



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Χημικών Μηχανικών

Τομέας II: Ανάλυσης, Σχεδιασμού & Ανάπτυξης

Διεργασιών και Συστημάτων

Μονάδα Αυτόματης Ρύθμισης και Πληροφορικής

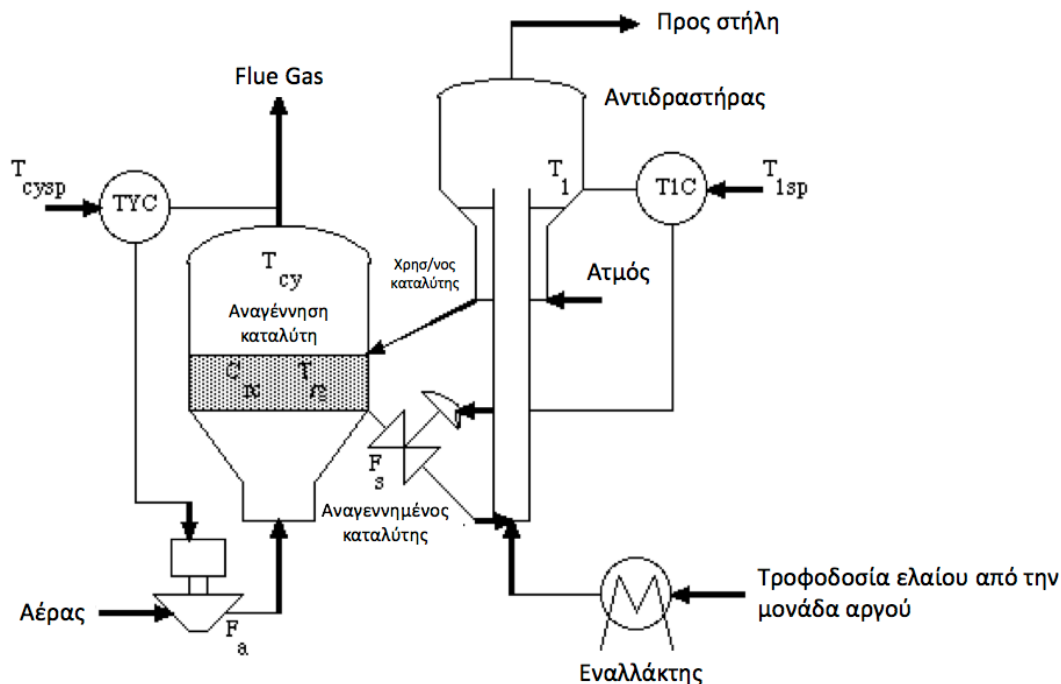
Θέμα για το μάθημα «Ρύθμιση διεργασιών»

Η εργασία θα υποβληθεί σε αρχείο zip μέσω της ιστοσελίδας:

<http://weblab.chemeng.ntua.gr/submission/rythmish7.htm>

Στο αρχείο αυτό ενσωματώστε την εργασία σας σε μορφή pdf και τα αρχεία που χρειάζονται για να τρέξουν οι προσομοιώσεις. Στο πεδίο «Αριθμός ομάδας» βάλτε ένα τριψήφιο αριθμό της επιλογής σας.

Η ρευστοποιημένη μονάδα καταλυτικής πυρόλυσης (FCCU) είναι μια σημαντική διαδικασία στα διυλιστήρια πετρελαίου. Αναβαθμίζει τους βαρείς υδρογονάνθρακες σε ελαφρύτερα πιο πολύτιμα ελαφρύτερα προϊόντα μέσω πυρόλυσης και είναι ο σημαντικότερος παραγωγός βενζίνης στα διυλιστήρια. Ένα απλοποιημένο διάγραμμα της διεργασίας και διάγραμμα οργάνων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα.



Το πετρέλαιο τροφοδοσίας έρχεται σε επαφή με αναγεννημένο καταλύτη και αντιδρά σε σωλήνα ανύψωσης. Το πετρέλαιο τροφοδοσίας εξατμίζεται και διασπάται καθώς ρέει προς τα επάνω, δημιουργώντας έτσι ελαφρύτερους υδρογονάνθρακες (κλάσμα βενζίνης). Ως υποπροϊόν σχηματίζεται ημίκαυστος άνθρακας (coke). Ο ημίκαυστος

