περιστρέψει το αεροσκάφος γύρω από τον άξονα x, δηλαδή γύρω από τον άξονα του pitch, με το ριναίο προς τα πάνω έτσι ώστε να επιτευχθεί ανοδική πορεία. Όταν φτάσει στο επιθυμητό υψόμετρο, το αεροσκάφος θα περιστραφεί με τη μύτη να στοχεύει προς τα κάτω μέχρι να ευθυγραμμιστεί. Στα περισσότερα αεροσκάφη με πτερύγια, αν ο πιλότος θέλει να ανυψώσει το αεροσκάφος, θα πρέπει να το στρέψει προς μία νέα κατεύθυνση. Κατά τη διάρκεια της περιστροφής, τα πτερύγια περιστρέφονται γύρω από τον



άξονα y (roll) μέχρι να επιτευχθεί η απαιτούμενη κλίση. Σε μια κατάλληλα ισορροπημένη περιστροφή, όταν διατηρείται η γωνία του roll, έχει ως αποτέλεσμα την αλλαγή της κατεύθυνσης, η οποία στην πραγματικότητα είναι η περιστροφή γύρω από τον άξονα z (yaw). Η διαφορά μεταξύ της ανάβασης (ή κατάβασης) και της περιστροφής είναι ότι η ανάβαση περιλαμβάνει περιστροφή γύρω από έναν άξονα, ενώ η στρέψη περιλαμβάνει ταυτόχρονο συντονισμό δύο αξόνων. Σε μερικές περιπτώσεις κατά τη διάρκεια της πτήσης, ο πιλότος είναι ικανός να περιστρέψει το αεροσκάφος γύρω και από τους τρεις άξονες, πραγματοποιώντας κάποιο ελιγμό. Το σύστημα ελέγχου πτήσης των αεροσκαφών, δίνει τη δυνατότητα στον πιλότο να ασκεί έλεγχο στο αεροσκάφος καθ'όλη τη διάρκεια της πτήσης. Ωστόσο παρέχει επιφάνειες ελέγχου που επιτρέπουν στο αεροσκάφος να κάνει ελιγμούς και σχεδιάζεται έτσι ώστε να παρέχει σταθερό έλεγχο για όλα τα μέρη του φάκελου πτήσης. [11,12,25]



Εικόνα 26 Κίνηση του αεροσκάφους σε τρισδιάστατο σύστημα αξόνων XYZ
(<https://goo.gl/images/hmVaDM>)

4.2 Επιφάνειες Ελέγχου Πτήσης.

Για τον ασφαλή έλεγχο ενός αεροσκάφους κατά την διάρκεια μια πτήσης απαιτείται η ύπαρξη του συστήματος ελέγχου πτήσης, όπως αναφέρεται παραπάνω. Πιο συγκεκριμένα το σύστημα ελέγχου πτήσης απαρτίζεται από δύο κατηγορίες επιφανειών ελέγχου.

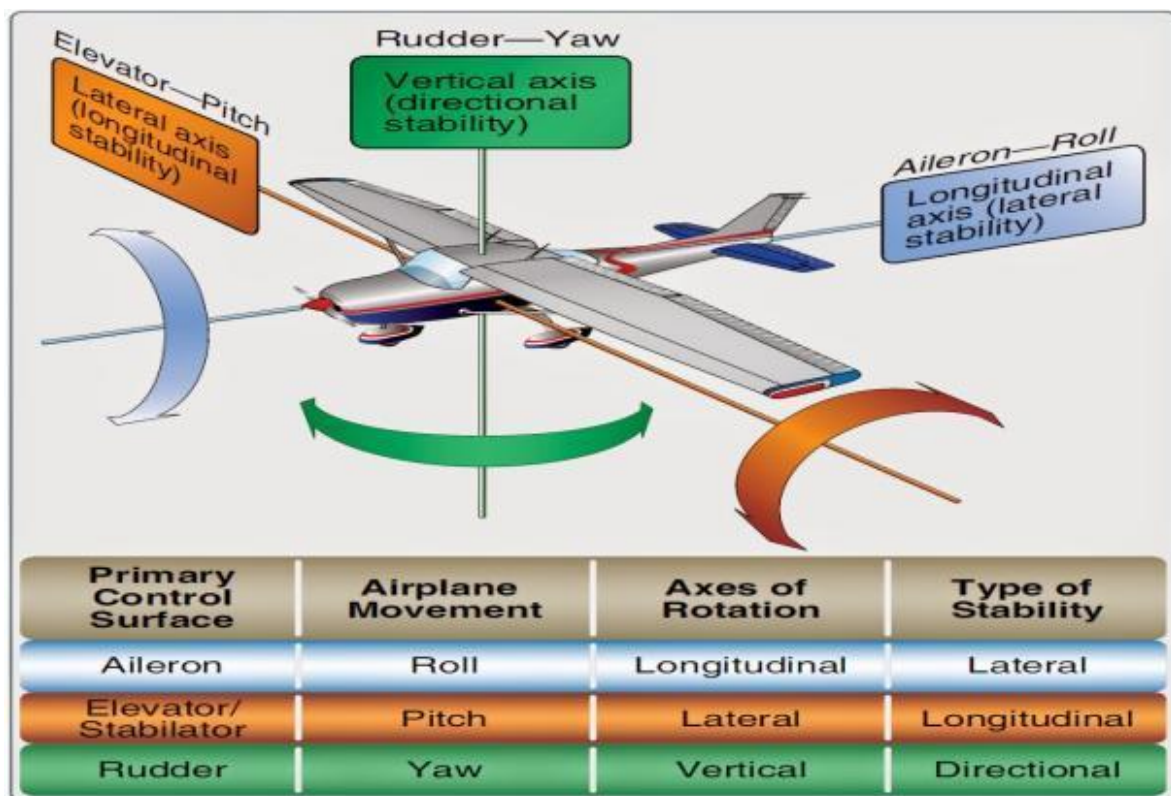
- ∅ Πρωταρχικές ή κύριες επιφάνειες ελέγχου πτήσης : πηδάλιο κλίσης, πηδάλιο ανόδου – καθόδου, σταθεροποιητές και πηδάλιο διευσθύνσεως.
- ∅ Δευτερεύουσες ή βοηθητικές επιφάνειες ελέγχου πτήσης : αποσκοπούν στη βελτίωση των χαρακτηριστικών απόδοσης του αεροσκάφους ή/και στην ανακούφιση από την υπερβολική



φόρτιση ελέγχου (συσκευές υψηλής άντωσης, όπως πτερύγιο καμπυλότητας χείλους προσβολής, πτερύγιο καμπυλότητας καθώς και spoiler πτήσης, συστήματα trim.

4.3 Κύριες Επιφάνειες Ελέγχου.

Οι κύριες επιφάνειες ελέγχου είναι διαφορετικές ως προς το μέγεθος ,το σχήμα και τις μεθόδους προσάρτησης όμως συνήθως είναι παρόμοιες στην κατασκευή τους. Σε αεροσκάφη κατασκευασμένα από ελαφρύ αλουμίνιο η δομή τους μοιάζει με μια μεταλλική πτέρυγα. Συνήθως κατασκευάζονται από κράμα αλουμινίου που περιβάλλει ένα μεμονωμένο στέλεχος σωλήνα ροπής στρέψης στο οποίο έχουν τοποθετηθεί νευρώσεις και δέρμα. Οι νευρώσεις συνήθως είναι σφραγισμένες από το επίπεδο φύλλο του αλουμινίου και έχουν τρύπες οι οποίες βοηθούν στο φωτισμό της διάταξης. Ένα δέρμα κατασκευασμένο από αλουμίνιο συνδέεται με πριτσίνια. Σύμφωνα με τους κατασκευαστές, η ισορροπία μιας επιφάνειας ελέγχου είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η λανθασμένη ισορροπία μιας επιφάνειας μπορεί να οδηγήσει σε βλάβη υψίστης βαρύτητας. [23,25]

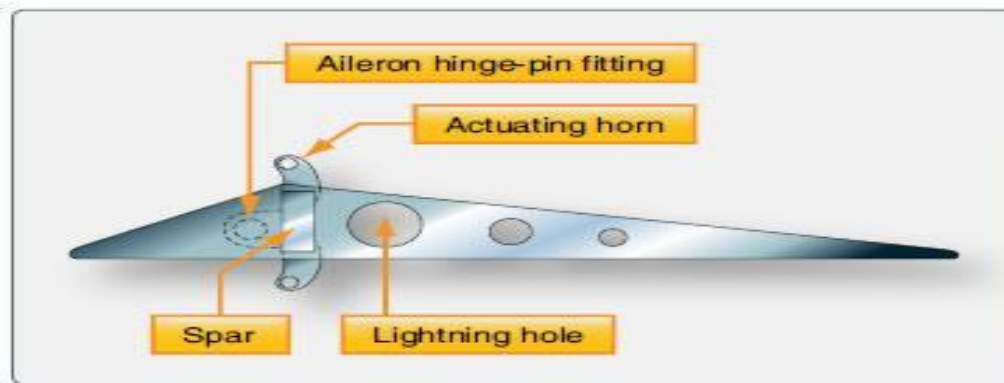


Εικόνα 27 Οι επιφάνειες ελέγχου πτήσης κινούν το αεροσκάφος γύρω από τους τρεις άξονες [5]

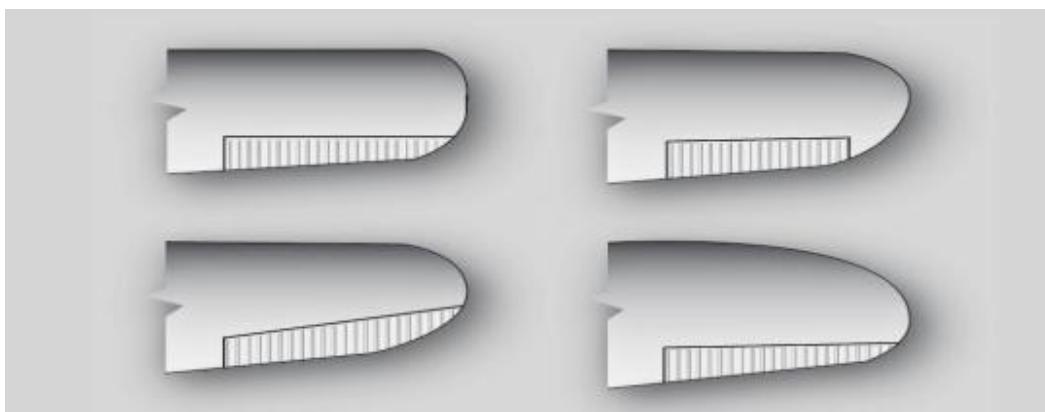


4.3.1 Πηδάλιο Κλίσης.

Το πηδάλιο κλίσεως ευθύνεται για την μετακίνηση του αεροσκάφους γύρω από τον διαμήκη άξονα. Το πηδάλιο κλίσεως τοποθετείται συνήθως στην εξωτερική άκρη των πτερυγίων και είναι ενσωματωμένο στην πτέρυγα ως μέρος του πτερυγίου. Μέσω του συστήματος καλωδίων ελέγχου και τροχαλιών, σωλήνων ώθησης, υδραυλικών και ηλεκτρικών, ο πιλότος καθορίζει την μετακίνηση των πηδαλίων από το θάλαμο διακυβέρνησης. Όταν γίνεται μετακίνηση του τροχού ελέγχου ή της ράβδου ελέγχου προς τα δεξιά, το πηδάλιο που είναι τοποθετημένο στην δεξιά πτέρυγα εκτρέπεται προς τα πάνω ενώ ταυτόχρονα το πηδάλιο κλίσης στην αριστερή πτέρυγα εκτρέπεται προς τα κάτω. Η ανοδική κάμψη του δεξιού πηδαλίου μειώνει την κάμψη του πτερυγίου με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανύψωση στην δεξιά πτέρυγα. Αντίθετα, η προς τα κάτω εκτροπή του αριστερού πηδαλίου κλίσης έχει ως αποτέλεσμα την ανύψωση της αριστερής πτέρυγας. [6]



Εικόνα 28 Τυπική δομή μιας επιφάνειας ελέγχου από αλουμίνιο [5].

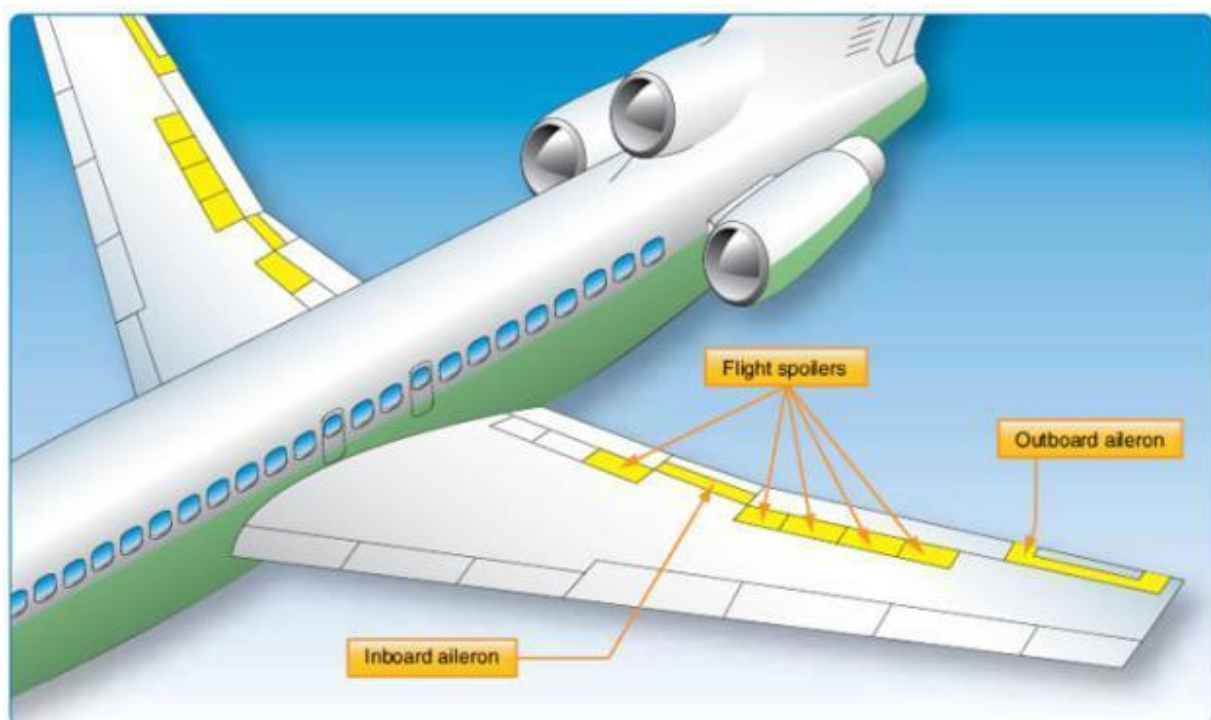


Εικόνα 29 Θέση πηδαλίου σε διάφορα είδη πτερυγίων [5].



4.3.2 Πηδάλιο Ανόδου – Καθόδου.

Το πηδάλιο ανόδου – καθόδου ελέγχεται μέσω του ζυγού ελέγχου, από το πιλοτήριο με κινήσεις προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Συνήθως στα ελαφριά αεροσκάφη υπάρχει σύστημα καλωδίων ελέγχου και τροχαλιών για την μεταφορά των εντολών του πιλοτηρίου στο πηδάλιο ανόδου - καθόδου. Είναι αρθρωτό στην οπίσθια ακμή του οριζόντιου σταθεροποιητή. Ευθύνεται για την άνοδο και την κάθοδο της μύτης του αεροσκάφους. Στην πραγματικότητα το πηδάλιο ανόδου - καθόδου μετακινεί το αεροσκάφος γύρω από τον οριζόντιο ή πλευρικό άξονα.



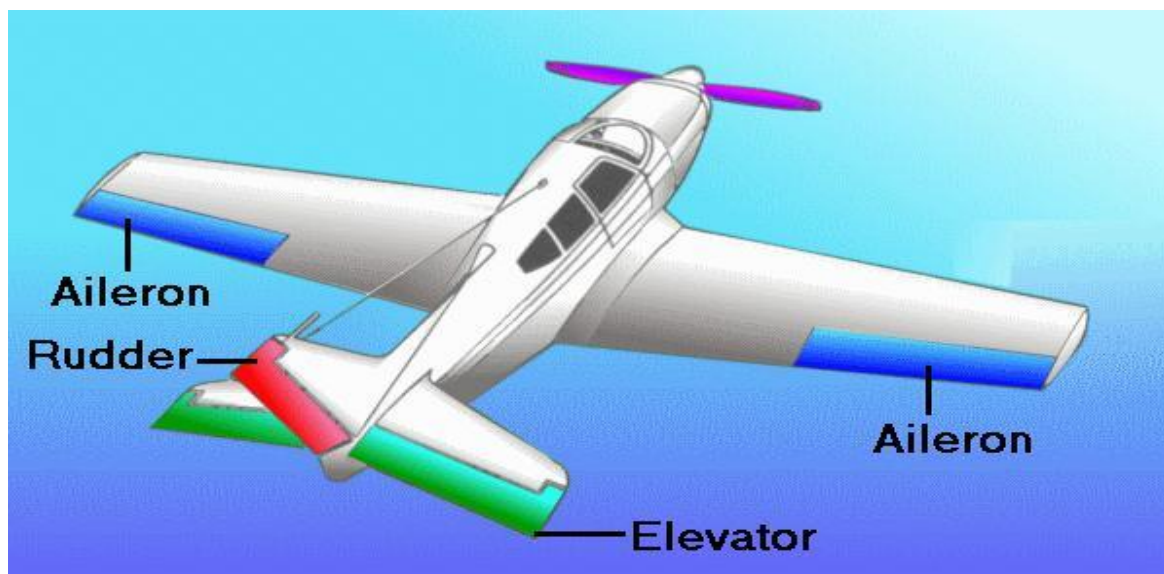
Εικόνα 30 Τυπικές επιφάνειες ελέγχου σε επιβατικό αεροσκάφος [5]

4.3.3 Πηδάλιο Διευθύνσεως.

Το πηδάλιο διευθύνσεως ελέγχει την στροφή και την κίνηση του αεροσκάφους γύρω από τον κατακόρυφο άξονα. Ως εκ τούτου καθορίζει την κατεύθυνση της μύτης του αεροσκάφους προς την επιθυμητή θέση. Συνήθως τα αεροσκάφη έχουν ένα πηδάλιο συνδεδεμένο με το άκρο του κατακόρυφου σταθεροποιητή και το πιλοτήριο το ελέγχει μέσω ενός ζευγαριού πεντάλ πηδαλίου με κινήσεις του ποδιού. Η κλίση του πηδαλίου προς τα δεξιά και άρα η κίνηση του αεροσκάφους προς την αντίστοιχη κίνηση του αεροσκάφους γίνεται μέσω της πίεσης προς τα εμπρός του δεξιού πεντάλ. Η αντίστροφη λειτουργία συμβαίνει με την πίεση του αριστερού πεντάλ προς τα αριστερά. Συναντάμε διάφορους τρόπους μεταφοράς της κίνησης στο πηδάλιο ανάλογα με το τύπο του αεροσκάφους. Όπως για παράδειγμα α) ενσωμάτωση της κατευθυντικής



κίνηση της μύτης ή του τροχού ουράς στο σύστημα ελέγχου του πηδαλίου για την λειτουργία εδάφους, β) διαχωρισμένη διάταξη πηδαλίου.



Εικόνα 31 Επιφάνειες ελέγχου πτήσης [5].

4.3.4 Επιφάνειες διπλού σκοπού.

- ∅ Ο σταθεροποιητής συνδυάζει την λειτουργία του οριζόντιου σταθεροποιητή και του πηδαλίου ανόδου - καθόδου. Έχει την δυνατότητα να περιστρέφεται γύρω από τον οριζόντιο άξονα και να επηρεάζει το βήμα του αεροσκάφους.
- ∅ Το Ruddervator συνδυάζει την λειτουργία του πηδαλίου διεύθυνσεως και του πηδαλίου ανόδου – καθόδου σε αεροσκάφη με v-tail empennages όπου απουσιάζουν παραδοσιακοί οριζόντιοι και κάθετοι σταθεροποιητές.
- ∅ Τα Flaperons είναι πηδάλια που μπορούν επίσης να λειτουργούν ως φτερά. [5,19,23].



Εικόνα 32 Συνδυασμένο πηδάλιο διεύθυνσης και ανόδου – καθόδου [5].



Εικόνα 33 Συνδυασμένο πτερύγιο καμπυλότητας χείλους εκφυγής και πηδάλιο κλίσεως [5].



Εικόνα 34 Συνδυασμένα πηδάλια ανόδου – καθόδου και κλίσεως [5].



Secondary/Auxiliary Flight Control Surfaces		
Name	Location	Function
Flaps	Inboard trailing edge of wings	Extends the camber of the wing for greater lift and slower flight. Allows control at low speeds for short field takeoffs and landings.
Trim tabs	Trailing edge of primary flight control surfaces	Reduces the force needed to move a primary control surface.
Balance tabs	Trailing edge of primary flight control surfaces	Reduces the force needed to move a primary control surface.
Anti-balance tabs	Trailing edge of primary flight control surfaces	Increases feel and effectiveness of primary control surface.
Servo tabs	Trailing edge of primary flight control surfaces	Assists or provides the force for moving a primary flight control.
Spoilers	Upper and/or trailing edge of wing	Decreases (spoils) lift. Can augment aileron function.
Slats	Mid to outboard leading edge of wing	Extends the camber of the wing for greater lift and slower flight. Allows control at low speeds for short field takeoffs and landings.
Slots	Outer leading edge of wing forward of ailerons	Directs air over upper surface of wing during high angle of attack. Lowers stall speed and provides control during slow flight.
Leading edge flap	Inboard leading edge of wing	Extends the camber of the wing for greater lift and slower flight. Allows control at low speeds for short field takeoffs and landings.

Εικόνα 35 Δευτερεύουσες και βοηθητικές επιφάνειες ελέγχου [5].

4.4 Δευτερεύουσες Επιφάνειες Ελέγχου.

Τα δευτερεύοντα χειριστήρια πτήσης ίσως να μην είναι πάντα παρόντα σε όλα τα αεροσκάφη. Όπως αναλυτικά παρατίθεται παρακάτω κάποια από αυτά είναι τα Flaps, τα spoilers, τα φρένα ταχυτήτων, τα slats and slots και τα trim tabs

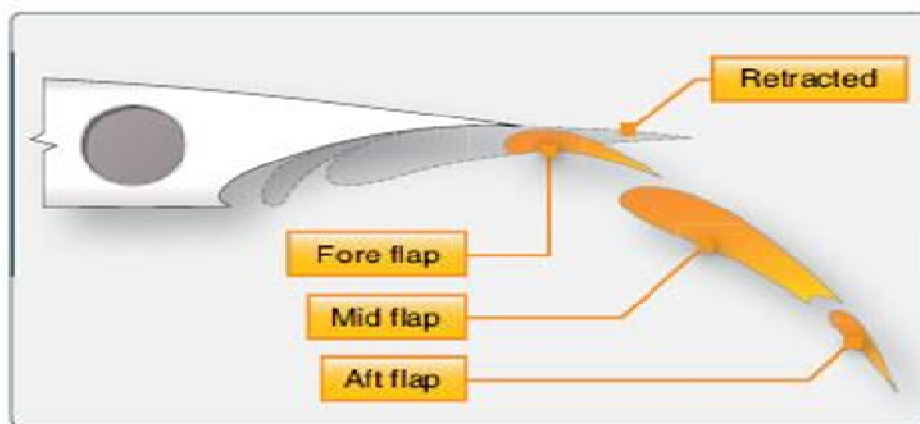
4.4.1 Πτερύγια Καμπυλότητας (Flaps).

Τα flaps ή αλλιώς πτερύγια καμπυλότητας ελέγχονται επίσης από το πιλοτήριο είτε ψηφιακά είτε μέσω μοχλού. Η ανάπτυξη των πτερυγίων καμπυλότητας μετράται σε μοίρες από τις 10 έως τις 40. Η ρύθμιση που αντιστοιχεί σε δέκα μοίρες χρησιμοποιείται για την απογείωση ενώ η ρύθμιση τους σε μεγαλύτερες από 10 μοίρες χρησιμοποιείται κατά την προσγείωση. Τα πτερύγια χρησιμοποιούνται επίσης στην μείωση της ταχύτητας επιβράδυνσης. Μερικοί από τους τύπους πτερυγίων, όπως μπορούμε να δούμε στην εικόνα που ακολουθεί είναι τα απλά πτερύγια καμπυλότητας, τα διαχωρισμένα πτερύγια καμπυλότητας, τα πτερύγια Fowler και το slotted flaps ή αλλιώς πτερύγια με σχισμές.

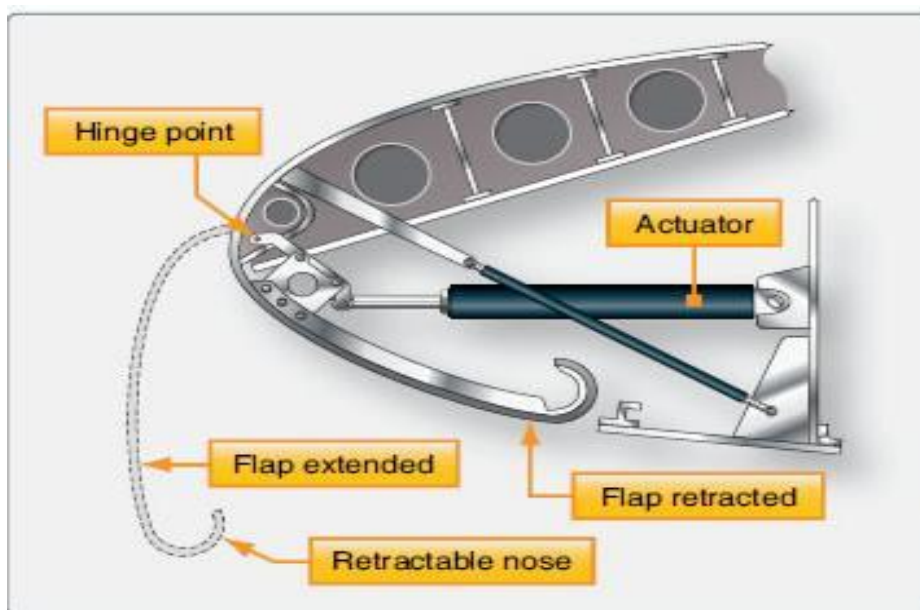
- Ø Απλά πτερύγια καμπυλότητας: περιστρεφόμενα σε μεντεσέ.
- Ø Διαχωρισμένα πτερύγια καμπυλότητας: σε πάνω και κάτω επιφάνεια εκ των οποίων η πάνω μένει σταθερή ή κινείται ελάχιστα.



