

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδροπνευματικά συστήματα

Υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμού

Τεχνολογία. Μηχανισμοί που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση κίνησης και τη μεταφορά ισχύος, με εργαζόμενο μέσο ένα υδραυλικό ρευστό (υγρό ή αέριο).

ΤΩΝ ΙΩΑΝΝΗ ΝΤΑΒΛΙΑΚΟΥ* ΚΑΙ ΕΥΑΓΓΕΛΟΥ ΠΑΠΑΔΟΠΟΥΛΟΥ**



Οι αυτοματισμοί πεπεσμένου βρίσκουν εκτεταμένες εφαρμογές σε κάθε τομέα της κατασκευαστικής βιομηχανίας.

κή και διαστημική τεχνολογία, η βιομηχανία, η βιοϊατρική, η ρομποτική κτλ.

Ιστορική αναδρομή

Η υδραυλική (ετυμολ. ύδωρ και αυλός) τεχνολογία ήταν από τις πρώτες που αναπτύχθηκαν κατά τη διαδρομή του ανθρώπινου πολιτισμού. Πράγματι, ο άνθρωπος αντλούσε ωφέλιμο έργο από κινούμενα ή υπό πίεση ρευστά πολλούς αιώνες πριν διατυπωθούν οι νόμοι βάσει των οποίων στηρίζεται η σύγχρονη τεχνολογία υδραυλικής ενέργειας.

Οι πρώτες εφαρμογές στον αυτόματο έλεγχο υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων επινοήθηκαν στην αρχαιότητα από τον Έρωνα τον Αλεξανδρέα (1ος αι. π.Χ.), από τον οποίο περιγράφονται κινητές σκηνές θεάτρου και αυτόματες πόρτες, οι μετατοπίσεις των

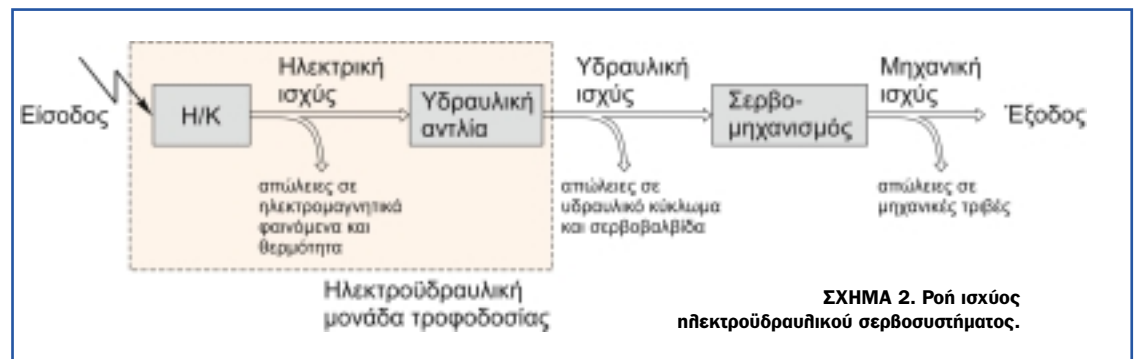
Οι απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής, και ιδίως των τριάντα τελευταίων χρόνων περίπου, έχουν επιβάλει ραγδαίους ρυθμούς στην ανάπτυξη της τεχνολογίας στην περιοχή των υδροπνευματικών συστημάτων.

Ως αποτέλεσμα, εμφανίστηκε ένας νέος τεχνολογικός κλάδος, η υδροτρονική (hydrotronics). Η εντυπωσιακή αυτή εξέλιξη οφείλεται κυρίως στη συνεισφορά των υπολογιστών, των μικροϋπολογιστών, των συστημάτων επικοινωνίας και των ψηφιακών συστημάτων γενικότερα.

Με τον όρο υδροπνευμα-

τικό σύστημα εννοείται κάθε διάταξη ή εγκατάσταση της οποίας τα βασικά δομικά συστατικά της αποτελούνται από υδραυλικά ή πνευματικά υποσυστήματα. Η επιστήμη των υδροπνευματι-

κών συστημάτων βασίζεται σε καλά ορισμένες αρχές και βρίσκει εφαρμογή σε ευρύτατα πεδία, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, οι τηλεπικοινωνίες, τα ενεργειακά συστήματα, η αεροναυπηγι-



οποίων επιτυγχάνονταν με την πίεση νερού ή αέρα και με τη βοήθεια μοχλών.

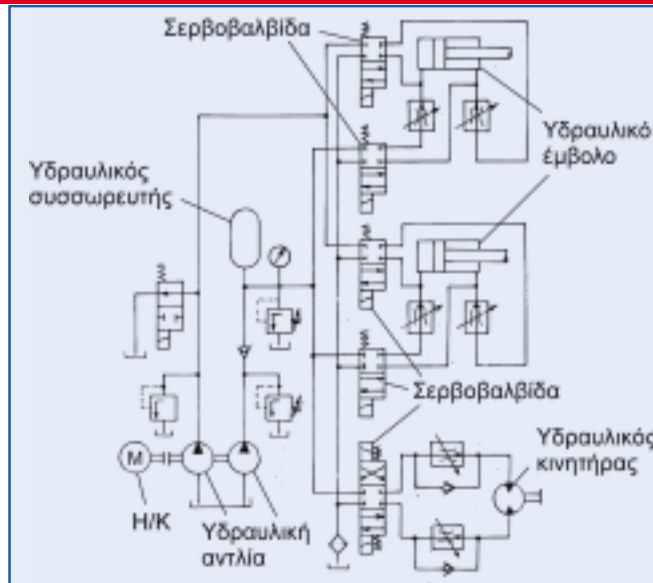
Επίσης, στα συγγράμματα του Ήρωνα αναφέρεται ότι στη φύση δεν υπάρχει απόλυτο κενό και ότι ο αέρας έχει μεγάλη ελαστικότητα και μπορεί να ασκήσει μεγάλη πίεση.

Επίσης, ερμηνεύει τη διαστολή του θερμαινόμενου αέρα και την υδροστατική πίεση, τόσο στα τοιχώματα όσο και στον πυθμένα ενός δοχείου. Επιπλέον, εντύπωση προκαλεί η περιγραφή του αρχαίου υδραυλικού αερόφωρου οργάνου υδραυλίας, χρησιμοποιούμενου στα θεάματα του ιπποδρόμου, αλλά και στην εκτέλεση στρατιωτικής μουσικής.

Η υδραυλική, η οποία σύμφωνα με πολλούς εφευρέθηκε από τον Κτησίβιο τον Αλεξανδρέα (2ος αι. π.Χ.), απαριζόταν από αεροθάλαμο με ολισθαίνουσες βαλβίδες, πάνω στον οποίο ήταν διευθετημένες μία ή δύο σειρές αυλών με γλωττίδα και στόμιο, που ηχούσαν με οξύ τόνο υπό την επενέργεια μιας σειράς πολύ πρωτόγωνων εμβόλων τα οποία σύρονταν ή ωθούνταν από τον εκτελεστή. Επίσης, άλλο εντυπωσιακό κατασκεύασμα του Κτησίβιου ήταν ο πρώτος καταπέλτης ώσης, ο οποίος λειτουργούσε με πεπιεσμένο αέρα.

Οι πρώτες συστηματικές βάσεις των ρευστομηχανικών συστημάτων τέθηκαν γύρω στον 17ο αιώνα, όπου λαμπροί επιστήμονες, όπως οι Pascal (1650), Boyle - Mariotte (1676) και Bernoulli (1738), παρουσίασαν τις πρώτες μελέτες για υδροπνευματικά συστήματα.

Ωστόσο, μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα, η τεχνολογία του υδροπνευματικού ελέγχου δεν έχει να επιδείξει αξιόλογα επιτεύγματα. Έως το 1880, τα υδροπνευματικά συστήματα αναπτύχθηκαν



ΣΧΗΜΑ 1. Τυπικό διάγραμμα σερβοϋδραυλικού συστήματος με τρεις υδραυλικούς επενεργητές.

