

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ Ι

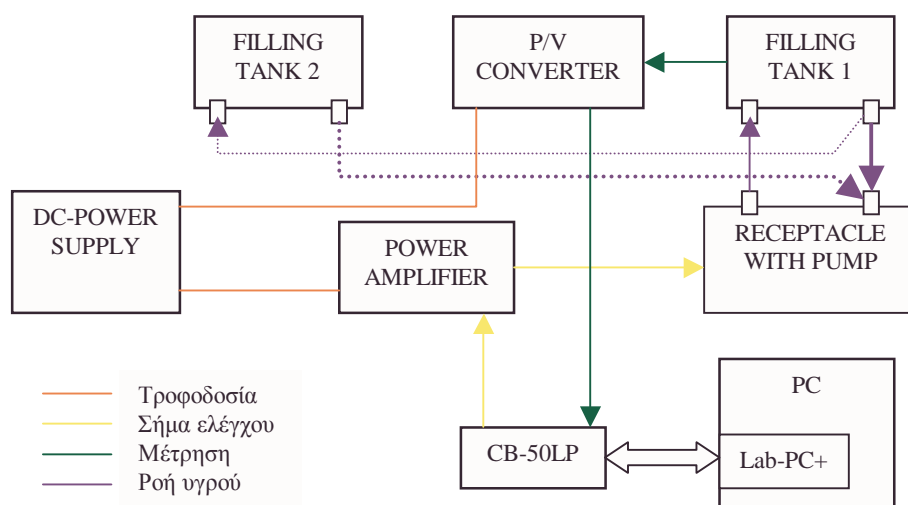
ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Τα βασικά μέρη της εργαστηριακής διάταξης είναι κατασκευασμένα από την εταιρεία LUCAS-NULLE. Από πλευράς υλικού, η διάταξη αποτελείται από τις παρακάτω βαθμίδες:

- Ένα τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος (DC-POWER SUPPLY)
- Έναν ενισχυτή ισχύος (POWER AMPLIFIER)
- Ένα δοχείο με αντλία (RECEPTACLE WITH PUMP)
- Δύο δεξαμενές (FILLING-TANK)
- Ένα μετατροπέα πίεσης-τάσης (P/V CONVERTER)

Η πρόσκτηση δεδομένων και ο έλεγχος της διάταξης γίνονται μέσω ενός Η/Υ στον οποίο είναι εγκατεστημένη η κάρτα πρόσκτησης δεδομένων Lab-PC+ της National Instruments. Η διασύνδεση της κάρτας πρόσκτησης δεδομένων και της εργαστηριακής διάταξης γίνεται μέσω του περιφερειακού CB-50LP της National Instruments. Το δομικό διάγραμμα της διάταξης παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.



Σχήμα 1

Το **τροφοδοτικό συνεχούς ρεύματος** (DC-POWER SUPPLY) παράγει την απαιτούμενη ισχύ για τη λειτουργία του ενισχυτή ισχύος (κατά συνέπεια και της αντλίας) και του μετατροπέα πίεσης-τάσης. Η έξοδος του τροφοδοτικού είναι DC $\pm 15V/2A$, απομονωμένη ηλεκτρονικά και ηλεκτρικά από το δίκτυο εναλλασσόμενου ρεύματος 220V/50Hz στο οποίο συνδέεται. Το τροφοδοτικό παρέχει επίσης την έξοδο αναφοράς 0V ως προς την οποία υπολογίζονται οι τάσεις του μετατροπέα πίεσης-τάσης και του σήματος ελέγχου της αντλίας. Το τροφοδοτικό διαθέτει το διακόπτη ON/OFF (0/1) με τον οποίο τίθεται σε λειτουργία η διάταξη. Κατά τη λειτουργία είναι αναμμένο το πράσινο ενδεικτικό LED πάνω από το διακόπτη 0/1. Υπάρχουν άλλα τρία ενδεικτικά LED κόκκινου χρώματος τα οποία ανάβουν όταν υπάρχει υπερφόρτωση του τροφοδοτικού (φέρουν την ένδειξη LIMIT).

