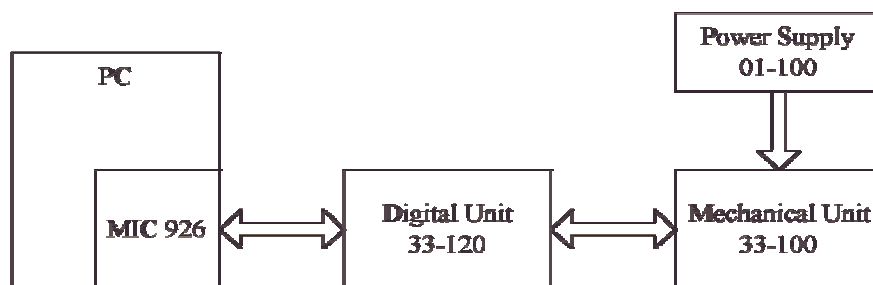


ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ Ι

ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ/ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΣΕΡΒΟΚΙΝΗΤΗΡΑ DC

1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Τα βασικά μέρη της εργαστηριακής διάταξης (υλικό και λογισμικό) είναι κατασκευασμένα από την εταιρεία FEEDBACK. Από πλευράς υλικού, η διάταξη αποτελείται από τις μονάδες 01-100 (power supply), 33-100 (mechanical unit), 33-120 (digital unit), και τον υπολογιστή στον οποίο είναι εγκατεστημένη η κάρτα πρόσκτησης δεδομένων MIC 926. Οι μονάδες αυτές είναι διασυνδεδεμένες μεταξύ τους όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.

