

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
**Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ**

Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστικών Συστημάτων Τ.Ε.

## **ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Εργαστηριακές Ασκήσεις ΣΑΕ με χρήση του  
λογισμικού VisiDAQ**

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ  
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

Καπαμάς Χρήστος – 21330

Φράγκος Χρήστος – 30436

Οι ασκήσεις της που αναλύονται στην εργασία αυτή, είναι ιδιοκτησία και αποτέλεσμα έρευνας και ενασχόλησης του καθηγητή κ. Κώστα Μουτεσίδη με το λογισμικό VisiDAQ. Οι ασκήσεις αυτές διδάσκονταν στο εργαστήριο ΣΑΕ του ΤΕΙ Χαλκίδας.

Ο κ. Μουτεσίδης μας παραχώρησε την άδεια να επιλύσουμε τις ασκήσεις αυτές και να τις παρουσιάσουμε ως πτυχιακή εργασία. Για οποιαδήποτε χρήση των ασκήσεων αυτών ως εκπαιδευτικό υλικό παρακαλούμε να επικοινωνήσετε πρώτα με τον καθηγητή.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Μουτεσίδη για την πολύτιμη βοήθειά του και το υλικό που μας παραχώρησε. Χωρίς τη βοήθειά του, η ολοκλήρωση της άσκησης θα ήταν αδύνατη.

Φράγκος Χρήστος

Καταμάς Χρήστος

## Περιεχόμενα

Εισαγωγή .....	6
Άσκηση 1.....	7
Χρονική Απόκριση Γραμμικών Συστημάτων Α' Τάξης.....	7
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	7
Λύσεις – Άσκησης 1 .....	16
Άσκηση 2.....	22
Διεργασία Α' Τάξης Υδραυλικής Χώρησης .....	22
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων- Διάρκεια 2 Ώρες .....	22
Λύσεις – Άσκησης 2 .....	35
Άσκηση 3.....	41
Διεργασία Υδραυλικής Αδράνειας Α' Τάξης.....	41
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	41
Λύσεις – Άσκησης 3 .....	53
Άσκηση 4.....	61
Υδραυλικά Συστήματα Β' Τάξης .....	61
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	61
Λύσεις – Άσκησης 4 .....	76
Άσκηση 5.....	81
Ανοικτό Σύστημα Ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης .....	81
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	81
Λύσεις – Άσκησης 5 .....	95
Άσκηση 6.....	101
Κλειστό Σύστημα Ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης.....	101
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	101
Λύσεις – Άσκησης 6 .....	112
Άσκηση 7.....	120
Αναλογικός Ελεγκτής Διεργασίας Β' Τάξης .....	120
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	120
Λύσεις – Άσκησης 7 .....	126
Άσκηση 8.....	131

Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής.....	131
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	131
Λύσεις – Άσκησης 8 .....	139
Άσκηση 9.....	142
Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής .....	142
Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες .....	142
Λύσεις – Άσκησης 9 .....	153
Επίλογος.....	158
Το λογισμικό VisiDAQ.....	.....
Προγραμματισμός με το λογισμικό VisiDAQ.....	.....

## Περιεχόμενα Εικόνων και Πινάκων

Εικόνα 1 - Πίνακας Περίληψης Ασκήσεων .....	6
Εικόνα 2 – Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 1 & 2 .....	16
Εικόνα 3 – Άσκηση 1, Πίνακας 1.....	17
Εικόνα 4 – Άσκηση 1, Πίνακας 2.....	17
Εικόνα 5 – Άσκηση 1, Πίνακας 3.....	18
Εικόνα 6 – Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 4 & 5 .....	19
Εικόνα 7 – Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 6β.....	20
Εικόνα 8 – Άσκηση 2, Πίνακας 1.....	35
Εικόνα 9 – Άσκηση 2, Πίνακας 2.....	35
Εικόνα 10 – Άσκηση 2, Πίνακας 3.....	36
Εικόνα 11 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 1.....	36
Εικόνα 12 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 5.....	38
Εικόνα 13 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 6.....	39
Εικόνα 14 – Άσκηση 3, Πίνακας 1.....	53
Εικόνα 15 – Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 2.....	54
Εικόνα 16 – Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 8.....	57
Εικόνα 17 – Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 10.....	59
Εικόνα 18 – Άσκηση 4, Πίνακας 1.....	76
Εικόνα 19 – Άσκηση 4, Πίνακας & Γράφημα Ερωτηματος 2.....	78
Εικόνα 20 – Άσκηση 4, Πίνακας & Γράφημα Ερωτηματος 7.....	80
Εικόνα 21 – Άσκηση 5, Πίνακας 1.....	95
Εικόνα 22 – Άσκηση 4, Πίνακας 2.....	96
Εικόνα 23 – Άσκηση 5, Γράφημα Ερωτήματος 5.....	100
Εικόνα 24 – Άσκηση 6, Πίνακας 1.....	112
Εικόνα 25 – Άσκηση 6, Πίνακας 2.....	113
Εικόνα 26 – Άσκηση 6, Γράφημα Ερωτήματος 5.....	117
Εικόνα 27 – Άσκηση 8, Πίνακας 1.....	139
Εικόνα 28 – Άσκηση 8, Γράφημα Ερωτήματος 2 & 5 .....	140
Εικόνα 29 – Άσκηση 9, Πίνακας 1.....	153
Εικόνα 30 – Άσκηση 9, Πίνακας 2.....	154
Εικόνα 31 – Άσκηση 9, Γράφημα Ερωτήματος 2 & 5 .....	155
Εικόνα 32 – Άσκηση 9, Γράφημα Ερωτήματος 7 & 10 .....	156

## Εισαγωγή

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύονται οι παρακάτω 9 εργαστηριακές ασκήσεις εισαγωγής στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.

Τίτλος Άσκησης	Σκοπός Εργαστηριακής Άσκησης	Όνομα Στρατηγικής VisiDAQ
Χρονική απόκριση συστήματος Α' Τάξης	Μαθηματική παράσταση συστημάτων Επίλυση πλήρους διαφορικής εξίσωσης Χρονική απόκριση συστημάτων Α' Τάξης	A_TAXHS
Υδραυλική Χώρηση	Προσδιορισμός της Υδραυλικής Χώρησης Εφαρμογή μετασχηματισμού Laplace Συναρτήσεις μεταφοράς - Διαγράμματα βαθμίδων	FLUID_C
Υδραυλική Αδράνεια	Προσδιορισμός της Υδραυλικής Αδράνειας Εφαρμογή αντίστροφου μ/τ Laplace δια την επίλυση διαφορικών εξισώσεων	FUIDL_I
Χρονική απόκριση συστήματος Β' Τάξης	Χαρακτηριστική εξίσωση συστήματος Β' Τάξης Χρονική απόκριση συστημάτων Β' Τάξης	B_TAXHS
Ανοικτά Συστήματα Ελέγχου	Ανοικτό σύστημα ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης	OPEN
Κλειστά Συστήματα Ελέγχου	Κλειστό σύστημα ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης	CLOSED
Αναλογικός Ελεγκτής	Αναλογική ρύθμιση ελεγκτή, συστήματος ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης	P_MODE
Αναλογικός - Ολοκληρωτικός Ελεγκτής	Αναλογική - Ολοκληρωτική ρύθμιση ελεγκτή, συστήματος ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης	PI_MODE
Αναλογικός - Ολοκληρωτικός - Διαφορικός Ελεγκτής	Ρύθμιση Βιομηχανικού Ελεγκτή 3 Όρων, για τον έλεγχο συστήματος δύο Δεξαμενών συνδεδεμένων σε Σειρά	PID_MODE