άνθρακας αποτίθεται στον καταλύτη και μειώνει τη δραστικότητα του. Τα ελαφρύτερα προϊόντα υδρογονανθράκων διαχωρίζονται από τον χρησιμοποιημένο καταλύτη στον «αντιδραστήρα». Ο «αντιδραστήρας» στην πραγματικότητα είναι απλώς ένας διαχωριστής (με κυκλώνες σε στάδια), αλλά διατηρεί το όνομά του για ιστορικούς λόγους. Για την απομάκρυνση των πτητικών υδρογονανθράκων από τον καταλύτη παρέχεται ατμός. Ο καταλύτης στη συνέχεια επιστρέφει στον αναγεννητή, όπου ο ημίκαυστος άνθρακας καίγεται σε επαφή με τον αέρα. Αυτό γίνεται συνήθως με μερική καύση, αν και μερικές μονάδες FCCU λειτουργούν σε πλήρη λειτουργία καύσης. Ο αναγεννημένος καταλύτης στη συνέχεια επανακυκλοφορεί πίσω για να αναμιχθεί με το πετρέλαιο τροφοδοσίας.

Οι FCCU παρουσιάζουν ενδιαφέροντα προβλήματα ρύθμισης πολλών μεταβλητών. Η επιλογή των καταλληλότερων μεταβλητών εκ χειρισμού, μετρούμενων και ρυθμιζόμενων μεταβλητών είναι ένα σημαντικό ζήτημα, όπως και η αντιστοίχιση των επιλεγμένων ρυθμιζόμενων μεταβλητών και μεταβλητών εκ χειρισμού. Στην περίπτωση της FCCU, ως σημαντικές μετρούμενες μεταβλητές επιλέγονται η θερμοκρασία εξόδου του αντιδραστήρα (T_1), η θερμοκρασία του αερίου αναγέννησης (T_{cy}) και η θερμοκρασία της κλίνης αναγέννησης (T_{rg}). Οι μεταβλητές εκ χειρισμού είναι ο ρυθμός ανακύκλωσης του καταλύτη (F_s) και ο ρυθμός ροής του αέρα αναγέννησης (F_a).

Απαιτείται να βρείτε μοντέλα συναρτήσεων μεταφοράς που σχετίζονται με τις συγκεκριμένες εξόδους στις εισόδους.

Το αρχείο Simulink για την FCCU: FCCUmdlPID.mdl (ή FCCUslxPID.slx ανάλογα με την έκδοση του Matlab) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη των συναρτήσεων μεταφοράς μεταξύ των εξόδων και των εισόδων της διαδικασίας (με επιλογή των switches στα κατάλληλα σήματα).

Οι προδιαγραφές για τη διαδικασία δίνονται παρακάτω:

Είσοδοι (μεταβλητές εκ χειρισμού)

Ρυθμός τροφοδοσίας αναγεννημένου καταλύτη (F_s): τιμή μόνιμης κατάστασης = 294 kg/s

Ρυθμός ροής αέρα (F_a): τιμή μόνιμης κατάστασης = 25,35 kg/s

Μετρούμενες εξόδους

Θερμοκρασία εξόδου αντιδραστήρα (T_1): τιμή μόνιμης κατάστασης = 776,9 K

Θερμοκρασία κυκλώνα αναγεννητή (T_{cy}): τιμή μόνιμης κατάστασης = 988,1 K

Θερμοκρασία κλίνης αναγεννητή (T_{rg}): τιμή μόνιμης κατάστασης = 965,4 K

Θα πρέπει να επιχειρήσετε να αναπτύξετε συναρτήσεις μεταφοράς μεταξύ κάθε μιας από τις εισόδους και τις εξόδους, δηλ. **έξι συναρτήσεις μεταφοράς στο σύνολο**. Το πρόβλημα ρύθμισης περιλαμβάνει τον έλεγχο δύο μεταβλητών εξόδου με το χειρισμό δύο μεταβλητών εισόδου. Οι προτεινόμενες ρυθμιζόμενες μεταβλητές είναι οι T_1 και T_{cy} . Η T_{rg} πρέπει επίσης να παρακολουθείται κατά τη φάση ρύθμισης της διεργασίας. Σημειώστε ότι οι εισόδους βηματικών επιβολών στο αρχείο Simulink έχουν αρχικές τιμές που έχουν οριστεί σε τιμές μόνιμης κατάστασης, έτσι ώστε θα πρέπει να εισαγάγετε τις τελικές τιμές των βημάτων σε φυσικές μεταβλητές (και όχι μεταβλητές απόκλισης). Αυτό συμβαίνει επειδή το μοντέλο Simulink έχει ρυθμιστεί ώστε να δέχεται εισόδους σε φυσικές μεταβλητές. Οι εξόδους είναι επίσης διαθέσιμες ως φυσικές μεταβλητές.