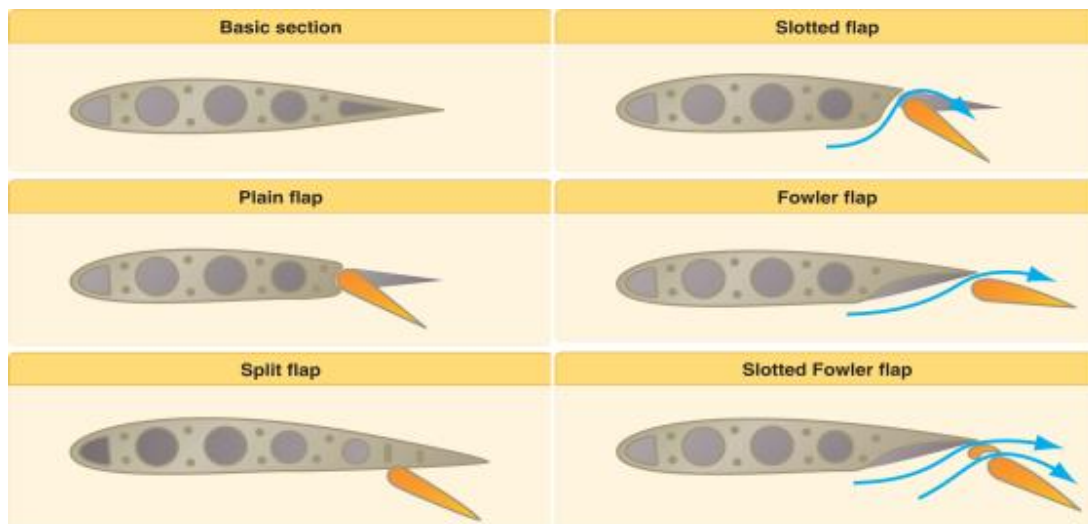
- Ø Τα περύγια Fowler: τα περύγια κλείνουν προς τα πίσω και προς τα κάτω διευκολύνοντας τις χαμηλότερες ταχύτητες.
- Ø (slotted flaps): αυτό το περύγιο συνδέεται με την ροή του αέρα δημιουργώντας χαμηλότερη ταχύτητα.
- Ø Φρένα ταχυτήτων Τα φρένα ταχύτητας ελέγχουν την μείωση της ταχύτητας κατά την προσγείωση



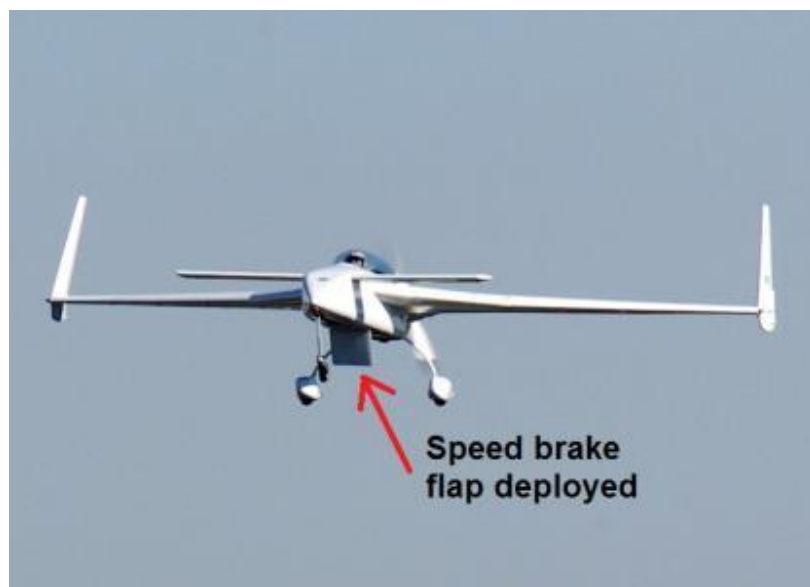
Εικόνα 36 Τριπλό περύγιο καμπυλότητας με σχισμή [5].



Εικόνα 37 Πτερύγιο καμπυλότητας χείλους προσβολής [5].



Εικόνα 38 Βασικοί τύποι πτερυγίων [5]



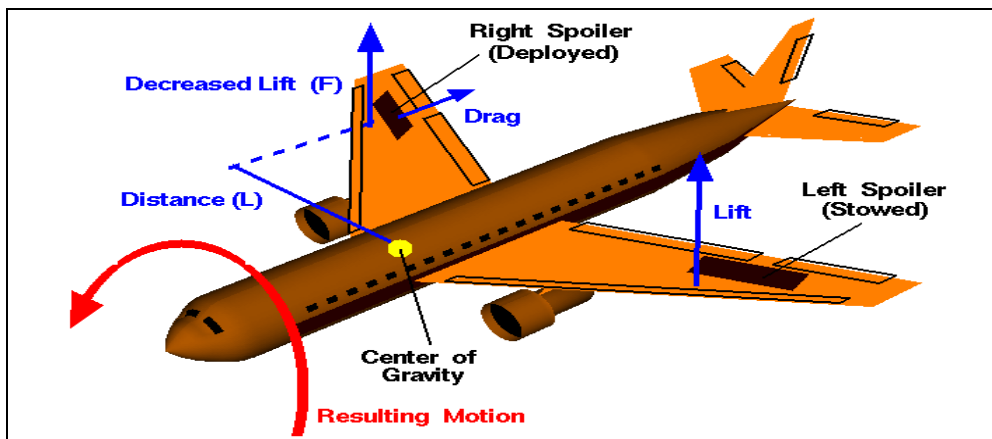
Εικόνα 39 Φρένα ταχυτήτων [5].

4.4.2 Spoilers (Φθορείς Άντωσης).

Τα spoilers είναι πλάκες στην κορυφή του πτερυγίου και κατά την επέκτασή τους προς τα πάνω με την βοήθεια του ανέμου μειώνουν την ταχύτητα και την ανύψωση. Η διαφορά μεταξύ



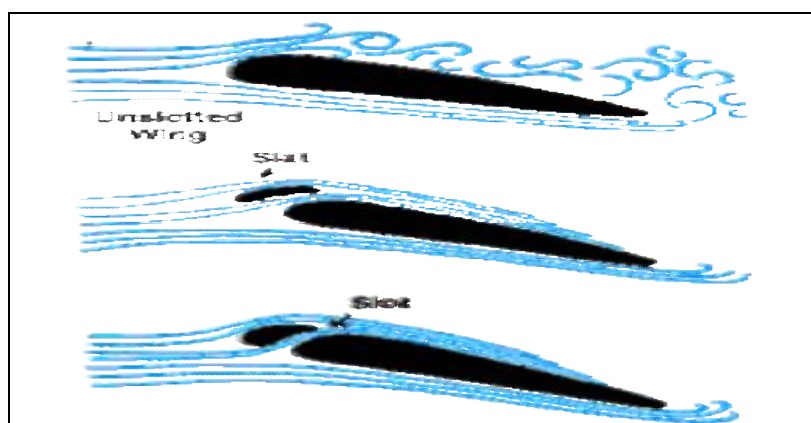
των αερόφρενων και των spoilers είναι ότι τα spoilers με ελάχιστη αύξηση της έλξης μειώνουν σημαντικά την ανύψωση και επιτρέπουν στους τροχούς να φρενάρουν με μικρές πιθανότητες ολίσθησης.



Εικόνα 40 Φθορείς άντωσης (<https://goo.gl/images/MgGN8d>).

4.4.3 Slats and Slots: Πτερύγιο Καμπυλότητας χείλους προσβολής

Το πτερύγιο καμπυλότητας χείλους προσβολής αποτελεί αεροδυναμική επιφάνεια στην αιχμή των φτερών. Βοηθά στην ανύψωση σε υψηλότερες γωνίες προσβολής και επιτρέπει στο αεροσκάφος να κινείται σε χαμηλότερες ταχύτητες χωρίς να σταματά και να προσγειώνεται σε πιο μικρές αποστάσεις. Οι σχισμές βοηθούν την πτέρυγα στην ανύψωση στις υψηλότερες γωνίες προσβολής και χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, τις αυτόματες τις οποίες συναντάμε σε ελαφρά αεροσκάφη και τις εφοδιασμένες που χρησιμοποιούνται πιο συχνά και ρυθμίζονται από τον θάλαμο διακυβέρνησης.

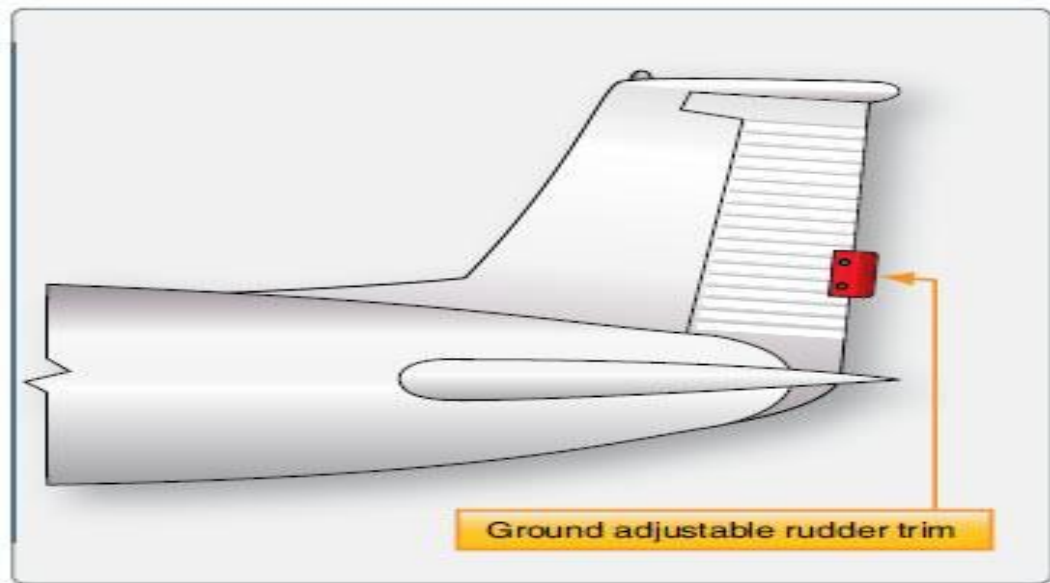


Εικόνα 41 Πτερύγια με σχισμή (<https://goo.gl/images/HwYkFP>).

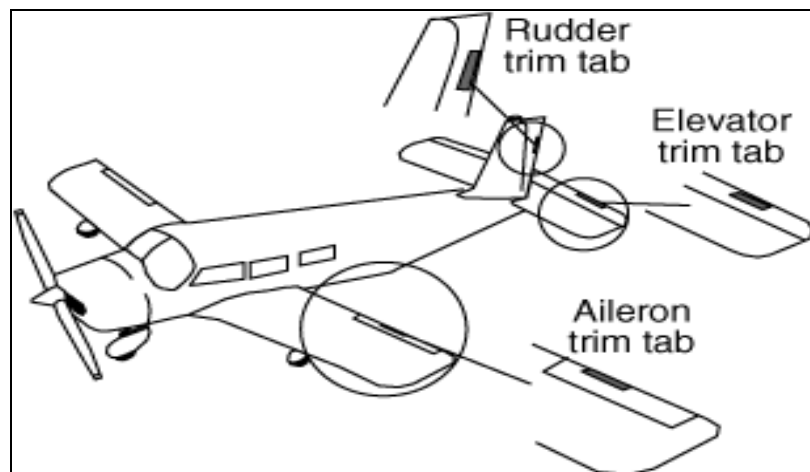


4.4.4 Πτερύγια Αντιστάθμισης (trim tabs)

Τα trim tabs βοηθούν στην σταθεροποίηση του αεροσκάφους και χρησιμοποιούνται σε ρυθμίσεις επιφάνειας ελέγχου όπως το πηδάλιο ανόδου -καθόδου , το πηδάλιο κλίσεως και το πηδάλιο διεύθυνσεως. Επιπλέον “ξεκουράζουν” τον πιλότο έτσι ώστε να μην χρειάζεται συνεχής άσκηση χειρωνακτικής δύναμης.



Εικόνα 42 Πτερύγιο αντιστάθμισης (<https://goo.gl/images/dL4MUK>).



Εικόνα 43 Πτερυγίδια αντιστάθμισης (<https://goo.gl/images/mGBY9w>).



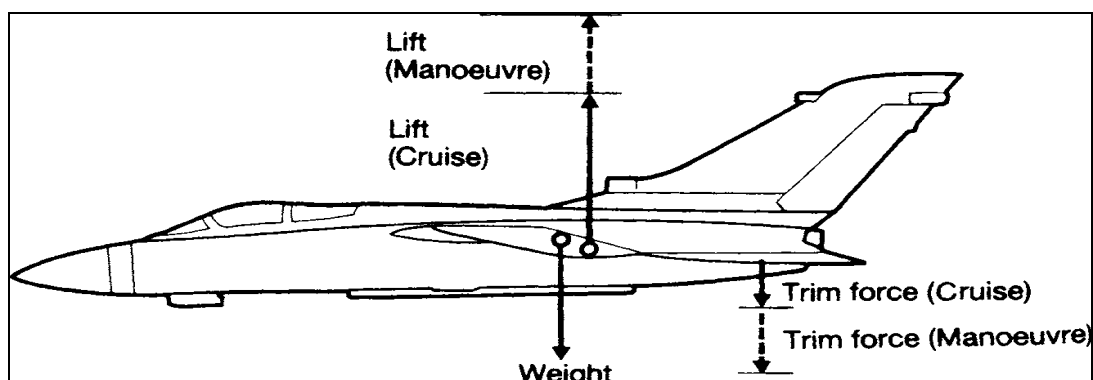
Flight Control Tabs			
Type	Direction of Motion (in relation to control surface)	Activation	Effect
Trim	Opposite	Set by pilot from cockpit. Uses independent linkage.	Statically balances the aircraft in flight. Allows "hands off" maintenance of flight condition.
Balance	Opposite	Moves when pilot moves control surface. Coupled to control surface linkage.	Aids pilot in overcoming the force needed to move the control surface.
Servo	Opposite	Directly linked to flight control input device. Can be primary or back-up means of control.	Aerodynamically positions control surfaces that require too much force to move manually.
Anti-balance or Anti-servo	Same	Directly linked to flight control input device.	Increases force needed by pilot to change flight control position. De-sensitizes flight controls.
Spring	Opposite	Located in line of direct linkage to servo tab. Spring assists when control forces become too high in high-speed flight.	Enables moving control surface when forces are high. Inactive during slow flight.

Εικόνα 44 Πτερυγίδια ελέγχου πτήσης (<https://goo.gl/images/aMEKJ7>)

4.5 Συστήματα TRIM & FEEL.

4.5.1 Συστήματα Αντιστάθμισης (TRIM).

Τα συστήματα trim αποτελούν δευτερεύοντα σύστημα ελέγχου πτήσης και βοηθούν στην ρύθμιση των αεροδυναμικών δυνάμεων στις επιφάνειες ελέγχου του αεροσκάφους. Επιτρέπουν στον πιλότο να ρυθμίσει και να διατηρήσει το επίπεδο πτήσης καθώς τον βοηθούν να ελέγξει την ανύψωση και την ολίσθηση στα πτερύγια και τις επιφάνειες ελέγχου. Στο παρακάτω σχήμα παρατίθεται ένα διάγραμμα των δυνάμεων αντοχής που επιδρούν σε ένα ευσταθές αεροσκάφος κατά την αντιστάθμισή του (trim).



Εικόνα 45 Δυνάμεις πρόνευσης που δρουν σε μια επίπεδη πτήσης [5].

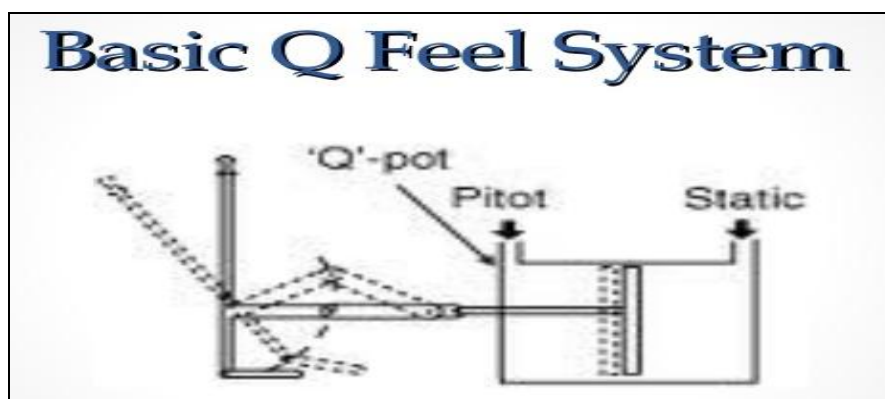


- ∅ Elevator trim: εξισορροπεί την αεροδυναμική δύναμη στην ουρά και κατ επέκταση στο αεροσκάφος,
- ∅ Trimming tail plane: μέσω αυτού ο κυβερνήτης ρυθμίζει την θετική ή αρνητική ανύψωση από το επίπεδο της ουράς μειώνοντας την οπισθέλκουσα από το πηδάλιο κλίσεως
- ∅ Control horn: μειώνει την πίεση που βιώνει ο κυβερνήτης και λειτουργεί ως αντίβαρο και αποτρέπει το να ‘κυλάει’ το αεροσκάφος στην ροή του αέρα,
- ∅ Spring trim: αυξάνει την είσοδο ελέγχου του πιλότου,
- ∅ Rudder and aileron trim: χρησιμοποιείται για την αντιστάθμιση των επιπτώσεων του ρεύματος ολίσθησης και των επιδράσεων του κέντρου βάρους στην μία πλευρά.

4.5.2 Συστήματα Αίσθησης (FEEL)

Γνωστή και ως τεχνητή αίσθηση αποτελεί απαραίτητη λειτουργία ώστε ο πιλότος να αντιλαμβάνεται τα αεροδυναμικά φορτία που επενεργούν στις επιφάνειες ελέγχου. Πιο συγκεκριμένα συναντάμε δύο τύπους τεχνητής αίσθησης, spring feel και το Q feel.

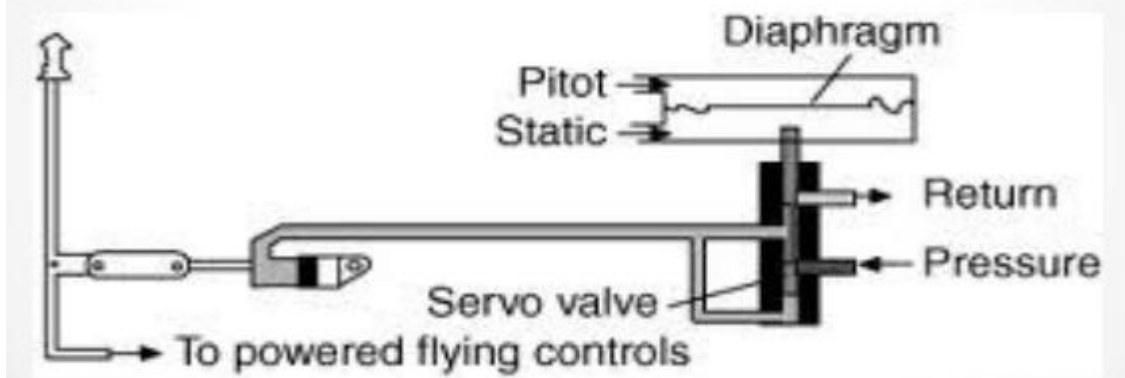
- ∅ Spring feel σύστημα: όταν ο πιλότος εισάγει το σήμα για την εκτροπή της επιφάνειας ελέγχου αισθάνεται την αντίσταση του ελατηρίου. Όσο μεγαλύτερη η είσοδος τόσο μεγαλύτερη και η αντίσταση. Το spring feel είναι πιο χρήσιμο σε χαμηλότερες ταχύτητες.
- ∅ Q feel σύστημα
 - ü Basic Q feel: το Q αποτελεί την δυναμική πίεση που προκύπτει από την διαφορά μεταξύ Pitot και στατικής πίεσης, γνωστή ως $P_t - P_s$. Μέσω του παραπάνω συστήματος τελείται γραμμική κίνηση του εμβόλου και ο πιλότος αισθάνεται την αντίσταση. Όσο μεγαλύτερη είναι η κίνηση τόσο μεγαλύτερη είναι και η αίσθηση.
 - ü Hydraulic Q feel σύστημα: Ένα μικρό υδραυλικό σύστημα ενεργοποιητή και μία σερβοβαλβίδα που λειτουργεί με δυναμική πίεση. Ο μηχανισμός αυτός δίνει πίεση πίσω στο μοχλό [5].



Εικόνα 46 Σύστημα Basic Q Feel [5]



Hydraulic Q Feel System



Εικόνα 47 Σύστημα Hydraulic Q Feel [5]

4.5.3 Συστήματα Ελέγχου Σύνδεσης Πτήσης.

Η χειροκίνητη είσοδος του πιλότου, στα χειριστήρια πτήσης πραγματοποιούνται μετακινώντας τη στήλη ελέγχου του πιλοτηρίου, ή τα πηδάλια σύμφωνα με την καθολική σύμβαση:

- ∅ Ο έλεγχος της πρόνευσης (pitch) ασκείται μετακινώντας την μπροστινή στήλη ελέγχου. Ωθώντας τη στήλη προς τα εμπρός, το αεροσκάφος θα πάρει κλίση προς τα κάτω και τραβώντας τη στήλη προς τα πίσω, το αεροσκάφος θα στραφεί προς τα πάνω.
- ∅ Ο έλεγχος του διατοιχισμού (roll) επιτυγχάνεται με τη μετακίνηση της στήλης ελέγχου δεξιά – αριστερά, ή με την περιστροφή του ζυγού ελέγχου. Μετακινώντας τη στήλη δεξιά, η πτέρυγα γέρνει προς τα δεξιά και αντίστροφα.
- ∅ Ο έλεγχος της εκτροπής (yaw) επιτυγχάνεται μέσω των πηδαλίων. Πιέζοντας το πηδάλιο προς τα αριστερά, θα εκτρέψει το αεροσκάφος προς τα αριστερά και το αντίστροφο.

4.5.4 Συστήματα Ράβδων Ελέγχου (Push - Pull).

Υπάρχουν δύο κύριες μέθοδοι σύνδεσης των χειριστηρίων του πιλότου με το υπόλοιπο σύστημα ελέγχου πτήσης. Αυτά είναι:

- ∅ Συστήματα ράβδων ελέγχου push-pull,
- ∅ Συστήματα συρμάτων και τροχαλιών.

Η είσοδος ελέγχου του pitch τροφοδοτείται από την αριστερή πλευρά της στήλης ελέγχου σε ένα μοχλό στροφάλου, πίσω από το θάλαμο κυβερνήσεως. Αυτό συνδέεται στη συνέχεια



μέσω μιας στήλης ελέγχου σχεδόν κάθετης σε έναν άλλο μοχλό στροφάλου που επιστρέφει την είσοδο ελέγχου στην οριζόντια θέση. Η οριζόντια στήλη ελέγχου λειτουργεί παράλληλα με το συνδυασμό των ενεργοποιητών του οριζόντιου σταθεροποιητή και της αίσθησης του ελατηρίου. Η έξοδος από αυτές τις μονάδες τροφοδοτείται προς τα πάνω, στο σκελετό του αεροσκάφους. Η διαδρομή ελέγχου περνά προς τα κάτω στην αριστερή πλευρά της ατράκτου, στο πίσω μέρος του αεροσκάφους μέσω διάφορων μοχλών κίνησης, πριν εισέλθει σε ένα μη γραμμικό μηχανισμό μετάδοσης που οδηγεί στη μονάδα ελέγχου ισχύος της μονάδας τροφοδοσίας (PCU). Οι μοχλοί χειρισμού είναι απλοί μηχανισμοί που βοηθούν στη στήριξη της διαδρομής ελέγχου σε βολικά σημεία της ατράκτου. Η υδραυλικά τροφοδοτούμενη μονάδα PCU οδηγεί το ουραίο να ανταποκριθεί στους ελιγμούς του αεροσκάφους και τις στις επιλογές του πιλότου.

Η είσοδος του yaw από το ηδάλιο τροφοδοτείται από ένα μοχλό στροφάλου. Χρησιμοποιώντας τα ίδια σημεία περιστροφής με τον έλεγχο του pitch. Άλλοι δύο στροφάλοι εισάγουν τη σύνδεση ελέγχου που τρέχει στη δεξιά πλευρά της οπίσθιας ατράκτου μέσω ενός σετ μοχλών αδρανείας προς το εσωτερικό το αεροσκάφους. Σε αυτό το σημείο, η σύνδεση ελέγχου συμπεριλαμβάνει εισόδους από τον ενεργοποιητή περιστρεφόμενου ηδαλίου, τη μονάδα αισθητήρα του ελατηρίου και τη μονάδα αίσθησης Q. Η απαίτηση ελέγχου που προκύπτει, τροφοδοτείται στο υδραυλικό σύστημα PCU του ηδαλίου, το οποίο με τη σειρά του οδηγεί το ηδάλιο στην επιθυμητή θέση σε αυτή την περίπτωση, η μονάδα PCU έχει ενσωματωμένους αισθητήρες εκτροπής, που απομακρύνουν τις ανεπιθύμητες ταλαντώσεις του “dutch roll”.

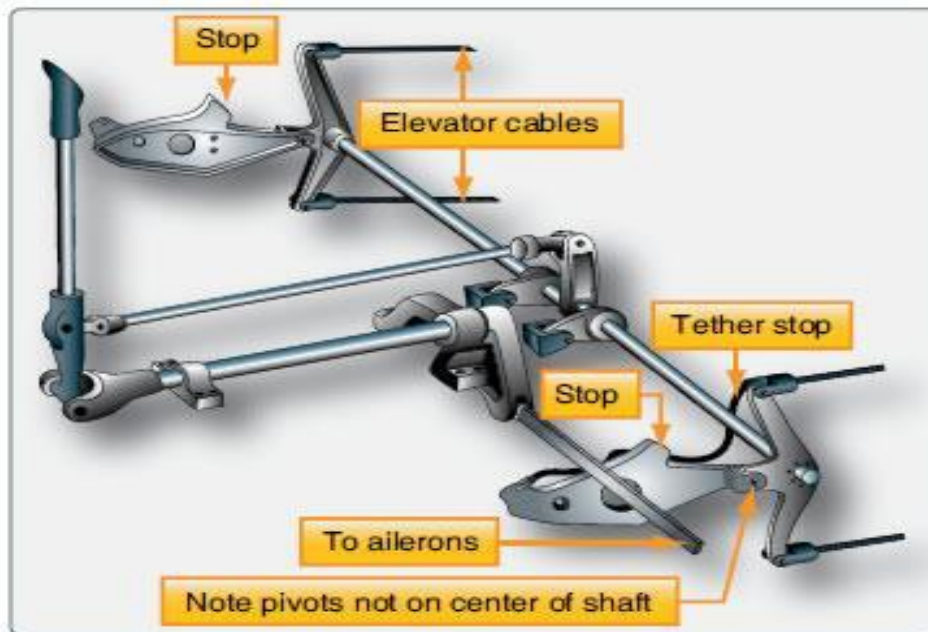
Η απαίτηση για roll, τροφοδοτείται μέσω ενός συγκροτήματος περιστρεφόμενης στήλης από το δεξί χέρι της πλευράς της θύρας στήλης ελέγχου και εκτελείται μέσω ενός ζεύγους μοχλών στροφάλου σε μια θέση πίσω από το θάλαμο διακυβέρνησης. Σε αυτό το σημείο, υπάρχει σύνδεση μεταξύ του ενεργοποιητή διαμόρφωσης του τροχού και της μονάδας αισθητήρα του ελατηρίου. Η στήλη ελέγχου περιστρέφεται προς τα πίσω μέσω ενός επιπλέον μοχλού στροφάλου και ενός μοχλού ανατροπής στην κεντρική άτρακτο. Ένας ακόμη κουρδιστός μοχλός, διαχωρίζει τη ζήτηση τροχού προς τα αριστερά και τα δεξιά φτερά. Οι έλεγχοι πτερυγίων τροφοδοτούνται εξωλέμβια με τη βοήθεια μια σειράς μοχλών αδρανείας, στο εξωτερικό τμήμα των πτερυγίων που γειτνιάζουν με τα ailerons. Επιπλέον κουρδιστοί μοχλοί τροφοδοτούν τα ailerons στις παράλληλες υποδοχές και ως εκ τούτου παρέχουν την απαραίτητη ενεργοποίηση επιφάνειας ελέγχου.