Εικόνα 1 - Πινάκας Περίληψης Ασκήσεων

## Άσκηση 1

### Χρονική Απόκριση Γραμμικών Συστημάτων Α' Τάξης

#### Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων – Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Μαθηματική παράσταση φυσικών συστημάτων , Επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που προκύπτουν . Χρονική απόκριση συστήματος . Υπολογισμός της τιμής εξόδου ενός φυσικού συστήματος όταν γνωρίζουμε την τιμή εισόδου .

**Θεωρία :** Μελετώντας ένα φυσικό σύστημα , ορίζουμε πρώτα τα φυσικά του μεγέθη . Π.χ η μάζα  $m$  είναι το ποσό της ύλης που περιέχει ένα σώμα , ο χρόνος  $t$  είναι το μέγεθος που εκφράζει την κίνηση και την αλλαγή , το ηλεκτρικό φορτίο  $Q$  , το μήκος  $s$  .

Τα φυσικά μεγέθη είναι συνήθως συναρτήσεις του χρόνου , και η μεταβολή αυτή μπορεί να παρασταθεί με το διαφορικό ή την παράγωγό τους . Τα φυσικά μεγέθη μετρούνται , παριστάνονται με αριθμούς , ενώ οι φυσικοί νόμοι που δηλώνουν τη σχέση μεταξύ των μεγεθών , παριστάνονται με διαφορικές εξισώσεις .

Ένα φυσικό σύστημα λέγεται γραμμικό , όταν ισχύει η αρχή της υπέρθεσης , δηλαδή :

Όταν η είσοδος  $X_1(t)$  , προκαλεί έξοδο  $Y_1(t)$

και η είσοδος  $Y_2(t)$  , προκαλεί έξοδο  $Y_2(t)$

τότε η είσοδος  $c_1 * X_1(t) + c_2 * X_2(t)$  , προκαλεί έξοδο  $c_1 * Y_1(t) + c_2 * Y_2(t)$

Το γραμμικό φυσικό σύστημα παριστάνεται γραφικά με ένα ορθογώνιο , εντός του οποίου αναγράφεται η γραμμική διαφορική εξίσωση που συνδέει την μεταβλητή εισόδου  $X(t)$  και την μία μεταβλητή εξόδου  $Y(t)$  .



Μεταβλητή Είσοδος      Σύστημα , Διαφορική εξίσωση      Μεταβλητή Εξόδος

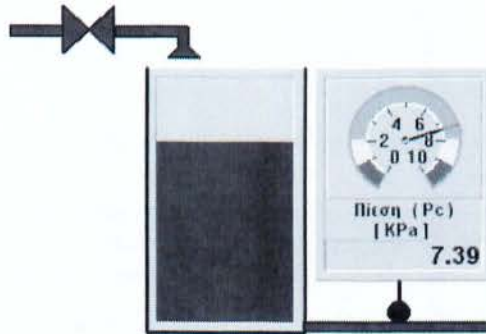
**Παράδειγμα :** Εστω μία δεξαμενή υγρού στην οποία παρέχουμε υγρό ( εισροή ) με ρυθμό  $Q_{in}$  και απάγεται υγρό ( ελεύθερη εκροή μέσω αγωγού ) με ρυθμό  $Q_{out}$  .

Εάν έχουμε εκροή υγρού από την δεξαμενή , ισχύει ο νόμος διατήρησης της μάζας για το υγρό ( νόμος συνέχειας ) στο σύστημα της δεξαμενής , δηλαδή ο ρυθμός παροχής  $Q_{in}$  , μείον τον ρυθμό εκροής  $Q_{out}$  , είναι ίσος με τον ρυθμό μεταβολής του όγκου του υγρού εντός της δεξαμενής που συμβολίζουμε με  $Q_c$  .

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_c \quad (1)$$

Καλούμε γενικώς χώνηση  $C$  ενός συστήματος, τον λόγο της συσσωρευόμενης ποσότητας ενός μεγέθους, προς την αντίστοιχη μεταβολή δυναμικού  $E$  που δημιουργείται από την συσσώρευση. Στα υδραυλικά συστήματα, ονομάζουμε υδραυλική χώνηση ενός δοχείου τον λόγο της μεταβολής του όγκου που κατέχεται από το ρευστό, προς την αντίστοιχη μεταβολή του δυναμικού, δηλαδή της υδροστατικής πίεσης  $P_c$ .

$$C = \frac{dV/dt}{dP_c/dt} \quad (2)$$



Όμως η μεταβολή του εγκλωβισμένου εντός της δεξαμενής όγκου  $dV$  ως προς τον αντίστοιχο χρόνο  $dt$ , είναι η ροή χώνησης  $Q_c$ , οπότε έχουμε:

$$\frac{dP_c}{dt} = \frac{1}{C} * Q_c(t) \Rightarrow Q_c(t) = C * \frac{dP_c}{dt} \quad (3)$$

Έχουμε ορίσει ως **Υδραυλική Αντίσταση** την αντίσταση ροής διαμέσου του αγωγού, που ισούται με τον λόγο της διαφοράς πίεσης  $dP$  στα άκρα του αγωγού, προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρυθμού ροής διαμέσου του αγωγού. Επειδή έχουμε ελεύθερη εκροή μέσω του αγωγού, η διαφορά δυναμικού  $dP$  ταυτίζεται με την υδροστατική πίεση στην εκροή της δεξαμενής, ενώ η παροχή  $Q$  διαμέσου του αγωγού ταυτίζεται με παροχή  $Q_{out}$  που εκρέει από την δεξαμενή.