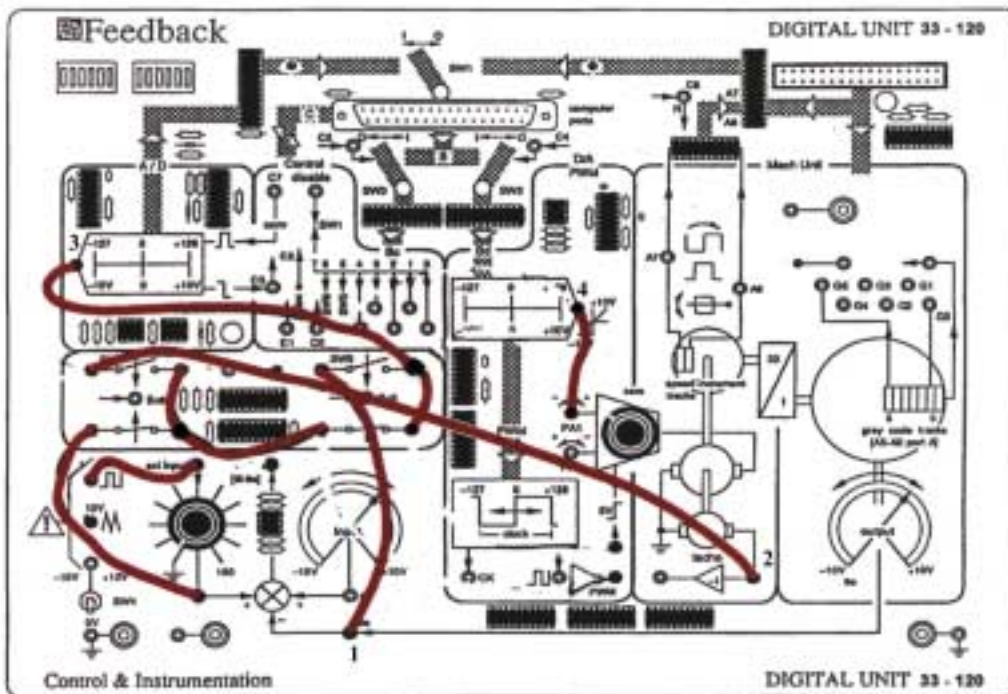


Σχήμα 1

Η ψηφιακή μονάδα 33-120 συνδέεται με την κάρτα MIC-926 μέσω ενός παράλληλου καλωδίου 37 αγωγών το οποίο επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία. Οι μετρήσεις μεγεθών της μηχανικής μονάδας (θέση, ταχύτητα) παρέχονται προς τον υπολογιστή μέσω της ψηφιακής μονάδας, είτε μέσω του A/D μετατροπέα που αυτή διαθέτει (αναλογικές μετρήσεις), είτε απ' ευθείας (ψηφιακές μετρήσεις). Η επιλογή χρήσης αναλογικών ή ψηφιακών μετρήσεων γίνεται μέσω του λογισμικού. Η ψηφιακή μονάδα απεικονίζεται στο Σχήμα 2 μαζί με τις απαραίτητες καλωδιώσεις για τη διεξαγωγή ελέγχου πραγματικού χρόνου.

Ένα αναλογικό σήμα στην περιοχή $\pm 10V$, προερχόμενο από το ποτενσιόμετρο εξόδου της μηχανικής μονάδας, παρέχεται στον ακροδέκτη 1 (θ_0). Όμοια στον ακροδέκτη 2 παρέχεται αναλογικό σήμα στην ίδια περιοχή τιμών, προερχόμενο από

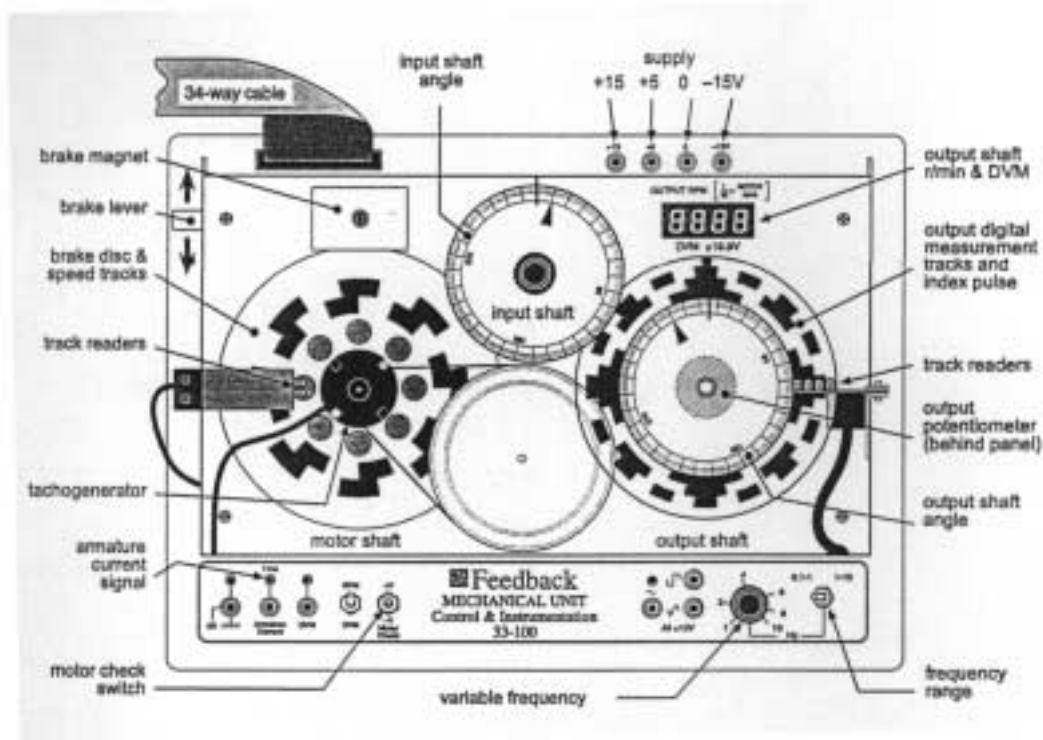
την ταχογεννήτρια της μηχανικής μονάδας. Τα σήματα αυτά αποτελούν μετρήσεις θέσης και ταχύτητας, αντίστοιχα, και τροφοδοτούνται στην είσοδο του A/D μετατροπέα (ακροδέκτης 3) αφού πρώτα πολυπλεχθούν μέσω του ζεύγους διακοπών SW5 και SW6. Το σήμα ελέγχου του σερβοκινητήρα (τάση) παρέχεται μέσω του ενισχυτή PA1, προερχόμενο από την έξοδο του D/A μετατροπέα (ακροδέκτης 4) όπου και έχει μετατραπεί σε αναλογικό στην περιοχή $\pm 10V$. Μη μηδενικό σήμα ελέγχου οδηγεί σε κίνηση του σερβοκινητήρα με φορά εξαρτώμενη από το πρόσημο του. Το ποτενσιόμετρο zero χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση του σήματος ελέγχου στο μηδέν επιτρέποντας έτσι την τοποθέτηση του σερβοκινητήρα σε μια επιθυμητή αρχική θέση προτού εφαρμοστεί εξωτερικός έλεγχος.