Η εσωτερική διασύνδεση, πρέπει να είναι ισχυρή, άκαμπτη και καλά υποβασταζόμενη, αλλιώς η κάμψη της ατράκτου θα μπορούσε να εισάγει στο σύστημα “ενοχλήσεις” ή ανεπιθύμητες απαιτήσεις ελέγχου. Ένα άλλο σημείο, είναι ότι δεν υπάρχει εύκολος τρόπος ή διαδρομή μέσω του αεροσκάφους. Έτσι λοιπόν, απαιτείται ένα εκτεταμένο σύστημα κουρδιστών μοχλών και μανδάλων για τη στήριξη των στηλών ελέγχου.

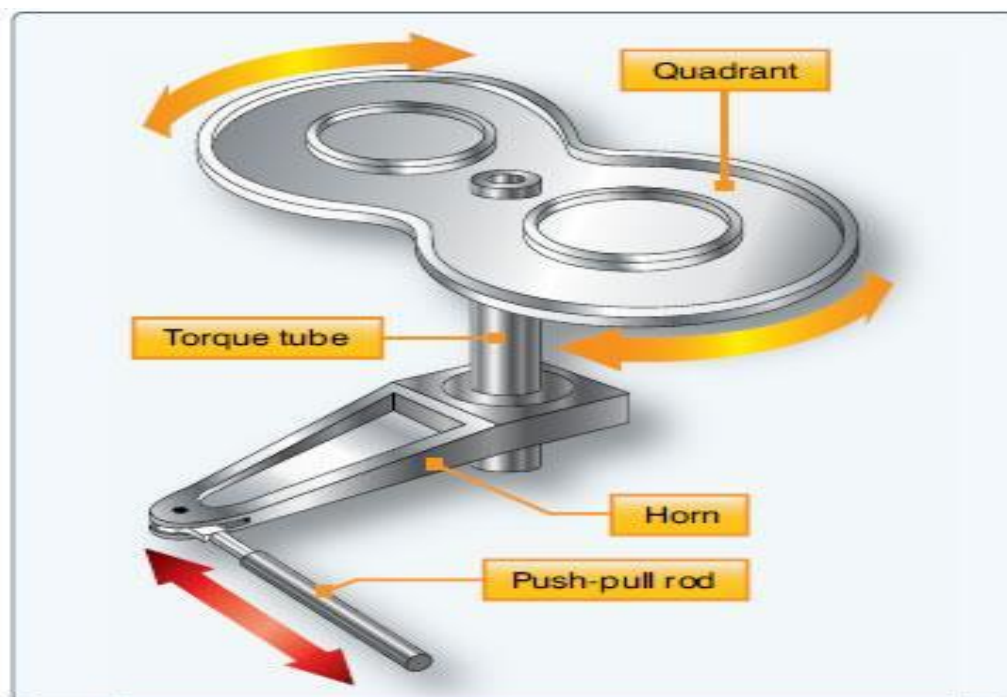
Αυτό το παράδειγμα, εισήγαγε επίσης μερικά από τα βασικά συστατικά στοιχεία που απαιτούνται για να καταστεί δυνατή η λειτουργία ενός συστήματος ελέγχου πτήσης, παρέχοντας ταυτόχρονα ασφαλή κι ευχάριστα χαρακτηριστικά χειρισμού στον πιλότο. Αυτά είναι:

- Ø Ενεργοποιητές αντιστάθμισης στα συστήματα ελέγχου pitch, roll και yaw.
- Ø Μονάδες αίσθησης ελατηρίου στα συστήματα ελέγχου pitch, roll και yaw.
- Ø Μονάδες PCU για την ενεργοποίηση του ουραίου, του ηδαλίου και του aileron.

[5,6,23]



Εικόνα 48 Μεταφορά εισόδων επιφανειών ελέγχου από το πιλοτήριο (<https://goo.gl/images/u6Mp8F>)

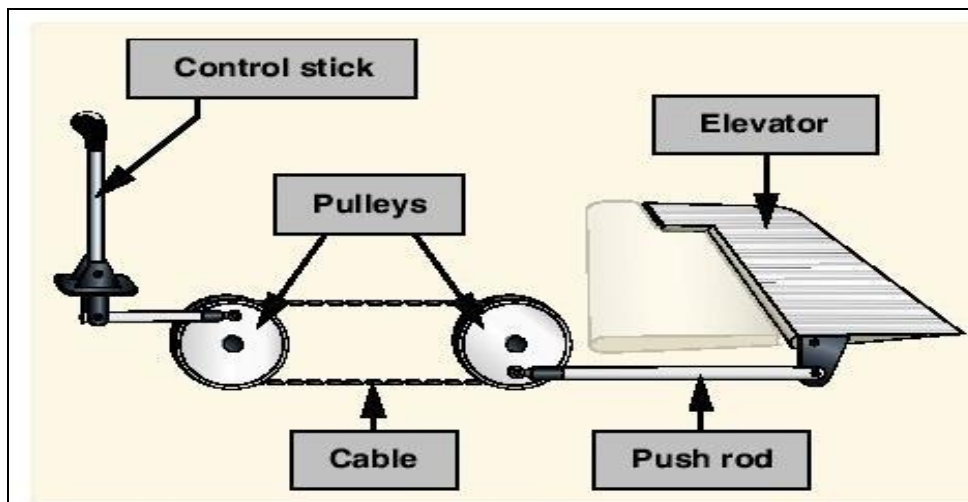


Εικόνα 49 Σωλήνας ροπής στρέψης (<https://goo.gl/images/quJsci>)



4.5.5 Συστήματα Συρμάτων και Τροχαλιών.

Χειροκίνητες είσοδοι ελέγχου κατευθύνονται μέσω συρμάτων και τροχαλιών από τους τροχούς ελέγχου του κυβερνήτη σε μια περιοχή ενοποίησης στο κεντρικό τμήμα του αεροσκάφους. Σε αυτό το σημείο, οι διαδρομές των αilerons και της αεροτομής διαχωρίζονται δεξιά αριστερά ή σε ξεχωριστές διαδρομές. Οι στήλες ελέγχου και οι τροχοί ελέγχου συγχρονίζονται. Περιλαμβάνεται μια συσκευή διάρρηξης η οποία λειτουργεί σε μια προκαθορισμένη δύναμη σε περίπτωση αποτυχίας ή εμπλοκής ενός από τα καλώδια. [5]



Εικόνα 50 Μηχανικό σύστημα ελέγχου πτήσης [5].

4.6 Τύποι Κινητήρων.

Συναντάμε δύο είδη κινητήρων στα αεροσκάφη, τους εμβολοφόρους και τους αεριοστροβίλους κινητήρες.

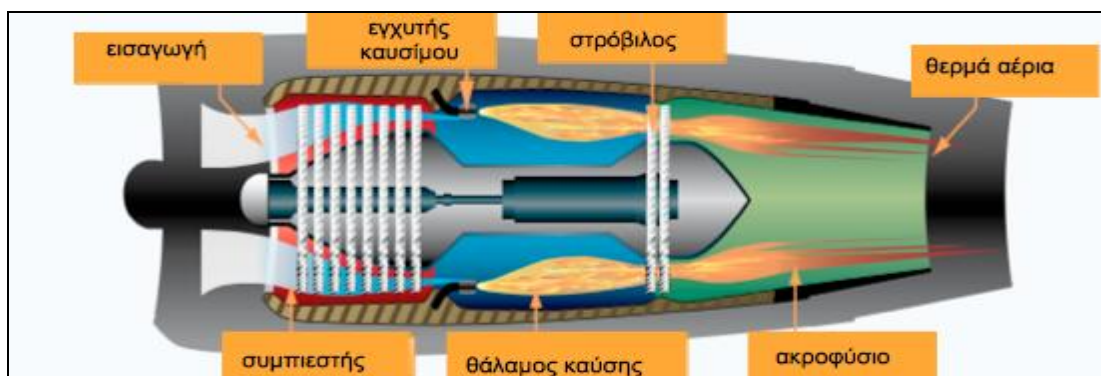
4.6.1 Αεριοστροβίλοι.

Είναι μηχανές περιστροφικές και λειτουργούν συνήθως με φυσικό αέρα. Λειτουργούν μέσω ανοιχτού κυκλώματος αέρα και καυσαερίων που παράγονται από την καύση, ενώ στο κλειστό κύκλωμα χρησιμοποιείται μόνο αέρας ή άλλο κατάλληλο αέριο, όπως το ήλιο. Οι αεριοστροβίλοι συμπιέζουν επίσης τον αέρα μέσω αεροσυμπιεστή είτε για την παραγωγή καυσίμων είτε ως ουσία για το κλειστό κύκλωμα. Ο αεριοστροβίλος δημιουργώντας ώση (δύναμη) προς μία κατεύθυνση υποχρεώνει μια μάζα αερίου να κινηθεί προς την αντίθετη. Πραγματοποιείται δηλαδή μία δράση-αντίδραση, η οποία επηρεάζει και το μέγεθος της ώσης. Τα καυσαέρια του κινητήρα δημιουργούν εξαγωγή, άρα δράση, ασκώντας ώση, άρα αντίδραση, στην αντίθετη κατεύθυνση προς τον κινητήρα.



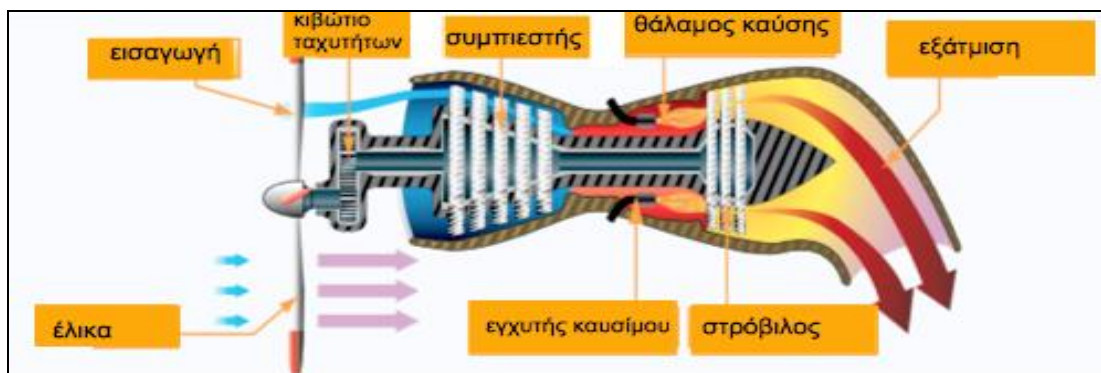
Πιο συγκεκριμένα, η ώση μετράται σε kp , $rounds$ ή lbf . Όπως προαναφέρθηκε, η παραγωγή της ώσης εξαρτάται από την παραγωγή αέρα και καυσαερίων. Κάποια από τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν την ώση του κινητήρα είναι ο αριθμός των στροφών του κινητήρα, η εισαγωγή αέρα, η ροή καυσίμων, η μείωση συμπιεσμένου αέρα, η θερμοκρασία εισαγωγής των καυσαερίων στον στρόβιλο, η ψύξη του κινητήρα με την εισαγωγή νερού, η ταχύτητα του αεροσκάφους. Κάποιες περιβαλλοντικές συνθήκες επιρροής είναι η θερμοκρασία και η πίεση περιβάλλοντος αέρα.

- Ø **Στροβιλοκινητήρας-turbojet engine:** ένας από τους απλούς αεροστρόβιλους, στον οποίο η ώση δημιουργείται από το καυσαέριο στο ακροφύσιο εξαγωγής. Σε αυτόν τον τύπο αεροστρόβιλου έχουμε μεγάλη κατανάλωση καυσίμου, ακόμα και στις χαμηλές ταχύτητες, ενώ η ώση είναι αρκετά μικρή. Ως εκ τούτου, χρειάζεται μεγάλος διάδρομος απογείωσης.



Εικόνα 51 Turbojet engine – Στροβιλοκινητήρας [5].

- Ø **Ελικοστρόβιλος-turboprop engine:** η διαφορά του με τον παραπάνω είναι η ύπαρξη γραναζιών για να μεταδοθεί η κίνηση σε μία έλικα. Παρότι αυτός ο τύπος κινητήρα έχει καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου, είναι αρκετά πολύπλοκος, δύσκολος στη συντήρηση και παρουσιάζει προβλήματα.



Εικόνα 52 Turboprop engine – ελικοστρόβιλος (<https://goo.gl/images/7FXpxB>)

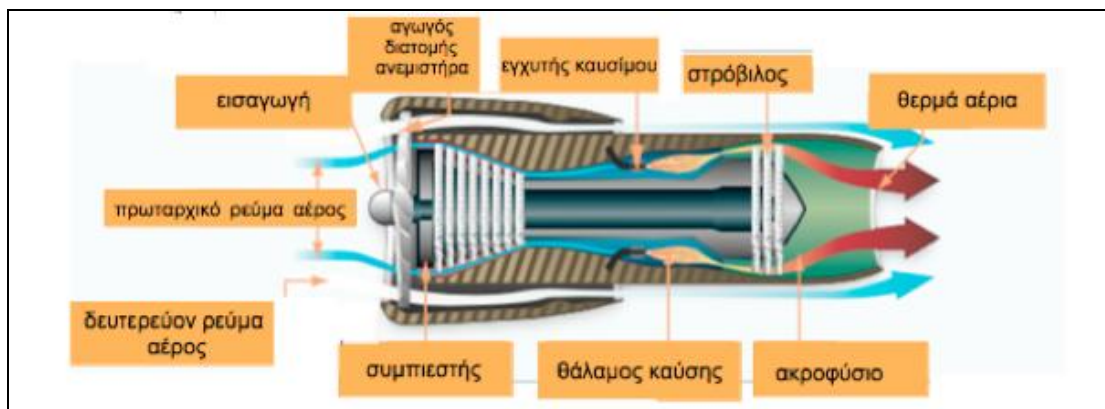


- Ø **Αξονοστρόβιλος-turboshaft engine:** Ένας μη συνδεδεμένος, ελεύθερος στρόβιλος με την έλικα του αεροσκάφους, αλλά συνδεδεμένος με τον άξονα ενός στροφείου.



Εικόνα 53 Turboshaft – αξονοστρόβιλος (<https://goo.gl/images/aBjNKQ>)

- Ø **Στροβιλοκινητήρας διπλής ροής- turbofan engine:** ένας πολύ σημαντικός τύπος, καθώς αναπτύσσει μεγάλες ταχύτητες σε μεγάλα ύψη, δεν χρειάζεται μεγάλο διάδρομο απογείωσης, έχει καλή ειδική κατανάλωση καυσίμου και μειωμένο θόρυβο στην προσγείωση και την απογείωση.



Εικόνα 54 Turbofan – στροβιλοκινητήρας (<https://goo.gl/images/5yMDvr>)



4.6.2 Εμβολοφόροι Κινητήρες.

Οι εμβολοφόροι κινητήρες διακρίνονται με βάση κατασκευαστικά και λειτουργικά κριτήρια. Έτσι, καθορίζονται οι ακόλουθοι τύποι κινητήρων ανάλογα με :

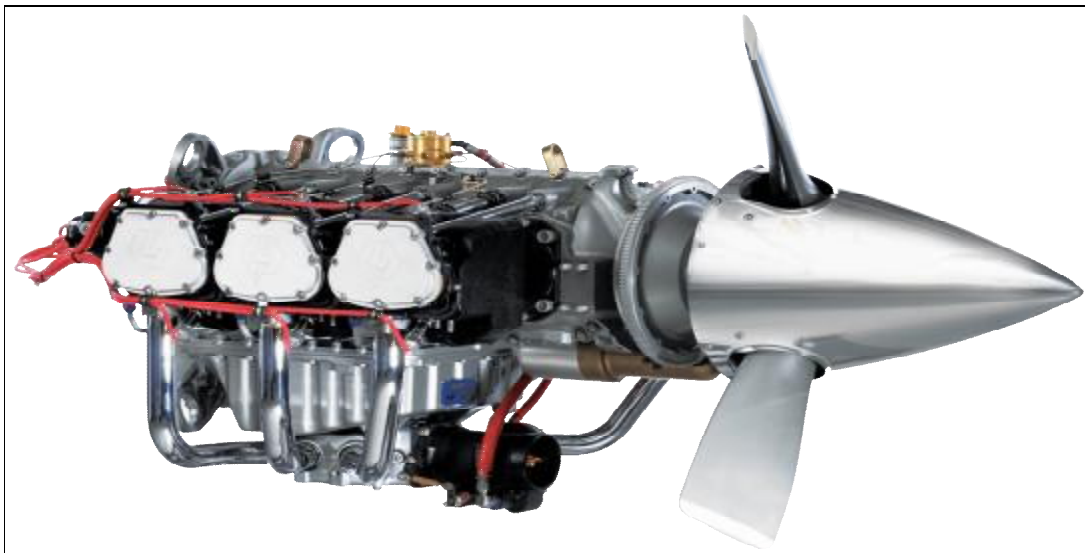
- ∅ τον τρόπο έναυσης:
 - ü κινητήρες με σπινθηριστή (μπουζί) , βενζινοκινητήρες ή κινητήρες Otto.
 - ü κινητήρες με έναυση λόγω συμπίεσης ή πετρελαιοκινητήρες ή κινητήρες Diesel,
- ∅ τον αριθμό των χρόνων λειτουργίας: δίχρονοι / τετράχρονοι,
- ∅ τον τρόπο ψύξης των κυλίνδρων: υδρόψυκτοι / αερόψυκτοι,
- ∅ τον αριθμό των κυλίνδρων: μονοκύλινδροι / πολυκύλινδροι (δικύλινδροι, τετρακύλινδροι, κλπ.),
- ∅ τη διάταξη των κυλίνδρων εν σειρά (μονοί ή δίδυμοι) / ακτινικοί (radial) ή αστεροειδείς / αντιτιθέμενων εμβόλων (opposed) / τύπου V ή W, 4 αντιστοίχως), / πολυγωνικού τύπου – στην περίπτωση που οι κύλινδροι διατάσσονται σε σχήμα τριγώνου, τετραγώνου, κλπ.,) διπλών εμβόλων / Βάνκελ (Wankel),,
- ∅ την ταχύτητα περιστροφής του άξονα:
 - ü ολιγόστροφοι
 - ü μέσης ταχύτητας
 - ü ταχύστροφοι,
- ∅ τη διαδικασία εισαγωγής του αέρα που θα αναμειχθεί με το καύσιμο:
 - ü εισαγωγή και χρήση μόνο αέρα αναρροφούμενου απευθείας από την ατμόσφαιρα,
 - ü χρήση αέρα από υπερπλήρωση.

Στη συνέχεια παρατίθενται ενδεικτικά τα βασικά χαρακτηριστικά κάποιων τύπων εμβολοφόρων κινητήρων:

- ∅ **Παλινδρομικοί κινητήρες:** Πρόκειται για ενσωματωμένους κινητήρες και επιτρέπουν στο αεροσκάφος την ελαχιστοποίηση της οπισθέλκουσας. Συναντάμε επίσης ανεστραμμένους, ενσωματωμένους κινητήρες στις περιπτώσεις όπου ο κινητήρας βρίσκεται πάνω από τους κυλίνδρους, γεγονός που επιτρέπει την τοποθέτηση του έλικα σε μεγαλύτερη απόσταση από το έδαφος. Το μειονέκτημά τους είναι η χαμηλή αναλογία ισχύος-βάρους.
- ∅ **Κινητήρες τύπου V:** Παρέχουν υψηλότερη αναλογία ισχύος-βάρους σε σχέση με τους ενσωματωμένους. Διαθέτουν διατεταγμένους κυλίνδρους και ψύχονται με νερό.
- ∅ **Κινητήρες οριζοντίως τοποθετημένοι:** Πρόκειται κυρίως για αερόψυκτους κινητήρες και αποτελούνται πάντα από άρτιο αριθμό κυλίνδρων. Χρησιμοποιούνται συνήθως σε μικρά αεροσκάφη γενικής αεροπορίας.



- Ø **Ακτινικοί κινητήρες:** Οι περισσότεροι τύποι κινητήρων έχουν τους κυλίνδρους ομοιόμορφα τοποθετημένους γύρω από τον στροφαλοφόρο άξονα. Η μεγάλη μετωπική περιοχή του κινητήρα λειτουργούσε παλαιότερα ως στρώμα θωράκισης για τον πιλότο στρατιωτικών αεροσκαφών. Είναι αερόψυκτοι και περιορισμένα επιρρεπείς στις ζημιές, όμως αυξάνουν αεροδυναμικά την μπροστινή περιοχή του αεροσκάφους.
- Ø **Περιστρεφόμενοι κινητήρες:** Οι κύλινδροι είναι τοποθετημένοι κυκλικά, γύρω από τον στροφαλοθάλαμο. Έχουν καλή ροή του αέρα ψύξης, καλή σχέση ισχύος-βάρους, όμως λόγω της χρήσης καστορέλαιου προς λίπανση προκύπτουν αναθυμιάσεις, καυστικές για τους πιλότους.
- Ø **Κινητήρες ελεύθερου εμβόλου:** Είναι εσωτερικής καύσης και το έμβολο δεν ελέγχεται από τον στροφαλοφόρο άξονα. Συναντάμε συνήθως ένα έμβολο, διπλό έμβολο ή αντιτιθέμενα έμβολα κινητήρα.



Εικόνα 55 Εμβολοφόρος κινητήρας (<https://goo.gl/images/p2QZDT>)

4.7 Έλεγχος Ωσης – Προβλήματα Ελέγχου.

4.7.1 Έλεγχος Ροής Καυσίμου.

Το σύστημα έλεγχου καυσίμου στοχεύει στον περιορισμό του ρυθμού επιτάχυνσης και επιβράδυνσης των περιστρεφόμενων συγκροτημάτων του κινητήρα, διασφαλίζοντας ότι δεν θα προκληθεί έκρηξη ή φλόγα. Η ροή καυσίμου πρέπει να ελέγχεται επίσης, ώστε να διατηρούνται οι συνθήκες που απαιτούνται ανεξάρτητα από τις εξωτερικές αλλαγές χωρίς να μην χρειάζεται η συνεχής προσοχή του πιλότου και η απόσπασή του από άλλες λειτουργίες του αεροσκάφους. Συνήθεις έλεγχοι καυσίμων γίνονται μέσω του FCU ή μονάδες διαχείρισης καυσίμου (FMU).



Πρόκειται για υδρομηχανική συσκευή τοποθετημένη στον κινητήρα, η οποία τελεί λειτουργίες όπως η άμεση καύση, ο περιορισμός ροής καυσίμου, η τροποποίηση ροών κ.ά.

4.7.2 Έλεγχος Ροής Αέρα.

Ο έλεγχος της ροής αέρα γίνεται μέσω του κινητήρα με τη βοήθεια μεταβλητών πτερυγίων, συμπιεστή και βαλβίδων εξαέρωσης. Επίσης γίνεται έλεγχος της περιοχής εισαγωγής για την κατάλληλη ροή αέρα. Ο αέρας δηλαδή αφαιρείται από τον κινητήρα για λόγους σταθερότητας ή για να διοχετευτεί στην αντιπαγωγική πρόσωση των πτερυγίων στο σύστημα κλιματισμού.

4.7.3 Συστήματα Ελέγχου και Παραμέτρων.

Ο πιλότος ενός αεροσκάφους κατά την διάρκεια της πτήσης είναι αδύνατον να παρακολουθεί αδιάκοπα όλες τις συνθήκες του κινητήρα. Για τον λόγο αυτό καθίσταται απαραίτητο ένα σύστημα αυτόματου ελέγχου. Πρόκειται για ηλεκτρικές συσκευές που συνήθως υποδιαιρούνται σε συσκευές εισόδου και εξόδου. Τα σήματα εισόδου παρέχουν πληροφορίες ή αλγόριθμους και τα σήματα εξόδου δίνουν την δυνατότητα εκτέλεσης μιας λειτουργίας ελέγχου.

4.7.4 Σήματα Εισόδου.

- ∅ Θέση γκαζιού : ένας μετατροπέας συνδεδεμένος με τον μοχλό γκαζιού του πιλότου επιτρέπει τη διαπίστωση της απαιτούμενης ώσης. Παρέχει σήματα DC ή AC,
- ∅ Δεδομένα αέρα : μονάδες καψουλών οι οποίες είναι τοποθετημένες στον αεροθάλαμο παρέχουν σήματα πίεσης ως ηλεκτρικά σήματα. Αυτά λαμβάνονται από τους υπολογιστές δεδομένων ADC ή από τους αισθητήρες δεδομένων του συστήματος ελέγχου,
- ∅ Συνολική θερμοκρασία : πρόκειται για ένα αισθητήρα συνολικής θερμοκρασίας στην πρόσωση του κινητήρα και επιμέρους ανιχνευτές στο σκελετό του αεροσκάφους,
- ∅ Ταχύτητα κινητήρα : ειδικοί αισθητήρες παλμών ειδικά τοποθετημένοι ώστε να μετακινούν μεταλλικά μέρη του κινητήρα ή του κιβωτίου ταχυτήτων. Μέσω των παλμών που προκύπτουν, ανιχνεύονται και ελέγχονται οι στροφές του κινητήρα,
- ∅ Θερμοκρασία κινητήρα : η μέτρηση της θερμοκρασίας του κινητήρα γίνεται έμμεσα μέσω της μέτρησης της θερμοκρασίας του καυσαερίου και της μέτρησης της θερμοκρασίας των πτερυγίων. Βάση των παραπάνω μετρήσεων προσδιορίζεται κατά προσέγγιση η θερμοκρασία εισόδου του στροβίλου,
- ∅ Θέση ακροφυσίων : αναφέρεται στα αεροσκάφη με επαναθέρμανση (after burning) στα οποία μέσω αισθητήρων γίνεται μέτρηση της θερμοκρασίας,
- ∅ Ροή καυσίμου: μετριέται μέσω μετρητή τοποθετημένου στις σωληνώσεις καυσίμου. Επιπροσθέτως σημαντικός τρόπος μέτρησης της ροής καυσίμου είναι η θέση της βαλβίδας μέτρησης καυσίμου εντός του FCU,
- ∅ Αναλογία πίεσης : οι πιο εξελιγμένες συσκευές αναλογίας πίεσης χρησιμοποιούν δύο αισθητήρες πίεσης υψηλής ακρίβειας.



4.7.5 Σήματα Εισόδου.

- Ø Έλεγχος ροής καυσίμου : γίνεται μέσω ηλεκτροκίνητων συσκευών κινητήρων ροπής ή βηματικών κινητήρων,
- Ø Έλεγχος ροής αέρα : γίνεται αυτόματος έλεγχος της ροής αέρα και των βαλβίδων σε διάφορα στάδια του κινητήρα.

4.8 Αρχές Εκκίνησης του Κινητήρα.

Στο υποκεφάλαιο που ακολουθεί επιχειρείται η παράθεση ελέγχων που πραγματοποιούνται με σκοπό την εκκίνηση του κινητήρα.