Η αντίσταση  $R$ , παριστάνει την κλίση της εφαπτομένης της καμπύλης  $Q_{out}=f(dP)$ , συνεπώς για μια περιορισμένη περιοχή τιμών των μεταβλητών  $Q_{out}$ ,  $dP$  κοντά στην μέση στάθμη ισορροπίας του συστήματος, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το  $R$  είναι σταθερό, δηλαδή η συνάρτηση  $Q_{out}$  είναι γραμμική ως προς  $dP$  οπότε μπορούμε να γράψουμε:

$$R = \frac{dP}{Q} \Rightarrow R = \frac{P_c(t)}{Q_{out}(t)} \Rightarrow Q_{out}(t) = \frac{P_c(t)}{R} \quad (4)$$

Αντικαθιστώντας τις (3), (4) στην (2), προκύπτει η γραμμική διαφορική εξίσωση:

$$Q_{in(t)} - \frac{P_c(t)}{R} = C * \frac{dP_c}{dt} \Rightarrow C * \frac{dP_c}{dt} + \frac{P_c(t)}{R} = Q_{in}(t) \Rightarrow$$



$$\Rightarrow RC * \frac{dP_c}{dt} + P_c(t) = R * Q_{in}(t) \quad (5)$$

Το πρώτο σκέλος της διαφορικής εξίσωσης  $RC * \frac{dP_c}{dt} + P_c(t)$ , είναι χαρακτηριστικό μόνο του ίδιου του συστήματος. Παριστά την σχέση με την οποία συνδέεται μέσα στο σύστημα το μέγεθος  $P_c(t)$  που θέλουμε να υπολογίσουμε.

Το δεύτερο σκέλος  $R * Q_{in}(t)$ , είναι μια συνάρτηση αποκλειστικά της εισόδου, παριστά συνεπώς την επίδραση της εισόδου στο σύστημα. Χωρίς το δεύτερο σκέλος, δηλαδή με  $Q_{in} = 0$ , η διαφορική εξίσωση γίνεται  $RC * \frac{dP_c}{dt} + P_c(t) = 0$ . Μία τέτοια διαφορική εξίσωση ονομάζεται ομογενής και είναι χαρακτηριστική της δράσης του συστήματος χωρίς είσοδο.

Ζητάμε την λύση της ομογενούς διαφορικής εξίσωσης, οπότε πρέπει να βρούμε μια συνάρτηση που να ικανοποιεί αυτή την γραμμική σχέση ανάμεσα στην  $P_c(t)$  και την παράγωγό της. Τέτοια συνάρτηση είναι η εκθετική γιατί μόνον γι' αυτήν ισχύει:

$$\frac{de^t}{dt} = e^t \quad \text{και} \quad \frac{de^{\alpha t}}{dt} = \alpha * e^{\alpha t}$$

Έτσι μία λύση είναι της μορφής:  $P_{c1}(t) = e^{\alpha t}$ , οπότε η γενική λύση, ή παράγουσα όπως λέγεται, της ομογενούς διαφορικής εξίσωσης είναι:

$$P_c(t) = k * e^{\alpha t} \quad \text{όπου } k : \text{σταθερά}$$

$$\text{Άρα } RC * \frac{d(k * e^{\alpha t})}{dt} + k * e^{\alpha t} = 0 \Rightarrow RC * k * \alpha * e^{\alpha t} + k * e^{\alpha t} = 0 \Rightarrow$$

$$k * e^{\alpha t} [RC * \alpha + 1] = 0 \Rightarrow RC * \alpha + 1 = 0 \Rightarrow \alpha = -\frac{1}{RC}$$

$$\text{Συνεπώς η γενική λύση της ομογενούς είναι: } P_c(t) = k * e^{-\frac{t}{RC}} \quad (6)$$

Μία ειδική λύση της (5) η οποία εξαρτάται βασικά από την είσοδο  $Q_{in}(t)$ , και συνεπώς έχει την μορφή της είναι:  $P_{c\text{ειδ}}(t) = R * Q_{in} \quad (7)$

Τελικά η γενική λύση της διαφορικής εξίσωσης, είναι η γενική λύση (6) της ομογενούς, συν η ειδική λύση (7) δηλαδή:

$$P_c(t) = k * e^{-\frac{t}{RC}} + R * Q_{in} \quad (8)$$

Από την δέσμη των συναρτήσεων με παράμετρο  $k$ , μπορούμε να καθορίσουμε την συγκεκριμένη απόκριση του συστήματος, παίρνοντας υπ' όψη την αρχική συνθήκη, δηλαδή την πίεση  $P_c(t)$  όταν  $t = 0$ , την οποία ονομάζουμε  $P_c(0) = P_{H_0}$ .

Από την γενική λύση της εξίσωσης (8), για  $t=0$  έχουμε :

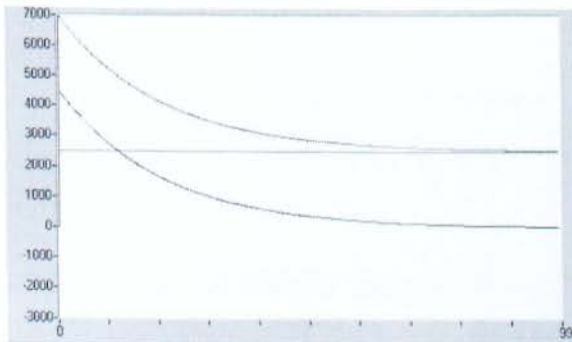
$$P_c(0) = k + R \cdot Q_{in} \Rightarrow k = P_{H0} - R \cdot Q_{in} \quad (9)$$

Έτσι η ολική λύση της διαφορικής εξίσωσης (5), διαμορφώνεται ως εξής :

$$P_c(t) = (P_{H0} - R \cdot Q_{in}) \cdot e^{-\frac{t}{RC}} + R \cdot Q_{in} \quad (10)$$

Ολική	Μεταβατική	Μόνιμη
Χρονική	= Απόκριση $\rightarrow 0$	+ Απόκριση σταθερή
Απόκριση	όταν $t \rightarrow \infty$	όταν $t \rightarrow \infty$

Η γραφική παράσταση της μεταβατικής απόκρισης, της μόνιμης απόκρισης καθώς και της ολικής χρονικής απόκρισης, δίδεται στο κάτωθι Σχ. 2



Σχήμα 2

Άνω Κόκκινη καμπύλη : Ολική χρονική απόκριση της  $P_c(t)$

Μεσαία Σκούρα καμπύλη : Μεταβατική απόκριση της  $P_c(t)$

Κάτω Ματζέντα καμπύλη : Μόνιμη απόκριση της  $P_c(t)$

- Όταν δεν έχουμε εισροή στην δεξαμενή ( $Q_{in} = 0$ ), η εξίσωση (10) γίνεται :

$$P_c(t) = P_{H0} \cdot e^{-\frac{t}{RC}} \quad (11)$$

Το γινόμενο  $R \cdot C$  έχει μονάδες χρόνου  $[Nt \cdot sec/m^5] \cdot [m^5/Nt] = [sec]$ , και ονομάζεται σταθερά χρόνου  $T$  του συστήματος. Όταν  $t = T \Rightarrow t = R \cdot C$  έχουμε :