ΠΡΟΣΟΧΗ: Αν κάποιο από τα LED υπερφόρτωσης παραμένει αναμμένο διαρκώς κατά τη λειτουργία της διάταξης υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του τροφοδοτικού! Στην περίπτωση αυτή η διάταξη πρέπει να κλείσει (διακόπτης στη θέση 0) και να ειδοποιηθεί ο υπεύθυνος του εργαστηρίου.

Ο **ενισχυτής ισχύος** (POWER AMPLIFIER) χρησιμοποιείται για να οδηγήσει το σήμα ελέγχου της διάταξης στο απαιτούμενο για τη λειτουργία της αντλίας επίπεδο ισχύος. Το σήμα ελέγχου, που προέρχεται από το περιφερειακό CB-50LP, τροφοδοτείται στην είσοδο (Y_R) του ενισχυτή και είναι διαθέσιμο στις δυο εξόδους του με κέρδος τάσης 1 (μη αναστρέφουσα, Y_S) και -1 (αναστρέφουσα, \bar{Y}_S). Από αυτές η μη αναστρέφουσα έξοδος χρησιμοποιείται για την παροχή του σήματος ελέγχου της αντλίας. Η τάση εισόδου του ενισχυτή (συνεπώς και η τάση εξόδου του, δηλ. το σήμα ελέγχου της αντλίας) πρέπει να κυμαίνεται στο διάστημα $[-10V, 10V]$. Η ισχύς εξόδου του είναι της τάξης των 10W.

Το **δοχείο με αντλία** (RECEPTACLE WITH PUMP) περιλαμβάνει μια δεξαμενή (βρίσκεται στο πίσω μέρος του πάνελ) η οποία τροφοδοτεί μέσω μια αντλίας κινητού πλαισίου (είναι τοποθετημένη στο καπάκι του δοχείου) τη δεξαμενή 1. Η χωρητικότητα του δοχείου είναι 1,5 lt. Η μέγιστη ροή άντλησης είναι 1,2 lt/min. Η αντλία μπορεί να τροφοδοτηθεί με συνεχή τάση στην περιοχή [-10V, 10V]. Ανάλογα με το πρόσημο της τάσης μεταβάλλεται η φορά άντλησης. Για τα πειράματα ελέγχου στάθμης που περιγράφονται στη συνέχεια χρησιμοποιείται *μόνο θετική τάση* ελέγχου (άντληση μόνο από το δοχείο προς τη δεξαμενή).

Η διάταξη περιλαμβάνει δυο πανομοιότυπες **δεξαμενές** (FILLING-TANK). Στη βασική συνδεσμολογία, μόνο η δεξαμενή 1 είναι συνδεδεμένη στο δοχείο με αντλία, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1 (συνεχείς μπλε γραμμές). Η σύνδεση της δεύτερης δεξαμενής γίνεται όπως δείχνουν οι διακεκομμένες μπλε γραμμές στο Σχήμα 1, δηλ. η έξοδος της δεξαμενής 1 συνδέεται στην είσοδο της δεξαμενής 2 και η έξοδος της δεξαμενής 2 στην είσοδο του δοχείου (το υγρό τροφοδοτείται από την αντλία στην είσοδο της δεξαμενής 1 και σε αυτή την περίπτωση). Κάθε δεξαμενή έχει χωρητικότητα 0,6 lt, θεωρώντας ως μέγιστη στάθμη τα 15cm. Στο εμπρόσθιο μέρος της δεξαμενής 1, τη στάθμη της οποίας θέλουμε να ελέγξουμε, υπάρχει μια διαφάνεια βαθμονομημένη ανά 1,5cm ώστε να διευκολύνεται η εποπτεία του πειράματος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: *Οι λευκοί κύλινδροι που βρίσκονται στο επάνω μέρος της δεξαμενής χρησιμοποιούνται για τη ρύθμιση των ροών εισόδου και εξόδου (περιστρέφοντας τον αριστερό κύλινδρο είναι δυνατή η επιλογή ροής εισόδου από την κορυφή ή τον πυθμένα, ενώ η περιστροφή του δεξιού κυλίνδρου αλλάζει την αντίσταση ροής εξόδου). Μεταβολή της θέσης των κυλίνδρων έχει ως αποτέλεσμα αλλαγή των χαρακτηριστικών του συστήματος με αντίστοιχες συνέπειες στη μοντελοποίηση του (αλλαγή συναρτήσεων μεταφοράς)!*