κίνηση και τον έλεγχο εργαλειομηχανών, χωματουργικών και οικοδομικών βαρέων μηχανών, γεωργικών μηχανημάτων και μηχανημάτων ορυχείων, η υδροπνευματική ισχύς μπορεί να συναγωνιστεί με επιτυχία και να ξεπεράσει τα μηχανικά και ηλεκτρικά συστήματα.

Κύρια πλεονεκτήματά της αποτελούν η ευχρηστία και η ικανότητα πολλαπλασιασμού δυνάμεων με υψηλό συντελεστή απόδοσης. Χαρακτηρίζεται δε από ταχεία και ακριβή απόκριση στις εντολές ελέγχου.

Η υδροπνευματική ισχύς μπορεί να παράγει δυνάμεις από λίγα γραμμάρια μέχρι χιλιάδες τόνους.

Σήμερα, τα υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμών αποτελούν μία από τις σημαντικότερες τεχνολογίες, με εφαρμογή σε όλες τις φάσεις βιομηχανικών, γεωργικών και αμυντικών δραστηριοτήτων. Για παράδειγμα, όλα τα σύγχρονα μέσα μαζικής μεταφοράς χρησιμοποιούν υδροπνευματικά συστήματα ελέγχου για τα υποσυστήματα κατεύθυνσης και πέδησής τους. Επίσης, η μαζική παραγωγή σε πολλές βιομηχανίες στηρίζεται αποκλειστικά στη χρήση τέτοιων συστημάτων.

Υδραυλικά συστήματα

Εξετάζουμε στη συνέχεια

αρκετά, αλλά μόνο σε θεωρητική μαθηματική βάση. Το 1882 όμως κατασκευάστηκε στο Λονδίνο υδραυλικό σύστημα που διοχέτευε κάτω από τους δρόμους, και μέσω δικτύου αγωγών, νερό υπό πίεση, ως κινητήριο μέσο μηχανικού εξοπλισμού εργοστασίων. Σημαντική πρόο-

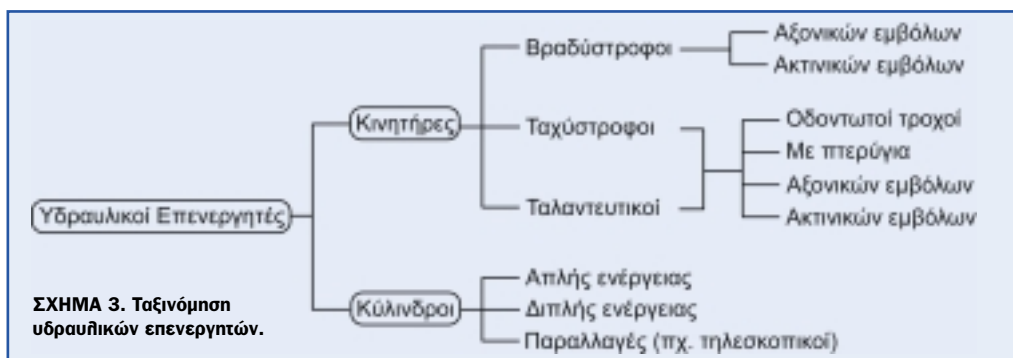
ντία, κινητήρα και χειριστήρια ανοίγοντας το δρόμο για επέκταση των εφαρμογών της υδραυλικής σε εργαλειομηχανές, αυτοκίνητα, γεωργικά και χωματουργικά μηχανήματα, σιδηροδρομικές μηχανές, πλοία και αργότερα σε αεροπλάνα και διαστημόπλοια.

Η επιστήμη των υδροπνευματικών συστημάτων βασίζεται σε καλά ορισμένες αρχές και βρίσκει εφαρμογή σε ευρύτατα πεδία

δος στην υδραυλική τεχνολογία σημειώθηκε το 1906 με την εγκατάσταση υδραυλικού συστήματος ελαίου για την κίνηση και λειτουργία των πυροβόλων του αμερικανικού θωρηκτού «USS Virginia».

Επίσης, κατά τη δεκαετία του 1920 αναπτύχθηκαν ολοκληρωμένες υδραυλικές μονάδες αποτελούμενες από α-

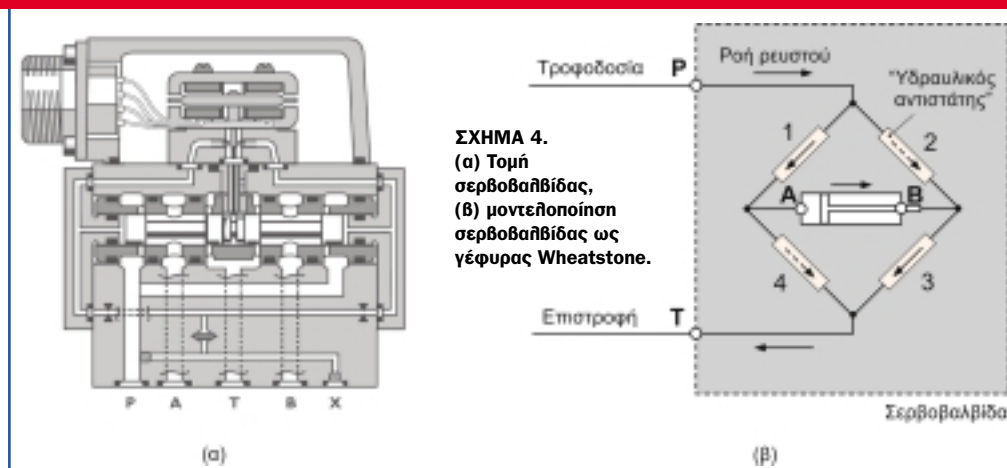
ν και η τεχνολογική έκρηξη των υδραυλικών συστημάτων οριοθετείται χρονικά μετά το τέλος της Βιομηχανικής Επανάστασης, η κορύφωσή της επιτεύχθηκε μετά τον Β' Παγκόσμιο πόλεμο. Σε αυτό το χρονικό σημείο η ανάπτυξη της τεχνολογίας υδραυλικής, αλλά και της πνευματικής ισχύος, υπήρξε εντυπωσιακή. Στην



ΣΧΗΜΑ 3. Ταξινόμηση υδραυλικών επενεργητών.

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδραυλικά συστήματα



ΣΧΗΜΑ 4.
(α) Τομή
σερβοβαλβίδας,
(β) μοντελοποίηση
σερβοβαλβίδας ως
γέφυρας Wheatstone.

υδραυλικά συστήματα των οποίων οι εφαρμογές συνδυάζονται με τον αυτόματο έλεγχο. Τέτοια συστήματα ονομάζονται σερβοϋδραυλικά και απαντώνται σε όλες τις σύγχρονες εγκαταστάσεις αυτοματισμών με υδραυλικά οδηγούμενους μηχανισμούς.

Ένα ελάχιστο σερβοϋδραυλικό σύστημα αποτελείται από μία ηλεκτροϋδραυλική μονάδα τροφοδοσίας και ένα σερβομηχανισμό.

Μια συνήθης ηλεκτροϋδραυλική μονάδα περιλαμβάνει έναν ηλεκτροκινητήρα, υδραυλική ή υδραυλικές αντλίες σταθερής πίεσης, έναν υδραυλικό αποταμιευτή ενέργειας αδρανούς αερίου σταθερής πίεσης (συσσωρευτής), έναν εναλλάκτη θερμότητας, ένα ελαιοδοχείο και άλλα υδραυλικά ή μηχανικά βοηθητικά εξαρτήματα, όπως ασφαλιστικές και ανακουφιστικές βαλβί-

δες, φίλτρα ελαίου, σωληνώσεις κτλ.

