

Άσκηση 3

Ποιοτική Μελέτη των νόμων ελέγχου δύο και τριών όρων (συσκευή: Προσομοιωτής ελέγχου PCS327: Σχ.1)

Απαραίτητες γνώσεις

- 1) Αυτόματος έλεγχος δύο και τριών όρων
- 2) Εμπειρικά μέθοδοι εκλογής των παραμέτρων των νόμων ελέγχου δύο και τριών όρων.

Βιβλιογραφία

- 1) «Αυτόματος έλεγχος τριών όρων φυσικών και χημικών διεργασιών», Σπ. Τζαφέστα (ειδικό φυλλάδιο)
- 2) «Feedback Control Theory for Engineers», Atkinson, Κεφ. 4 (Heineman).
- 3) «An introduction to process dynamics and control», Weber T., Κεφ. 14 (J. Wiley, 1973)

Δίτιμος (ON – OFF) έλεγχος ανοιχτού βρόχου

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 3. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2α
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 3.
- c) Ρυθμίζουμε την τιμή αναφοράς (set-value) με τέτοιο τρόπο ώστε το όργανο να δείξει ένδειξη περίπου 10.
- d) Κάνοντας χρήση του συνδέσμου A του Σχ. 3 σαν διακόπτη ON-OFF προσπαθείστε να οδηγήσετε την μετρούμενη τιμή του οργάνου περίπου στην τιμή 5.
- e) Σημειώστε τις ποιοτικές και ποσοτικές παρατηρήσεις σας.

Σε αυτό το πείραμα η υπό έλεγχο διεργασία (process) είναι δυνατό να παριστά ένα «ηλεκτρικό φούρνο». Ο σύνδεσμος A παίζει τον ρόλο του διακοπτικού ελέγχου ON – OFF, το δεν έλεγχο ασκεί ο άνθρωπος. Η τιμή αναφοράς ή επιθυμητή τιμή (set-value) παριστά την επιθυμητή θερμοκρασία και η μετρούμενη τιμή (measured value) την πρακτικά λαμβάνουσα θερμοκρασία. Μέσω της ακολουθιακής μετάπτωσης από την κατάσταση ON στην κατάσταση OFF είναι δυνατό να κρατήσουμε την θερμοκρασία κοντά στην επιθυμητή, αλλά όχι πάντοτε. Ένας έλεγχος αυτής της μορφής (ανοιχτού βρόχου) δεν είναι επιτυχές και άρα πρακτικά μη αποδεκτό.

Ανάλογος (P) έλεγχος ανοιχτού βρόχου

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 4. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2α
- b) Μέσω της ρύθμισης της set-value προσπαθείστε να λάβετε στο όργανο μέτρησης οποιαδήποτε τιμή (measured value) θέλετε και σημειώστε τις ενδείξεις της set-value και measured value.
- c) Εφαρμόστε μια μικρή διαταραχή $\pm 1,5V$ (συνεχής τάση) στο σημείο load disturbance και σημειώστε τις μεταβολές των ενδείξεων των οργάνων.
- d) Σημειώστε τις ποιοτικές και ποσοτικές παρατηρήσεις σας.

Με αυτόν τον τρόπο αναμένεται ομαλότερος έλεγχος της θερμοκρασίας του φούρνου. Η μετρούμενη τιμή διατηρείται περίπου ίση με την επιθυμητή, υπό την προϋπόθεση ότι η επιθυμητή τιμή διατηρείται σταθερή. Εάν η τιμή αυτή διαταραχθεί, δεν λαμβάνει χώρα αυτόματη διορθωτική δράση.

Ανάλογος (P) έλεγχος κλειστού βρόχου

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 5. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2α
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 5.
- c) Θέστε τον διακόπτη του οργάνου μέτρησης στην θέση measured value και μεταβάλλοντας το set value control σημειώστε τις ενδείξεις των οργάνων set value και measured value.
- d) Επαναλάβετε το c) με τον διακόπτη του οργάνου μέτρησις στην θέση deviation.
- e) Με τον διακόπτη του οργάνου μέτρησις στις θέσεις measured value και deviation εφαρμόστε στο σημείο load disturbance μια τάση (διαταραχή) περίπου $\pm 1,5V$ και σημειώστε τις μεταβολές των οργάνων.