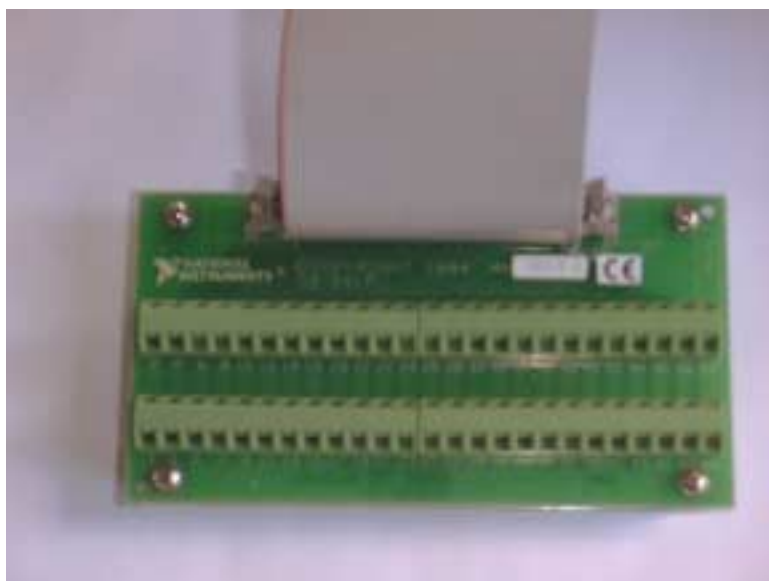
Ο **μετατροπέας πίεσης-τάσης** (P/V CONVERTER) χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της στάθμης της δεξαμενής 1, μετατρέποντας την πίεση σε ένα σήμα συνεχούς τάσης. Έχει την δυνατότητα μέτρησης στάθμης από 0 έως 30cm. Για μετρήσεις στάθμης στην περιοχή από 0 ως 15cm το σήμα εξόδου του κυμαίνεται από 0 ως 5V.

Η αντιστοιχία πίεσης (συνεπώς και στάθμης) σε τάση ρυθμίζεται μέσω του ποτενσιόμετρου GAIN, ενώ η ευθυγράμμιση του σημείου μηδέν της τάσης εξόδου του μετατροπέα (zero point calibration) γίνεται με τη βοήθεια του ποτενσιόμετρου ZERO POINT. Για τη λειτουργία του μετατροπέα είναι απαραίτητη η τροφοδοσία του με τάση $\pm 15V$.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: *Μεταβολή της ρύθμισης κέρδους μέσω του ποτενσιόμετρου GAIN έχει ως αποτέλεσμα αλλαγή των χαρακτηριστικών του συστήματος!*

Η **κάρτα πρόσκτησης δεδομένων Lab-PC+** χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του σήματος τάσης που παράγει ο μετατροπέας πίεσης-τάσης, αλλά και για την παραγωγή του σήματος ελέγχου της διάταξης. Με τις τρέχουσες ρυθμίσεις η κάρτα μπορεί να δεχτεί 8 αναλογικές εισόδους (analog in channels 0-7) στην περιοχή [-5V, 5V] και να παράγει 2 αναλογικές εξόδους (analog out channels 0-1) στην περιοχή [0, 10V]. Η πρόσκτηση του σήματος του μετατροπέα πίεσης-τάσης γίνεται από το αναλογικό κανάλι εισόδου 0, ενώ το σήμα ελέγχου οδηγείται μέσω του αναλογικού καναλιού εξόδου 0. Η μετατροπή των αναλογικών μετρήσεων σε ψηφιακές γίνεται με τη βοήθεια ενός 12-bit A/D μετατροπέα. Αντίστοιχα, τα παραγόμενα από τον υπολογιστή ψηφιακά σήματα εξόδου μετατρέπονται σε αναλογικά με τη χρήση ενός 12-bit D/A μετατροπέα.