Το μοντέλο Simulink έχει ενσωματωμένο θόρυβο μέτρησης, έτσι ώστε μετά την είσοδο των βηματικών επιβολών να παράγονται εξόδους που περιέχουν θόρυβο. Προκειμένου να διατηρηθεί μια λογική αναλογία της πραγματικής τιμής με το μέγεθος του θορύβου, προτείνεται να χρησιμοποιούνται βηματικές επιβολές της τάξης των 10 kg/s για την είσοδο F_s (ρυθμός ροής αναγεννημένου καταλύτη) και βηματικές επιβολές της τάξης του 1 kg/s για την είσοδο F_a (παροχή αέρα).

Ζητούμενα:

A) Επιβεβαιώστε ότι η κατάλληλη επιλογή ζευγών για τη ρύθμιση της διεργασίας είναι:

Πίνακας 1

Μεταβλητή εκ χειρισμού	Ρυθμιζόμενη μεταβλητή
F_s	T_1
F_a	T_{cy}

Για το σκοπό αυτό συμπληρώσετε το κενά κελιά στον πίνακα ενίσχυσης μόνιμης κατάστασης (Steady state gain matrix) για τις μεταβλητές εκ χειρισμού και ρυθμιζόμενες μεταβλητές.

Πίνακας Ενίσχυσης

	T_1	T_{cy}
F_s		
F_a		

Στη συνέχεια υπολογίστε τον πίνακα σχετικής ενίσχυσης (Relative Gain Array)

Πίνακας Σχετικής Ενίσχυσης

	T_1	T_{cy}
F_s		
F_a		

Με βάση τον πίνακα σχετικής ενίσχυσης αιτιολογήστε την επιλογή ζευγών μεταβλητών εκ χειρισμού – ρυθμιζόμενων μεταβλητών του Πίνακα 1.

Β) Για τα ζεύγη των μεταβλητών που παρουσιάζονται στο ερώτημα Α, σχεδιάστε ρυθμιστές τύπου P-I-D (Proportional – Integral – Derivative) και βαθμονομήστε τους με βάση τη μεθοδολογία Internal Model Control (IMC). Στο αρχείο FCCUmdlPID.mdl οι PID ρυθμιστές εμφανίζονται με πορτοκαλί εικονίδια. Αφού πιάσετε σε κάθε τέτοιο εικονίδιο, τοποθετήστε την τιμή του συντελεστή ενίσχυσης K_c στο τρίγωνο με την ένδειξη K_c Controller (1 ή 2), τον αντίστροφο του χρόνου μετενεργοποίησης στο τρίγωνο με την ένδειξη T_i Controller (1 ή 2) και τον διαφορικό χρόνο στο τρίγωνο με την ένδειξη T_d Controller (1 ή 2). Συμπληρώστε τις τιμές στον παρακάτω πίνακα:

Μεταβλητή εκ χειρισμού	Ρυθμιζόμενη μεταβλητή	K_c	T_i	T_d
F_s	T_1			

F_a	T_{cy}			
-------	----------	--	--	--

Γ) Επιλέξτε μια βηματική επιβολή στην επιθυμητή τιμή κάθε μιας από τις ρυθμιζόμενες μεταβλητές ξεχωριστά και προσομοιώστε το σύστημα κλειστού βρόχου. Ο στόχος είναι να επιτευχθεί μηδενική ρυθμιστική απόκλιση σε όλες τις ρυθμιζόμενες μεταβλητές, δηλαδή να επιστρέψουν όλες στο αρχικό σημείο ισορροπίας εκτός από την ρυθμιζόμενη μεταβλητή στην οποία δόθηκε η επιβολή, η οποία πρέπει να οδηγηθεί στη νέα επιθυμητή τιμή. Για κάθε επιβολή σχεδιάστε τις αποκρίσεις όλων των μεταβλητών εκ χειρισμού και των ρυθμιζόμενων μεταβλητών.

Βιβλιογραφία

Lee, W., and V.W. Weekman, "Advanced Control Practice in the Chemical Process Industry: A View from Industry", AIChE J., 22, 27 (1976).

Grosdidier, P., A. Mason, A. Aitolahti, P. Heinonen, and V. Vanhamaki, "FCC Unit Reactor-Regenerator Control", Computers Chem. Eng., 17, 165 (1993).