Ο σερβομηχανισμός αποτελεί μία διάταξη που περιλαμβάνει έναν ή περισσότερους υδραυλικούς επενεργητές (υδραυλικοί κινητήρες ή υδραυλικά έμβολα), σερβοβαλβίδες και μηχανικά φορτία. Το διάγραμμα μιας

Οι υδραυλικές αντλίες μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια που λαμβάνουν στην άττρακτό τους σχεδόν αποκλειστικά σε ενέργεια πίεσης του ρευστού που αντλούν, ενώ η κινητική ενέργεια που μεταβιβάζουν στο ρευστό, λόγω των μικρών σχετικά ταχυτήτων ροής, εί-

Οι πρώτες εφαρμογές στον αυτόματο έλεγχο υδραυλικών και πνευματικών συστημάτων επινοήθηκαν στην αρχαιότητα

τυπικής διάταξης ενός σερβοϋδραυλικού συστήματος τριών υδραυλικών επενεργητών απεικονίζεται στο **σχήμα 1**.

Στη συνέχεια θα εξεταστεί επιγραμματικά η λειτουργία των πιο σημαντικών δομικών υδραυλικών στοιχείων ενός σερβοϋδραυλικού συστήματος.

ναί τόσο μικρή ώστε στην πράξη να θεωρείται αμελητέα.

Η υδραυλική ισχύς εξόδου της αντλίας μιας ηλεκτροϋδραυλικής μονάδας υπολογίζεται από το γινόμενο της πίεσης εξόδου της αντλίας επί την παροχή του υδραυλικού μέσου στην έξοδο της αντλίας.

Η ισχύς αυτή μετασχηματίζεται με τη βοήθεια των ηλεκτροϋδραυλικών σερβοβαλβίδων και των υδραυλικών επενεργητών σε μηχανική ισχύ. Η μεταβίβαση της υδραυλικής ενέργειας από τη μονάδα στο υπόλοιπο κύκλωμα επιτυγχάνεται μέσω των υδραυλικών γραμμών του κυκλώματος. Οι απώλειες στο σύστημα επιμερίζονται σε ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές στα στοιχεία του Η/Κ, υδραυλικές στα υδραυλικά στοιχεία του κυκλώματος (ηλεκτροϋδραυλική μονάδα, υδραυλικές γραμμές και σερβοβαλβίδες) και μηχανικές στα μηχανικά μέρη του μηχανισμού (τριβές στους επενεργητές και στις μηχανικές αρθρώσεις).

Σημειώνεται ότι το μεγαλύτερο ποσοστό της υδραυλικής ισχύος (περίπου το 67%) καταναλώνεται στις σερβοβαλβίδες, λόγω των έντονων ρευστομηχανικών και θερμοκρασιακών μεταβολών που δημιουργούνται στο εσωτερικό τους. Με βάση τα προηγούμενα μπορεί να προσδιορισθεί η ροή ισχύος του συστήματος, **σχήμα 2**.

Οι υδραυλικές αντλίες χωρίζονται σε τρεις γενικές κατηγορίες, τις αντλίες οδοντωτών τροχών, τις αντλίες με περυσία και τις εμβολοφόρες αντλίες. Κάθε μία από τις κατηγορίες αυτές υποδιαιρείται περαιτέρω σε είδη και τύπους αντλιών.

Η περιγραφή και μελέτη τους όμως αποτελεί ιδιαίτερο αντικείμενο μελέτης, που ξεφεύγει από τους σκοπούς του παρόντος άρθρου. Στα σερβοϋδραυλικά κυκλώματα, χρησιμοποιούνται κυρίως εμβολοφόρες αντλίες. Σε αυτές, η πίεση εξόδου της υδραυλικής αντλίας ρυθμίζεται σε σταθερή τιμή, ενώ η παροχή του ρευστού μεταβάλλεται αναλόγως των αναγκών.

Ο κ. Παπαδόπουλος επιδεικνύοντας το τηλερομπωτικό σύστημα master-slave της SARCOS, το οποίο αποτελεί χαρακτηριστική εφαρμογή ηλεκτροϋδραυλικών σερβοσυστημάτων του Εργαστηρίου Αυτομάτου Ελέγχου, Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών. Αποτελείται από ηλεκτροϋδραυλικό εξωσκελετικό βραχίονα 10 βαθμών ελευθερίας (β.ε.), με ανάδραση δυνάμεων, που χρησιμοποιείται ως εντολέας του ηλεκτροϋδραυλικού βραχίονα slave, επίσης με 10 β.ε. και αισθητήρες θέσης και ροής. Ένας χειριστής μπορεί να κινεί το slave και να αισθάνεται μέσω ανάδρασης δυνάμεων, τα φορτία ή τις αντιστάσεις που εφαρμόζονται σε αυτό.





ΣΧΗΜΑ 5. Εφαρμογές ηλεκτροϋδραυλικών σερβοσυστημάτων του ΕΑΕ, Σχολής ΜΜ, ΕΜΠ. (α) Πειραματικό σύστημα ενός βαθμού ελευθερίας (υδραυλικός σερβοεπιενεργητής και υδραυλική μονάδα τροφοδοσίας), (β) Τηλερομποτικό σύστημα master-slave της SARCOS.

Ένα από τα πιο σημαντικά δομικά στοιχεία που περιλαμβάνει μία ηλεκτροϋδραυλική μονάδα παροχής ισχύος είναι οι υδραυλικοί αποταμιευτές ενέργειας.

Πρόκειται για συσκευές, στις οποίες αποταμιεύεται υδραυλική ενέργεια με τη μορφή λαδιού που βρίσκεται σε καθορισμένη πίεση και αποδίδεται όταν αυτή υπάρξει ανάγκη από το υπόλοιπο κύκλωμα.

Η λειτουργία αυτή οδηγεί στην εξοικονόμηση ενέργει-

ας του συστήματος και τελικά στη χρήση αντλίας μικρότερων απαιτήσεων. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ύπαρξης συσσωρευτών είναι ότι αυτοί εξομαλύνουν τους έντονους παλμούς πίεσης που οφείλονται στις απότομες διακυμάνσεις των φορτίων των σερβοϋδραυλικών κυκλωμάτων.

Οι υδραυλικοί επενεργητές μετατρέπουν την υδραυλική ενέργεια σε μηχανικό έργο. Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, στη ναυπη-

γική, σε μηχανισμούς κατασκευής γεφυρών και φραγμάτων, σε αυτοκινούμενα οχήματα, σε χωματουργικά μηχανήματα, σε σύνθετες κινήσεις τηλεσκοπίων και κεραιών, σε πυρηνικούς σταθμούς, ενώ τις τελευταίες δεκαετίες η χρήση τους έχει επεκταθεί και σε νέες εφαρμογές, όπως στη ρομποτική, στους αυτοματισμούς, στη διαστημική κτλ.

Μερικά από τα βασικότερα πλεονεκτήματα των επενεργητών αυτών είναι η ικα-

νότητά τους για δημιουργία μεγάλων δυνάμεων και ροπών, ο υψηλός λόγος δύναμης προς βάρος και η ταχεία απόκριση.

Για παράδειγμα, οι υδραυλικοί κινητήρες έχουν βάρος πολύ μικρότερο από αυτό των ηλεκτρικών κινητήρων για την ίδια ονομαστική ισχύ.

Αυτή η διαφορά βάρους οφείλεται στις υψηλές πιέσεις των υδραυλικών συστημάτων, όπου πιέσεις μέχρι 300 bar είναι συνήθεις, ενώ το

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδραυλικά συστήματα

μαγνητικό πεδίο ενός ηλεκτρικού κινητήρα μπορεί να ασκήσει ροπή που αντιστοιχεί σε πίεση μέχρι 20 bar. Ωστόσο, οι υδραυλικοί επενεργητές, υστερούν σε άλλα σημεία, όπως το συνολικό κόστος, το θόρυβο της μονάδας τροφοδοσίας, την απαίτηση για αποθήκευση του υδραυλικού μέσου (λάδι ή νερό) ή τον αυξημένο βαθμό επικινδυνότητας σε διαρροή.