Ø Έλεγχος καυσίμου

Υπάρχουν δύο στρόφιγγες απενεργοποίησης του καυσίμου από τις δεξαμενές στην γραμμή τροφοδοσίας του κινητήρα. Η πρώτη γνωστή και ως στρόφιγγα LP έχει ως στόχο την απομόνωση του κινητήρα σε περίπτωση φωτιάς. Η δεύτερη βρίσκεται στην γραμμή καυσίμου υψηλής πίεσης και η λειτουργίας της είναι να ανοίξει και να κλείσει την τροφοδοσία καυσίμου στη μονάδα ελέγχου καυσίμου.

Ø Έλεγχος ανάφλεξης

Αποτελείται από ανιχνευτή υψηλής ενέργειας ο οποίος τίθεται σε λειτουργία για μια περίοδο κατά την διάρκεια του κύκλου εκκίνησης. Για την εκκίνηση χρησιμοποιούνται υψηλά ενεργειακά συστήματα και χαμηλά ενεργειακά συστήματα χρησιμοποιούνται σε συνθήκες βροχής , πάγου και ολισθηρού διαδρόμου.

Ø Περιστροφή του κινητήρα

Σκοπός κατά την εκκίνηση είναι ο κινητήρας να είναι αυτοσυντηρούμενος. Δηλαδή μέσω των περιστροφών η θερμοκρασία καύσης να είναι επαρκής ώστε να περιστρέφεται ο κινητήρας χωρίς βοήθεια. Η πιο διαδεδομένη μέθοδος προς αυτή την κατεύθυνση είναι η χρήση εξωτερικής πηγής ή εσωτερικής μονάδας ισχύος για την εκκίνηση του πρώτου κινητήρα.

Ø Μοχλοί γκαζιού

Ο μοχλός γκαζιού ενσωματώνει τους διακόπτες HP για τον καλύτερο έλεγχο της παροχής καυσίμου στον κινητήρα από τον πιλότο. Μικρό - διακόπτες είναι τοποθετημένοι στο κιβώτιο γκαζιού .



Εικόνα 56 Μοχλός γκαζιού (<https://goo.gl/images/iD2ipt>)

Συμπερασματικά μια τυπική ακολουθία εκκίνησης του αεροσκάφους είναι η εξής:

- 1) Άνοιγμα στροφίγγων LP (χαμηλής πίεσης),
- 2) Περιστροφή κινητήρα,
- 3) Έλεγχος ενέργειας ανάφλεξης,
- 4) Ρύθμιση μοχλών γκαζιού- άνοιγμα HP στροφίγγων (υψηλής πίεσης),
- 5) Απενεργοποίηση ανάφλεξης, αν οι κινητήρες είναι «αυτοσυντηρούμενοι»,
- 6) Απενεργοποίηση περιστροφής πηγής ενέργειας.

Μαζί με προειδοποιητικά σήματα και ενδείξεις όπως «έναρξη σε εξέλιξη» και «επιστροφή κινητήρα», εμφανίζονται στον πιλότο σημαντικές πληροφορίες αναφορικά με τις πιέσεις του κινητήρα, τις θερμοκρασίες κ.α. Στα πιο εξελιγμένα αεροσκάφη μετά την αυτόματη ολοκλήρωση του κύκλου των λειτουργιών εκκίνησης, το μόνο που απομένει στον πιλότο είναι να επιλέξει τη λειτουργία «START» .

4.9 Λάδια Κινητήρα.

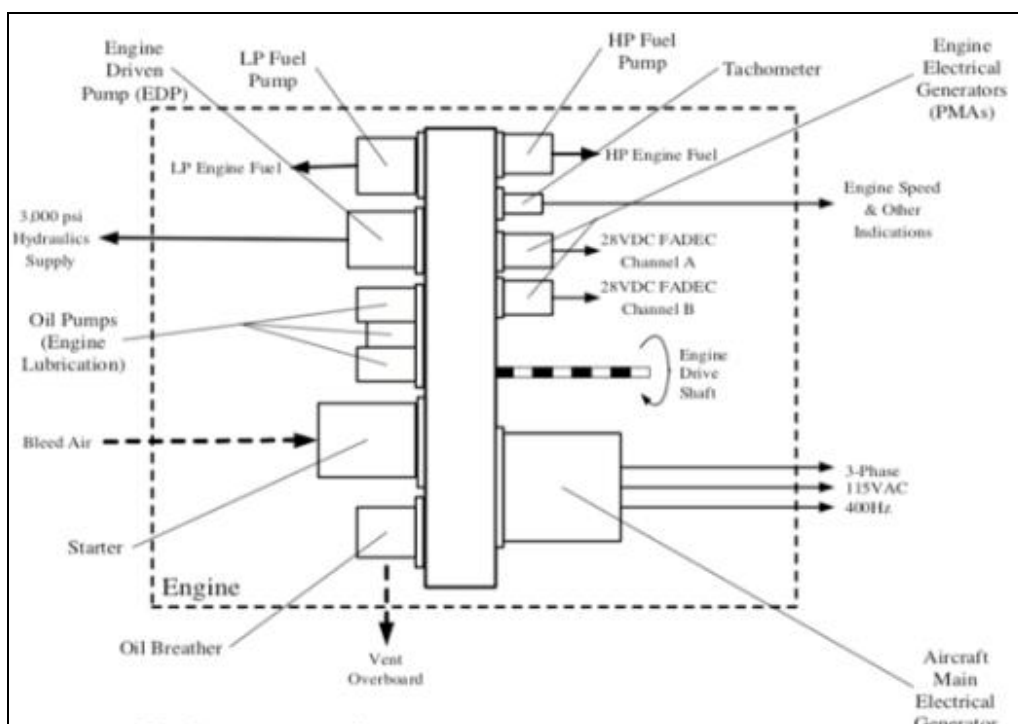
Το σύστημα λαδιού του κινητήρα είναι υψίστης σημασίας για την λίπανση και την λειτουργία του κινητήρα. Στο σύστημα συμπεριλαμβάνονται ειδικοί αισθητήρες οι οποίοι προειδοποιούν για την χαμηλή πίεση και την υψηλή θερμοκρασία του λαδιού. Οποιαδήποτε ασυνήθιστη πυκνότητα σωματιδίων υποδηλώνει δυσλειτουργία και μπορεί να ενεργοποιήσει τον έλεγχο.

Ο κινητήρας είναι το κύριο σύστημα πηγής ενέργειας στο αεροσκάφος. Ενδεικτικές λειτουργίες :

- Ø Ηλεκτρική ισχύς από γεννήτριες
- Ø Υδραυλική ισχύς από υδραυλικές αντλίες
- Ø Σύστημα κλιματισμού καμπίνας και εξοπλισμού από τον εξαερισμό του κινητήρα



- Ø Πνευματική ισχύς
- Ø Σύστημα απομάκρυνσης πάγου αέρα
- Ø Αντλίες καυσίμου LP και HP (χαμηλής και υψηλής πίεσης)
- Ø Αντλίες καθαρισμού λαδιού
- Ø Oil breather (ξεκούραση λαδιού)
- Ø Παροχή τριφασικού ηλεκτρικού ρεύματος 114V AC
- Ø Στροφόμετρο κινητήρα και άλλες ενδείξεις κινητήρα
- Ø Εισαγωγή αέρα από κατάλληλη πηγή αέρα για την εκκίνηση του κινητήρα

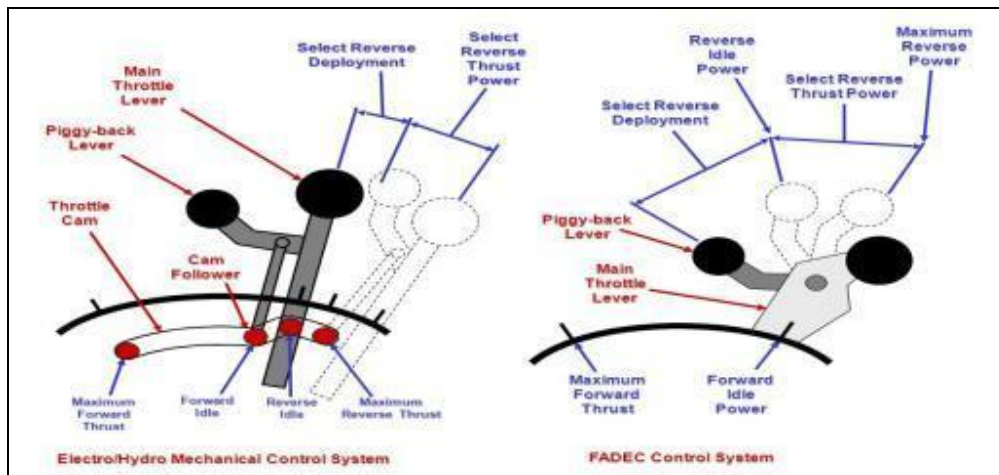


Εικόνα 57 Εκτόνωση κινητήρα (<https://goo.gl/images/Sx2SMp>)

4.10 Συστήματα Επιβράδυνσης.

Τα συστήματα επιβράδυνσης του αεροσκάφους είναι τα ακόλουθα:

- Ø **Αντίστροφη Ώση:** Η αντίστροφη ώση χρησιμοποιείται για την αντιστροφή της ώθησης που παρέχουν οι κινητήρες ώστε να ενισχύσουν τα φρένα και να μειώσουν την απόσταση προσγείωσης. Η αντίστροφη ώση παρέχεται από το πλήρωμα μέσω ενός μηχανισμού στους μοχλούς γκαζιού. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται το απαιτούμενο φρενάρισμα.



Εικόνα 58 Αντίστροφη ώση (<https://goo.gl/images/8pKiLd>)

- Ø **Έλικα μεταβλητού βήματος:** Η έλικα μεταβλητού ή ελεγχόμενου βήματος (CPP) είναι ένας έλικας με λεπίδες και έχουν την δυνατότητα να δημιουργούν αντίστροφη ώθηση για φρενάρισμα χωρίς να αλλάζει η κατεύθυνση περιστροφής του άξονα.



Εικόνα 59 Έλικα μεταβλητού βήματος [5]

- Ø **Φρένα τροχών:** Είναι το βασικό σύστημα πέδησης και το βασικό σύστημα απόδοσης της κινητικής ενέργειας ενώ τέλος αποτελεί το μοναδικό σύστημα επιβράδυνσης μέχρι την ακινητοποίηση του αεροσκάφους. Ο πιλότος έχει δύο πεντάλ για τα φρένα αριστερά και δεξιά αντίστοιχα. Πατώντας ταυτόχρονα, ασκείται σταθερή πίεση και το αεροσκάφος φρενάρει χωρίς να εκτρέπεται.



Εικόνα 60 Φρένα τροχών (<https://goo.gl/images/t7Ug74>)

- ∅ **Αερόφρενα:** Αποτελούν το δεύτερο σημαντικότερο σύστημα πέδησης και αξίζει να σημειωθεί πως η προσγείωση χωρίς χρήση αερόφρενου αυξάνει σημαντικά το απαιτούμενο μήκος προσγείωσης ακόμα και κατά 50%.



Εικόνα 61 Αερόφρενα (<https://goo.gl/images/oHPA3Z>)



- Ø **Αλεξίπτωτα Οπισθέλκουσας (Drag parachutes):** Είναι τοποθετημένα στο πίσω τμήμα της ατράκτου κυρίως σε μαχητικά αεροσκάφη και βοηθάει την διαδικασία της προσγείωσης σε ταχύτητες προσγείωσης μεγαλύτερες των 70 knots.
- Ø **Άγκιστρο ανάσχεσης:** Τοποθετείται στο κάτω οπίσθιο τμήμα της ατράκτου και σε περίπτωση ανάγκης γίνεται ρίψη του αγκίστρου στο συρματοσχοινο ανάσχεσης για να επιβραδυνθεί το αεροσκάφος. Χρησιμοποιείται κυρίως στα αεροπλανοφόρα.



Εικόνα 62 Αλεξίπτωτα οπισθέλκουσας/ drag parachutes (<https://goo.gl/images/hwp2wh>)



Εικόνα 63 Άγκιστρο ανάσχεσης (<https://goo.gl/images/ZFqV6m>)

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε





5. ΥΔΡΑΥΛΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

Τα υδραυλικά συστήματα χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία πολλών τμημάτων του αεροσκάφους κάποια από τα οποία παρατίθενται παρακάτω :

- Ø Φρένα τροχών – wheel brakes,
- Ø Πηδαλιούχηση διά ριναίου τροχού - nose wheel steering,
- Ø Ανάκληση – επέκταση συστήματος προσγείωσης - landing gear retraction/extension,
- Ø Πτερύγιο καμπυλότητα και πτερύγιο καμπυλότητας χείλους προσβολής - Flaps and slats,
- Ø Αντιστροφείς ώσης - thrust reversers,
- Ø Φθορείς άντωσης / αερόφρενα spoilers/speed brakes,
- Ø Επιφάνειες ελέγχου πτήσης - flight control surfaces,
- Ø Ράμπες φόρτωσης - cargo doors/loading ramps,
- Ø Αλεξήνεμο - windshield wipers,
- Ø Έλεγχος πρόνευσης έλικας - propeller pitch control.

Ένα υδραυλικό σύστημα αποτελείται από την γεννήτρια πίεσης , την υδραυλική αντλία και τον υδραυλικό κινητήρα. [28]

5.1 Υδραυλικό Υγρό.

Το υδραυλικό υγρό το οποίο διοχετεύει ενέργεια στα υδραυλικά συστήματα του αεροσκάφους χρειάζεται να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ώστε να εξασφαλιστεί η εύρυθμη και ασφαλής λειτουργία των υδραυλικών συστημάτων.

- Ø **Υψηλό σημείο ανάφλεξης:** συνήθως άνω των 475 βαθμών C για λόγους ασφαλείας σε περίπτωση υδραυλικής διαρροής,
- Ø **Επαρκές ιξώδες:** απαραίτητο εξαιτίας των κυμαινόμενων θερμοκρασιών ώστε να διασφαλίζεται στο υδραυλικό υγρό χαμηλό σημείο πήξης και υψηλό σημείο βρασμού,
- Ø **Ιδιότητες λιπαντικών:** το υγρό πρέπει να έχει αντιδιαβρωτικές ιδιότητες και να είναι θερμικά σταθερό.
- Ø **Θερμική ικανότητα – αγωγιμότητα:** εύκολη απορόφηση και απελευθέρωση θερμότητας.

5.2 Υδραυλικές Αντλίες.

Διάφοροι τύποι υδραυλικών αντλιών που κινούνται από μια ποικιλία πηγών ενέργειας μπορούν να βρεθούν στις αεροπορικές εφαρμογές. Οι αντλίες περιλαμβάνουν

- Ø **Αντλίες γραναζιών:** χρησιμοποιούν γρανάζια για την άντληση υγρών και ενδείκνυνται σε συστήματα χαμηλής πίεσης όμως δεν είναι αποτελεσματικές σε εφαρμογές υψηλής πίεσης,



- Ø **Σταθερές εμβολοφόρες αντλίες:** η πίεση του υγρού πραγματοποιείται μέσω κυλίνδρου στον οποίο κινείται ένα έμβολο,
- Ø **Αντλίες εμβολοφόρου μετατόπισης:** πρόκειται για τις πιο αποτελεσματικές αντλίες καθώς διατηρούν σταθερή την πίεση του συστήματος μέσω της δυνατότητας που έχουν να αυξομειώνουν την απόδοση του ρευστού ανάλογα με την ζήτηση.

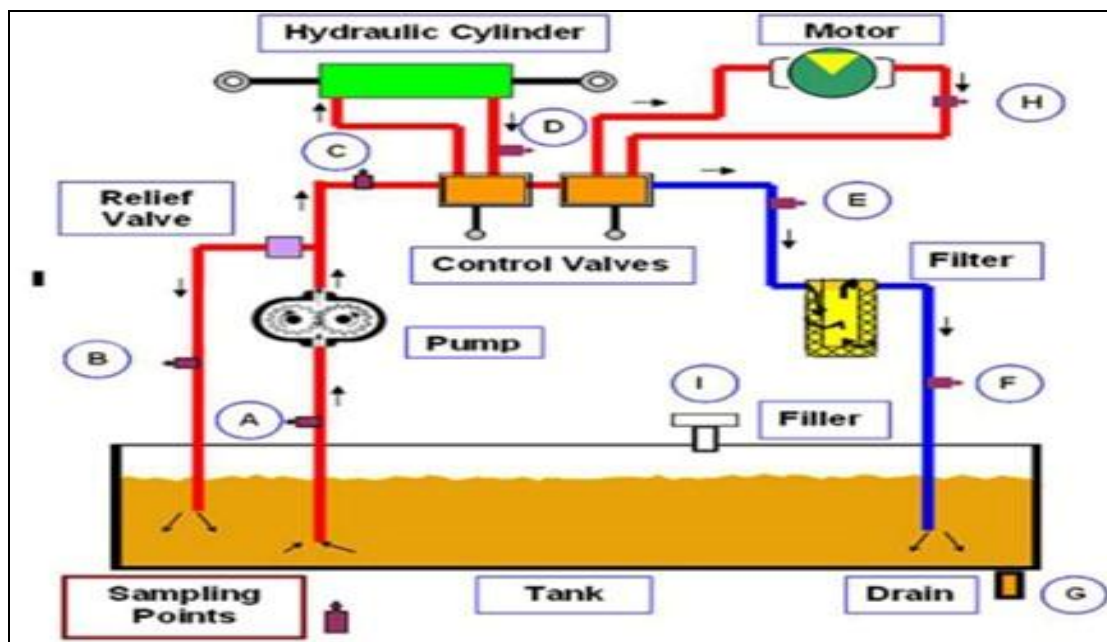


Εικόνα 64 Υδραυλική αντλία (<https://goo.gl/images/PGLXxU>)

5.3 Υδραυλικοί Κινητήρες και Κύλινδροι.

Οι υδραυλικοί κινητήρες και οι κύλινδροι χρησιμοποιούν υγρό υπό πίεση για μηχανική εργασία.

- Ø **Υδραυλικοί κινητήρες:** όπως τα πτερύγια ή τα ακτινικά έμβολα είναι μηχανικές συσκευές οι οποίες μετατρέπουν την υδραυλική πίεση και ροή σε ροπή, γωνιακή μετατόπιση ή περιστροφή,
- Ø **Υδραυλικοί κύλινδροι:** είναι μηχανικοί ενεργοποιητές οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την παροχή μια αναστρέψιμης δύναμης σε μία μόνο κατεύθυνση.

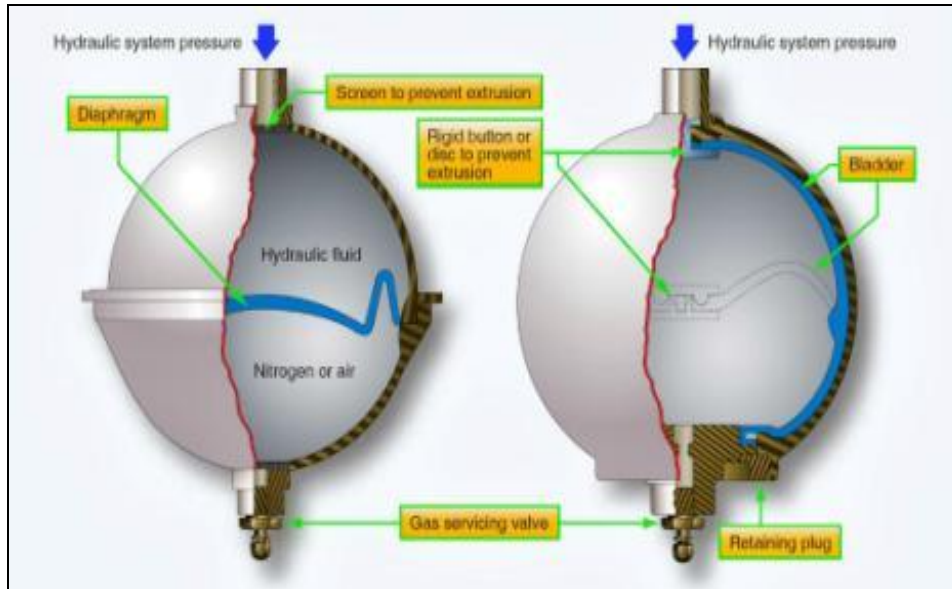


Εικόνα 65 Υδραυλικό σύστημα (<https://goo.gl/images/Hs3yzt>)

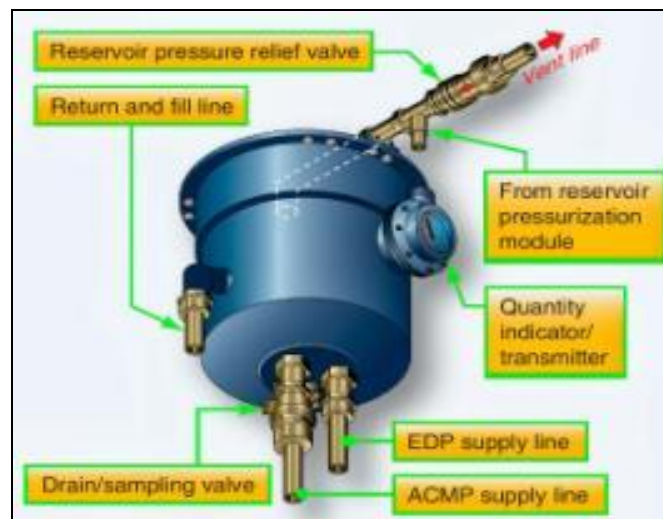
5.4 Υδραυλικά Εξαρτήματα.

Τα κύρια εξαρτήματα του υδραυλικού συστήματος περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

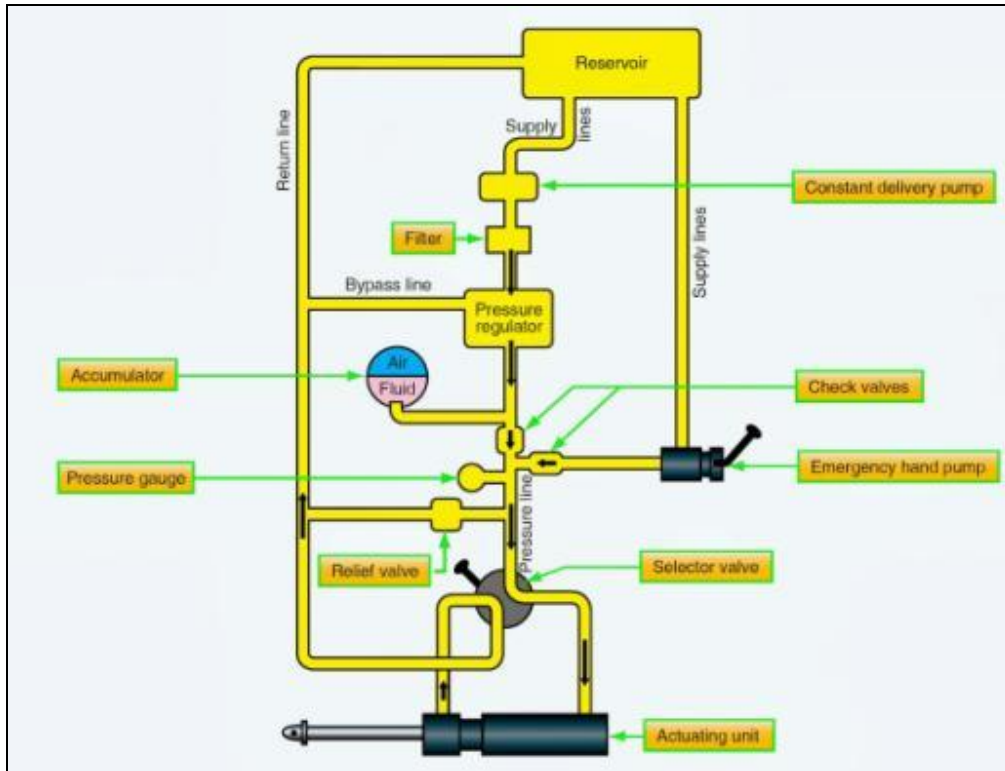
- ∅ **Δεξαμενή:** στις δεξαμενές υπάρχουν υδραυλικά ρευστά τα οποία χρησιμοποιούνται από τις υδραυλικές αντλίες,
- ∅ **Φίλτρα:** τα φίλτρα διασφαλίζουν την καθαριότητα του υδραυλικού υγρού και είναι τοποθετημένα στο υδραυλικό σύστημα,
- ∅ **Βαλβίδες διακοπής:** εμποδίζουν την ανάφλεξη του υδραυλικού υγρού σε περίπτωση πυρκαγιάς του κινητήρα,
- ∅ **Βαλβίδες ελέγχου:** πρόκειται για μια βαλβίδα ασφαλείας στους κινητήρες και τους ενεργοποιητές, ελέγχοντας την κατεύθυνση του υδραυλικού υγρού,
- ∅ **Βαλβίδα εκτόνωσης πίεσης:** πρόκειται για μια βαλβίδα η οποία αποσυμπιέζει υψηλές πιέσεις στο σύστημα,
- ∅ **Υδραυλικές ασφάλειες:** χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις πολύ χαμηλών πιέσεων,
- ∅ **Συσσωρευτές:** στους υδραυλικούς συσσωρευτές αποθηκεύεται πίεση και λειτουργεί ως σύστημα απορρόφησης κραδασμών.



Εικόνα 66 Σφαιρικός συσσωρευτής (<https://goo.gl/images/eEv4uL>)



Εικόνα 67 Εξαρτήματα πεπιεσμένου αέρα (<https://goo.gl/images/AJpxGx>)



Εικόνα 68 Η θέση ενός ρυθμιστή πίεσης σε ένα βασικό υδραυλικό σύστημα
(<https://goo.gl/images/rzsddV>)

5.5 Υδραυλικό Σύστημα Πλεονασμού.

Για το παραπάνω σύστημα χρησιμοποιούνται τα πολλαπλά υδραυλικά συστήματα και οι πολλαπλές πηγές πίεσης.

- Ø **Πολλαπλές πηγές πίεσης:** οι πολλαπλές πηγές πίεσης είναι ζωτικής σημασίας για τον έλεγχο του αεροσκάφους σε περίπτωση βλάβης ενός από τα υδραυλικά εξαρτήματα. Παρέχοντας εφεδρικές πηγές πίεσης ως κύριες ή δευτερεύοντες ώστε να μην χαθεί όλο το υδραυλικό σύστημα,
- Ø **Πολλαπλά υδραυλικά συστήματα:** τα πολλαπλά υδραυλικά συστήματα τα οποία τροφοδοτούν του πολλαπλούς ενεργοποιητές ενός αεροσκάφους χρησιμοποιούνται σε περίπτωση αστοχίας ενός υδραυλικού συστήματος και εξασφαλίζουν ότι δεν θα χαθεί ο έλεγχος του αεροσκάφους.



Τα βασικά προβλήματα πού μπορούν να προκύψουν στα υδραυλικά συστήματα είναι η υπερθέρμανση ,η απώλεια πίεσης συστήματος δηλαδή απώλεια υγρού ή βλάβη υδραυλικής αντλίας και η υδατική ρύπανση χημική ή σωματιδιακή λόγω παραγωγής υγρών, ακατάλληλης συντήρησης του υδραυλικού συστήματος ή λόγω βλάβης ενός εξαρτήματος.