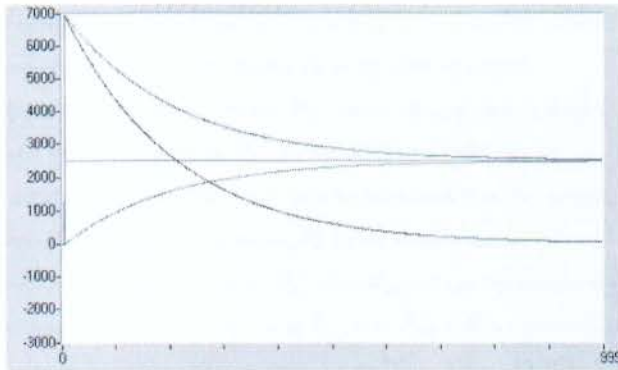
$$P_c(T) = P_{H0} \cdot e^{-\frac{RC}{RC}} = P_{H0} \cdot \frac{1}{e} = 0,368 \cdot P_{H0}$$

Επίσης η ολική λύση (10) της διαφορικής εξίσωσης, μπορεί να γραφεί :

$$P_c(t) = P_{Ho} * e^{-\frac{t}{RC}} + R * Q_{in} * (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (12)$$

Ολική = Ελεύθερη + Εξαναγκασμένη  
Χρονική = Απόκριση  $\rightarrow 0$  + Απόκριση  
Απόκριση όταν  $Q_{in}(t) = 0$  όταν  $P_{Ho} = 0$

Η γραφική παράσταση της ελεύθερης απόκρισης, της εξαναγκασμένης απόκρισης καθώς και της ολικής χρονικής απόκρισης, δίδεται στο κάτωθι Σχ. 3



Σχήμα 3

- Άνω Κόκκινη καμπύλη : Ολική χρονική απόκριση της  $P_c(t)$
- Μεσαία Σκούρα καμπύλη : Ελεύθερη απόκριση της  $P_c(t)$  για  $Q_{in} = 0$  :
- Κάτω Ματζέντα καμπύλη : Εξαναγκασμένη απόκριση της  $P_c(t)$  για  $P_{Ho} = 0$

- Όταν η αρχική στάθμη είναι μηδέν ( $P_{Ho} = 0$ ), η εξίσωση (12) γίνεται :

$$P_c(t) = R * Q_{in} * (1 - e^{-\frac{t}{RC}}) \quad (13)$$

Όταν  $t = T \Rightarrow t = R * C$  από την εξίσωση (13) γίνεται :

$$P_c(T) = R * Q_{in} * (1 - e^{-\frac{RC}{RC}}) = R * Q_{in} * (1 - \frac{1}{e}) = 0,632 * R * Q_{in}$$

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική A\_TAXHS.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα (Run -> Start) :

- 1 ) Ρυθμίστε την αρχική στάθμη του υγρού στην δεξαμενή , πιέζοντας τα άνω και κάτω βέλη , ώστε να είναι αρχικά  $H_0 = 0,70 \text{ m}$  .
- 2 ) Ρυθμίστε την χώρηση της δεξαμενής , έτσι ώστε  $C = 0.000008 \text{ m}^5/\text{Nt}$
- 3 ) Ρυθμίστε την υδραυλική αντίσταση της εκροής , έτσι ώστε  $R = 2.500.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$
- 4 ) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF ) , οπότε έχουμε παροχή  $Q_{in} = 0.001 \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$  από την ηλεκτροβάνα και παρακολουθείστε :
  - 4α ) Την μεταβολή στο άνω διάγραμμα των πιέσεων συναρτήσει του χρόνου :
    - την ολική χρονική μεταβολή της πίεσης  $P_c$  με την κόκκινη γραμμή
    - την μεταβατική απόκριση της πίεσης  $P_c$  , με την σκούρα κόκκινη γραμμή
    - την μόνιμη απόκριση της πίεσης  $P_c$  , με την ματζέντα ( μωβ ) γραμμή
  - 4β ) Την μεταβολή στο κάτω διάγραμμα των πιέσεων συναρτήσει του χρόνου :
    - την ολική χρονική μεταβολή της πίεσης  $P_c$  με την κόκκινη γραμμή
    - την ελεύθερη απόκριση της πίεσης  $P_c$  , όταν  $Q_{in} = 0$  , με την σκούρα κόκκινη
    - την εξαναγκασμένη απόκριση της πίεσης  $P_c$  , όταν  $P_{H0} = 0$  , με την ματζέντα
  - 4γ ) Την μέτρηση του χρόνου που μεταβάλλεται σε Ticks (  $1 \text{ sec} = 10 \text{ Ticks}$  ) .
- 5 ) Η λήψη των μετρήσεων γίνεται διακόπτοντας την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στον χρόνο διακοπής που αναγράφεται στον Πίνακα 1 , δηλαδή ανά 100 Ticks .
- 6 ) Πατήστε το κομβίο RESUME με το οποίο συνεχίζουμε την εκτέλεση της άσκησης .
- 7 ) Σημειώστε στον κατωτέρω Πίνακα 1 τις τιμές των αντιστοίχων πιέσεων και του χρόνου  $t$  κατά την στιγμή της πραγματικής διακοπής .
- 8 ) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 9 ) Συνεχίστε τις μετρήσεις έως χρόνο  $t = 1000 \text{ Ticks}$  .
- 10 ) Πιέστε το κομβίο STOP , ώστε να σταματήσετε την εκτέλεση της άσκησης . Μεταβάλετε την αρχική στάθμη του υγρού στην δεξαμενή σε  $H_0 = 0,25 \text{ m}$  . Επαναλάβετε τις μετρήσεις και σημειώστε στον κάτωθι Πίνακα 2 .
- 11 ) Επαναλάβετε τις μετρήσεις για αρχική στάθμη στην δεξαμενή  $H_0 = 0,00 \text{ m}$  και σημειώστε αντίστοιχα στον Πίνακα 3 .

**Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή  $H_0 = 0,70 \text{ m}$**

Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκλη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]
0+							
100							
200							
300							
400							
500							
600							
700							
800							
900							
1000							

Πίνακας 1

**Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή  $H_0 = 0,25 \text{ m}$**

Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκλη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [Nt/m <sup>2</sup> ]
0+							
100							
200							
300							
400							
500							
600							
700							
800							
900							
1000							

Πίνακας 2

Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή $H_0 = 0 \text{ m}$							
Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκλη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [ Ticks ]	t [ Ticks ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [ Nt/m <sup>2</sup> ]
0+							
100							
200							
300							
400							
500							
600							
700							
800							
900							
1000							

Πίνακας 3

### Άσκηση για το σπίτι :

1α ) Σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 , χαράξτε την δέση των 3 γραφημάτων της μεταβατικής απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  , που προκύπτουν από τους παραπάνω πίνακες .