Όταν η set value μεταβληθεί η measured value μεταβάλεται αλλά πιο αργά. Λόγω αυτού, υπάρχει πάντοτε μια απόκλιση (deviation). Όταν εφαρμοστεί μια διαταραχή, μεταβάλλονται και οι δύο τιμές της measured value και deviation. Η καθυστέρηση στην μεταβολή της measured value οφείλεται στην σταθερά χρόνου της υπό έλεγχο διαδικασίας.

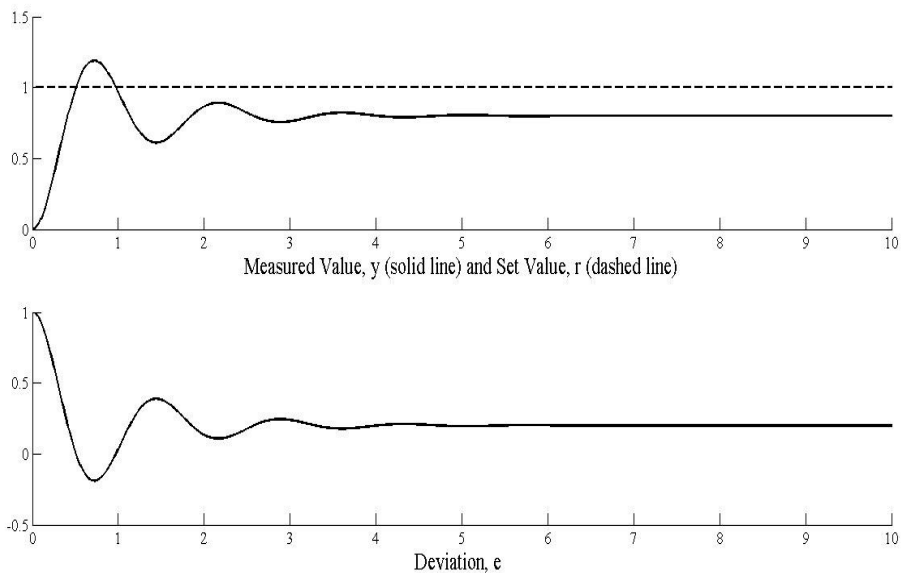
Χρονική Απόκριση Ανάλογου (P) ελέγχου κλειστού βρόχου

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 6. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2α.
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 6.
- c) Εισάγετε στο σύστημα στο σημείο X (Σχ. 6) μια διαταραχή τετραγωνικής κυματομορφής 5V (peak to peak) συχνότητας 0.05Hz.
- d) Έχοντας εφαρμόσει την διαταραχή αυτή μετρείστε και συγκρίνετε τις ενδείξεις των οργάνων measured και set value.
- e) Με συχνότητα των τετραγωνικών παλμών 1Hz και τους διακόπτες λειτουργίας (της διεργασίας και του ελεγκτή) στην θέση fast παρατηρήστε στον παλμογράφο την

τιμή αναφοράς από το σημείο A και την μετρούμενη τάση (measured value) από το σημείο B.

- f) Θέστε τον διακόπτη του οργάνου μέτρησης στην θέση deviation (ή παρατηρήστε στον παλμογράφο το deviation από το σημείο C) και σημειώστε την μεταβολή αυτού που οφείλεται στην εισαγόμενη διαταραχή
- g) Επαναλάβετε όλα τα ανωτέρω με τον δείκτη proportional band στο 50% και 5%.
- h) Σημειώστε τις παρατηρήσεις σας.

Η αναμενόμενη μορφή των καμπυλών του measured value και του deviation φαίνεται στο Διάγραμμα 1. Για να μειώσουμε την μόνιμη τιμή της απόκλισης (deviation) στο μηδέν θα πρέπει να αυξήσουμε το κέρδος K σε πολύ μεγάλη τιμή, στο οποίο όμως το σύστημα γίνεται πλήρως ασταθές. Εάν χρησιμοποιήσουμε μικρότερη τιμή κέρδους το σύστημα διατηρείται στην ευστάθεια αλλά μας δίνει πολύ αργή απόκριση, μεγάλη υπερύψωση (overshoot) και μεγάλο μόνιμο σφάλμα.