Σχήμα 2

Η μηχανική μονάδα 33-100 συνδέεται με την ψηφιακή μονάδα μέσω ενός παράλληλου καλωδίου 34 αγωγών το οποίο επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία. Οι απαραίτητες τάσεις για τη λειτουργία της μηχανικής μονάδας παρέχονται από το τροφοδοτικό 01-100. Μια γενική απεικόνιση της μηχανικής μονάδας δίνεται στο Σχήμα 3. Στη συνέχεια δίνεται μια συνοπτική περιγραφή των βασικών τμημάτων της, που είναι τα ακόλουθα:

Άξονας κινητήρα (motor shaft): φέρει την ταχογεννήτρια (tachogenerator) και το δίσκο φρένου (brake disk). Αυτός είναι εφοδιασμένος με ένα 2-φασικό ίχνος (speed track) για ψηφιακή μέτρηση ταχύτητας μέσω αισθητήρων υπερύθρων (track readers).



Σχήμα 3

Μαγνητικό φρένο (brake magnet): το φρένο μπορεί να τοποθετηθεί σε διάφορες θέσεις μέσω του μοχλού (brake lever) στο αριστερό άκρο της μονάδας, ενώ υπάρχει και βαθμονόμηση των θέσεων.

Άξονας εισόδου (input shaft): φέρει το ποτενσιόμετρο εισόδου και δίνει ένα αναλογικό σήμα θ_i στην περιοχή $\pm 10V$. Χρησιμοποιείται κατά τον έλεγχο του συστήματος με τη βοήθεια αναλογικής μονάδας (δεν χρησιμοποιείται στην παρούσα διάταξη).

Άξονας εξόδου (output shaft): φέρει το ποτενσιόμετρο εξόδου και ίχνη ψηφιακής μέτρησης γωνίας (output digital measurement tracks). Το ποτενσιόμετρο εξόδου δίνει ένα αναλογικό σήμα μέτρησης γωνίας θ_o στην περιοχή $\pm 10V$. Τα ίχνη ψηφιακής

μέτρησης δίνουν πληροφορία με τη μορφή κώδικα Gray 6-bit (64 διακριτές θέσεις) μέσω αισθητήρων υπερύθρων. Η θέση (γωνία) του άξονα εξόδου προσδιορίζεται μέσω των ενδείξεων γωνίας (output shaft angle) που υπάρχουν στον άξονα. Ο άξονας είναι βαθμονομημένος από 0° ως 360° με ακρίβεια 2°.

Οθόνη ταχύτητας εξόδου (output speed display): εμφανίζει μια ψηφιακή μέτρηση ταχύτητας του άξονα εξόδου σε στροφές/λεπτό (rpm) στην περιοχή $\pm 00.0-99.9$, η οποία λαμβάνεται από τα ίχνη ταχύτητας στο δίσκο φρένου. Καθώς υπάρχει μείωση στροφών με λόγο 32:1 από τον κινητήρα προς τον άξονα εξόδου, μετρούμενη ταχύτητα 31.1 rpm αντιστοιχεί σε ταχύτητα κινητήρα 1000 rpm.