2 ) Σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 , χαράξτε το γράφημα της μόνιμης απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  , που προκύπτει από τις μετρήσεις στους παραπάνω πίνακες .

3α ) Δημιουργήστε την ολική χρονική απόκριση της πίεσης  $P_c(t)$  , αθροίζοντας τις μετρήσεις της μεταβατικής με την μόνιμη χρονική απόκριση στους παραπάνω πίνακες . Σημειώστε τα αντίστοιχα αποτελέσματα στους Πίνακες 1 , 2 , 3

3β ) Εξηγήστε βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 10 ) , ποια η τελική τιμή της ολικής χρονικής απόκρισης (  $t \rightarrow \infty$  ) , ανεξάρτητα από την αρχική στάθμη  $H_0$  .

4 ) Σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 , χαράξτε την δέση των 3 γραφημάτων της ελεύθερης απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  , που προκύπτουν από τους παραπάνω πίνακες .

5) Σε χαρτί μιλιμετρέ , χαράξτε το γράφημα της εξαναγκασμένης απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  , που προκύπτει από τις μετρήσεις στους παραπάνω πίνακες .

6α) Δημιουργήστε την ολική χρονική απόκριση της πίεσης  $P_c(t)$  , αθροίζοντας τις μετρήσεις της ελεύθερης με την εξαναγκασμένης χρονικής απόκριση . Σημειώστε τα αποτελέσματα στους παραπάνω Πίνακες 1 , 2 , 3

6β) Χαράξτε σε χαρτί μιλιμετρέ την δέσμη των 3 γραφημάτων, της ολικής χρονικής απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  που προκύπτει από τις μετρήσεις του ερωτήματος 6α .

6γ) Εξηγήστε , βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 12 ) , ποια η τελική τιμή της ολικής χρονικής απόκρισης της πίεσης  $P_c(t)$  , δηλαδή όταν  $t \rightarrow \infty$  .

7α) Υπολογίστε την σταθερά χρόνου  $T = R \cdot C$  του συστήματος σε sec και Ticks .

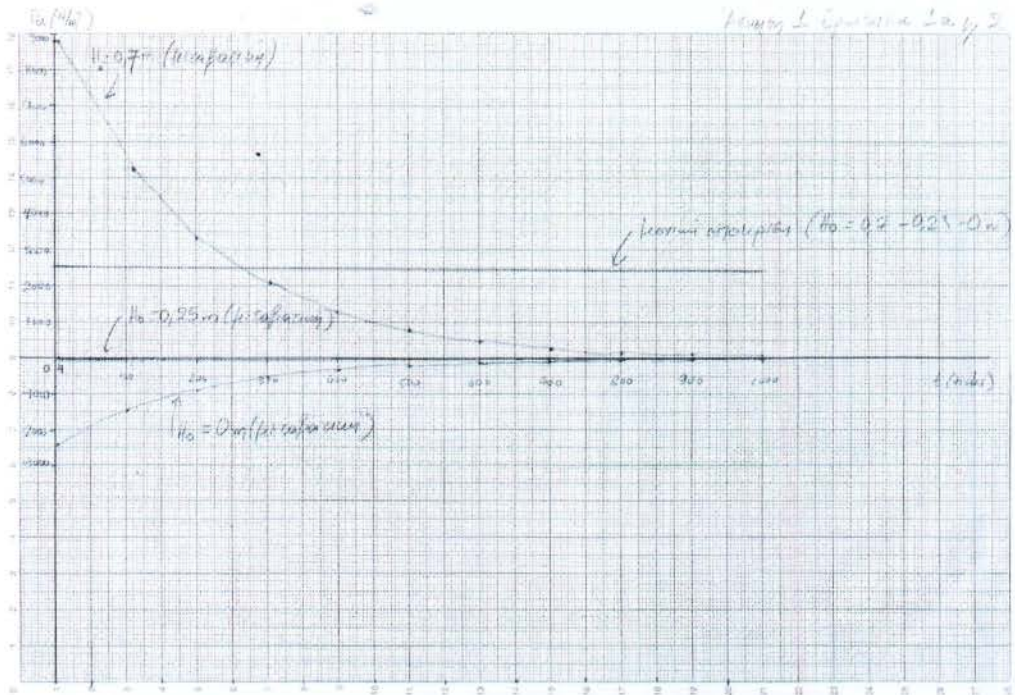
7β) Υπολογίστε , βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 11 ) , ποια η τιμή  $P_c(T)$  της ολικής απόκρισης , δηλαδή όταν ο χρόνος  $t = T$  ,  $P_{Ho} = 0,70$  και  $Q_{in} = 0$  . Συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την αντίστοιχη μέτρηση του Πίνακα 1 .

7γ) Υπολογίστε , βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 13 ) , ποια η τιμή  $P_c(T)$  της ολικής απόκρισης , δηλαδή όταν ο χρόνος  $t = T$  και  $P_{Ho} = 0$  . Συγκρίνετε το αποτέλεσμα με την αντίστοιχη μέτρηση του Πίνακα 3 .

$$\text{Δίδεται: } e=2,716 \quad , \quad \frac{1}{e}=0.368 \quad , \quad 1-\frac{1}{e}=0.632$$

Λύσεις - Άσκησης 1

Ερώτημα 1α



Εικόνα 2 - Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 1 & 2

Ερώτημα 2

Βλέπε Ερώτημα 1α



Ερώτημα 3α

Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή $H_0 = 0,70 \text{ m}$							
Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκλη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]
0+	4	2500	2800	11300	13689	61	13750
100	102	2500	5264	5764	2189	1041	9230
200	203	2500	3278	5778	7099	1591	6690
300	300	2500	2020	4920	3143	1940	5083
400	394	2500	1264	3764	1966	2149	4115
500	500	2500	745	3295	1159	2293	3452
600	602	2500	448	2948	697	2375	3072
700	705	2500	268	2788	416	2425	2841
800	800	2500	166	2666	259	2453	2712
900	904	2500	99	2599	154	2472	2626
1000	1004	2500	60	2560	93	2482	2576

Εικόνα 3 – Άσκηση 1, Πίνακας 1

Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή $H_0 = 0,25 \text{ m}$							
Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκλη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]
0+	7	2500	0	2500	2402	97	2499
100	102	2500	0	2500	1495	1004	2499
200	201	2500	0	2500	912	1587	2499
300	303	2500	0	2500	548	1951	2499
400	402	2500	0	2500	335	2161	2499
500	502	2500	0	2500	202	2296	2498
600	603	2500	0	2500	122	2377	2499
700	704	2500	0	2500	73	2426	2499
800	804	2500	0	2500	44	2455	2499
900	902	2500	0	2500	27	2472	2499
1000	1000	2500	0	2500	16	2483	2499