Το τελευταίο μειονέκτημα περιορίζεται σημαντικά στην περίπτωση όπου το υδραυλικό μέσο από υδραυλικό λάδι αντικατασταθεί με νερό (water hydraulics), φιλοσοφία την οποία αποδέχονται και υιοθετούν ολοένα και περισσότερο οι σχεδιαστές υδραυλικών συστημάτων (π.χ. εφαρμογές θαλάσσιας τεχνολογίας, εργαλειομηχανές υψηλής απόδοσης).

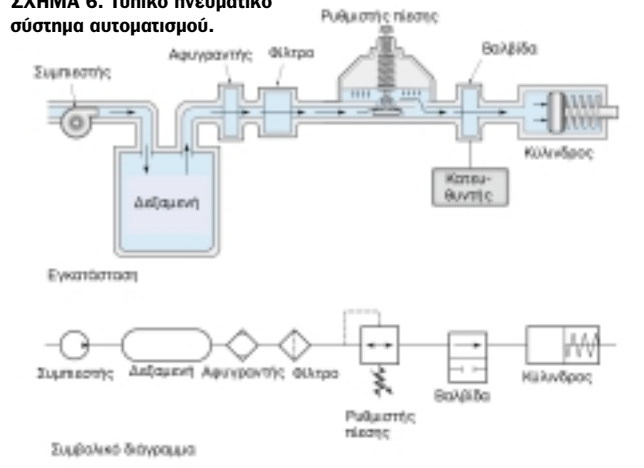
Οι υδραυλικοί επενεργητές χωρίζονται στους υδραυλικούς κινητήρες και τους υδραυλικούς κυλίνδρους (σχήμα 3).

Οι υδραυλικοί κινητήρες ταξινομούνται ως προς τις στροφές τους σε ταχύστροφους, βραδύστροφους και ταλαντευτικούς κινητήρες.

Οι ταχύστροφοι κινητήρες αποδίδουν τη μηχανική ισχύ τους σε υψηλές στροφές και με σχετικά χαμηλή ροπή στρέψης. Τέτοιοι είναι οι κινητήρες οδοντωτών τροχών, οι κινητήρες με περυσία, οι κινητήρες αξονικών εμβόλων και σπανιότερα οι κινητήρες ακτινικών εμβόλων. Οι βραδύστροφοι υδραυλικοί κινητήρες κατασκευάζονται μόνο ως εμβολοφόροι κινητήρες ακτινικών και αξονικών εμβόλων.

Οι ταλαντευτικοί υδραυλικοί κινητήρες περιστρέφουν μια άτρακτο ή ένα φορτίο σε περιορισμένη γωνία (συνήθως μικρότερη από μία πλή-

ΣΧΗΜΑ 6. Τυπικό πνευματικό σύστημα αυτοματισμού.



ρη περιστροφή) και προς τις δύο κατευθύνσεις. Οι τύποι ταλαντευτικών κινητήρων συναντώνται ως κινητήρες με έμβολο ή με περυσία. Ο υπολογισμός αυτών των κινητήρων απαιτεί να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στις δυνάμεις αδράνειας και στις ροπές επιτάχυνσης που είναι συνέπεια των δυνάμεων αυτών.

μα των υδραυλικών κινητήρων και ιδίως των εμβολοφόρων είναι ότι μπορούν να αναπτύξουν μεγάλη στρεπτική ροπή ακόμα και κατά την εκκίνησή τους.

Αυτό όμως δεν συμβαίνει στους κινητήρες με οδοντωτούς τροχούς ή με περυσία, διότι λόγω των εξισορροπητικών εδράνων και της χαμηλής πίεσης στο αρχικό στά-

Μέχρι τα τέλη του 18ου αιώνα, η τεχνολογία του υδρονευματικού ελέγχου δεν έχει να επιδείξει αξιόλογα επιτεύγματα

Τέτοιοι κινητήρες απαντώνται στη βιομηχανία για την κίνηση ειδικών εργαλειομηχανών, στα πλοία για την περιστροφή του πηδαλιού τους, σε κινούμενες μηχανές για βοηθητικές κινήσεις κλπ. Γενικά, το κύριο πλεονέκτη-

διο, δεν είναι δυνατή η απαιτούμενη πρόσφυση και η δημιουργία της απαραίτητης στεγανότητας για την ανάπτυξη της υψηλής στρεπτικής ροπής εκκίνησης. Έτσι, η κατασκευή που οδηγεί σε καλύτερα αποτελέσματα

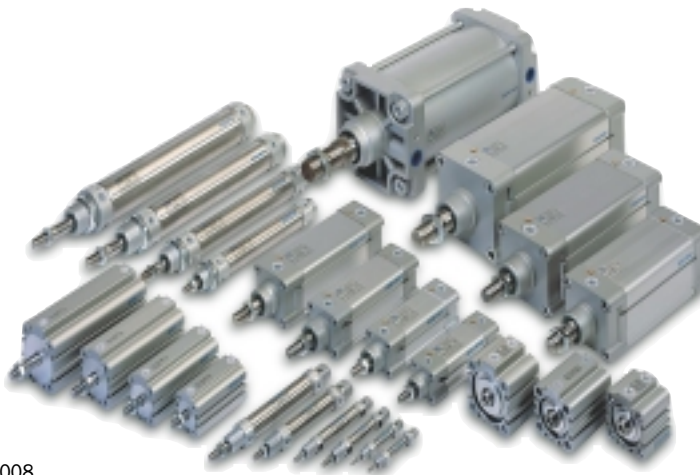
φαίνεται να είναι αυτή με τα έμβολο, αξονικά ή ακτινικά.

Οι υδραυλικοί κύλινδροι ταξινομούνται στους κυλίνδρους απλής και διπλής ενέργειας, οι οποίοι είναι και οι πλέον χρησιμοποιούμενοι. Επιπλέον, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός παραλλαγών κυλίνδρων, που κάθε μία προορίζεται για ειδική χρήση. Εδώ, αναφερόμαστε σε δύο μόνο παραλλαγές, οι οποίες είναι και από τις πιο διαδεδομένες. Πρόκειται για τους τηλεσκοπικούς κυλίνδρους, στους οποίους επιτυγχάνεται διαδρομή του βάρικτρου πολλαπλάσια του αρχικού μήκους και τους κυλίνδρους δύο ταχυτήτων, όπου ακόμα και αν η παροχή ρευστού παραμένει σταθερή, αναπτύσσονται δύο ταχύτητες του εμβόλου.

Οι ηλεκτροϋδραυλικές σερβοβαλβίδες (electrohydraulic servovalves), **σχήμα 4(α)**, αποτελούν βασικά στοιχεία των ηλεκτροϋδραυλικών συστημάτων αυτόματης ρύθμισης θέσης, ταχύτητας, επιτάχυνσης κλπ. ενός μηχανικού φορτίου. Οι σερβοβαλβίδες σε ένα σύστημα τοποθετούνται πριν και όσο το δυνατόν πλησιέστερα στον υδραυλικό σερβοεπενεργητή, και είναι υπεύθυνες για τη δυναμική του συμπεριφορά.

Η βασική τους ιδιότητα είναι η ενίσχυση των σημάτων που δέχονται, η οποία «μεταφράζεται» σε μεταβολές υδραυλικών μεγεθών, π.χ. παροχών και πιέσεων, μεγάλης ισχύος. Τα κύρια στοιχεία μιας ηλεκτροϋδραυλικής σερβοβαλβίδας είναι η ηλεκτρική ή ηλεκτρονική βαθμίδα, η οποία λειτουργεί ως δέκτης του σήματος και μπορεί να είναι ένας ηλεκτροκινητήρας (torque motor) και η υδραυλική βαθμίδα, που διαθέτει ένα υδραυλικό έμβολο πολλών διαδρομών ροής (spool), του οποίου η θέση μεταβάλλεται σύμφω-

ΣΧΗΜΑ 8. Πνευματικοί επενεργητές, K.V. Pneumatique France.



να με την απόκριση της πρώτης βαθμίδας.