Η διάταξη αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διεξαγωγή εργαστηριακών ασκήσεων ελέγχου της θέσης του άξονα εξόδου (τοποθέτηση του σε μια συγκεκριμένη γωνία) ή ελέγχου της ταχύτητας περιστροφής του. Το λογισμικό που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο πραγματικού χρόνου του σερβομηχανισμού, αλλά και για την προσομοίωση του ελεγχόμενου συστήματος, βασίζεται σε συναρτήσεις της MATLAB και μοντέλα SIMULINK που περιλαμβάνονται στο Digital Servo Toolbox της FEEDBACK.

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ PID ΕΛΕΓΚΤΗ

A. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΘΕΣΗΣ

Για το πείραμα του ελέγχου θέσης με PID ελεγκτή χρησιμοποιούνται μόνο οι αναλογικές μετρήσεις θέσης και ταχύτητας, οι οποίες μετατρέπονται μέσω του A/D μετατροπέα σε ψηφιακές με τιμές στην περιοχή $\{0,1,\dots,255\}$. Ομοίως, η επιθυμητή θέση καθώς και το σήμα ελέγχου του μοντέλου SIMULINK πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συστήματος έχουν την ίδια περιοχή τιμών. Είναι επομένως αναγκαία μια αντιστοίχιση των μονάδων μέτρησης του A/D μετατροπέα σε μοίρες και αντίστροφα, ώστε η μεταβλητή της θέσης (γωνία) στο μοντέλο να μπορεί να πάρει τιμές με φυσική σημασία.

Θεωρώντας ως πεδίο τιμών για τη θέση το $[-180^\circ, 180^\circ)$, η αντιστοιχία μεταξύ μοιρών και μονάδων του A/D μετατροπέα δίνεται από τη σχέση:

$$x = \text{round}(-0.71a) + 128 \quad (1)$$

όπου x : η θέση σε μονάδες του A/D μετατροπέα και a : η θέση σε μοίρες. Η στρογγύλευση (συνάρτηση round) γίνεται καθώς τα σήματα εξόδου (εισόδου) του A/D (D/A) μετατροπέα είναι διακριτά. Ο συντελεστής 0.71 προκύπτει ως ο λόγος του εύρους των πεδίων τιμών της θέσης σε μονάδες A/D και μοίρες, δηλ. $256/360$. Από τα παραπάνω φαίνεται ότι δεν υπάρχει αντιστοιχία 1-1 μεταξύ μοιρών και μονάδων A/D μετατροπέα, με αποτέλεσμα *ο έλεγχος θέσης να έχει ακρίβεια της τάξης των 2°* . Η τιμή 128 για τον A/D (D/A) μετατροπέα αντιστοιχεί στις 0° .

Η σχέση (1) χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της επιθυμητής θέσης (είσοδος) από μοίρες σε μονάδες του A/D μετατροπέα κατά τον έλεγχο πραγματικού χρόνου. Αντίστοιχα, η μετατροπή της πραγματικής θέσης (έξοδος) από μονάδες A/D σε μοίρες γίνεται με βάση τη σχέση (2):

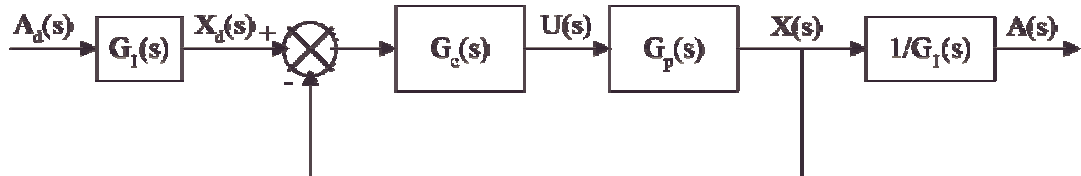
$$a = \frac{x - 128}{-0.71} \quad (2)$$

Για τις ανάγκες της θεωρητικής μοντελοποίησης θεωρούμε ότι το πεδίο τιμών των μετρήσεων θέσης σε μονάδες του A/D μετατροπέα είναι συνεχές και προσημασμένο, δηλ. το $[-128, 127]$ αντί του $\{0, \dots, 255\}$. Μια γραμμική προσέγγιση των συναρτήσεων μετατροπής από μοίρες σε μονάδες του A/D μετατροπέα και αντίστροφα, δίνεται τότε από τις σχέσεις:

$$x = -0.71a \text{ και } a = x/(-0.71)$$

B. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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