Εικόνα 4 – Άσκηση 1, Πίνακας 2

Αρχική στάθμη υγρού στην δεξαμενή $H_0 = 0 \text{ m}$							
Χρόνος Διακοπής	Χρόνος Μέτρησης	Μόνιμη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Μεταβατική Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$	Ελεύθερη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Εξαναγκ/νη Απόκριση Πίεσης $P_c(t)$	Ολική Χρονική Απόκριση $P_c(t)$
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_c$ [N/m <sup>2</sup> ]
0+	4	2500	-2482	62	0	61	61
100	103	2500	-1488	1012	0	1011	1011
200	204	2500	-899	1601	0	1600	1600
300	303	2500	-546	1954	0	1953	1953
400	403	2500	-331	2169	0	2168	2168
500	501	2500	-203	2297	0	2296	2296
600	602	2500	-122	2378	0	2377	2377
700	704	2500	-74	2426	0	2425	2425
800	807	2500	-44	2456	0	2455	2455
900	904	2500	-27	2473	0	2472	2472
1000	1003	2500	-16	2484	0	2483	2483

Εικόνα 5 - Άσκηση 1, Πίνακας 3

### Ερώτημα 3β

$$P_c(t) = (P_{H0} - R \cdot Q_{in}) e^{-t/R_c} + R \cdot Q_{in}$$

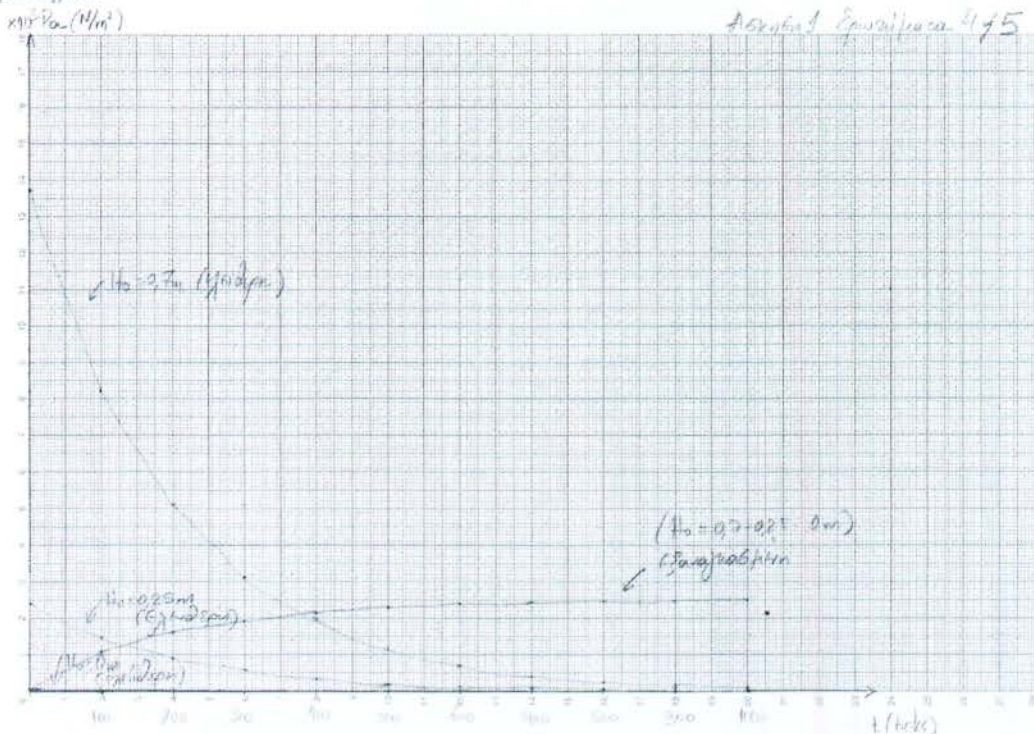
Όταν  $t \rightarrow \infty$  όρος  $e^{-t/R_c}$  αυξάνεται πολύ ώστε  $e^{-t/R_c} \rightarrow 0$  και συνεπώς

$$e^{-t/R_c} \rightarrow 0$$

$$\text{επομένως } P_c(\infty) = R \cdot Q_{in} = 2.500.000 \text{ N}_t \cdot \frac{\text{sec}}{\text{m}^5} \cdot 0,001 \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{sec}}$$