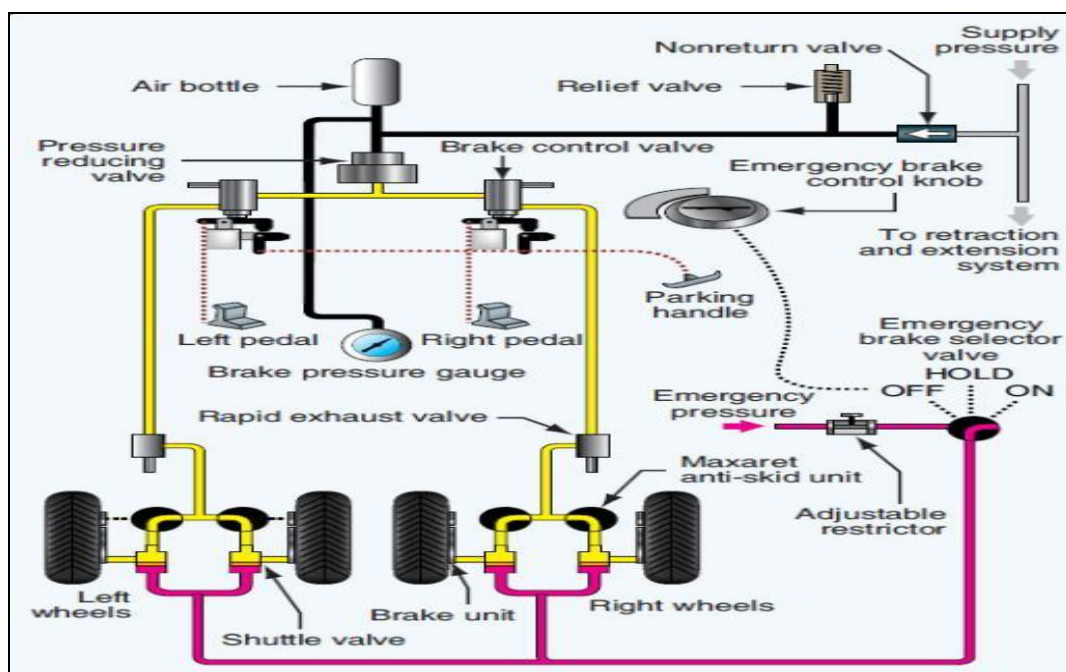
6. ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.

Τα πνευματικά συστήματα είναι συστήματα υψηλής πίεσης και η διαφορά τους με τα υδραυλικά, είναι η χρήση αέρα έναντι υγρού. Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούνται για:

- Ø Φρένα,
- Ø Πόρτες ανοίγματος και κλεισίματος,
- Ø Οδήγηση υδραυλικών αντλιών, εναλλάκτες, εκκινητήρες, αντλίες έγχυσης νερού κ.λπ.,
- Ø Λειτουργία συσκευών έκτακτης ανάγκης. [29]

6.1 Συστήματα Υψηλής Πίεσης.

Στα συστήματα υψηλής πίεσης, ο αέρας αποθηκεύεται συνήθως σε μεγάλες μεταλλικές φιάλες σε πιέσεις 1.000 - 3.000 psi .Οι φιάλες αυτές διαθέτουν δύο βαλβίδες, μία από τις οποίες είναι η βαλβίδα πλήρωσης και η άλλη η βαλβίδα ελέγχου. Για την προσθήκη αέρα στη φιάλη, συνδέεται ένας συμπιεστής εδάφους στη βαλβίδα πλήρωσης. Η βαλβίδα ελέγχου λειτουργεί ως βαλβίδα διακοπής, διατηρώντας τον αέρα παγιδευμένο μέσα στη φιάλη μέχρι το σύστημα να ξεκινήσει να λειτουργεί. Η τροφοδοσία εμφιαλωμένου αέρα χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του συστήματος προσγείωσης ή των φρένων όπως επίσης και σε περιπτώσεις που προστίθενται στο αεροσκάφος άλλες μονάδες συμπίεσης.



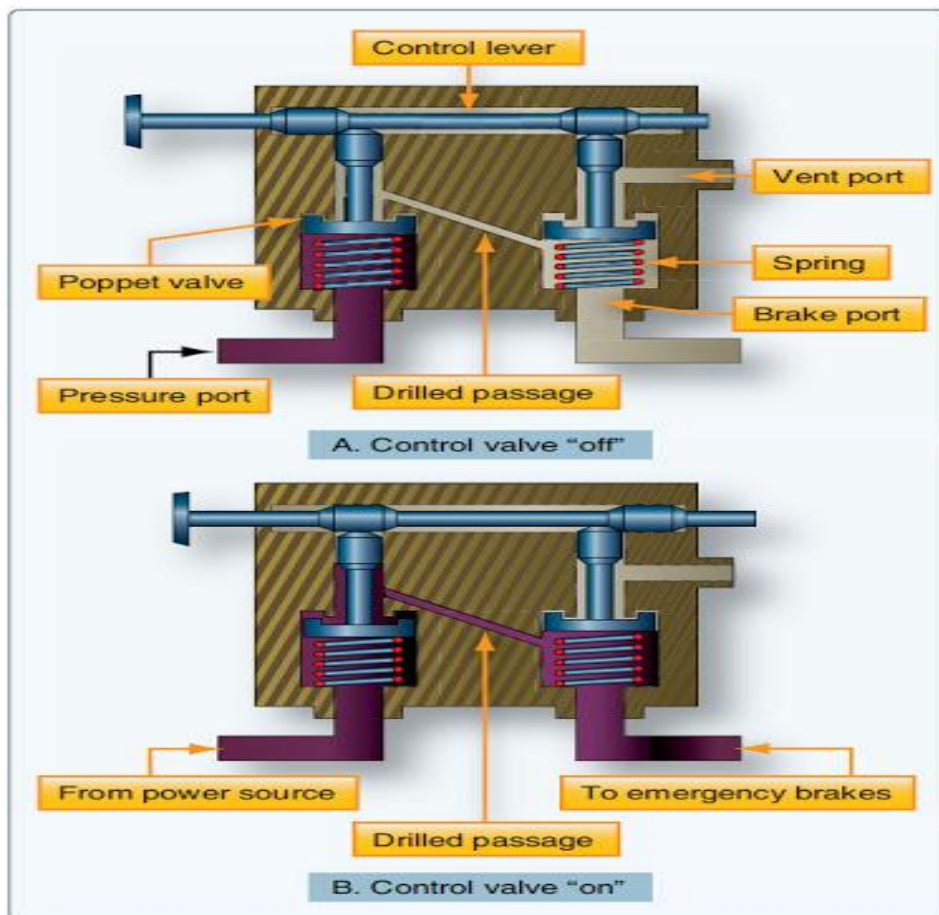
Εικόνα 69 Πνευματικό σύστημα πέδησης αεροσκάφους (<https://goo.gl/images/wmkNcX>)



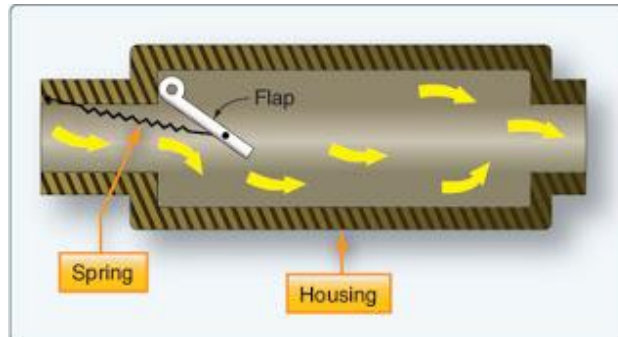
6.2 Εξαρτήματα Πνευματικού Συστήματος.

Ένα πνευματικό σύστημα αποτελείται από ποικίλα εξαρτήματα όπως :

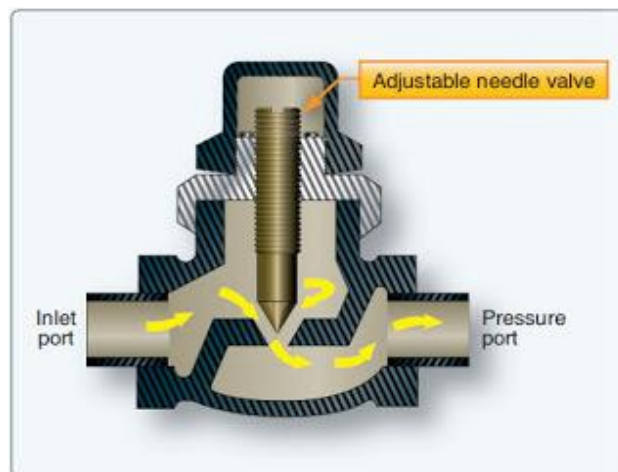
- ∅ **Αεροσυμπιεστές (air compressors):** οι αεροσυμπιεστές λειτουργούν είτε με δύο στάδια συμπίεσης είτε με τρία όταν απαιτείται επαναφόρτιση των φιαλών αέρα για την λειτουργία μιας μονάδας.
- ∅ **Βαλβίδες Ανακούφισης (relief valves):** χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό των πιέσεων προλαμβάνοντας τυχόν βλάβες.
- ∅ **Ρυθμιστικές βαλβίδες (control valves):** προορίζονται για τον έλεγχο των φρένων αέρος έκτακτης ανάγκης.
- ∅ **Βαλβίδες ελέγχου (check valves):** οι βαλβίδες ελέγχου λειτουργούν ως βαλβίδες ελέγχου ροής μιας κατεύθυνσης.
- ∅ **Περιοριστές (restrictors):** Οι περιοριστές είναι ένας τύπος βαλβίδας ελέγχου που χρησιμοποιείται σε πνευματικά συστήματα.



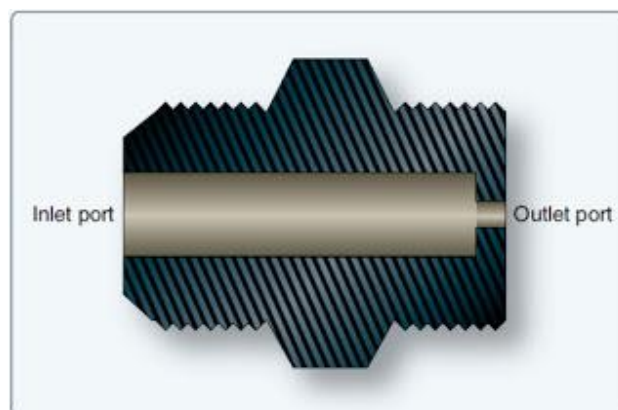
Εικόνα 70 Βαλβίδα ελέγχου πνευματικών (<https://goo.gl/images/PnOHNN>)



Εικόνα 71 Βαλβίδα αντεπιστροφής τύπου περυγίου
<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>



Εικόνα 72 Μεταβλητός πνευματικός περιοριστής (<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>)



Εικόνα 73 Μεταβλητός πνευματικός περιοριστής (<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>)



- Ø **Μεταβλητός περιοριστής (variable restrictor):** ο μεταβλητός περιοριστής ελέγχει τον ρυθμό ροής αέρα καθώς και την ταχύτητα.
- Ø **Φίλτρα (filters):** Τύποι φίλτρων όπως τα φίλτρα micron ή τα φίλτρα οθόνης προστατεύουν και καθαρίζουν τα πνευματικά σύστημα από τα υπολείμματα.
- Ø **Αποξηραντικό/Διαχωριστικό υγρασίας (desiccant/moisture separator):** ο διαχωριστής είναι τοποθετημένος πάντα κάτω από τον συμπιεστή και έχει ως στόχο να απομακρύνει την υγρασία που δημιουργείται από τον συμπιεστή.
- Ø **Χημικό ξηραντικό (chemical drier):** χρησιμοποιούνται για να απομακρύνουν την υγρασία που αναπτύσσεται σε διάφορα μέρη

6.3 Συστήματα Αντιγράφων Ασφαλείας Έκτακτης Ανάγκης.

Ένα αεροσκάφος χρησιμοποιεί διάφορα εξαρτήματα ώστε να έχει την δυνατότητα επέκτασης του συστήματος προσγείωσης ή ενεργοποίησης των φρένων, εάν για οποιονδήποτε λόγο το σύστημα πέδησης δεν λειτουργήσει. Παρακάτω περιγράφονται κάποια από αυτά τα εξαρτήματα.

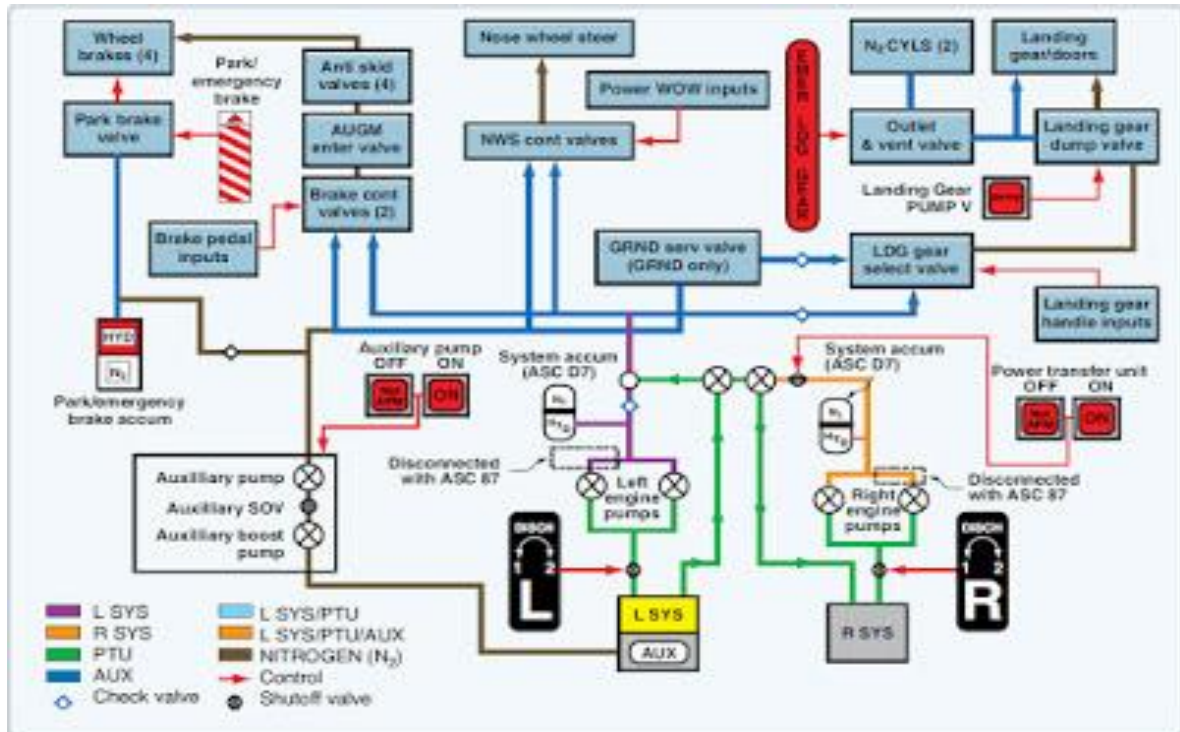
- Ø Φιάλες αζώτου : οι φιάλες αζώτου επεκτείνουν το σύστημα προσγείωσης κατά την απελευθέρωση του αζώτου από την βαλβίδα εξαγωγής. Η ανανέωση του αζώτου πραγματοποιείται από το πλήρωμα. Η πίεση εκτιμάται στα 3.100 psi στους 70 ° F / 21 ° C.
- Ø Μηχανισμός έκτακτης επέκτασης καλωδίου και λαβής : ο μηχανισμός αυτός απελευθερώνει συμπιεσμένο άζωτο στο σύστημα επέκτασης του συστήματος προσγείωσης και πραγματοποιεί την εξαέρωση του αζώτου που υπάρχει στο σύστημα. Η διαδικασία εξαερισμού διαρκεί περίπου 30 δευτερόλεπτα.
- Ø Βαλβίδα απόρριψης: σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης η βαλβίδα απόρριψης υποβοηθά στην απομόνωση του συστήματος μηχανισμού προσγείωσης από το υπόλοιπο υδραυλικό σύστημα. [29]

6.4 Συστήματα Μέσης Πίεσης.

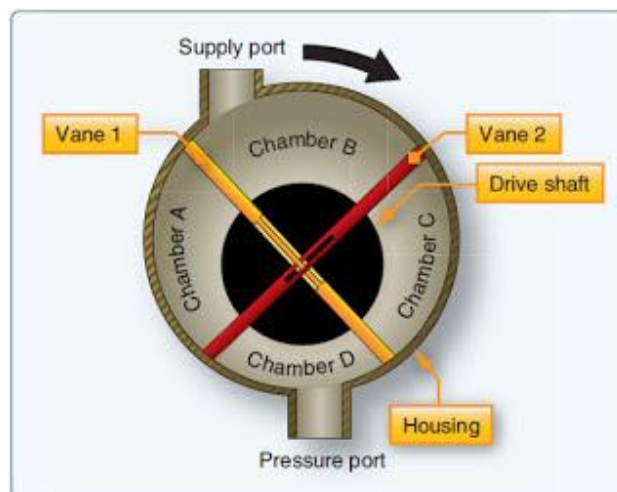
Ένα σύστημα μέσης πίεσης αντλεί αέρα από το τμήμα συμπιεστή ενός κινητήρα στροβίλου. Χρησιμοποιείται για την παροχή πνευματικής ενέργειας στην εκκίνηση του κινητήρα, για την παροχή υδραυλικής ενέργειας στα συστήματα του αεροσκάφους κ.α.

6.5 Συστήματα Χαμηλής Πίεσης.

Η αντλία χρησιμοποιείται για να μετατοπίζονται τα πτερύγια και τα μεγέθη των θαλάμων. Τα συστήματα χαμηλής πίεσης χρησιμοποιούνται για τα συστήματα αποπαγοποίησης.



Εικόνα 74 Πνευματικό σύστημα έκτακτης επέκτασης συστήματος προσγείωσης
<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>

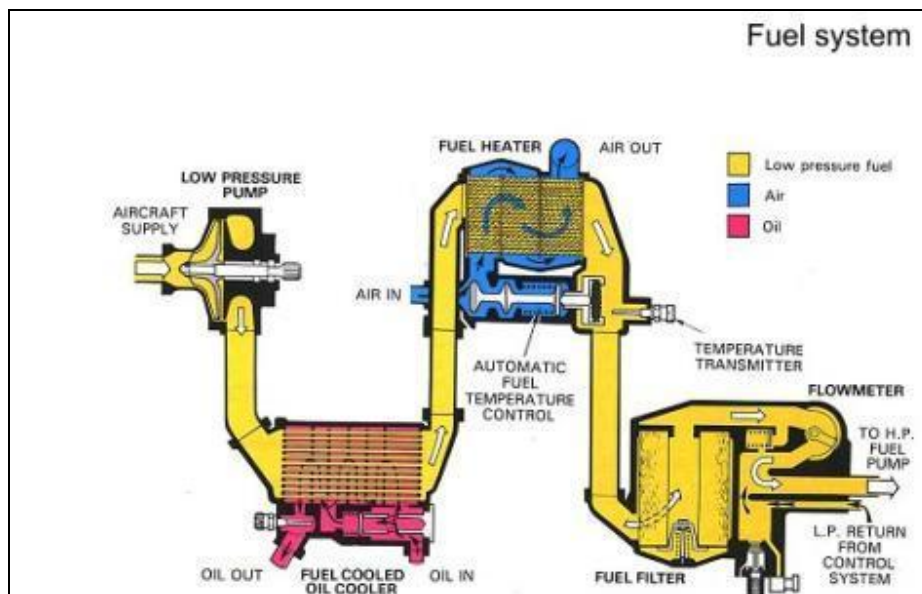


Εικόνα 75 Σχηματική περιγραφή της αντλίας τύπου περυγίου
<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>



6.6 Σύστημα Καυσίμου.

Σύστημα καυσίμου είναι το σύστημα που παρέχει καύσιμο στους κινητήρες. Διαχωρίζεται σε δύο βασικά είδη, το σύστημα καυσίμου με βαρύτητα και το σύστημα καυσίμου με πίεση. Ενδεικτικά στελέχη του συστήματος αποτελούν οι δεξαμενές, τα φίλτρα, οι βαλβίδες και οι αντλίες.



Εικόνα 76 Σύστημα καυσίμου (<http://okigihan.blogspot.com/2017/06/aircraft-pneumatic-systems.html>)

6.7 Σύστημα Προσγείωσης.

- Ø **Συνδυασμός τροχών:** πρόκειται για τρίκυκλο σύστημα προσγείωσης το οποίο αποτελείται από το ριναίο και τα κύρια σκέλη. Χαρακτηριστικά του προαναφερθέντος συστήματος αποτελούν η καλή ορατότητα του χειριστή κατά την προσγείωση, η σταθερότητα του κέντρου βάρους, η μεγαλύτερη πέδηση σε περιπτώσεις υψηλής ταχύτητας και η ελαχιστοποίηση κινδύνου ανατροπής του αεροσκάφους
- Ø **Αποσβεστήρες κρούσεων:** ο αποσβεστήρας κρούσης μέσω διακίνησης υγρού και πεπιεσμένου αέρα που βρίσκονται σε θαλάμους σχηματισμένους από δυο κυλίνδρους του συστήματος δημιουργούν ολίσθηση η οποία βοηθά το αεροσκάφος όταν οι τροχοί του ακουμπούν στο έδαφος.
- Ø **Μηχανισμός ανάσυρσης:** πρόκειται για ηλεκτρικό και υδραυλικό σύστημα προσγείωσης τα οποία χρησιμοποιούνται μόνα ή σε συνδυασμό. Σε περίπτωση βλάβης των παραπάνω υπάρχει ειδική χειρολαβή η οποία ελευθερώνει τα σκέλη με την βοήθεια του βάρους του.
- Ø **Σύστημα φρένων:** η πρώτη κατηγορία είναι τα ανεξάρτητα από το υδραυλικό σύστημα, η δεύτερη κατηγορία είναι τα συστήματα ελέγχου ισχύος τα οποία είναι συνδεδεμένα με το



κύριο υδραυλικό σύστημα και τα συστήματα ενισχυμένης ισχύος τα οποία είναι επίσης συνδεδεμένα με το κύριο υδραυλικό σύστημα αλλά η πίεση του κύριου συστήματος δεν επηρεάζει τα φρένα. [5]

6.8 Σύστημα Οξυγόνου – Κλιματισμού – Έκτακτης Ανάγκης.

Το σύστημα οξυγόνου είναι ζωτικής σημασίας για το αεροσκάφος, καθώς εξασφαλίζει την παροχή οξυγόνου στο πλήρωμα είτε μέσω συστήματος συνεχούς ροής, είτε μέσω συστήματος απαιτήσεως πίεσης. Ρυθμίζεται ανάλογα με τις ανάγκες του πληρώματος και το φορητό εξοπλισμό οξυγόνου. Το σύστημα κλιματισμού παρέχει στο αεροσκάφος εξαερισμό, θερμαινόμενο αέρα και ψυχρό αέρα. Ο ίδιος αέρας εξυπηρετεί και στη συμπίεση του αεροσκάφους.

Πρόκειται για το σύστημα πυρασφάλειας και το σύστημα προστασίας από τον πάγο τη και βροχή. Για την προστασία από πυρκαγιά χρησιμοποιούνται ανιχνευτές φλόγας, ανιχνευτές ανόδου θερμοκρασίας και ανεξάρτητο σύστημα κατασβέσεως κινητήρα. Για τον έλεγχο δημιουργίας πάγου πραγματοποιείται έγχυση οινοπνεύματος, χρήση θερμού αέρα και άλλες μέθοδοι. [5]

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε





7. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ FLY BY WIRE (FBW).

7.1. Ενεργοποίηση Ελέγχου Πτήσης.

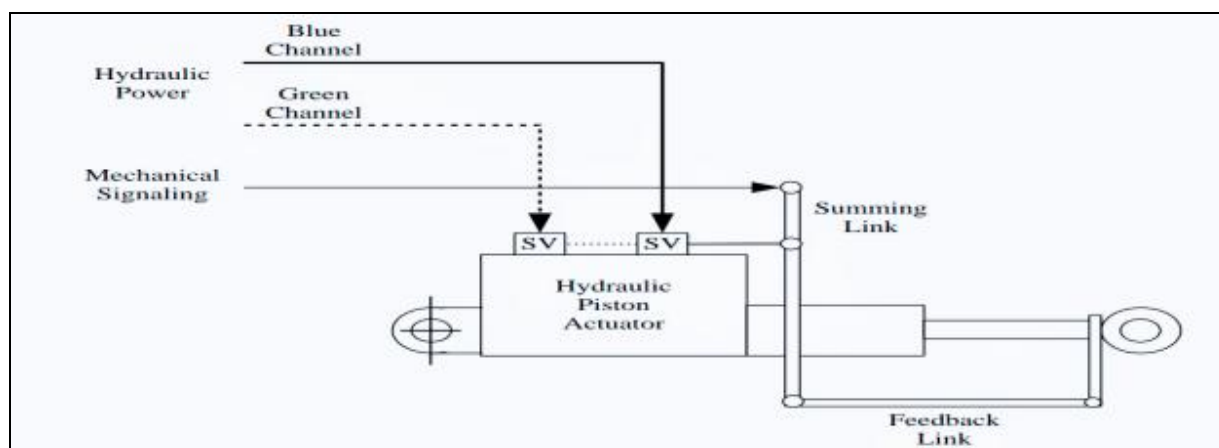
Κατά τον ερχομό των συστημάτων FBW (fly – by – wire , συρματόσχοινων) και των ενεργών μονάδων ελέγχου καθίσταται ένα από τα βασικότερα στοιχεία ελέγχου πτήσης, η ενεργοποίηση ισχύος. Πιο κάτω παρατίθενται οι κατηγορίες της ενεργοποίησης ισχύος με βάση την πολυπλοκότητά τους.

- Ø Απλή μηχανική ενεργοποίηση , ηλεκτρικά τροφοδοτούμενη.
- Ø Μηχανική ενεργοποίηση με απλά ηλεκτρο-μηχανικά χαρακτηριστικά.
- Ø Πολλαπλή ηλεκτρο-μηχανική ενεργοποίηση με εισόδους αναλογικού ελέγχου και ανατροφοδότηση. [5]

7.2. Συμβατικός Γραμμικός Ενεργοποιητής.

Όπως παρουσιάζεται και στο παρακάτω σχήμα αυτός ο τύπος ενεργοποιητή τροφοδοτείται από το υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους που σε αυτή την περίπτωση είναι ο μπλε δίαυλος (blue channel). Επιπροσθέτως σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται υδραυλική παροχή από κάποιο άλλο υδραυλικό σύστημα του αεροσκάφους. Τότε η τροφοδοσία κατευθύνεται μέσω σερβοβαλβίδας στο έμβολο κρούσης (piston ram).

Ως εκ τούτου ο μηχανικός ενεργοποιητής μπορεί να δεχθεί υδραυλική ισχύ από δυο πανομοιότυπα υδραυλικά συστήματα. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της δυνατότητας είναι ότι δεν παρουσιάζεται πρόβλημα ελέγχου ακόμα και αν υπάρξει απώλεια ρευστού ή βλάβη υδραυλικού συστήματος.