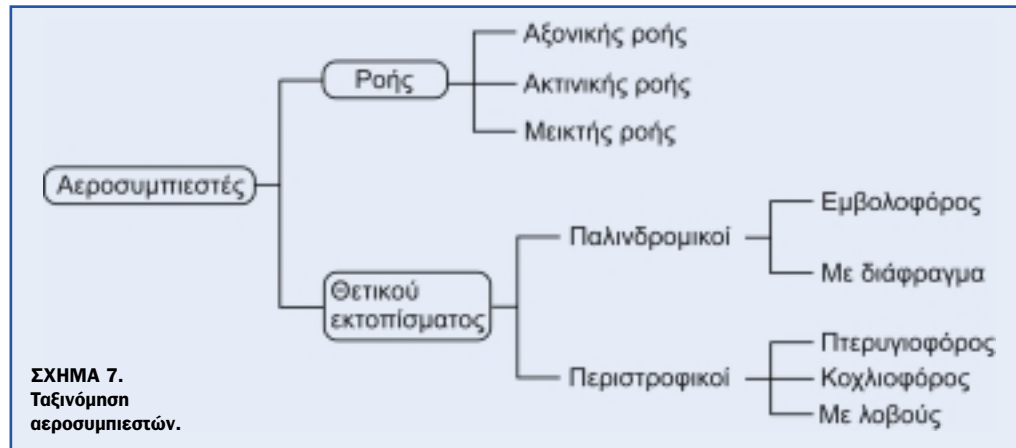
Η μεταβολή της θέσης του εμβόλου αυτού ευθύνεται για την απόκριση του υδραυλικού επενεργητή ισχύος και γίνεται με έλεγχο από τον ηλεκτροκινητήρα της πίεσης στα άκρα του. Γενικά οι σερβοβαλβίδες είναι ακριβές διατάξεις.

Σήμερα, σε αρκετές περιπτώσεις, αντί για αυτές χρησιμοποιούνται οι οικονομικότερες αναλογικές βαλβίδες (proportional valves).

Σε αυτές, ηλεκτρικά πηνία κινούν το έμβολο διαδρομών ροής κατευθείαν και όχι μέσω υδραυλικής πίεσης όπως στις σερβοβαλβίδες.

Τέλος, για έλεγχο πολύ μεγάλων ισχύων, χρησιμοποιούνται ενδιάμεσα στάδια από βαλβίδες που ελέγχουν άλλες (servovalve stages).

Η σωστή μοντελοποίηση



των σερβοβαλβίδων παίζει σημαντικό ρόλο στη μελέτη της απόκρισης των σερβοϋδραυλικών συστημάτων. Η μοντελοποίηση μιας ηλεκτροϋδραυλικής σερβοβαλβίδας βασίζεται στην αρχή λειτουργίας της, δηλαδή στο γεγονός ότι οι μεταβολές των υδραυλικών μεγεθών τις ο-

ποίες πετυχαίνει η σερβοβαλβίδα προσδιορίζονται σε συνάρτηση με τα ηλεκτρικά σήματα που δέχεται. Έτσι για παράδειγμα, η παροχή που επιτρέπει η σερβοβαλβίδα να διέλθει από αυτή εξαρτάται με μη γραμμικό τρόπο από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που την

τροφοδοτεί. Το μέγεθος το οποίο εξαρτάται άμεσα από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος της σερβοβαλβίδας είναι η διατομή της επιφάνειας του ανοίγματος της διόδου.

Η μοντελοποίηση μιας σερβοβαλβίδας αποτελεί ίσως το πιο ουσιαστικό, αλλά

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδροπνευματικά συστήματα

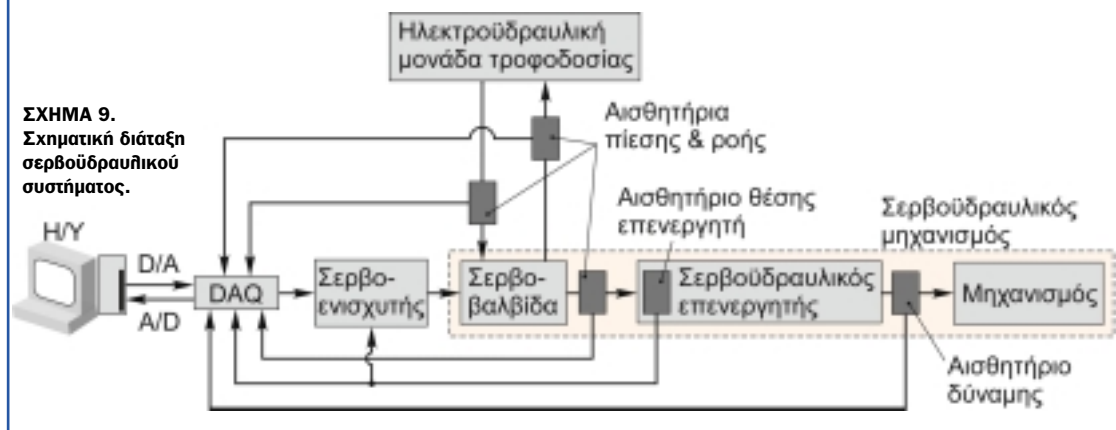
ίσως και δυσκολότερο σημείο της μαθηματικής περιγραφής σερβοϋδραυλικών συστημάτων. Αρκετές προοπτικές έχουν γίνει προκειμένου να αποδοθεί με ακρίβεια και συστημικό τρόπο το μοντέλο μιας σερβοβαλβίδας. Σύγχρονες μέθοδοι μοντελοποίησης ηλεκτροϋδραυλικών σερβοσυστημάτων έδειξαν ότι το μοντέλο μιας σερβοβαλβίδας προσεγγίζεται με τη βοήθεια μιας υδραυλικής γέφυρας Wheatstone, **σχήμα 4(β)**, στην οποία τα ανοίγματα της βαλβίδας μοντελοποιούνται ως σύνθετοι «υδραυλικοί αντιστάτες».

Η μαθηματική περιγραφή της σερβοβαλβίδας περιλαμβάνει τις εξισώσεις που περιγράφονται μόνο στο φαινόμενο της «υδραυλικής αντίστασης» των ανοιγμάτων της, αφού η ιδιοσυχνότητα της βαλβίδας είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή του υδραυλικού μέσου και του μηχανικού φορτίου. Επιπλέον, το μοντέλο βαλβίδας θεωρείται ιδανικό (π.χ. τετραγωνισμένες ακμές, διαρροές μηδενικής επικάλυψης -zero cross leakages- συμμετρικά ανοίγματα κτλ.).

Τα σερβοϋδραυλικά συστήματα έχουν πλέον εισέλθει στην ψηφιακή εποχή, με ψηφιακή ανάδραση θέσης των εμβόλων, ενσωματωμένους ψηφιακούς ενισχυτές, με γρήγορες on-off βαλβίδες και ψηφιακό έλεγχο ροής. Στο **σχήμα 5** εικονίζονται δύο ηλεκτροϋδραυλικά σερβοσυστήματα, τα οποία διαθέτει το Εργαστήριο Αυτομάτου Ελέγχου (ΕΑΕ) της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών (ΜΜ) ΕΜΠ, για εφαρμογές αυτομάτου ελέγχου.

Πρόκειται για έναν υδραυλικό κύλινδρο διπλής ενέργειας, ο οποίος οδηγείται από σερβοβαλβίδα υψηλής απόδοσης, εύρους συχνότητας 100 Hz, και για ένα τηλε-

ΣΧΗΜΑ 9.
Σχηματική διάταξη σερβοϋδραυλικού συστήματος.



ρομοποιητικό σύστημα master-slave της SARCOS, με δέκα βαθμούς ελευθερίας στο κάθε ρομπότ που κινούνται με τη βοήθεια ειδικών σερβοϋδραυλικών κινητήρων και μίνι σερβοβαλβίδων τύπου jet-riple.