Σχήμα 4

Η είσοδος $a_d(t)$ (επιθυμητή θέση άξονα εξόδου) καθώς και η απόκριση $a(t)$ (πραγματική θέση άξονα εξόδου) μετρώνται σε μοίρες. Οι ποσότητες $x_d(t)$, $x(t)$ και $u(t)$ (είσοδος, απόκριση και έλεγχος, αντίστοιχα) μετρώνται σε μονάδες του A/D μετατροπέα.

Η συνάρτηση μεταφοράς της ελεγχόμενης διαδικασίας, με είσοδο την τάση ελέγχου του κινητήρα και έξοδο τη θέση του άξονα εξόδου (και οι δυο μετρούμενες σε μονάδες του A/D μετατροπέα) είναι

$$G_p(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{C_s K_s}{s(T_s s + 1)}$$

Οι παράμετροι C_s , K_s και T_s υπολογίζονται πειραματικά βάσει μετρήσεων της απόκρισης του σερβοκινητήρα. Η παράμετρος C_s εξαρτάται από τον τύπο των αισθητήρων που χρησιμοποιούνται για πρόσκτηση δεδομένων από το σύστημα και η πειραματικά αναγνωρισμένη τιμή της είναι $C_s = 5$. Οι παράμετροι K_s και T_s εξαρτώνται από τη θέση του μαγνητικού φρένου. Για την παρούσα θέση του μαγνητικού φρένου (μοχλός φρένου στη μέση της διαδρομής), οι πειραματικά

αναγνωρισμένες τιμές τους είναι $K_s = 0.62$ και $T_s = 0.16$. Με βάση αυτές τις τιμές των παραμέτρων, η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος είναι:

$$G_p(s) = \frac{3.1}{s(0.16s + 1)}$$

Οι βαθμίδες $G_I(s)$ και $1/G_I(s)$ χρησιμοποιούνται για τη μετατροπή της θέσης από μοίρες σε μονάδες του A/D μετατροπέα και αντίστροφα. Όπως προαναφέρθηκε, για το θεωρητικό γραμμικό μοντέλο ισχύει:

$$G_I(s) = -0.71$$

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΜΕ ΠΙ ΕΛΕΓΚΤΗ

A. ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ

Για το πείραμα του ελέγχου ταχύτητας του άξονα εξόδου με ΠΙ ελεγκτή χρησιμοποιούνται μόνο οι αναλογικές μετρήσεις θέσης και ταχύτητας, οι οποίες μετατρέπονται μέσω του A/D μετατροπέα σε ψηφιακές με τιμές στην περιοχή $\{0,1,\dots,255\}$. Ομοίως, η επιθυμητή ταχύτητα καθώς και το σήμα ελέγχου του μοντέλου SIMULINK πραγματικού χρόνου που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο του συστήματος έχουν την ίδια περιοχή τιμών. Είναι επομένως αναγκαία μια αντιστοίχιση των μονάδων μέτρησης του A/D μετατροπέα σε στροφές ανά λεπτό (rpm) και αντίστροφα, ώστε η μεταβλητή της ταχύτητας στο μοντέλο να μπορεί να πάρει τιμές με φυσική σημασία.