Διάγραμμα 1

Ανάλογος και Ολοκληρωτικός (PI) έλεγχος κλειστού βρόχου

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 8. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2β.
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 8.
- c) Εφαρμόστε στο σημείο set value disturbance ένα τετραγωνικό σήμα πλάτους 5V (peak to peak) συχνότητας 1Hz.
- d) Θέστε το % Proportional Band στο 50% ή μέχρι όπου το σύστημα μετά την εφαρμογή της κάθε διαταραχής επανέρχεται στην μόνιμη κατάσταση με 4 το πολύ υπερυψώσεις. Αμείωτες ταλαντώσεις αρχίζουν να εμφανίζονται με τιμή περίπου 12%.

- e) Παρατηρείστε το σφάλμα (deviation) από το σημείο A (Σχ. 8) και μειώστε σιγά σιγά την ένδειξη του integral action μέχρις ότου σε κάθε διαταραχή το σφάλμα μειωθεί στο μηδέν. Μετρείστε τον αριθμό των υπερυψώσεων μέχρις ότου το σφάλμα μειωθεί στο μηδέν και την έξοδο του ολοκληρωτή (σημείο B του Σχ. 8) όταν το σύστημα φτάσει στην μόνιμη τιμή.
- f) Μετρείστε τις διαφορές μεταξύ measured και set value.
- g) Μειώστε την ένδειξη του integral action μέχρι το 10 και παρατηρείστε την απόκριση του συστήματος.

Έλεγχος τριών όρων (PID Control)

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 9. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2β.
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 9.
- c) Εφαρμόστε στο σημείο set value disturbance ένα τετραγωνικό σήμα πλάτους 5V (peak to peak) συχνότητας 1Hz και ρυθμίστε το integral action μέχρις ότου το μόνιμο σφάλμα (deviation) να γίνει μηδέν.
- d) Παρατηρείστε το μόνιμο σφάλμα και το πλήθος των υπερυψώσεων μέχρις ότου το σύστημα επανέλθει στην μόνιμη τιμή μετά την εφαρμογή μιας διαταραχής.
- e) Αυξήστε σιγά σιγά το derivative action και δείτε ποια είναι η επίδραση στην απόκριση του συστήματος. Επίσης παρατηρείστε την επίδραση στην μόνιμη τιμή του deviation.

Εν γένει ο όρος της παραγώγου δεν επιδρά στην μόνιμη τιμή του σφάλματος, μειώνει όμως τον αριθμό των υπερυψώσεων, δηλαδή τον χρόνο αποκατάστασης.

Η επιλογή των παραμέτρων του PID ελέγχου γίνεται ως εξής.

- i. Χρησιμοποιείστε αυτήν και την προηγούμενη συνδεσμολογία και θέση των διακοπών.
- ii. Θέστε το integral action time και derivative action time στην θέση OFF και μηδέν αντίστοιχα με το proportional band στο 100%.
- iii. Εφαρμόστε στο set value disturbance ένα τετραγωνικό σήμα πλάτους 5V (peak to peak) και ρυθμίστε το integral action μέχρις ότου το σφάλμα να μηδενιστεί.
- iv. Αυξήστε το derivative action μέχρις ότου η μετρούμενη τιμή να αρχίσει να ταλαντώνεται.
- v. Μειώστε το proportional band μέχρις ότου επιτύχετε την καλύτερη δυνατή απόκριση του measured value (ελάχιστη υπερύψωση κλπ.)

Θεωρητικά υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί των παραμέτρων (proportional band, integral action και derivative action) οι οποίοι οδηγούν σε ευσταθές σύστημα. Πρακτικά χρησιμοποιούνται εμπειρικές μέθοδοι επιλογής των (καλύτερων) τιμών αυτών των παραμέτρων. Μερικές από αυτές μελετούνται στο επόμενο πείραμα.