Πνευματικά συστήματα

Ο όρος «πνευματικό» προέρχεται ετυμολογικά από τη λέξη πνεύμα που στην αρχαιότητα σήμαινε κίνηση του αέρα, πνοή. Η επιστήμη των πνευματικών αυτοματισμών (σερβοπνευματικά συστήματα) αποτελεί πλέον ένα τα-

γκείται στο γεγονός ότι το υδραυλικό μέσο των πνευματικών κυκλωμάτων είναι ο πεπιεσμένος αέρας.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν κατά τη χρήση τους τα πνευματικά συστήματα είναι η εύκολη αποθήκευση και μεταφορά τους (π.χ. δεν χρειάζονται σωληνώσεις επιστροφής), η καθαρότητά τους, η αντικρηκτικότητα τους, και η δυνατότητα ελέγχου ταχύτητας και δύναμης. Αντίθετα, το κόστος τέτοιων συστημάτων είναι αρκετά υ-

Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούνται στην πλειονότητά τους σε εφαρμογές ελέγχου θέσης ή ταχύτητας ανοιχτού βρόχου, και σε διαδικασίες όπου απαιτείται διαδοχική επενέργεια on-off και αλληλουχία κινήσεων, **σχήμα 6**.

Οι εφαρμογές κλειστού βρόχου που χρησιμοποιούν πνευματικά στοιχεία είναι ακόμα περιορισμένες, κυρίως λόγω της συμπίεσής του αέρα που εισάγει δυσκολία υψηλού βαθμού τόσο στη μαθηματική μοντελοποίηση του επενεργητή και των στοιχείων οδήγησής του, όσο και στον έλεγχο στην πράξη από αναλογικές πνευματικές βαλβίδες.

Ωστόσο, σε εφαρμογές όπου απαιτούνται σταθερές δυνάμεις εκτόνωσης, συμπίεσης ή συγκράτησης, ενδείκνυται η χρήση των πνευματικών επενεργητών, οδηγούμενων από ψηφιακές πνευματικές βαλβίδες ελέγχου.

Στο παρελθόν, οι κατευθυντές (ελεγκτές) των συστημάτων αυτών χρησιμοποιούσαν πνευματική λογική, δηλαδή λογικές πύλες που λειτουργούσαν πνευματικά. Σήμερα, η τάση είναι να εγκαταλείπονται αυτές οι μέθοδοι προς όφελος των ψηφιακών, με εξαίρεση ίσως στις περιπτώσεις επικίνδυνων (εκρηκτικών) περιβαλλόντων.

Ένα από τα κυριότερα δομικά στοιχεία ενός σερβοπνευματικού συστήματος εί-

Πλεονεκτήματα όλων των υδραυλικών συστημάτων είναι και η δημιουργία πολύ μεγάλων δυνάμεων

χύτατα αναπτυσσόμενο κλάδο της μηχανολογίας, με συνεχώς διευρυνόμενο πεδίο εφαρμογής.

Πολλά προβλήματα μερικής ή πλήρους αυτοματοποίησης επιλύονται άμεσα και ικανοποιητικά με τη χρήση των πνευματικών συστημάτων, που πλέον εκποπίζουν ηλεκτρικές λύσεις. Τα νέα σερβοπνευματικά συστήματα με αναλογικές σερβοβαλβίδες είναι ικανά για περισσότερο ομαλή λειτουργία και καλύτερη ακρίβεια από αυτά που χρησιμοποιούν βαλβίδες on-off.

Τα πνευματικά συστήματα αυτοματισμού λειτουργούν παρόμοια με τα σερβοϋδραυλικά συστήματα. Η πιο ουσιαστική διαφορά τους έ-

ψηλό (κυρίως λόγω του κόστους συντήρησης των αεροσυμπίεστών), απαιτείται προπαρασκευή του αέρα (αφύγραση, ρύθμιση πίεσης κύκλου εργασίας και λίπανση κινητών μερών βαλβίδων), το όριο ωφέλιμης δύναμης δύσκολα ξεπερνά τα 20 KN, ενώ παρουσιάζουν υψηλό βαθμό ηχορύπανσης (ενδείκνυται χρήση σιγαστήρων).

Ωστόσο, ο μεγάλος βαθμός συμπίεσής του αέρα λειτουργεί ως πλεονέκτημα για την ικανότητα συσώρευσης μεγάλων ποσοτήτων ενέργειας σε δοχεία, ενώ λειτουργεί συγχρόνως και αρνητικά στην περίπτωση ακαριαίας μετάδοσης ανεπιθύμητων δυνάμεων.

ναι ο αεροσυμπιεστής. Ο αεροσυμπιεστής χρησιμοποιείται για την παραγωγή πεπιεσμένου αέρα, ο οποίος θα εφοδιάσει με ενέργεια το κύκλωμα. Οι αεροσυμπιεστές χωρίζονται στους αεροσυμπιεστές ροής και στους αεροσυμπιεστές θετικού εκποπίσματος.

Η πρώτη κατηγορία αεροσυμπιεστών βρίσκει εφαρμογές στον αερισμό χώρων και υπόγειων στοών (π.χ. σηράγγων, μετρό κτλ.), όπου η σταθερότητα της πίεσης δεν ενδιαφέρει εδώ.

Η δεύτερη κατηγορία αεροσυμπιεστών χρησιμοποιείται εύρυστα στη βιομηχανία. Χρησιμοποιεί την αρχή της μετατόπισης του αέρα, όπου κάθε αντλητικό στοιχείο (π.χ. έμβολο, περσύνιο, κοχλίας, λοβός κτλ.) παραλαμβάνει με το πέρασμά του από



Πνευματικοί ενεργοποιητές (pneumatic actuators).

την αναρρόφηση μια ποσότητα αέρος, την οποία και μεταφέρει μαζί του σε όλη τη διάρκεια της κίνησης μέχρι την έξοδο, όπου και την καταθλίβει. Στο **σχήμα 7** παρουσιάζονται σχηματικά οι κατηγορίες των αεροσυμπιεστών.

Οι πνευματικοί επενεργητές, **σχήμα 8**, μετατρέπουν την ενέργεια του συμπιεσμένου αέρα σε μηχανική ενέργεια. Η κίνηση μπορεί να εί-



Ηλεκτρικοί κινητήρες.

ναι γραμμική ή περιστροφική ανάλογα με το εάν χρησιμοποιείται κύλινδρος ή κινητήρας.

Οι συνηθέστεροι τύποι πνευματικών κυλίνδρων είναι οι απλής ενέργειας, όπου η επιστροφή του βάλκτρου επιτυγχάνεται με ελατήριο, οι διπλής ενέργειας, οι βαρέως τύπου με ενισχυτικές ράβδους παράλληλα με το σώμα τους κυλίνδρου και οι συμπλαγείς για εφαρμογές πε-



Ρυθμιστές θέσης για ενεργοποιητές.

ριορισμένου χώρου. Επίσης κατασκευάζονται χωρίς βάλκτρο, με οδηγούμενο βάλκτρο, με διπλό βάλκτρο, με αρπάγες κλπ.

Οι περιστροφικοί κινητήρες συνήθως κατασκευάζονται με περσύνια. Υπάρχουν επίσης ημι-περιστροφικοί κινητήρες που συνδυάζουν την πνευματική εκτόνωση με μηχανισμό που μετατρέπει τη γραμμική κίνηση σε περιστροφική.

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδραυλικά συστήματα

Οι πνευματικοί επενεργητές χρησιμοποιούνται σε συστήματα χαμηλής ή μέσης ισχύος. Συναντώνται ευρέως στη βιομηχανία, σε εφαρμογές αυτοματισμών των γραμμών παραγωγής, στο πακετάρισμα προϊόντων, στη διευθέτηση παλετών κτλ. Οι πνευματικοί επενεργητές συνδυάζουν την ταχύτατη απόκριση των υδραυλικών επενεργητών με την καθαρότητα των ηλεκτρικών επενεργητών.