Η διασύνδεση της κάρτας Lab-PC+ και της διάταξης γίνεται με τη βοήθεια του περιφερειακού CB-50LP το οποίο εικονίζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2

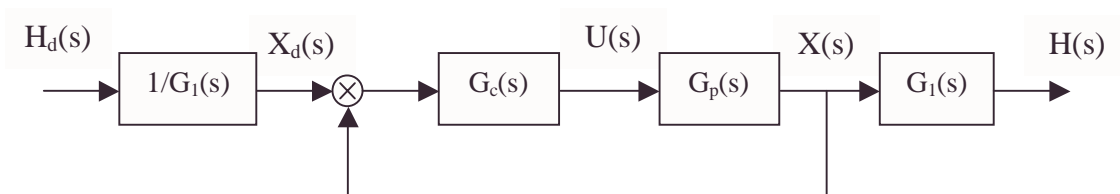
Το περιφερειακό αυτό συνδέεται με την κάρτα μέσω ενός καλωδίου 50 αγωγών, τα σήματα των οποίων μεταφέρει σε ισάριθμους ακροδέκτες. Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων ελέγχου στάθμης χρησιμοποιούνται τέσσερις από τους ακροδέκτες του CB-50LP. Οι ακροδέκτες 9 και 11 (γείωση αναλογικών εισόδων και εξόδων αντίστοιχα) είναι συνδεδεμένοι στο σήμα αναφοράς 0V της διάταξης. Ο ακροδέκτης 1 (αναλογικό κανάλι εισόδου 0, μέτρηση τάσης) συνδέεται στην έξοδο του μετατροπέα πίεσης-τάσης. Τέλος ο ακροδέκτης 10 (αναλογικό κανάλι εξόδου 0) συνδέεται στην είσοδο του ενισχυτή ισχύος και παρέχει το σήμα ελέγχου της διάταξης.

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων ελέγχου της στάθμης της δεξαμενής 1 σε δυο περιπτώσεις: όταν είναι η μοναδική δεξαμενή του συστήματος αλλά και όταν συνδέεται με τη δεξαμενή 2. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για την προσομοίωση του ελεγχόμενου συστήματος, βασίζεται σε μοντέλα SIMULINK. Ιδιαίτερως για την κατασκευή των μοντέλων για τον έλεγχο πραγματικού χρόνου της διάταξης χρησιμοποιήθηκαν το περιβάλλον Real Time Workshop και η βιβλιοθήκη Real Time Windows Target της SIMULINK.

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΜΙΑ ΔΕΞΑΜΕΝΗ

A. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το θεωρητικό μοντέλο του αντισταθμισμένου συστήματος δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 3

Η είσοδος $h_d(t)$ (επιθυμητή στάθμη) καθώς και η απόκριση $h(t)$ (πραγματική στάθμη) μετρώνται σε εκατοστά. Οι ποσότητες $x_d(t)$, $x(t)$ και $u(t)$ (είσοδος, απόκριση και έλεγχος, αντίστοιχα) μετρώνται σε volt.

Το σύστημα με μια δεξαμενή μπορεί να μοντελοποιηθεί ικανοποιητικά ως μια διαδικασία πρώτης τάξης, θεωρώντας ως είσοδο την τάση ελέγχου της αντλίας και ως έξοδο τη στάθμη της δεξαμενής μετρούμενη ως τάση μέσω του μετατροπέα P/V. Βάσει πειραματικών μετρήσεων της απόκρισης του συστήματος, η συνάρτηση μεταφοράς της ελεγχόμενης διαδικασίας προσδιορίστηκε ως

$$G_p(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{1.36}{42s + 1}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ GAIN ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΠΙΕΣΗΣ-ΤΑΣΗΣ Ή ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ ΣΥΝΕΠΙΑΓΕΤΑΙ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ!