Εμπειρικές Μέθοδοι συντονισμού PID ελεγκτή

Η διαδικασία εκλογής των παραμέτρων του PI/PID ελεγκτή στηρίζεται στην εύρεση δύο παραμέτρων: 1) του K_{crit} , δηλαδή του κέρδους όπου το σύστημα βρίσκεται στην οριακή ευστάθεια (αμείωτες ταλαντώσεις) μόνο με την χρήση ανάλογου ελέγχου (P control) κλειστού βρόχου και 2) στην εύρεση της περιόδου των ταλαντώσεων (T_{crit}) αυτών.

Ακολουθείστε τα παρακάτω βήματα:

- a) Συνδέστε το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχ. 10. Η υπό έλεγχο διεργασία έχει όπως στο Σχ. 2β.
- b) Θέστε τους διακόπτες στις θέσεις που φαίνονται στο Σχ. 10.
- c) Βρείτε τα K_{crit} και T_{crit} .
- d) Εφαρμόστε στο set value disturbance ένα τετραγωνικό σήμα πλάτους 5V (peak to peak) και συχνότητας 2.5Hz.
- e) Παρατηρείστε στον παλμογράφο το measured value.
- f) Ρυθμίστε την μονάδα ελέγχου για κάθε μία από τις παρακάτω μεθόδους και παρατηρείστε την απόκριση βαθμίδας στον παλμογράφο.

Μέθοδος Ziegler Nichols

- 1) Βρείτε τα K_{crit} και T_{crit} .
- 2) Θέστε $P=1.67 K_{crit}$, $T_i= T_{crit}/2$ και $T_d= T_i/4$.

Μέθοδος Atkinson

- 1) Βρείτε τα K_{crit} και T_{crit} .
- 2) Θέστε $P=2 K_{crit}$, $T_i= T_{crit}$ και $T_d= T_i/5$.

Μέθοδος Young (για P control μόνο)

- 1) Αυξείτε το P πέρα του K_{crit} μέχρις ότου ο λόγος δύο διαδοχικών μεγίστων να φτάσει την τιμή e ή την τιμή 3. Έστω K_y αυτή η τιμή του P.
- 2) Η μέγιστη μόνιμη απόκλιση που μπορεί να λάβει χώρα είναι $K_y/2\%$ της πλήρους κλίμακας.
- 3) Εάν η τιμή αυτή είναι υψηλή αλλά η τιμή $K_y/3\%$ είναι αποδεκτή προσθέστε τον όρο παραγώγου ο οποίος επιτρέπει την περαιτέρω αύξηση του P προς μείωση της απόκρισης.

Μέθοδος Young (για PD control)

Με την προσθήκη του όρου της παραγώγου η περίοδος των ταλαντώσεων πέφτει στην τιμή $0.8 T_{crit}$. Έτσι:

- 1) Θέστε αρχικά $T_d = 0.8T_{crit}/10$
- 2) Μειώστε το P για να λάβετε λόγο διαδοχικών μεγίστων ίσο προς 3:1.

Εάν το σφάλμα είναι ακόμη πολύ μεγάλο (η περίοδος μεγάλη ή η μείωση της διαταραχής ανεπαρκής) το T_d δύναται να αυξηθεί. Σε κάθε περίπτωση όμως πρέπει να ρυθμίσουμε την τιμή του P ξανά έτσι ώστε ο λόγος των διαδοχικών μεγίστων να είναι 3:1. Το T_d δεν πρέπει να αυξηθεί πέρα της τιμής $T/4$ όπου T η περίοδος των αποσβεννύμενων ταλαντώσεων.

Μέθοδος Young (για PI control)