Επιπλέον, είναι ιδανικοί για επικίνδυνα περιβάλλοντα, όπως αυτά που υπάρχει κίνδυνος ανάφλεξης, είναι ιδιαίτερα ανθεκτικοί στην υπερφόρτωση, το «στολάρισμα» και την παρατεταμένη λειτουργία καθώς δεν χρειάζονται ιδιαίτερη συντήρηση. Ο αέρας που χρησιμοποιείται ως μέσο ισχύος στα πνευματικά συστήματα παίζει και το ρόλο του λιπαντικού.

Επίσης, η κίνησή τους είναι ομαλή αφού ο αέρας στο εσωτερικό τους προσδίδει απόσβεση στο σύστημα, με αποτέλεσμα φαινόμενα ταλαντώσεων και συντονισμών σε ένα πνευματικό σύστημα να παρουσιάζονται σπανιότερα.

Τέλος, τα βασικά συστατικά της πνευματικής τεχνολογίας είναι σχετικά φθηνά και ο σχεδιασμός μιας πνευματικής εγκατάστασης ή η επιλογή ενός πνευματικού επενεργητή απλή, ενώ το τελικό σύστημα μπορεί εύκολα να επαναδιαμορφωθεί εάν παραστεί ανάγκη.

Αυτοματισμοί

Οι αυτοματισμοί των υδραυλικών συστημάτων, εκτός των υδραυλικών ή πνευματικών δομικών στοιχείων του συστήματος, απαιτούν επιπλέον την ύπαρξη επιπρόσθετων στοιχείων προκειμένου να λειτουργήσουν αποδοτικά και αποτελεσματικά. Αυτά είναι οι ηλεκτρικοί πίνακες, οι μονάδες ε-



Βαλβίδα καθαρισμού κατεύθυνσης ροής σε υδραυλικό κύκλωμα.

λέγχου (π.χ. Η/Υ), τα αισθητήρια όργανα, οι ηλεκτρονικές κάρτες, οι καλωδιώσεις κλπ.

Ως παράδειγμα εξετάζουμε ένα σερβοϋδραυλικό σύστημα κατά τη διάρκεια ενός κύκλου εργασίας του.

Στο **σχήμα 8** απεικονίζεται η σχηματική διάταξη ενός σερβοϋδραυλικού συγκροτήματος και των περιφερειακών οργάνων και εξαρτημάτων που το συνοδεύ-

δα δίνεται από τον Η/Υ, μέσω κατάλληλου λογισμικού. Το λογισμικό αυτό συνεργάζεται με ηλεκτρονική κάρτα συλλογής δεδομένων πολλών εισόδων-εξόδων, με δυνατότητα μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά και αντίστροφα.

Η κάρτα συλλέγει και αποθηκεύει τις πληροφορίες όλων των μετρήσεων του συστήματος, οι οποίες στη συνέχεια υπόκεινται σε κατάλ-

σημαίνει ότι ο σερβοενισχυτής δέχεται και το σήμα της ανάδρασης του συστήματος (θέση σερβοεπενεργητή).

Στη συνέχεια η εντολή τάσης μετατρέπεται από το ηλεκτρονικό κύκλωμα του σερβοενισχυτή σε ρεύμα, το οποίο οδηγείται τελικά στον κινητήρα της σερβοβαλβίδας.

Η εντολή καθορίζει το άνοιγμα των οπών του εσωτερικού της σερβοβαλβίδας, από τις οποίες περνά η ροή του ρευστού που στέλνει η υδραυλική αντλία.

Η σερβοβαλβίδα είναι αυτή που ουσιαστικά ελέγχει την κίνηση του σερβοεπενεργητή και αποτελεί την «καρδιά» του συστήματος. Εάν είναι επιθυμητό να έχουμε μετρήσεις από τις πιέσεις στους θαλάμους του επενεργητή, μεταξύ αυτής και του επενεργητή προστίθεται ένα εξάρτημα διακλαδωμένης σωλήνωσης (manifold), στο οποίο προσαρτώνται τα αισθητήρια πιέσης.

Ο σερβοϋδραυλικός επενεργητής περιλαμβάνει στο εσωτερικό του μαγνητοσυστολικό αισθητήριο θέσης (ανάλυση μικρών του μέτρου), από το οποίο παράγεται το σήμα ανάδρασης του

Ένα από τα πιο σημαντικά δομικά στοιχεία που περιλαμβάνει μία μονάδα παροχής ισχύος είναι οι υδραυλικοί αποταμιευτές ενέργειας

ουν κατά τη λειτουργία του συστήματος. Κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας ακολουθούνται οι εξής διαδικασίες: Αρχικά, η ηλεκτροϋδραυλική μονάδα τροφοδοσίας βρίσκεται σε λειτουργία και αναμένει την εντολή (σήμα) που θα διεγείρει τον κινητήρα της σερβοβαλβίδας, έτσι ώστε η αντλία της μονάδας στη συνέχεια να τροφοδοτήσει το σερβοϋδραυλικό μηχανισμό με την απαιτούμενη υδραυλική ισχύ.

Η εντολή στη σερβοβαλβί-

ληλη επεξεργασία (π.χ. φιλτράρισμα, FFT κτλ.) με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού.

Η εντολή από τον Η/Υ είναι ένα σήμα (τάσης ή ρεύματος), το οποίο πριν φτάσει στη σερβοβαλβίδα οδηγείται σε σερβοενισχυτή.

Ο σερβοενισχυτής έχει τη δυνατότητα να λειτουργεί και ως κατευθυντής (controller) PID, ρυθμίζοντας τους P, I και D όρους ξεχωριστά μέσω βραχυκυκλωτήρα μονωμένων αγωγών (on-off jumpers), γεγονός το οποίο

συστήματος που εκφράζει τη θέση του επενεργητή.

Η κίνηση του επενεργητή οδηγεί τελικά το μηχανικό φορτίο στην επιθυμητή θέση. Οι απαραίτητες μετρήσεις των μεταβλητών του συστήματος πραγματοποιούνται με τη βοήθεια αισθητηρίων οργάνων, τα οποία έχουν τοποθετηθεί σε κατάλληλα σημεία του ηλεκτροϋδραυλικού σερβοσυστήματος, **σχήμα 9**.

Τα μεγέθη τα οποία μετρώνται μπορούν να είναι οι πιέσεις των θαλάμων του επενεργητή (εφόσον πρόκειται για υδραυλικό έμβολο) και των υδραυλικών γραμμών, οι ροές των υδραυλικών γραμμών, η δύναμη/ ροπή που δέχεται το φορτίο και η θέση του επενεργητή.

Όλα τα δεδομένα των μετρήσεων των αισθητηρίων οργάνων καταλήγουν στην



κάρτα συλλογής δεδομένων (DAQ).

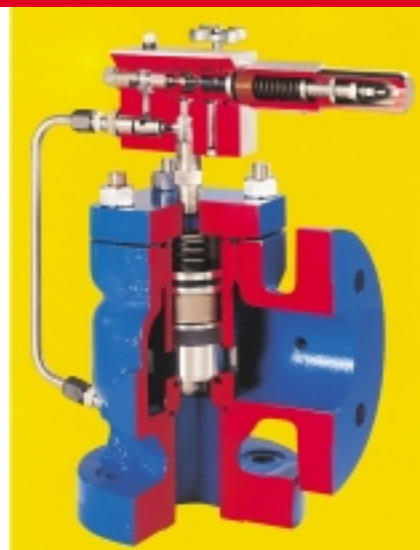
Εφαρμογές

Τα υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμού απαντώνται συχνά σε ποικίλες εφαρμογές, όπως στην ιατρική, στη βιομηχανία, στο στρατό, σε προσομοιώσεις οχημάτων βαρέων τύπου και

αυξημένων απαιτήσεων (π.χ. φορηγά, τρένα, υποβρύχια, ελικόπτερα, αεροσκάφη, άρματα μάχης κτλ.), στην έρευνα (π.χ. ρομποτική), στις εφαρμοσμένες επιστήμες (αντισεισμικός σχεδιασμός προστασίας, ανυψωτικές μηχανές κτλ.), σε δραστηριότητες τέχνης και ψυχαγωγίας κ.ά. Στη συνέ-

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδροπνευματικά συστήματα



ΑΡΙΣΤΕΡΑ:
Ανακουφιστική
βαλβίδα.
ΔΕΞΙΑ:
Ασφαλιστική
βαλβίδα
που λειτουργεί
με σύστημα
πιότου.