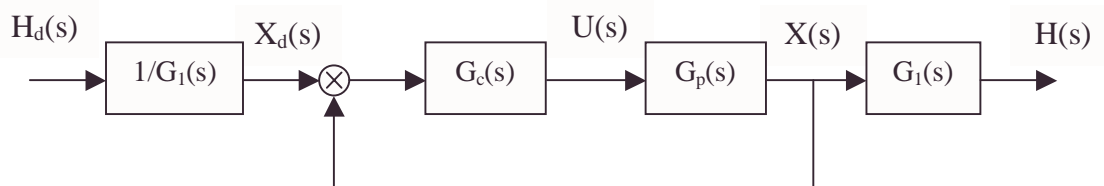
Οι βαθμίδες $G_I(s)$ και $1/G_I(s)$ χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της μέτρησης της στάθμης από volt σε cm και αντίστροφα. Με την παρούσα ρύθμιση κέρδους (ποτενσιόμετρο GAIN) του μετατροπέα πίεσης-τάσης, ισχύει:

$$G_I(s) = 3.3$$

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΑΘΜΗΣ ΥΓΡΟΥ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕ ΔΥΟ ΔΕΞΑΜΕΝΕΣ

A. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Το θεωρητικό μοντέλο του αντισταθμισμένου συστήματος δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί:



Σχήμα 4

Όπως και στην περίπτωση του συστήματος με μια δεξαμενή, η είσοδος $h_d(t)$ (επιθυμητή στάθμη) καθώς και η απόκριση $h(t)$ (πραγματική στάθμη) μετρώνται σε εκατοστά. Οι ποσότητες $x_d(t)$, $x(t)$ και $u(t)$ (είσοδος, απόκριση και έλεγχος, αντίστοιχα) μετρώνται σε volt.

Το σύστημα με δυο δεξαμενές μπορεί να μοντελοποιηθεί ικανοποιητικά ως μια διαδικασία δεύτερης τάξης, θεωρώντας ως είσοδο την παροχή (ροή) υγρού στη δεξαμενή 1 (μετρούμενη σε cm^3/sec) και ως έξοδο τη στάθμη της δεξαμενής 1 (μετρούμενη σε cm). Βάσει πειραματικών μετρήσεων της απόκρισης του συστήματος, η συνάρτηση μεταφοράς της παραπάνω διαδικασίας προσδιορίστηκε ως

$$G(s) = \frac{0.025s + 0.0015}{s^2 + 0.0774s + 0.0007}$$

Η παροχή υγρού στη δεξαμενή 1 είναι συνάρτηση της τάσης ελέγχου της αντλίας. Η συνάρτηση μεταφοράς της αντλίας $G_a(s)$ μπορεί να θεωρηθεί κατά προσέγγιση ίση με 2 (δηλ. τάση ελέγχου 1V προκαλεί παροχή υγρού $2\text{cm}^3/\text{sec}$). Η συνάρτηση μεταφοράς του μετατροπέα πίεσης-τάσης $G_m(s)$ (δηλ. η μετατροπή της μέτρησης στάθμης από cm σε volt) θεωρείται προσεγγιστικά ίση με 1/3.3. Επομένως, η συνάρτηση μεταφοράς της ελεγχόμενης διαδικασίας, με είσοδο την τάση ελέγχου της αντλίας και έξοδο τη στάθμη της δεξαμενής 1 μετρούμενη σε volt, προκύπτει ως το γινόμενο (σύνδεση σε σειρά) των συναρτήσεων μεταφοράς της αντλίας, του συστήματος των 2 δεξαμενών και του μετατροπέα P/V, δηλαδή είναι

$$G_p(s) = G_d(s)G(s)G_m(s)$$

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, ισχύει

$$G_p(s) = \frac{0.0152s + 0.0009}{s^2 + 0.0774s + 0.0007}$$

ΠΡΟΣΟΧΗ: ΑΛΛΑΓΗ ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΟΤΕΝΣΙΟΜΕΤΡΟΥ GAIN ΤΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΠΙΕΣΗΣ-ΤΑΣΗΣ Ή ΣΤΗ ΘΕΣΗ ΤΩΝ ΚΥΛΙΝΔΡΩΝ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΡΟΗΣ ΤΗΣ ΔΕΞΑΜΕΝΗΣ 1 Ή 2 ΣΥΝΕΠΑΓΕΤΑΙ ΑΛΛΑΓΗ ΤΗΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ!

Οι βαθμίδες $G_I(s)$ και $1/G_I(s)$ χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της μέτρησης της στάθμης από volt σε cm και αντίστροφα. Με την παρούσα ρύθμιση κέρδους (ποτενσιόμετρο GAIN) του μετατροπέα πίεσης-τάσης, όπως προαναφέρθηκε ισχύει:

$$G_I(s) = 3.3$$