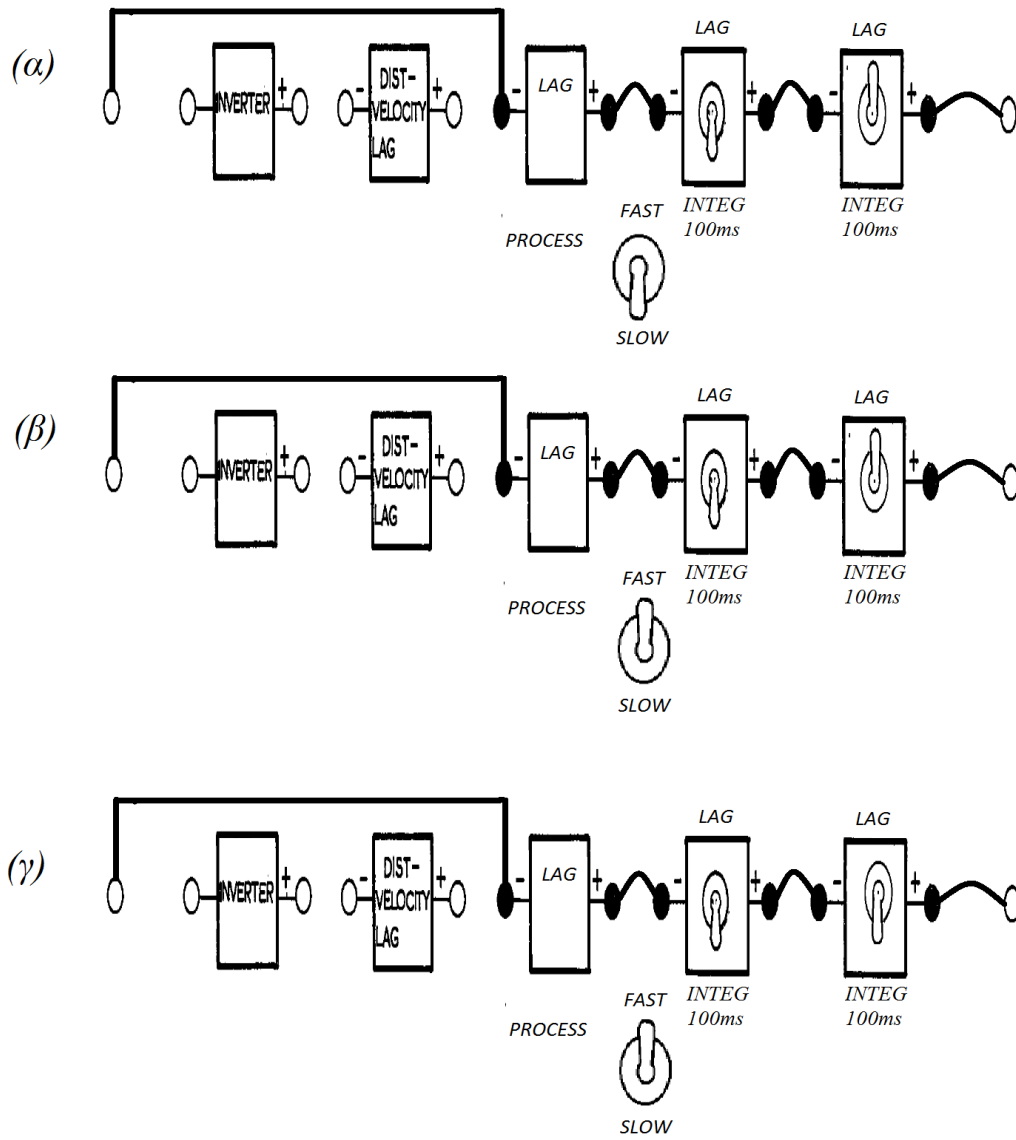
Εάν το σφάλμα δεν γίνεται να μειωθεί σε μια αποδεκτή τιμή μόνο με ανάλογο έλεγχο μπορούμε να προσθέσουμε και έλεγχο ολοκληρώματος. Αυτό αυξάνει την περίοδο T_{crit} των ταλαντώσεων κατά 10% έως 30%.

- 1) Επιλέχτε το $T_I = T_{crit}$
- 2) Επιλέχτε το P με τέτοιο τρόπο ώστε ο λόγος δύο διαδοχικών μεγίστων να είναι 3:1.

Μέθοδος Young (για PID control)

Εάν προσθέσουμε εκτός του ολοκληρωτικού όρου και τον όρο παραγώγου, το T_i πρέπει να μειωθεί για να διατηρηθεί η ισότητα $T_i = T$ με T την περίοδο των αποσβεννύμενων ταλαντώσεων.

Ο Young δεν έδωσε συγκεκριμένη σχέση μεταξύ των T_i και T_d .



Σχήμα 2