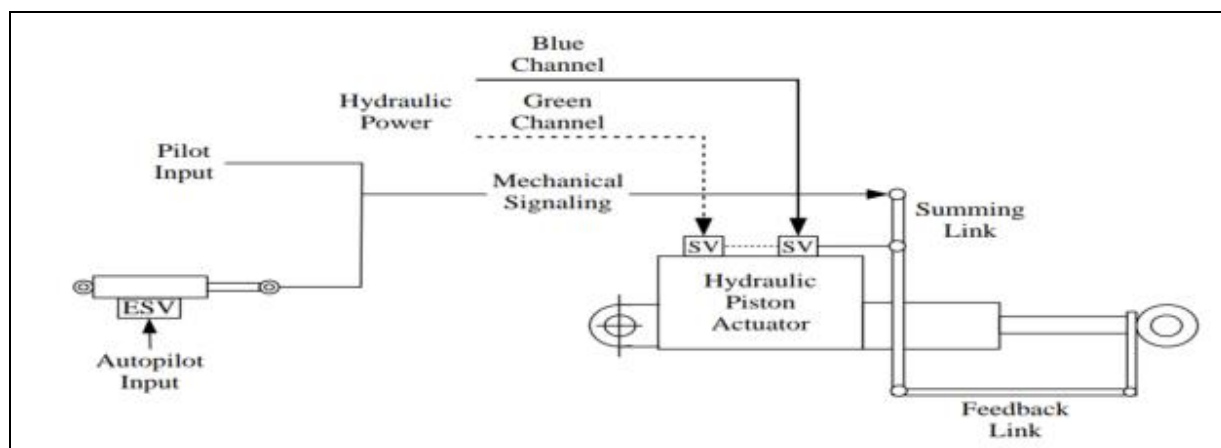


Εικόνα 77 Συμβατικός γραμμικός ενεργοποιητής (<https://goo.gl/images/ddrRNL>)



7.3. Μηχανική Λειτουργία με Ηλεκτρική Σηματοδότηση.

Μείζονος σημασίας σύστημα για όλα τα σύγχρονα αεροσκάφη αποτελεί η ηλεκτρική σήμανση και οι υδραυλικά τροφοδοτούμενοι (electro – hydraulic) ενεργοποιητές. Απαντώνται δύο βασικές κατηγορίες, των απλών σημάτων ζήτησης ή των εισόδων αυτόματης σταθεροποίησης.



Εικόνα 78 Συμβατικός γραμμικός ενεργοποιητής αυτόματου πιλότου [5].

Η είσοδος του αυτόματου πιλότου στα συστήματα του αεροσκάφους οδήγησε στην σύνδεση ηλεκτρικών και μηχανικών εισόδων στον ενεργοποιητή όπως βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα. Έτσι, όταν ο αυτόματος πιλότος είναι σε λειτουργία, τα ηλεκτρικά σήματα του αυτόματου πιλότου υπερισχύουν των οδηγιών του πιλότου. Μετά την απενεργοποίηση του αυτόματου πιλότου, ο πιλότος ανακτά τον έλεγχο. Ηλεκτρικά μέσα βοηθούν τον πιλότο να σηματοδοτήσει τα εισαγόμενα ηλεκτρικά σήματα ζήτησης. Για συγκεκριμένες επιφάνειες ελέγχου πτήσης οι οποίες δεν είναι ζωτικής σημασίας, η χρήση ηλεκτρικού συνδέσμου μπορεί να είναι ευκολότερη, φθηνότερη και ελαφρύτερη.

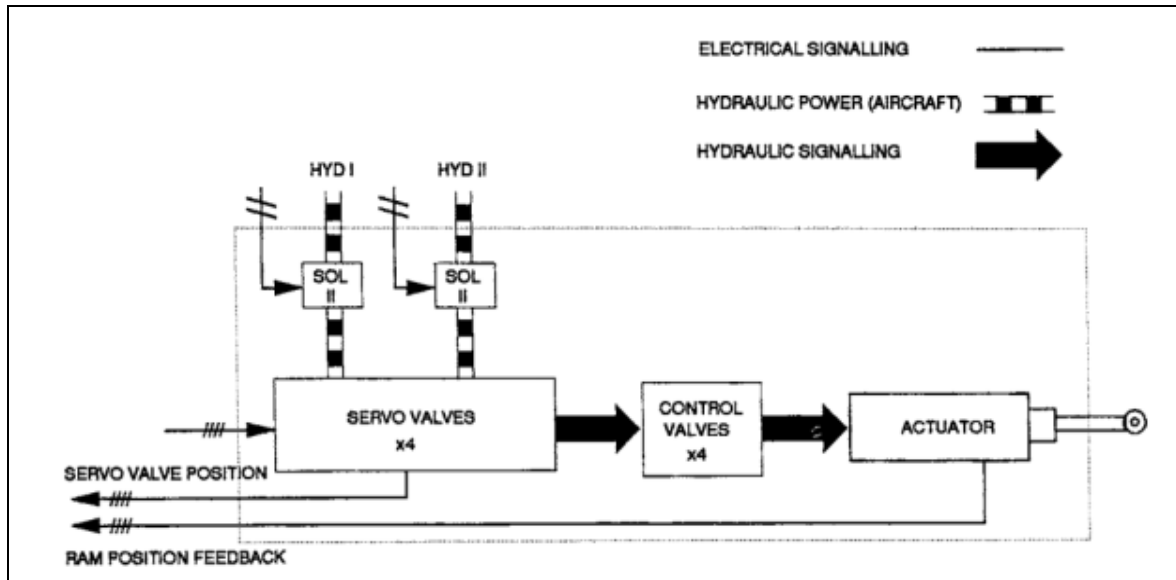
Σε κάθε πτέρυγα του αεροσκάφους τοποθετούνται δύο ενεργοποιητές οι οποίοι επαυξάνουν τον διατοιχισμό (roll). Τέλος αυτά τα συστήματα της απλής ηλεκτρικής σηματοδότησης χρησιμοποιούνται για την αυτόματη σταθεροποίηση. [5]

7.4. Πολλαπλή Ενεργοποίηση Ασφάλειας (REDUNDANCY).

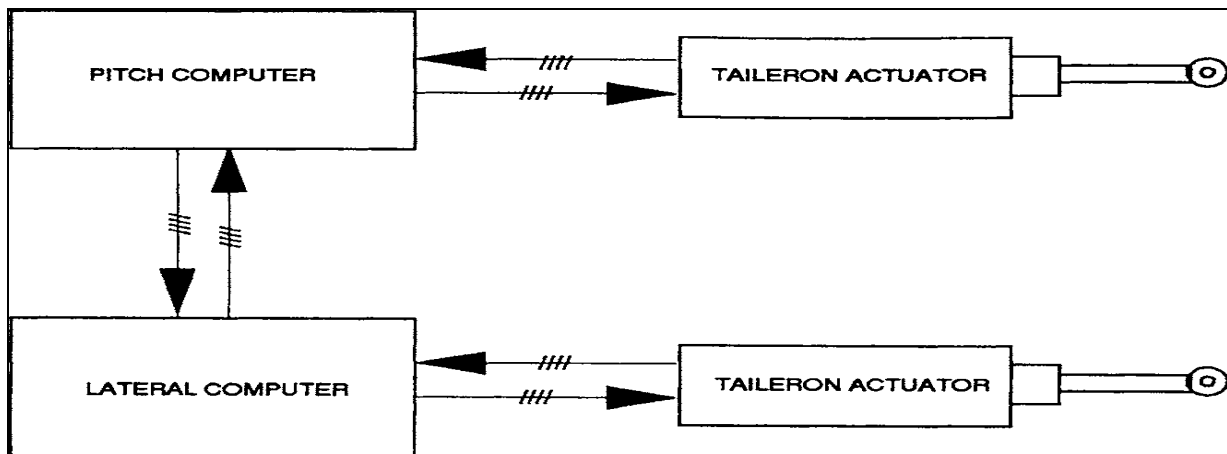
Τα πλεονεκτήματα των συστημάτων FBW είναι πολύ σημαντικά και για αυτόν το λόγο χρησιμοποιούνται ευρέως σε όλα τα σύγχρονα συστήματα ελέγχου πτήσης. Πλεονεκτήματα του FBW αποτελούν η μείωση του βάρους και η βελτίωση των επιδόσεων χειρισμού και του πληρώματος. Το Concorde υπήρξε το πρώτο αεροσκάφος που χρησιμοποίησε αυτό το σύστημα ελέγχου το οποίο δημιουργήθηκε από την GEC και SFENA. Παρακάτω επιχειρείται μια σύντομη



περιγραφή ζητημάτων που αφορούν την συγκεκριμένη ενεργοποίηση , όπως διαφάνεται στον κάτωθι πίνακα.



Εικόνα 79 Απλοποιημένο σχηματικό μπλοκ - διάγραμμα ενός πολλαπλού ενεργοποιητή μείωσης ηλεκτρικά σηματοδοτούμενου [5]

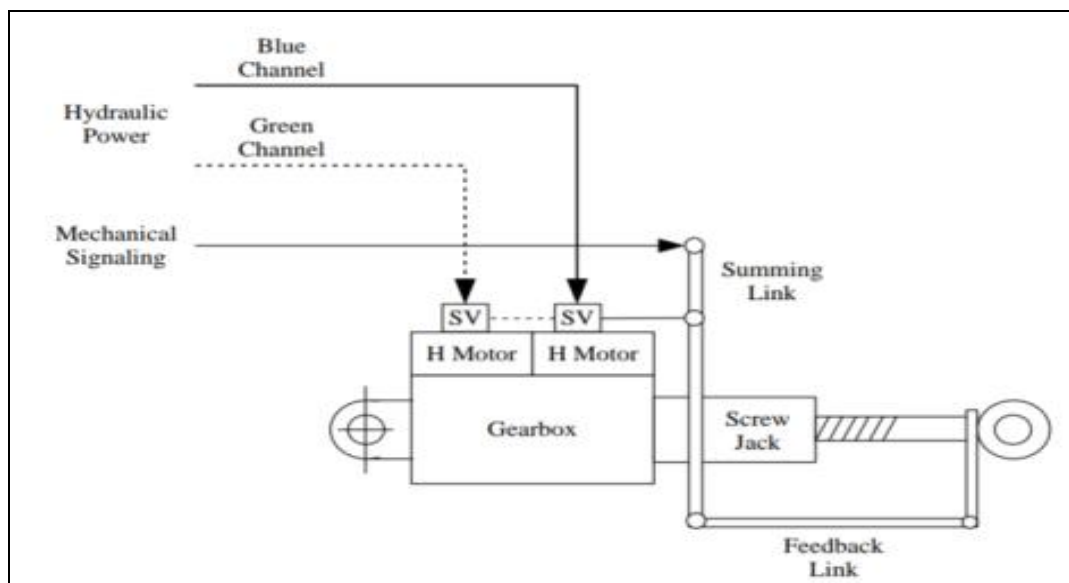


Εικόνα 80 Tornado Taileron/Rudder CSAS δια επαφή κίνησης [5]



7.5. Μηχανισμός Βιδωτού Ενεργοποιητή.

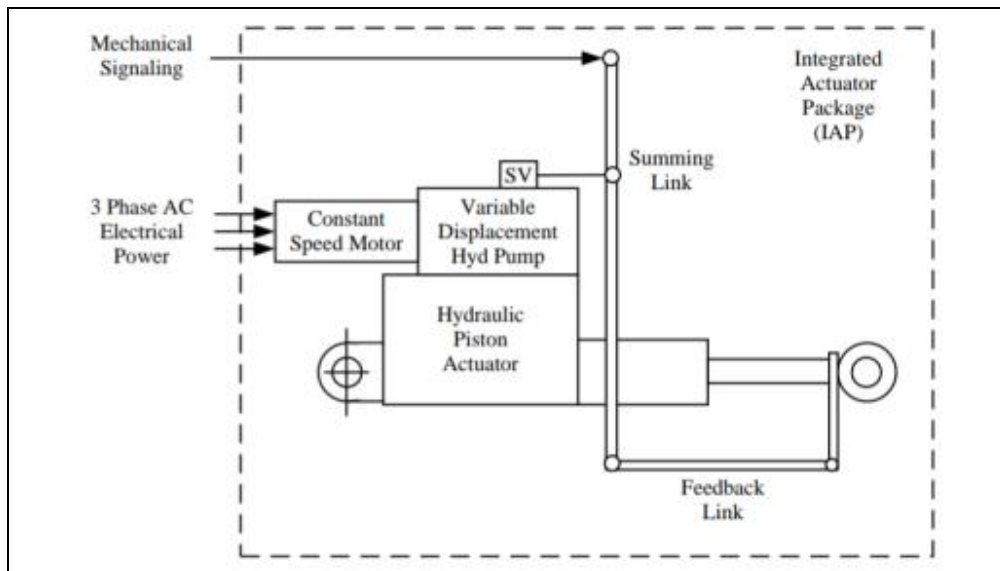
Μέχρι στιγμής παρουσιάστηκαν ενεργοποιητές οι οποίοι συνήθως χρησιμοποιούνται στις επιφάνειες ελέγχου του πηδαλίου κλίσης, πηδαλίου ανόδου – καθόδου και πηδαλίου διευσθύνσεως όπου απαιτείται γρήγορη ανταπόκριση αλλά τα αεροδυναμικά φορτία είναι ελαφρά. Στις περιπτώσεις όμως όπου η αντοχή μεγάλων αεροδυναμικών φορτίων είναι αξιοσημείωτη, χρησιμοποιείται ένας μηχανικός βιδωτός κοχλίας που παρέχει αργή ανταπόκριση αλλά μεγάλο μηχανικό πλεονέκτημα, το οποίο κινεί τον σταθεροποιητή THS (γνωστό ως κινούμενο ουραίου). Ο μηχανικός βιδωτός κοχλίας προκαλεί μετακίνηση των σερβοβαλβίδων. Οι σερβοβαλβίδες με τη σειρά τους μετριάζουν την πίεση προς τους κινητήρες και μετά από μια αλληλουχία λειτουργιών το αποτέλεσμα είναι ο ενεργοποιητής να φτάνει στην απαιτούμενη θέση.



Εικόνα 81 Μηχανισμός βιδωτού ενεργοποιητή [5]

7.6. Ενσωματωμένο Πακέτο Ενεργοποιητή ΙΑΡ.

Οι ηλεκτροδοτούμενες μονάδες ελέγχου ξεκίνησαν στο Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιώντας σε αεροσκάφη ενεργοποιητές τροφοδοτούμενους από ηλεκτρικό AC αντί του υδραυλικού συστήματος. Η ισχύς του ενεργοποιητή τροφοδοτείται από έναν τριφασικό ηλεκτρικό κινητήρα σταθερής ταχύτητας που κινεί μια υδραυλική αντλία. Αυτή η αντλία αποτελεί την πηγή της υδραυλικής πίεσης για τον ενεργοποιητή. Το μειονέκτημα του συγκεκριμένου ενεργοποιητή είναι η απώλεια ενέργειας που υφίσταται λόγω της συνεχούς περιστροφής της αντλίας. Το μειονέκτημα αυτό όμως, περιορίζεται από σχέδια ενεργοποιητή όπως ο ηλεκτρο-υδροστατικός ενεργοποιητής.



Εικόνα 82 Ενσωματωμένο πακέτο ενεργοποιητή IAP [5]

7.7. Προηγμένες Εφαρμογές Ενεργοποίησης.

Οι ενεργοποιητές που περιγράφηκαν παραπάνω αναφέρονται σε μηχανική ή ηλεκτρο - υδραυλική λειτουργία με σερβοβαλβίδα. Στην συνέχεια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και της τεχνογνωσίας ανακαλύφθηκαν νέοι τύποι ενεργοποίησης. Αυτοί είναι οι εξής:

- Ø Άμεση ενεργοποίηση κίνησης,
- Ø Ενεργοποίηση fly-by-wire (FBW),
- Ø Ηλεκτρο-υδροστατική ενεργοποίηση (EHA),
- Ø Ηλεκτρομηχανική ενεργοποίηση (EMA).

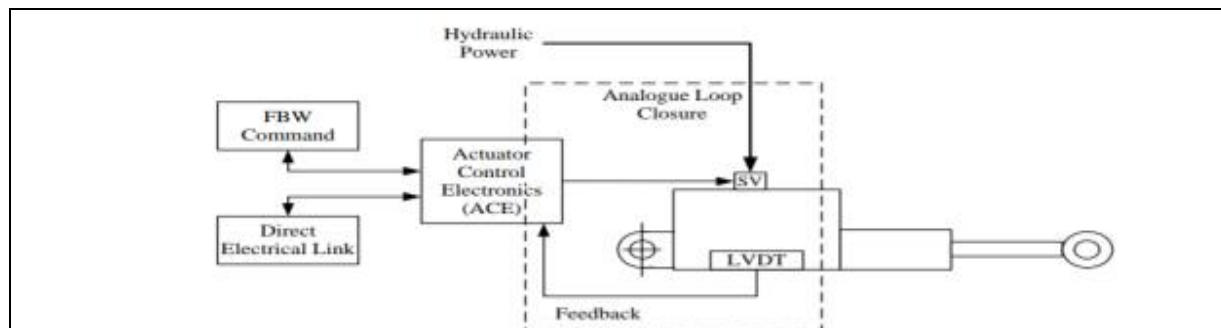
7.7.1 Ενεργοποίησης Άμεσης Κίνησης.

Η Fairey Hydraulics ασχολήθηκε με τον ενεργοποιητή άμεσης κίνησης όπου βασικό στοιχείο αποτελεί η χρήση ηλεκτρικής κίνησης με επαρκή ισχύ χωρίς να χρειάζεται η σερβοβαλβίδα/ πρώτης βαθμίδας βαλβίδα.

7.7.2 Ενεργοποίηση Fly by Wire (FBW).

Οι τρεις βασικοί τύποι λειτουργίας του FBW είναι :

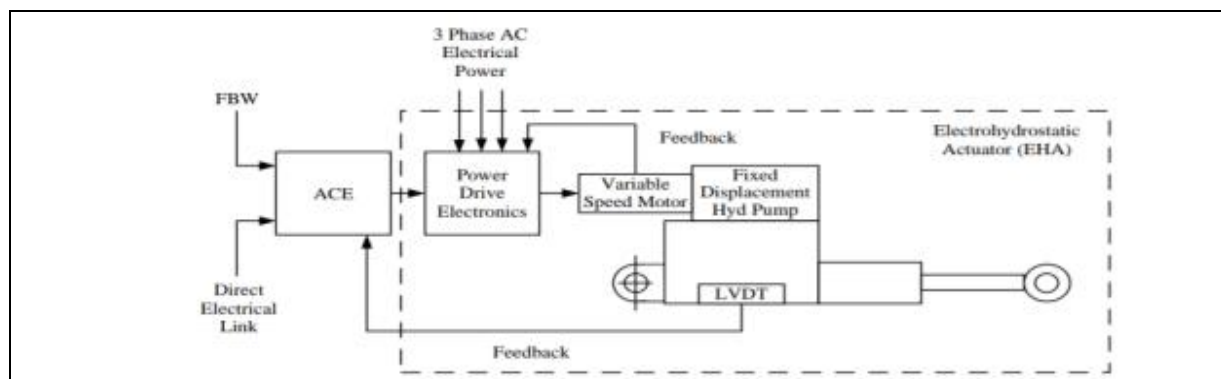
- Ø **Πλήρης λειτουργία FBW:** Περιλαμβάνει τους πλήρεις αλγόριθμους FBW και προστασία,
- Ø **Άμεση λειτουργία ηλεκτρικής ζεύξης:** Παρέχει στοιχειώδεις αλγόριθμους ή μόνο άμεση ηλεκτρική σηματοδότηση όταν η κύρια λειτουργία FBW δεν είναι διαθέσιμη,
- Ø **Μηχανική λειτουργία αναστροφής:** Χρησιμοποιεί ένα μικρό αριθμό επιφανειών ελέγχου πτήσης σε περίπτωση αποτυχίας των προαναφερθέντων λειτουργιών.



Εικόνα 83 Ενεργοποιητής FBW [5].

7.8. Ηλεκτρο – Υδροστατικός Ενεργοποιητής (EHA).

Ο ηλεκτρο - υδροστατικός ενεργοποιητής παρέχει μία μορφή ενεργοποίησης με μειωμένη κατανάλωση ενέργειας από τον κινητήρα και μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Ο ενεργοποιητής είναι αδρανής και ενεργοποιείται μόνο όταν απαιτηθεί. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας τριφασικής ισχύος εναλλασσόμενου ρεύματος, για την τροφοδοσία των ηλεκτρονικών και κυκλωμάτων ισχύος, τα οποία με την σειρά τους κινούν μια αντλία μεταβλητής ταχύτητας μαζί με μια σταθερή υδραυλική μετατόπιση.



Εικόνα 84 Ηλεκτρο - υδροστατικός ενεργοποιητής (EHA) [5]

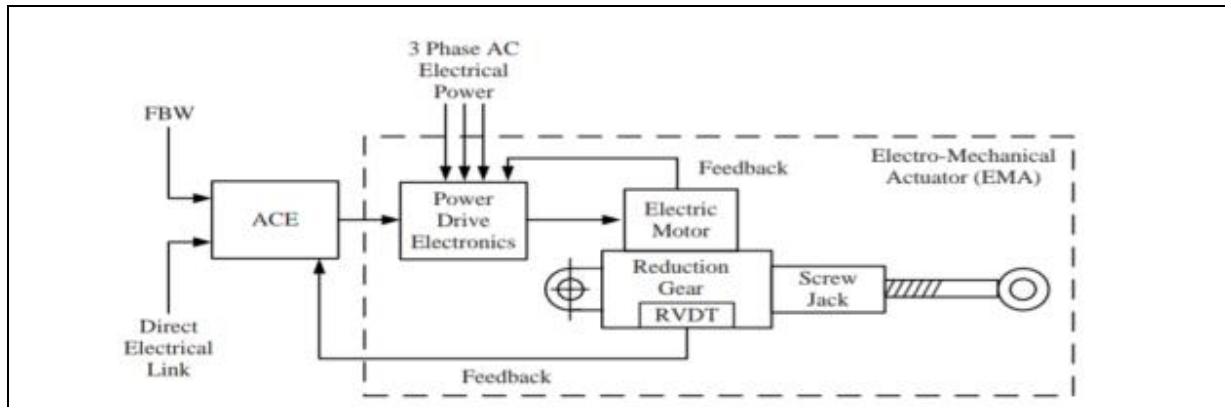
7.9. Ηλεκτρομηχανικός Ενεργοποιητής (EMA).

Πρόκειται για ηλεκτρικό κινητήρα και ένα συγκρότημα κιβωτίου ταχυτήτων που ενισχύει την κινητήρια δύναμη και μετακινεί το έμβολο. Οι τρεις βασικές εξελίξεις αναφορικά με το EMA είναι:

- ∅ Η χρήση σπάνιων μαγνητικών υλικών σε κινητήρες 270V DC,



- ∅ Συσκευές μετατροπής υψηλής ισχύος (solid state),
- ∅ Μικροεπεξεργαστές για μικρού βάρους ελέγχου του ενεργοποιητή του κινητήρα.



Εικόνα 85 Ηλεκτρομηχανικός ενεργοποιητής (EMA) [5]

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΕΡΟΣΚΑΦΩΝ

ΖΟΡΜΠΑ ΛΑΜΡΙΝΗ

ΤΣΑΓΚΑΛΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΑ

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

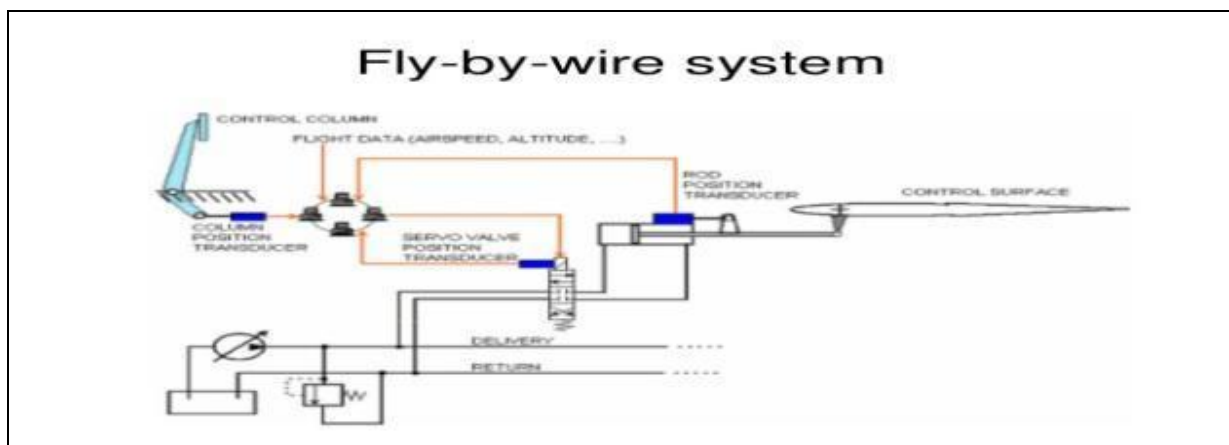




8. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΠΤΗΣΗΣ (FBW)

Το FBW είναι ένα αυτόματο σύστημα ελέγχου που αντικαθιστά τα χειροκίνητα χειριστήρια με ηλεκτρονικά. Όλες οι χειροκίνητες κινήσεις με το σύστημα FBW γίνονται με ηλεκτρονικά σήματα, τα οποία μεταδίδονται με συρματόσχοινα. Στη συνέχεια οι υπολογιστές ελέγχου πτήσης καθορίζουν τη μετακίνηση των ενεργοποιητών και την απαραίτητη ανταπόκριση. Αναγνωρίζοντας την είσοδο του πιλότου τα πιο εξελιγμένα συστήματα FBW μπορούν να εξασφαλίσουν την ασφαλή λειτουργία του αεροσκάφους και τη σταθεροποίησή του μέσω αυτόματων σημάτων από τα συστήματα υπολογιστών του αεροσκάφους.

Το FBW χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε πολιτικό αεροσκάφος, στην περίπτωση του Concorde, με αναλογική τεχνική στην δεκαετία του '70 όπου αναπτύχθηκε το συγκεκριμένο σύστημα. Κυρίως για την πολεμική αεροπορία η τεχνική ήταν αναλογική ενώ στην συνέχεια μετατράπηκε σε ψηφιακή. [20]



Εικόνα 86 Σύστημα FBW [5]



Εικόνα 87 Concorde [5]



8.1. Λειτουργία FBW.