χεια αναφέρονται μερικές από τις πιο ενδιαφέρουσες και χαρακτηριστικές εφαρμογές των συστημάτων αυτών.

Οι απαιτήσεις της σύγχρονης βιομηχανίας για μεγαλύτερη αξιοπιστία και ακρίβεια, των υλικών παραγωγής καθιστούν ολοένα και πιο επιτακτική την ανάγκη της δη-

Αφιέρωμα

Αυτοματισμός / Υδροπνευματικά συστήματα

μιουργίας όλο και περισσότερο ευέλικτων κέντρων καταργασίας (CNC).

Κάτι τέτοιο υπόσχονται τα υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμού, τα οποία έχουν εισβάλει δυναμικά στο χώρο των βιομηχανικών εφαρμογών και αντικαθιστούν βαθμηδόν τα συμβατικά ηλεκτρομηχανικά συστήματα. Αν και στην Ελλάδα αυτό δεν είναι ακόμα άμεσα ορατό, ωστόσο μεγάλα βιομηχανικά κέντρα της Ευρώπης και των ΗΠΑ χρησιμοποιούν αποδοτικά τέτοια συστήματα.

Πέρα από την παραγωγή, τα υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμού βρίσκουν εφαρμογή και στη συσκευασία και αποθήκευση προϊόντων. Η ύπαρξη μεγάλων αποθηκευτικών χώρων και η ανάγκη για γρήγορη και εύκολη πρόσβαση στα αποθηκευμένα αντικείμενα, οδήγησε στην ευρεία εξάπλωση των αυτοματοποιημένων αποθηκών. Δύο εφαρμογές σεβουδραυλικά οδηγούμενων ρομποτικών μηχανισμών που χρησιμοποιούνται σε τέτοιες αποθήκες, είναι η παλετοποίηση προϊόντων και η αυτόματη αποθήκευση και ανάκτησή τους. Αυτές οι διεργασίες έχουν ως στόχο, τόσο τη γρηγορότερη πρόσβαση στους αποθηκευτικούς χώρους, όσο



Πνευματικές βαλβίδες.

και την αποδοτικότερη, από πλευράς εξοικονόμησης χώρου και χρόνου, αποθήκευση των προϊόντων. Παράλληλα, απαλλάσσουν τον άνθρωπο από την κουραστική και επιβλαβή με την πάροδο του χρόνου εργασία της φοροεκφόρτωσης.

Σημαντικές εφαρμογές υδροπνευματικών συστημά-

τεια, με σκοπό τη μεγιστοποίηση δύο πολύ βασικών παραγόντων: της ασφάλειας και της αποδοτικότητας. Σήμερα, εταιρίες και κυβερνητικοί οργανισμοί κάνουν σιγά-σιγά πραγματικότητα αυτό το όραμα, ενώ πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα συνεργάζονται στενά με τη βιομηχανία, στην ανάπτυξη

γορη απόκριση συστήματος. Η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια έχει κάνει αλματώδη πρόοδο στο χώρο αυτό, αφού άλλωστε είναι μία κατεξοχήν γεωργική χώρα.

Άλλη μία εφαρμογή των υδροπνευματικών συστημάτων αυτοματισμού είναι η χρήση τους σε αυτόνομα συστήματα εκσκαφής. Αν και στην Ελλάδα δεν συναντώνται ανάλογα συστήματα, ωστόσο άλλες χώρες όπως ο Καναδάς και οι ΗΠΑ διαθέτουν σύγχρονα ηλεκτροϋδραυλικά ρομποτικά συστήματα εκσκαφής, όπως π.χ. δασικά μηχανήματα υλοτομίας. Μάλιστα, η χρηματοδότηση πολλών ερευνητικών προγραμμάτων σε πανεπιστήμια, αλλά και σε εταιρίες της Αμερικής, της Αυστραλίας και του Καναδά, από τους κρατικούς φορείς, δείχνει ότι η παγκόσμια τάση είναι προς την κατεύθυνση της εισαγωγής όλο και περισσότερων σεβουδραυλικών ρομποτικών συστημάτων στις διάφορες διαδικασίες εκσκαφής.

Τέλος, οι σύγχρονες τάσεις της επιστήμης δεν θα μπορούσαν να αφήσουν αδιάφορη την τεχνολογία των υδροπνευματικών συστημάτων. Έτσι, δεν είναι τυχαίο που συναντούμε ολοένα και περισσότερο τέτοια συστήματα στα πεδία της νανοτεχνολογίας, του διαστήματος και της βιοϊατρικής. Πεδία των οποίων οι εφαρμογές απαιτούν υψηλή ακρίβεια, μεγάλη αξιοπιστία, γρήγορη απόκριση συστήματος και περισσότερη αποτελεσματικότητα. ■

*Ο κ. Νταβλιάκος είναι Δρ. Μηχανικός ΕΜΠ, Εργαστήριο Αυτομάτων Ελέγχου, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.
** Ο κ. Παπαδόπουλος είναι Καθηγητής ΕΜΠ, Εργαστήριο Αυτομάτων Ελέγχου, Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών ΕΜΠ.

Τα πνευματικά συστήματα χρησιμοποιούνται στην πλειονότητά τους σε εφαρμογές ελέγχου θέσης ή ταχύτητας ανοικτού βρόχου

των αυτοματισμού εξωτερικού χώρου, με ενδιαφέρον για την Ελλάδα, συναντώνται στα ορυχεία. Ήδη από το 2000, πλήθος άρθρων καταδείκνυαν την έντονη τάση αυτοματοποίησης και εισαγωγής σεβουδραυλικά οδηγούμενων ρομποτικών συστημάτων στα μεγάλα ορυ-

νέων αυτοματοποιημένων και ρομποτικών εφαρμογών.

Στο χώρο της γεωργίας τα υδροπνευματικά συστήματα αυτοματισμών χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο για το λόγο ότι απαιτείται υψηλή ισχύς και μεγάλη στιβαρότητα σε συνδυασμό με μεγάλη απόδοση και γρή-

Βιβλιογραφία

1. Papadopoulos, E., "Heron of Alexandria," Chapter in *Distinguished Figures in Mechanism and Machine Science, Their Contributions and Legacies, Book Series on History of Mechanism and Machine Science, (invited), Springer Verlag, 2007.*
2. Drachmann, A.G., *Ktesibios, Philon, & Heron, a Study in Ancient Pneumatics*, Swets & Zeitlinger, 1968.
3. *Εγκυκλοπαίδεια του 21ου αιώνα, Πάπυρος Larousse Britannica*, εκδόσεις Καθημερινή, 2006.
4. Russell W. Henke, P.E., *Fluid Power Systems & Circuits, Hydraulics & Pneumatics Magazine*, 1983.
5. H. E. Merritt, *Hydraulic Control Systems*, John Wiley, 1967.
6. Ν. Β. Παναγιωτόπουλος, *Υδροστατικές Μεταδόσεις Κίνησης*, Εκδόσεις Ζήτη & Σία ΟΕ, 1985.
7. Θ. Ν. Κωστόπουλος, *Υδραυλικά και Πνευματικά Συστήματα*, Εκδόσεις Συμείων, 1999.
8. Κ. Ε. Γιαννακόπουλος, *Υδραυλική Ισχύς, Θεωρία & Πράξη*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, 1999.
9. Κ. Ε. Γιαννακόπουλος, *Πνευματικοί Αυτοματισμοί, Θεωρία & Πράξη*, Εκδόσεις Αθ. Σταμούλης, 2002.