Από πειραματικές μετρήσεις προέκυψε ότι το πεδίο τιμών της ταχύτητας του άξονα εξόδου σε rpm είναι κατά προσέγγιση το $[-58, 57]$, όπου θετική ταχύτητα αντιστοιχεί σε κίνηση κατά τη φορά του ρολογιού. Η αντιστοιχία μεταξύ rpm και μονάδων του A/D μετατροπέα δίνεται, κάνοντας μια αρκετά ανεκτική προσέγγιση, από τη σχέση

$$x = \text{round}(v) + 125 \quad (3)$$

όπου x : η ταχύτητα σε μονάδες του A/D μετατροπέα και v : η ταχύτητα σε rpm. Η στρογγύλευση (συνάρτηση round) γίνεται καθώς τα σήματα εξόδου (εισόδου) του A/D (D/A) μετατροπέα είναι διακριτά. Η τιμή 125 για τον A/D (D/A) μετατροπέα αντιστοιχεί σε ταχύτητα 0 rpm. Καθώς η ταχύτητα του άξονα εξόδου κυμαίνεται στην πράξη από -58 ως 57 rpm, από τη σχέση (3) προκύπτει ότι οι μετρήσεις ταχύτητας σε μονάδες του A/D μετατροπέα έχουν ουσιαστικά ως πεδίο τιμών το $\{67,\dots,182\}$.

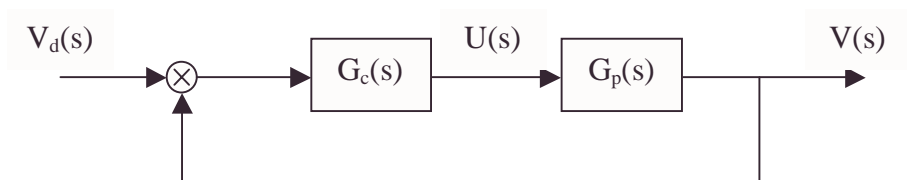
Η σχέση (3) χρησιμοποιείται για τη μετατροπή της επιθυμητής ταχύτητας (είσοδος) από rpm σε μονάδες του A/D μετατροπέα κατά τον έλεγχο πραγματικού χρόνου. Αντίστοιχα, η μετατροπή της πραγματικής ταχύτητας (έξοδος) από μονάδες A/D σε rpm γίνεται με βάση τη σχέση (4):

$$v = x - 125 \quad (4)$$

Για τις ανάγκες της θεωρητικής μοντελοποίησης θεωρούμε ότι το πεδίο τιμών των μετρήσεων ταχύτητας σε μονάδες του A/D μετατροπέα είναι συνεχές και προσημασμένο, δηλ. το $[-58, 57]$ αντί του $\{67, \dots, 182\}$. Στην περίπτωση αυτή ισχύει (προσεγγιστικά...) ότι $x = v$, δηλαδή υπάρχει αντιστοιχία 1 – 1 μεταξύ μετρήσεων σε rpm και σε μονάδες του A/D μετατροπέα.

B. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

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



Σχήμα 5

Η είσοδος $v_d(t)$ (επιθυμητή ταχύτητα άξονα εξόδου) καθώς και η απόκριση $v(t)$ (πραγματική ταχύτητα άξονα εξόδου) μετρώνται είτε σε rpm, είτε σε μονάδες του A/D μετατροπέα (όπως προαναφέρθηκε, για το θεωρητικό γραμμικό μοντέλο υπάρχει αντιστοιχία 1 – 1 μεταξύ μετρήσεων σε rpm και σε μονάδες του A/D μετατροπέα). Η ποσότητα $u(t)$ (έλεγχος) μετράται σε μονάδες του A/D μετατροπέα.

Η συνάρτηση μεταφοράς της ελεγχόμενης διαδικασίας, με είσοδο την τάση ελέγχου του κινητήρα και έξοδο την ταχύτητα του άξονα εξόδου, είναι

$$G_p(s) = \frac{X(s)}{U(s)} = \frac{K_s}{T_s s + 1}$$

Οι παράμετροι K_s και T_s υπολογίζονται πειραματικά βάσει μετρήσεων της απόκρισης του σερβοκινητήρα (δείτε την Ενότητα 2B. του παρόντος). Με βάση τις πειραματικά αναγνωρισμένες τιμές των παραμέτρων, η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος είναι:

$$G_p(s) = \frac{0.62}{0.16s + 1}$$