Η εντολή του πιλότου μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα και αποστέλλεται σε ανεξάρτητους υπολογιστές οι οποίοι τη συσχετίζουν με τις συνθήκες πτήσης, τις θέσεις των σερβοβαλβίδων και των ενεργοποιητών. Τέλος αφού επεξεργαστεί η εντολή, προωθείται στον ενεργοποιητή προσαρμοσμένη στις πραγματικές συνθήκες πτήσης. Οι κύριες κατηγορίες δεδομένων πτήσης, όπως αναφέρεται πιο πάνω είναι οι εξής :

- Ø Πρόνευση, διατοιχισμός ,βαθμός εκτροπής, γραμμική επιτάχυνση
- Ø Γωνία προσβολής . side slip,
- Ø Ταχύτητα αέρα, αριθμός Mach , πίεση ,ύψος και ραδιούψόμετρο
- Ø Ποδωστήρια , μοχλός
- Ø Άλλες εντολές καμπίνας όπως συστήματα προσγείωσης

Η αλλαγή ελέγχου από τον πιλότο πραγματοποιείται μέσω σημάτων τα οποία αποστέλλονται μέσω πολλαπλών καναλιών στον υπολογιστή. Χρησιμοποιούνται είτε τρία κανάλια γνωστά ως Triplex είτε τέσσερα γνωστά ως Quadruplex. Στο σύστημα Triplex ο υπολογιστής προσθέτει τις τάσεις σήματος και τις διαιρεί με τον αριθμό των ληφθέντων σημάτων για να βρει τη μέση τάση. Στη συνέχεια προσθέτει ένα επιπλέον κανάλι. Περνώντας στα τέσσερα σήματα τα οποία αποστέλλονται στον ενεργοποιητή, δίνεται αναφορά για την θέση του ενεργοποιητή. Όταν ο ενεργοποιητής φτάσει στην επιθυμητή θέση τα εισερχόμενα και εξερχόμενα σήματα ακυρώνουν το ένα το άλλο και ο ενεργοποιητής σταματά να κινείται. Έτσι ολοκληρώνεται ένας κύκλος ανατροφοδότησης. Η σταθερότητα επιτυγχάνεται μέσω τριών γυροσκοπίων τα οποία διαθέτουν αισθητήρες και ανιχνεύουν αλλαγές στην πρόνευση, στο διατοιχισμό και στον άξονα εκτροπής. Αν υπάρχει οποιαδήποτε κίνηση, αποστέλλονται σήματα στον υπολογιστή ο οποίος κινεί ανάλογα τους σχετικούς ενεργοποιητές ελέγχου. Τα συστήματα των αεροσκαφών μπορούν να έχουν τέσσερα ανεξάρτητα κανάλια με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να χαθούν σήματα ακόμα και αν υπάρξει βλάβη σε κάποια από αυτά. Επιπλέον οι έλεγχοι με σύστημα FBW πριν την πτήση χρησιμοποιούν τον εξοπλισμό BITE (Built – in- test equipment). Πιθανή αποτυχία υποδεικνύεται στο πλήρωμα.

8.1.1. Πλεονεκτήματα FBW.

- Ø Προστασία περιβλήματος/φακέλου πτήσης
- Ø Αύξηση σταθερότητας και χειρισμού ακόμα και στην περίπτωση ασταθών οχημάτων
- Ø Καταστολέας τύρβης και άνεση του πληρώματος
- Ø Μείωση οπισθέλκουσας
- Ø Ευκολότερη σύνδεση με συστήματα αυτόματου χειρισμού και ελέγχου
- Ø Μείωση βάρους και συντήρηση
- Ø Μείωση δαπανών για την εκπαίδευση των πιλότων καθώς η διαχείριση γίνεται παρόμοια σε όλους τους τύπους των αεροσκαφών



8.1.2. Ψηφιακό FBW.

Πρόκειται για ψηφιακό σύστημα παρεμφερές με το αναλογικό με την διαφορά ότι η επεξεργασία σήματος γίνεται μέσω ψηφιακών υπολογιστών. Είναι ένα σύστημα με σημαντικά πλεονεκτήματα όπως η αύξηση της ευελιξίας του συστήματος ελέγχου, η αύξηση της ηλεκτρονικής σταθερότητας, η προστασία του φακέλου πτήσης καθώς και η ακριβής προσαρμογή των χαρακτηριστικών του αεροσκάφους. Επιπλέον ο πιλότος μπορεί να 'ξεκουραστεί' αφού ο χειρισμός καθίσταται πιο εύκολος. Τέλος, κάνει δυνατή την πτήση αεροσκαφών με μειωμένη σταθερότητα και παρέχει υψηλά επίπεδα ασφάλειας . [20]

8.1.3. Επιπλέον Σύστημα Ασφάλειας.

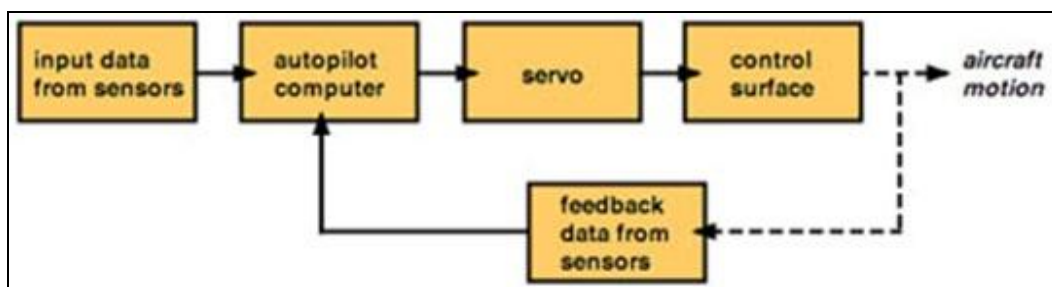
Σε περίπτωση που ένας υπολογιστής ελέγχου πτήσης υποστεί βλάβη ή ακόμα και δύο υπολογιστές αντιμετωπίζουν πρόβλημα τότε δίνεται η δυνατότητα επανεκκίνησης ή ενεργοποίησης των υπολογιστών και το αεροσκάφος συνεχίζει να πετά με ασφάλεια. Επιπλέον, λόγω του μειωμένου βάρους τους τα συστήματα FBW δεν προϋποθέτουν βαρείς μηχανισμούς ελέγχου πτήσης ή μηχανικούς. Τέλος διατίθενται συστήματα υπολογιστών που ελέγχουν τους μοχλούς ισχύος κινητήρων ανάδρασης (jet engine throttles), τους αεραγωγούς ,το σύστημα αποθήκευσης και διανομής καυσίμου βοηθώντας την οικονομία της κατανάλωσης καυσίμων.

8.2. Αυτόματα Συστήματα Ελέγχου Πτήσης (AFCS).

Τα μέρη των συστημάτων AFCS χωρίζονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες:

- αισθητήρες (είσοδοι πληροφοριών)
- ενισχυτής – υπολογιστής
- μονάδες εξόδου.

Οι αισθητήρες δεν κάνουν διορθώσεις αλλά εντοπίζουν τις αλλαγές και στην συνέχεια ο ενισχυτής και ο υπολογιστής καθορίζουν που πρέπει να υπάρξει παρέμβαση. Η μονάδα εξόδου η οποία αποτελείται από ηλεκτρο-υδραυλικούς ενισχυτές βοηθούν στο χειροκίνητο έλεγχο του αεροσκάφους. Η διαδικασία που ακολουθείται εν συντομία είναι η ακόλουθη: ο ενισχυτής – υπολογιστής ενισχύει το ασθενές σήμα και το αποστέλλει στην μονάδα εξόδου. Η μονάδα εξόδου αλλάζει την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική μετατόπιση . Τέλος μετακινούνται οι επιφάνειες ελέγχου αναλογικά με το σήμα του αισθητήρα. [5,14,31]



Εικόνα 88 Αυτόματο σύστημα ελέγχου (<https://goo.gl/images/cexvzM>)



8.2.1. Εξαρτήματα AFCS

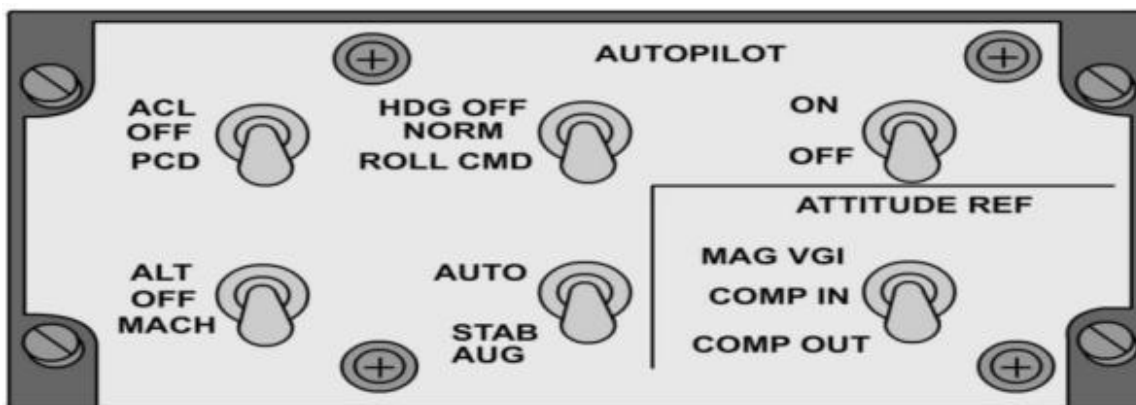
Στην συνέχεια παρατίθενται αναλυτικά τα εξαρτήματα του συστήματος AFCS:

Ø Ηλεκτρικά – ηλεκτρονικά εξαρτήματα

Τα ηλεκτρικά ηλεκτρονικά εξαρτήματα κάνουν τα AFCS να λειτουργούν. Επίσης χειρίζονται το πηδάλιο διεύθυνσεως, το πηδάλιο ανόδου –καθόδου και το πηδάλιο κλίσης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και ηλεκτρικά ελεγχόμενους υδραυλικούς SERVOS . Επίσης το AFCS βοηθά την αποφυγή ξαφνικών ή βίαιων ελιγμών , εντοπίζει αποκλίσεις από την κατάσταση πτήσης και έχει την δυνατότητα να αλλάζει τις συντεταγμένες του πηδαλίου διεύθυνσεως και να παρέχει απόσβεση εκτροπής (yaw damping).

Ø Πίνακας ελέγχου

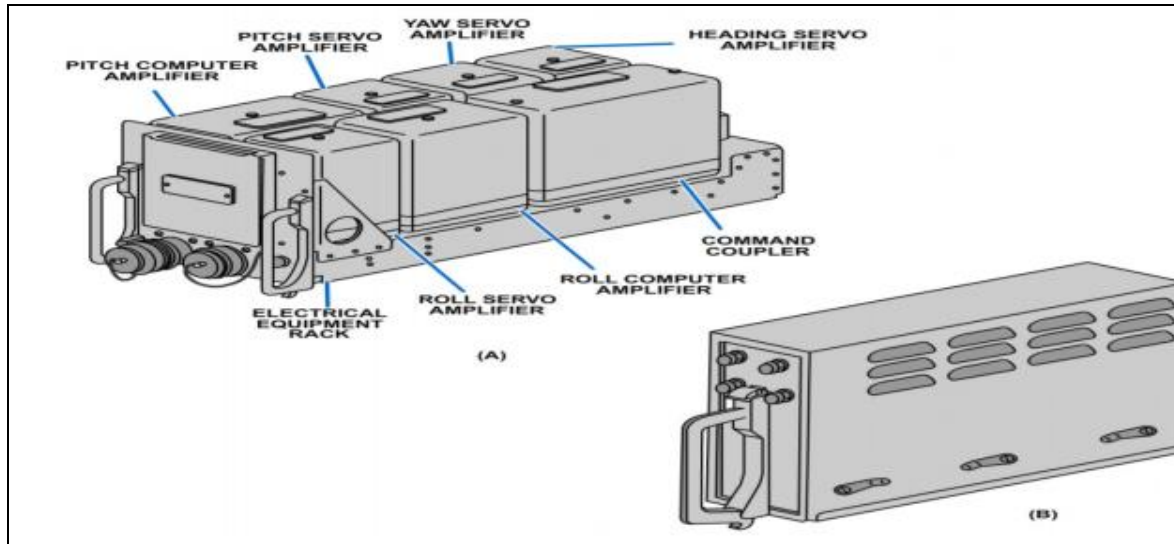
Ο πίνακας ελέγχου διαθέτει όλους τους διακόπτες και τα χειριστήρια που είναι απαραίτητα ώστε ο πιλότος να ελέγχει την λειτουργία του αυτόματου πιλότου. Προσαρμόζεται στις ανάγκες και στα χαρακτηριστικά του κάθε αεροσκάφους [14].



Εικόνα 89 Πίνακας ελέγχου (<https://goo.gl/images/S6aDqE>)

Ø AIR NAVIGATOR COMPUTER

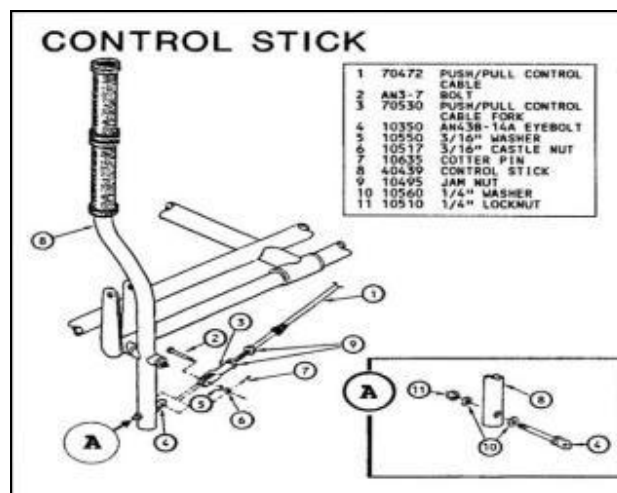
Ο ANC αποτελεί τον κορμό του συστήματος AFCS. Μετατρέπει τα σήματα των αισθητήρων σε σήματα εξόδου , τα οποία ελέγχουν το πηδάλιο κλίσεως , πηδάλιο διεύθυνσεως και το πηδάλιο ανόδου –καθόδου.



Εικόνα 90 Air-Navigator computer (A) , Κανάλι ενισχυτή/computer (B)
<https://goo.gl/images/2fg12o>

Ø Χειριστήρια ελέγχου (control stick)

Όταν το χειριστήριο ελέγχου κινείται δεξιά ή αριστερά η πίεση στην δύναμη διατοχισμού (περιστροφής) αποσυνδέει στιγμιαία το κανάλι διατοχισμού από το AFCS έτσι ο πιλότος ελέγχει το αεροσκάφος. Όταν ο πιλότος απελευθερώσει την πίεση του χειριστηρίου ο διακόπτης δύναμης ανοίγει επιτρέποντας στο AFCS την επανασύνδεση με το κανάλι διατοχισμού. Εάν η γωνία κλίσης είναι πάνω από συγκεκριμένο αριθμό μοιρών το AFCS την διατηρεί ενώ εάν η γωνία κλίσης είναι κάτω από συγκεκριμένο αριθμό μοιρών το αυτόματο σύστημα επιστρέφει αυτόματα στο επίπεδο των πτερύγων (wings).



Εικόνα 91 Χειριστήριο ελέγχου [5]



Ø Ηλεκτρικοί/ηλεκτρονικοί αισθητήρες

Οι ηλεκτρικοί/ηλεκτρονικοί αισθητήρες δίνουν είσοδο στο αυτόματα σύστημα ελέγχου πτήσης (AFCS),

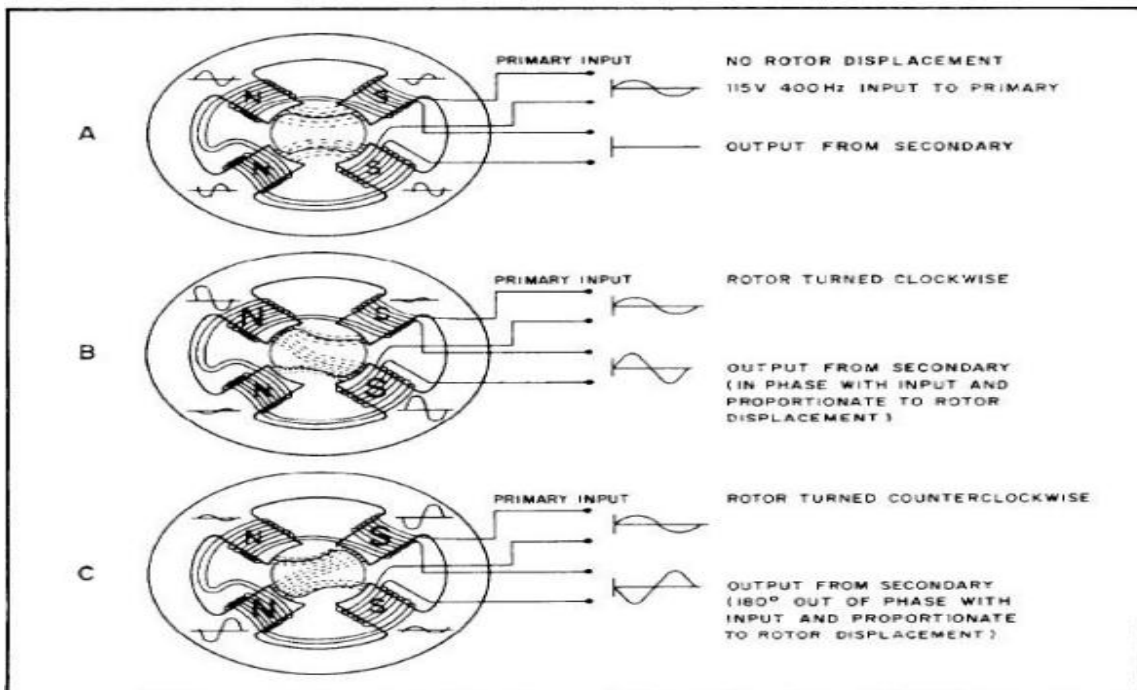
Ø Γεννήτρια σήματος pickoff (synchro)

Το pickoff είναι μια συσκευή ελέγχου ή καθοδήγησης του συστήματος των αεροσκαφών το οποίο εκπέμπει ή μεταβάλλει μια ηλεκτρική, οπτική ή πνευματική έξοδο σε ανταπόκριση μιας αλλαγής κίνησης. Αποτελείται από ένα ρότορα και ένα στάτη. Ο στάτης είναι δακτυλοειδής και έχει τέσσερις πόλους. Ο ρότορας χρησιμεύει για να αλλάξει την διαδρομή της μαγνητικής ροής μεταξύ των πόλων του στάτη. Η κατεύθυνση της κίνησης του ρότορα καθορίζει την πολικότητα της τάσης εξόδου.

Ø Γυροσκόπια

Û **Κατακόρυφο γυροσκόπιο:** Το κάθετο γυροσκόπιο, ηλεκτροκίνητο που δίνει στάσεις πρόνευσης (attitude) και κλίσης στο σύστημα AFCS. Ονομάζεται κατακόρυφο επειδή ο άξονας περιστροφής του είναι κάθετος προς τη Γη. Ανιχνεύει συνεχώς την συνεχή γωνία πρόνευσης μεταξύ γυροσκοπίου και αεροσκάφους και τη σχετική γωνία κλίσης (bank angle) μεταξύ του γυροσκοπίου και του αεροσκάφους.

Û **Γυροσκόπιο τριών αξόνων:** Ανιχνεύει τον βαθμό κίνησης αναφορικά με το κατακόρυφο πλευρικό και διαμήκη άξονα. Κάθε γυροσκόπιο μετρά γωνιακό βαθμό (angular rate).



Εικόνα 92 Γεννήτρια σήματος [5]

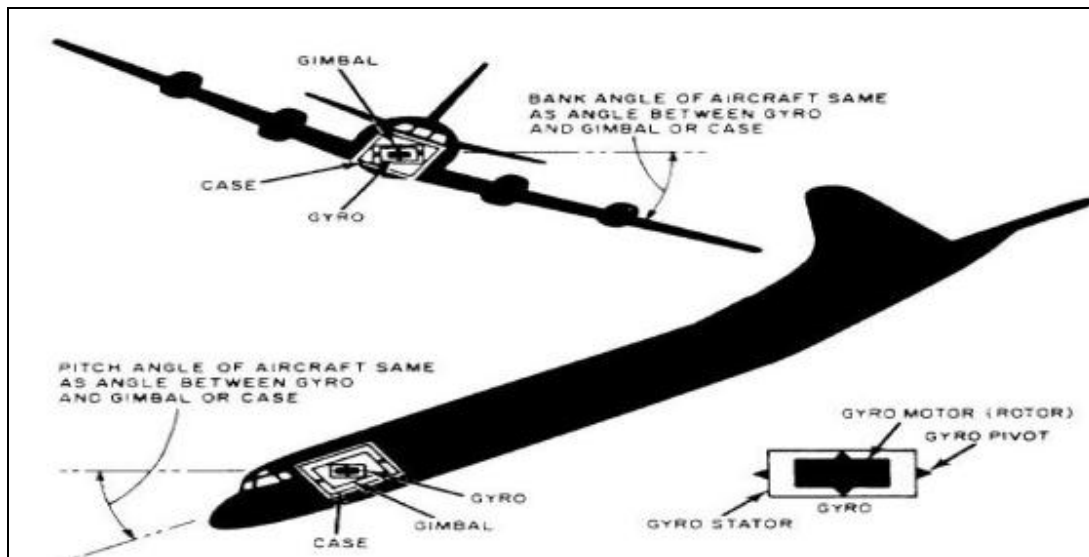


Ø Πληροφορίες πυξίδας

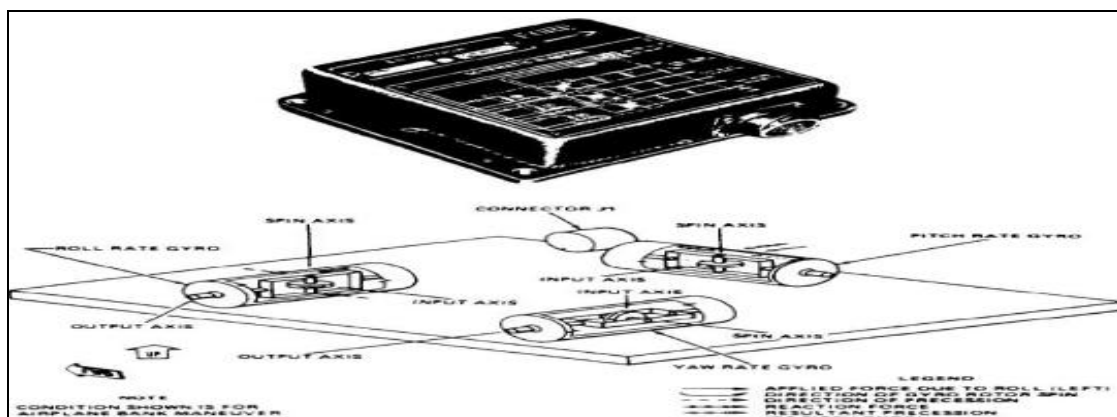
Οι πληροφορίες πυξίδας για το AFCS παρέχονται από το σύστημα πυξίδας ή από αδρανειακό σύστημα αεροναυτιλίας. Ένας άλλος τύπος πληροφοριών πυξίδας οδηγείται από τον δείκτη κατεύθυνσης (heading indicator) στο σταθμό πτήσης. Τέλος ένα βοήθημα ραδιοπλοήγησης παρέχει επίσης πληροφορίες σχετικά με το heading indicator στο AFCS.

Ø Πληροφορίες δεδομένων αέρα

Οι αλλαγές στην ταχύτητα ενός αεροσκάφους επηρεάζουν επίσης την αποτελεσματικότητα των επιφανειών ελέγχου. Οι αργές ταχύτητες απαιτούν μεγαλύτερη κίνηση των επιφανειών ελέγχου σε σχέση με τις υψηλές ταχύτητες. Το AFCS χρησιμοποιεί δεδομένα ύψους τα οποία προέρχονται από έναν αισθητήρα που παρέχει πληροφορίες δεδομένων αέρα ή από έναν υπολογιστή παροχής πληροφοριών δεδομένων αέρα ADC.



Εικόνα 93 Αναφορά κάθετης πρόνευσης και διατοιχισμού [5]

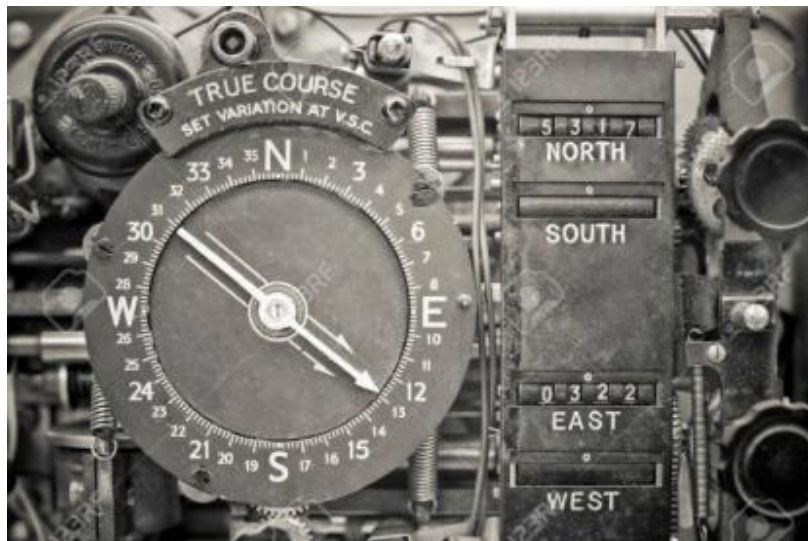


Εικόνα 94 Διάγραμμα προσανατολισμού γυροσκοπικού ρυθμού τριών αξόνων [5]



Ø Ταχύτητα αέρα

Τα σήματα επιφάνειας ελέγχου τροποποιούνται από μία μονάδα ελέγχου για να αντισταθμίσουν τις αλλαγές στην ταχύτητα αέρα χρησιμοποιώντας την διαφορά μεταξύ της πίεσης εμβόλου (ram pressure) και της στατικής πίεσης.



Εικόνα 95 Παλαιού τύπου πυξίδα [5]



Εικόνα 96 Ταχύμετρο [5]

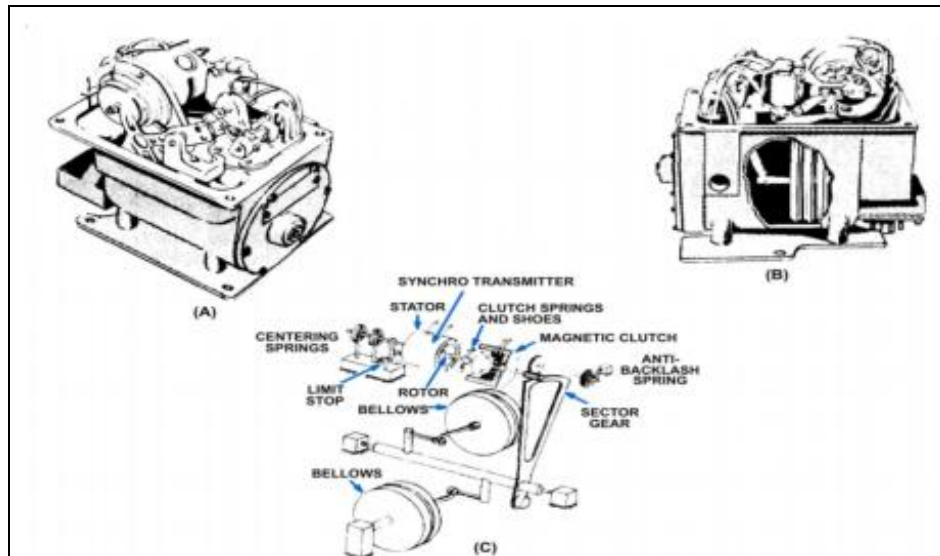
Ø Ύψος (altitude)

Το AFCS ελέγχει το ύψος του αεροσκάφους έτσι ώστε να παραμένει σταθερό. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός ανιχνευτή. Επιπλέον εκτός από τον ελεγκτή του ύψους το AFCS χρησιμοποιεί σήματα από το ADC .Στις εικόνες a, b και c απεικονίζονται ένας βαρομετρικός έλεγχος ύψους ,τα εσωτερικά τμήματά του και μια μηχανική απεικόνιση αντίστοιχα.