$$\Rightarrow P_c(\infty) = 2500 \text{ Nt/m}^2$$

Ερώτημα 4



Εικόνα 6 – Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 4 & 5

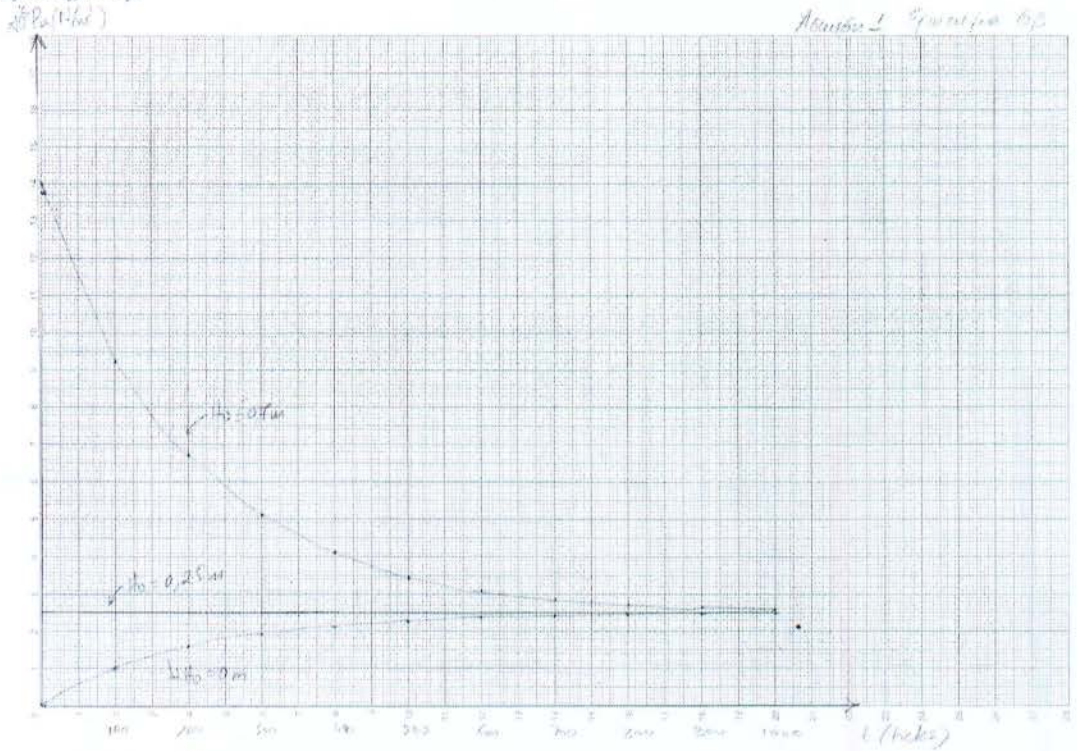
Ερώτημα 5

Βλέπε Ερώτημα 4

Ερώτημα 6α

Βλέπε Ερώτημα 3α

Ερώτημα 6β



Εικόνα 7 - Άσκηση 1, Γράφημα Ερωτήματος 6β

Ερώτημα 6γ

$$P_c(t) = P_{H0} \cdot e^{-t/R_c} + RQ_{in}(1 - e^{-t/R_c})$$

$$t \rightarrow \infty \Rightarrow e^{t/R_c} \rightarrow \infty \Rightarrow e^{-t/R_c} \rightarrow 0 \Rightarrow P_{H0} \cdot e^{-t/R_c} \rightarrow 0, \quad 1 - e^{-t/R_c} \rightarrow 1$$

$$\Rightarrow P_c(\infty) = R \cdot Q_{in} \Rightarrow P_c(\infty) = 2.500 \text{ Nt/m}^2$$

Ερώτημα 7α

$$T = R \cdot C = 2.500.000 \text{ Nt} \cdot \text{sec} / \text{m}^5 \cdot 0,000008 \text{ m}^5 / \text{Nt} = 20 \text{ sec} \Rightarrow T = 20 \text{ sec}$$

$$1 \text{ Tick} = 0,1 \text{ sec} \Rightarrow T = 200 \text{ ticks}$$

Ερώτημα 7β

$$P_c(t) = P_{H_0} \cdot e^{-t/R_c} \text{ όταν } Q_{in} = 0$$

$$P_c(T) = P_{H_0} \cdot e^{-R_c/R_c} = P_{H_0} = \frac{1}{e} = 0,368 \cdot P_{H_0}$$

$$\Rightarrow P_{H_0} = P_c(0) \cong 13689 P_a \text{ (από πίνακα 1)}$$

$$\Rightarrow P_c(T) = 5037,55 P_a \text{ (ελεύθερη απόκριση)}$$

Από το γράφημα της ελεύθερης απόκρισης και τον Πίνακα 1 έχουμε  $P_c(T) \cong 5.099 P_a$

Ερώτημα 7γ

$$P_{H_0} = 0 \Rightarrow P_c(t) = R \cdot Q_{in} \cdot (1 - e^{-t/R_c})$$

$$t = T \Rightarrow P_c(T) = 0,632 \cdot R \cdot Q_{in} = 1580 P_a$$

Από Πίνακα 3 η εξαναγκασμένη απόκριση για  $t = T$  ισούται με  $P_c(T) \cong 1.600 P_a$

## Άσκηση 2

### Διεργασία Α' Τάξης Υδραυλικής Χώρησης

Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων- Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Δημιουργία του διαγράμματος βαθμίδων ενός συστήματος . Επίλυση των διαφορικών εξισώσεων που αναπαριστούν φυσικά συστήματα , με χρήση του μ/τ Laplace . Γραφική παράσταση μεταβατικής και μόνιμης χρονικής απόκρισης ενός συστήματος .

**Θεωρία :** Μη περιοδικές συναρτήσεις δεν μπορούν να αναπτυχθούν σε σειρά Fourier . Χρησιμοποιούμε λοιπόν έναν γενικότερο μετασχηματισμό , που ονομάζεται μετασχηματισμός Laplace . Σαν βασική συνάρτηση , εδώ δεν παίρνουμε όπως στις περιπτώσεις με κυματοειδή διέγερση ή τις σειρές Fourier την  $\sin \omega t$  ,  $\cos \omega t$  ή  $e^{j\omega t}$  , αλλά αντίστοιχα την  $e^{-\sigma t} * \sin \omega t$  ,  $e^{-\sigma t} * \cos \omega t$  ή  $e^{-st}$  , όπου  $s = \sigma + j\omega$  μία μιγαδική συχνότητα .

$$e^{-st} = e^{-\sigma t} * (\cos \omega t - j \sin \omega t)$$

Μετασχηματισμένη Laplace της συνάρτησης  $f(t)$  ορίζεται :

$$\Leftrightarrow L\{f(t)\} \equiv F(s) \equiv \int_0^{+\infty} f(t)e^{-st} dt$$

Αντίστροφη μετασχηματισμένη Laplace της συνάρτησης  $F(s)$  ορίζεται :

$$\Leftrightarrow L^{-1}\{F(s)\} \equiv f(t) \equiv \frac{1}{2\pi j} \int_{\sigma-j\omega}^{\sigma+j\omega} F(s)e^{st} ds$$

Με τον μετασχηματισμό Laplace διατηρούνται οι ιδιότητες που εξασφαλίζουμε στην ειδική περίπτωση των κυματοειδών μεγεθών , κάνοντας την απεικόνιση στο μιγαδικό επίπεδο  $t \rightarrow j\omega$  .

○ **Παραγώνισαν :** Εάν  $f(t) = \frac{dy}{dt}$  και  $y(0^+) = 0$  , τότε :  $F(s) = s * Y(s)$

○ **Ολοκλήρωσαν :** Εάν  $f(t) = \int_{-k}^t y(t)dt$  και  $\int_{-k}^0 y(t)dt = 0$  . τότε :  $F(s) = \frac{Y(s)}{s}$

Έτσι με τον μετασχηματισμό Laplace , η παράγωγος και το ολοκλήρωμα ως προς το χρόνο , μετατρέπονται σε έναν απλό πολλαπλασιασμό ή μία διαίρεση με την μιγαδική συχνότητα  $s$  .

$$\Rightarrow \text{Παράγωγος} \quad \frac{d}{dt} \xrightarrow{L} s$$

$$\Rightarrow \text{Ολοκλήρωμα} \quad \int_0^t dt \xrightarrow{L} \frac{1}{s}$$

Ο μ/τ Laplace μας μεταφέρει από το επίπεδο του χρόνου  $t$ , στο επίπεδο της μιγαδικής συχνότητας  $s$ . Στο επίπεδο αυτό, η διαφορική εξίσωση μετατρέπεται σε μία απλή αλγεβρική εξίσωση. Η λύση αυτής της αλγεβρικής εξίσωσης είναι εύκολη. Αυτό που απομένει είναι, με αντίστροφο μετασχηματισμό να επανέλθουμε από το επίπεδο  $s$  στο επίπεδο του χρόνου  $t$  και να βρούμε την λύση της διαφορικής εξίσωσης και συνεπώς την χρονική της απόκριση. Έτσι παρακάμπτουμε τον δύσκολο δρόμο της απευθείας λύσης της διαφορικής εξίσωσης στο επίπεδο του χρόνου  $t$ .