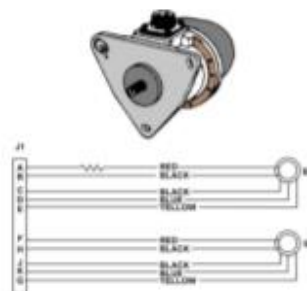
Ø Πληροφορίες θέσης πτερυγίου καμπυλότητας



Όταν τα πτερύγια καμπυλότητας χαμηλώνουν σε κάποια αεροσκάφη η αυξημένη άντωση έχει ως αποτέλεσμα το αεροσκάφος να αποκτήσει ύψος. Φαινόμενο γνωστό και ως ballooning. Η ύπαρξη αυτού του φαινομένου δεν είναι βοηθητική και επιδιώκεται η αντιστάθμισή του μέσω χρήσης της πίεσης του ρύγχους προς τα κάτω και μέσω της διαδικασίας που απεικονίζεται παρακάτω.



Εικόνα 97 Βαρομετρικός έλεγχος ύψους (A) – Εσωτερικά μέρη (B) Σχηματικά απλοποιημένα (C) (<https://goo.gl/images/vFNcqD>)



Εικόνα 98 Διακόπτης θέσης πτερυγίου καμπυλότητας (<https://goo.gl/images/BevSw4>)

Ø Πομπός επιταχυνσιόμετρου.

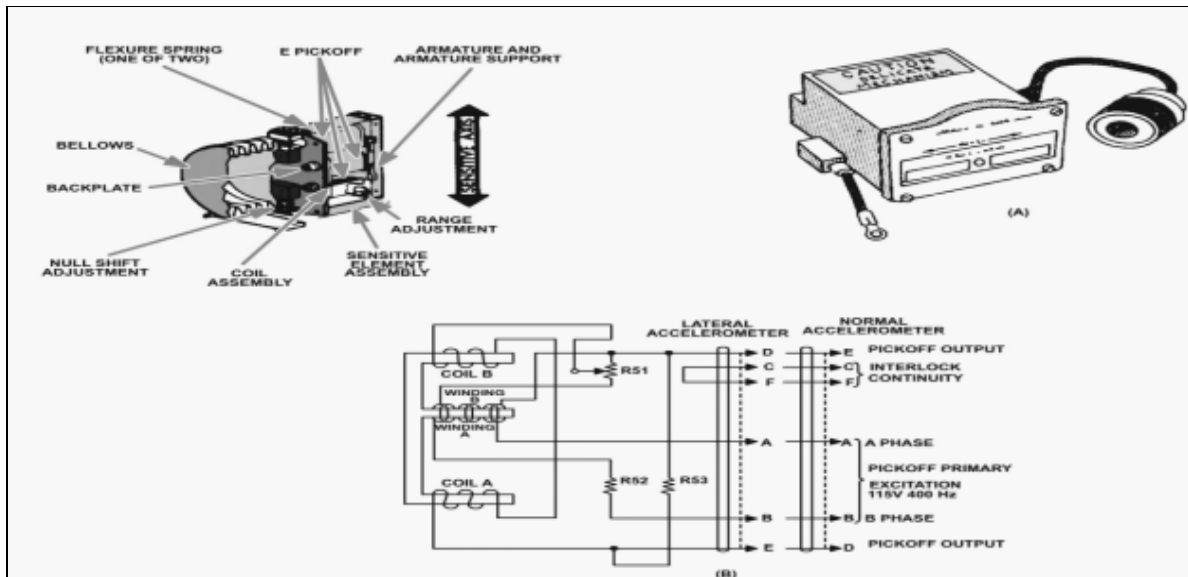
Όπως παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα το επιταχυνσιόμετρο παράγει ένα σήμα ανάλογο με τη κατακόρυφη επιτάχυνση. Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται για το ύψος ή την απόσβεση τήρησης κάθετου ίχνους αριθμού Mach και ως αναφορά εντολής.

Ø Συντεταγμένες εισόδου

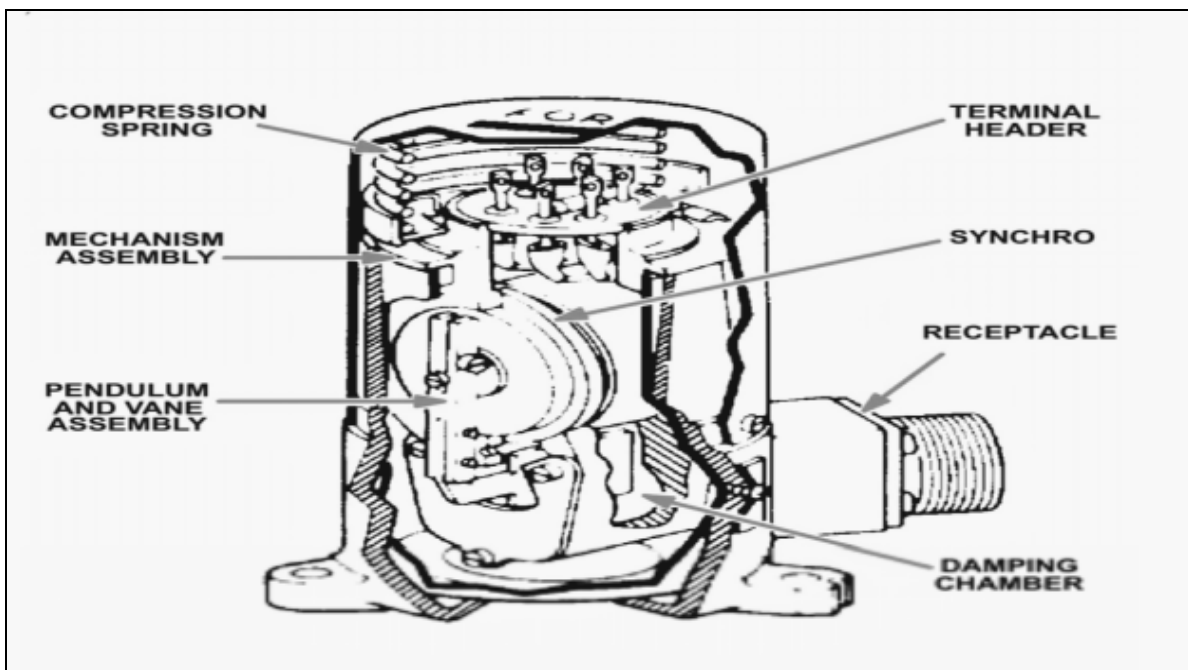
Σε μερικά αεροσκάφη ένας δυναμικός κατακόρυφος αισθητήρας ανιχνεύει εγκάρσια επιτάχυνση του αεροσκάφους (ολίσθηση, skip or slip) . Ο αισθητήρας παρέχει ένα σήμα ώστε να επανατοποθετήσει το πηδάλιο διεύθυνσης και να βοηθήσει στη διόρθωση της ολίσθησης. Ο



δυναμικός κατακόρυφος αισθητήρας όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα αποτελείται από ένα εκκρεμές ιζώδους απόσβεσης μηχανικά συνδεδεμένο με το στροφέιο (viscous damped pendulum).



Εικόνα 99 Πομπός επιταχυνσιόμετρου [5]



Εικόνα 100 Αναλυτική προβολή ενός κατακόρυφου αισθητήρα [5]

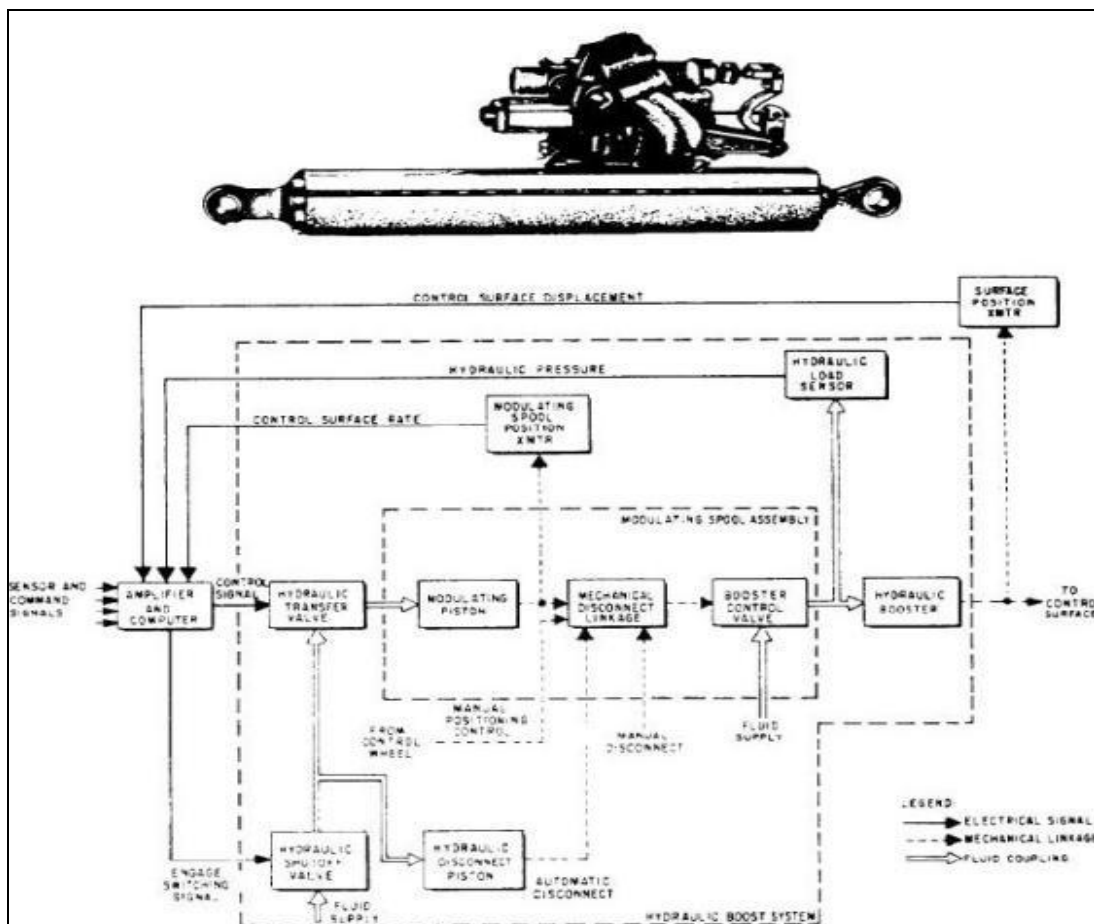


Ø Υδραυλικά εξαρτήματα

Τα υδραυλικά εξαρτήματα κινούν τις επιφάνειες ελέγχου πτήσης μέσω φυσικής ισχύος.

Ø Ηλεκτρο - υδραυλικοί κινητήρες

Έχουν τουλάχιστον δύο τρόπους λειτουργίας, την χειροκίνητη και τα ηλεκτρικά σήματα. Η χειροκίνητη λειτουργία βοηθά τον πιλότο στον χειρισμό των επιφανειών ελέγχου. Παρέχει υδραυλική βοήθεια στο πιλότο με τον ίδιο τρόπο που το τιμόνι βοηθά τον οδηγό ενός αυτοκινήτου. Στη λειτουργία μέσω ηλεκτρικών σημάτων από το AFCS γίνεται επιτρέπεται η μετακίνηση των επιφανειών λειτουργίας. Σε ορισμένα αεροσκάφη γίνεται ταυτόχρονη χρήση χειροκίνητων και AFCS μηχανισμών. Το σύστημα AFCS σταθεροποιεί το αεροσκάφος και ο πιλότος το ελέγχει χειροκίνητα. Επιπλέον υπάρχει δυνατότητα αποσύνδεσης των ενισχυτών (booster package). Έτσι σε περίπτωση βλάβης του υδραυλικού συστήματος ο πιλότος παίρνει τον έλεγχο των επιφανειών ελέγχου χειρωνακτικά.



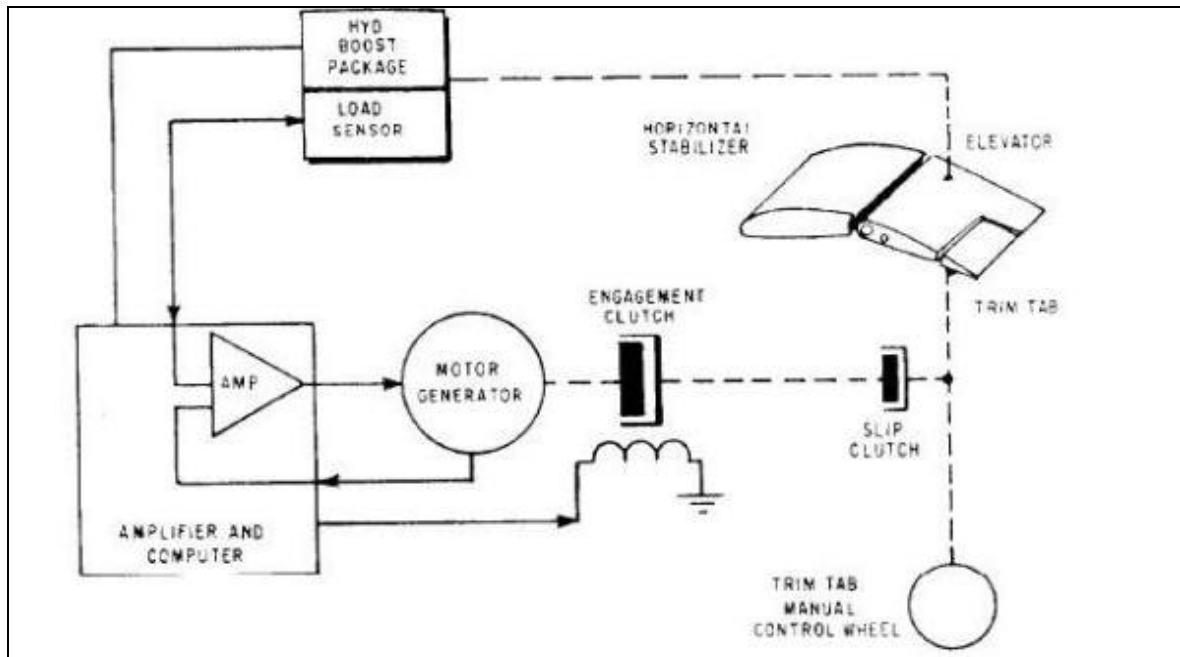
Εικόνα 101 Διάγραμμα υδραυλικού ενισχυτή [5]

Ø Αυτόματη αντιστάθμιση

Κάποια συστήματα AFCS περιλαμβάνουν αυτόματη αντιστάθμιση. Όταν στο κανάλι ελέγχου παρουσιαστεί ένα σήμα, υπάρχει αστάθεια στην πίεση ρευστού στην είσοδο του υδραυλικού



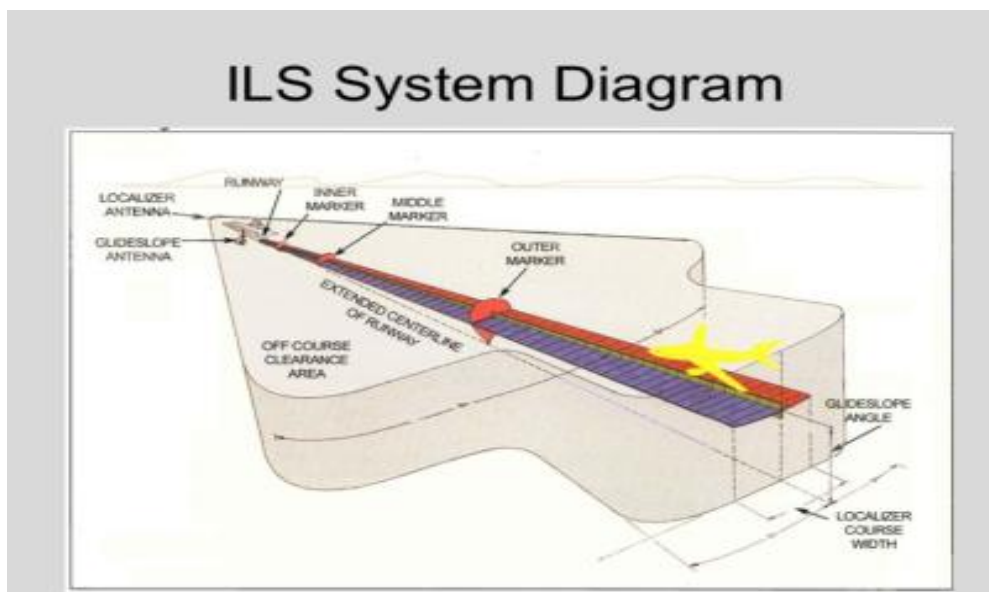
ενισχυτή. Ο ειδικός αισθητήρας ανιχνεύει την αστάθεια και οδηγεί το σήμα στο σερβοκινητήρα. Ο συμπλέκτης εμπλοκής ενεργοποιείται όταν το σύστημα AFCS τίθεται σε λειτουργία και το σύστημα αυτόματης αντιστάθμισης λειτουργεί κατάλληλα.



Εικόνα 102 Μπλοκ – διάγραμμα αυτόματης αντιστάθμισης πρόνευσης [5]

Ø Σύστημα ILS

Παρέχει πλευρική και κάθετη καθοδήγηση ακριβείας στο αεροσκάφος που προσεγγίζει το διάδρομο, χρησιμοποιώντας συνδυασμό ραδιοσημάτων και σε ορισμένες περιπτώσεις συστοιχίες φωτισμού υψηλής έντασης, ώστε να είναι ικανή η ασφαλής προσγείωση κατά τη διάρκεια μετεωρολογικών συνθηκών του οργάνου (IMC) με χαμηλή ή καθόλου ορατότητα από το πιλοτήριο. Ένα διάγραμμα διαδικασίας προσέγγισης δίνει της απαραίτητες πληροφορίες που απαιτούνται για μια προσγείωση με τη βοήθεια του συστήματος ILS, υπό τις οδηγίες των οργάνων πτήσης (IFR). Στο διάγραμμα αυτό περιλαμβάνονται οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται από τους συντελεστές του ILS και οι προδιαγεγραμμένες ελάχιστες απαιτήσεις ορατότητας. Τα βοηθήματα ραδιοπλοήγησης πρέπει να παρέχουν μια ορισμένη ακρίβεια σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα της CAST / ICAO.



Εικόνα 103 Διάγραμμα συστήματος ILS [5, 29]

8.3 ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Το AFCS αποτελείται από τρία κανάλια ελέγχου αναφορικά με την κίνηση του αεροσκάφους γύρω από τον άξονα του. Αυτά τα κανάλια ελέγχου την εκτροπή (πηδάλιο διευθύνσεως), τον διατοιχισμό (πηδάλιο κλίσης) και την πρόνευση (πηδάλιο ανόδου – καθόδου). Κάθε κανάλι παρέχει σήματα ελέγχου στον έλεγχο πτήσης και λαμβάνει σήματα σφάλματος από τους αισθητήρες. Οι επιφάνειες ελέγχου πτήσης συνδέονται μηχανικά με τους ηλεκτρο - υδραυλικούς ενεργοποιητές. Η κίνηση της επιφάνειας ελέγχου προκαλεί μετατόπιση του αεροσκάφους γύρω από τον άξονα του. Μέσω αυτής της μετατόπισης διορθώνεται ένα σήμα σφάλματος το οποίο έχει ανιχνευτεί στους αισθητήρες και με μια σειρά διαδικασιών η επιφάνεια ελέγχου επιστρέφει στην μηδενική θέση ή θέση αναφοράς.

8.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ AFCS

Ακολουθεί μια σύντομη παράθεση λειτουργιών που είναι διαθέσιμες σε ένα τυπικό AFCS:

- ∅ **Λειτουργία επαύξεσης ευστάθειας:** Αποτελεί λειτουργία ζωτικής σημασίας για την ασφαλή πτήση ειδικά σε αεροσκάφη υψηλής ταχύτητας. Παρέχει αυτόματη απόσβεση των ταλαντώσεων γύρω από τους άξονες πρόνευσης, διατοιχισμού και εκτροπής.
- ∅ **Attitude hold:** μέσω αυτής της λειτουργίας διατηρείται η στάση του αεροσκάφους κατά την εμπλοκή της πρόνευσης και του διατοιχισμού.



- Ø **Altitude hold:** Η λειτουργία βοηθά το αεροσκάφος να διατηρήσει ύψος κατά την στιγμή της εμπλοκής,
- Ø **Heading hold (σύστημα τήρησης πορείας):** διατηρεί την πορεία κατά την διάρκεια της εμπλοκής,
- Ø **Control Stick Steering/Control Wheel Steering:** επιτρέπει στον χειριστή να αλλάξει χειροκίνητα τις στάσεις του αεροσκάφους χωρίς να χρειαστεί η απενεργοποίηση του AFCS,
- Ø **Heading Select:** Ο πιλότος επιλέγει αυτόματα και το αεροσκάφος μεταβαίνει στην επιλεγμένη πορεία κατά την διάρκεια της εμπλοκής,
- Ø **Mach Hold:** διατηρεί τον αριθμό Mach κατά την διάρκεια της εμπλοκής,
- Ø **Automatic Carrier Landing System (ACLS):** ο πιλότος έχει την δυνατότητα να πραγματοποιήσει μέσω δεδομένων – σημάτων εντολής προσγείωση (hands off),
- Ø **Ground Control Bombing:** το αεροσκάφος δέχεται εντολές από το προσωπικό εδάφους.[14]



9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ

Η εκπόνηση αυτής της εργασίας αποτελεί εγχειρίδιο για την μελέτη κι εκμάθηση των συστημάτων ελέγχου των αεροσκαφών. Όπως είδαμε νωρίτερα, ο έλεγχος των εναέριων μέσων απαιτεί συνεχή ανάπτυξη της τεχνολογίας σε ένα ευρύ μέτωπο έτσι ώστε το αεροσκάφος να είναι ασφαλές καθ'όλη τη διάρκεια της πτήσης, από την στιγμή που απογειώνεται μέχρι την στιγμή που προσγειώνεται.

Οι διάφορες αλλαγές που μπορούν να γίνουν ώστε να συντελέσουν σε αυτό είναι οι διαμορφώσεις του πλαισίου του αεροσκάφους μαζί με τη βελτίωση των αεροδυναμικών επιδόσεων η οποία επιτυγχάνεται μέσω διαμόρφωσης στρωτής ροής και προηγμένων διατάξεων του πλαισίου του αεροσκάφους. Επίσης, χρησιμοποιούνται τεχνικές για την πρόβλεψη και τον έλεγχο των χαρακτηριστικών του αεροπλάνου κατά την πτήση. Πιο συγκεκριμένα, αυτοματοποιημένα εργαλεία βελτιστοποίησης και υψηλής πιστότητας, μέθοδοι σχεδιασμού και ολοκλήρωσης, μελέτη καταπονήσεων στις οποίες υπόκειται το αεροσκάφος και τα δομικά του μέρη, καθώς επίσης και κινητήρες με μεταβλητό κύκλο για κατανάλωση καυσίμου με χαμηλή ώση, υψηλή αναλογία ώσης - βάρους και χαμηλό θόρυβο από τις δονήσεις της ατράκτου. Ωστόσο, μπορούν να γίνουν βελτιστοποιήσεις στα υλικά που απαρτίζουν τη δομή του αεροσκάφους με σκοπό τη μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, χρησιμοποιούνται ελαφριά υλικά με μεγαλύτερες μηχανικές αντοχές ώστε οι κινητήρες να γίνονται ελαφρύτεροι και να παράγουν μεγαλύτερα ποσά ώσης, άρα να γίνονται πιο αποδοτικοί.

Επιπροσθέτως, τα σύγχρονα αεροσκάφη διαθέτουν ενδείξεις του πιλοτηρίου που ενσωματώνουν βελτιωμένα συστήματα όρασης, συστήματα ελέγχου πτήσης και επιχειρησιακές διαδικασίες για τη μείωση του θορύβου κατά την απογείωση και την προσγείωση.

Τέλος συμπεραίνουμε ότι πλέον είναι εφικτές πτήσεις μεγαλύτερης εμβέλειας και μεγαλύτερου ύψους και ο χειριστής δεν είναι απαραίτητο να είναι εξοικειωμένος με τις δύσκολες διαδικασίες απογείωσης και προσγείωσης αφού αυτό επιτυγχάνεται ενεργοποιώντας την λειτουργία του αυτόματου πιλότου.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Advances in Flight Control Systems edited by Agneta, first published 2011,
2. Aerodynamics for Engineering Students Fifth Edition, E.I. Houghon & P.W. Carpenter, Published by Butterworth – Heinemann 2003,
3. Aeronautical Engineer's Data Book, Clifford Matthews Published by Butterworth – Heinemann 2002
4. Aircraft Digital Electronic and Computer Systems: Principles, Operation and Maintenance, Mike Tooley, Published by Elsevier 2007,
5. Aircraft Systems Mechanical, electrical and avionics subsystems integration Third Edition, Ian Moir & Allan Seabridge, Published by John Wiley & Sons 2008
6. Aircraft Structures Chapter 1
7. Aircraft Engineer Principles, Lloyd Dingle and Mike Tooley, Published by Elsevier Ltd. 2005,
8. Aircraft Instruments & Integrated Systems, EHJ Pallett, Pearson Education Limited 1992,
9. Aircraft Design Projects For Engineering Students, Lloyd Jenkinson & Jim Marchman, Published by Elsevier Science 2003,
10. Aircraft Structures for Engineering Students Third Edition, T.H.G Megson, Published by Arnold 1999
11. Airframe & Powerplant Mechanics Airframe Handbook U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Summit Aviation Inc, 1992 – 2004,
12. Airframe & Powerplant Mechanics General Handbook with index U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration, Summit Aviation Inc, 1992 – 2004,
13. Airplane Design Part I: Preliminary sizing of Airplanes, Dr. Jan Roskam, Roskam Aviation and Engineering Corporation 1985,
14. Automatic Flight Control E.H.J. Pallett & S. Coyle, Published by Blackwell Science Ltd. 1993,
15. Aviation Maintenance Technician Series Volume 1: Airframe Structures, Dale Crane, Aviation Supplies & Academies, Inc Newcastle Washington 1994 – 1999,



16. Aviation Maintenance Technician Series Volume 2: Airframe Systems, Dale Crane, Aviation Supplies & Academies, Inc Newcastle Washington 1994 – 1999,
17. Aviation Maintenance Technician Series General Second Edition, Dale Crane, Aviation Supplies & Academies, Inc Newcastle Washington 1994 – 1999,
18. Aviation Maintenance Technician Series Powerplant, Dale Crane, Aviation Supplies & Academies, Inc Newcastle Washington 1994 – 1999,
19. Flight Dynamics Principles Second Edition, Michael V.Cook, Published by Elsevier Ltd. 2007,
20. Fly By Wire Flight Control Systems, Major J.P. Sutherland, 1968,
21. Introduction to Flight Test Engineering Second Edition, Donald T. Ward & Thomas W. Strganac, Published by Kendall / Hunt publishing Company 1996-2001,
22. Introduction to Flight, Third Edition, John D. Anderson Jr., McGraw Hill Inc,
23. Model Aircraft Aerodynamics, Martin Simsons, Published by Argus Books 1978, 1987, 1994,
24. Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge, U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration 2016, Flight Standards Service,
25. Principles of Flight, Aeronautics Research Mission Directorate, Museum in a box series, National Aeronautics and Space Administration,
26. See How It Flies, John S. Denker 1996 – 2001
27. The Jet Engine Fifth Edition, Rolls Royce plc, reprinted 1996
28. Skybrary.aero
29. <http://okigihan.blogspot.com>
30. <https://slideplayer.com/slide/6649718/>
31. Automatic Flight Control and Stabilization Systems