#### Ιδιότητες του μετασχηματισμού Laplace

$f(t)$	$F(s)$
$a \cdot y(t)$	$a \cdot Y(s)$
$y_1(t) + y_2(t)$	$Y_1(s) + Y_2(s)$
$\frac{dy}{dt} = y^{(1)}(t)$	$s \cdot Y(s) - y(0^+)$
$\frac{d^2y}{dt^2} = y^{(2)}(t)$	$s^2 \cdot Y(s) - s \cdot y(0^+) - y'(0^+)$
$\int y(t) dt$	$\frac{Y(s)}{s} + \frac{y^{(-1)}(0^-)}{s}$
$y(\omega \cdot t)$	$\frac{1}{\omega} \cdot Y\left(\frac{s}{\omega}\right)$
$y(t - T)$	$e^{-sT} \cdot Y(s)$
$e^{-a} \cdot y(t)$	$Y(s + a)$
Αρχική Τιμή:	$y(0) = \lim_{t \rightarrow 0} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot Y(s)$
Τελική Τιμή:	$y(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot Y(s)$

Πίνακας 1

Βασικοί Μετασχηματισμοί Laplace

$F(s) = L\{f(t)\}$	$f(t) = L^{-1}\{F(s)\}$
1	$\delta(t)$
$\frac{1}{s}$	$u(t)$
$\frac{1}{s^2}$	$t$
$\frac{1}{s+a}$	$e^{-at}$
$\frac{1}{(s+a)^2}$	$t * e^{-at}$
$\frac{1}{s*(s+a)}$	$\frac{1}{a}*(1-e^{-at})$
$\frac{1}{(s+a)*(s+b)}$	$\frac{e^{-at}-e^{-bt}}{b-a}$
$\frac{s}{(s+a)*(s+b)}$	$\frac{1}{b-a}*(be^{-bt}-ae^{-at})$
$\frac{s}{s^2+a^2}$	συνat
$\frac{a}{s^2+a^2}$	ημ at

Πίνακας 2

**Εφαρμογές μ/τ Laplace :** Έστω μία δεξαμενή υγρού υδραυλικής χώρησης  $C$ , στην οποία παρέχουμε υγρό με ρυθμό εισροής  $Q_{in}$ . Μέσω της εκροής υδραυλικής αντίστασης  $R$ , απάγεται υγρό με ρυθμό εκροής  $Q_{out}$ . Ο όγκος  $dV$  του υγρού που συσσωρεύεται εντός της δεξαμενής, δημιουργεί στάθμη υγρού  $dH$ , οπότε στην εκροή της δεξαμενής εμφανίζεται διαφορά στην υδροστατική πίεση  $P_c$ :  $dP_c = \rho * g * dH$  (1)

Η μεταβολή του όγκου στον χρόνο ορίζεται ως ροή χώρησης  $Q_c$  και είναι:

$$Q_c = \frac{dV}{dt} \Rightarrow Q_c = \frac{d(A*H)}{dt} \Rightarrow Q_c = A * \frac{dH}{dt} \Rightarrow Q_c = \frac{A}{\rho * g} * \rho * g * \frac{dH}{dt} \Rightarrow$$



$$Q_c = \frac{A}{\rho * g} * \frac{d(\rho * g * H)}{dt} \Rightarrow Q_c = \frac{A}{\rho * g} * \frac{dP_c}{dt} \quad (2)$$

Παρατηρούμε ότι η ροή χώρησης  $Q_c$  είναι ευθέως ανάλογη της παραγώγου της υδροστατικής πίεσης  $P_c$ . Ο συντελεστής αναλογίας ονομάζεται υδραυλική χώρηση  $C$ :

$$C = \frac{A}{\rho * g} \quad [C] = \left[ \frac{A}{\rho * g} \right] = \frac{[A]}{[\rho] * [g]} = \frac{[m^2]}{[Kgr/m^3] * [m/sec^2]} = \left[ \frac{m^5}{Nt} \right] \quad (3)$$

$$(2) \& (3) \Rightarrow Q_c = C * \frac{dP_c}{dt} \quad [Q_c] = \left[ \frac{m^3}{sec} \right] \quad (4)$$

Εάν ολοκληρώσουμε και τα δύο μέλη της (4) έχουμε:

$$\int Q_c dt = \int C * \frac{dP_c}{dt} dt \Rightarrow \int Q_c dt = C * P_c \Rightarrow P_c = \frac{1}{C} * \int Q_c dt \quad (5)$$

Εφαρμόζουμε τον μ/τ Laplace στην εξίσωση (5) οπότε έχουμε:

$$L\{P_c(t)\} = L\left\{ \frac{1}{C} * \int_{-k}^t Q_c(t) dt \right\} \Rightarrow P_c(s) = L\left\{ \frac{1}{C} \right\} * L\left\{ \int_{-k}^t Q_c(t) dt \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_c(s) = \frac{1}{C} * \left[ \frac{Q_c(s)}{s} + \frac{Q_c^{(-1)}(0^-)}{s} \right] \quad \text{Αν } \frac{Q_c^{(-1)}(0^-)}{s} = 0, \text{ δηλαδή η}$$

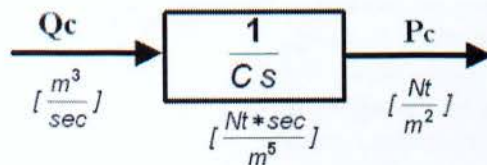
συνολική ροή χώρησης  $Q_c(t)$ , μέχρι την χρονική στιγμή  $t = 0$  είναι μηδέν, τότε:

$$P_c(s) = \frac{1}{C} * \frac{Q_c(s)}{s} \Rightarrow P_c(s) = \frac{1}{C * s} * Q(s) \quad (6)$$

Τα μεγέθη της πίεσης και της παροχής συνδέονται ευθέως ανάλογα με έναν συντελεστή που τον ονομάζουμε σύνθετη αντίσταση χώρησης  $Z_c$ .

$$\text{Άρα: } Z_c = \frac{1}{C * s} \quad \left[ \frac{Nt * sec}{m^5} \right] \quad \text{δηλαδή έχει μονάδες υδραυλικής αντίστασης.}$$

Μπορούμε να σχεδιάσουμε την παραπάνω σχέση (6) με ένα διάγραμμα βαθμίδας:



Σχήμα 1

Η υδραυλική Αντίσταση  $R$  της αντίστασης εκροής, ισούται με τον λόγο της διαφοράς πίεσης  $P_r$  στα άκρα του αγωγού εκροής, προς την αντίστοιχη μεταβολή του ρυθμού ροής διαμέσου του αγωγού. Επειδή έχουμε ελεύθερη εκροή, η διαφορά δυναμικού  $P_r$  ταυτίζεται με την υδροστατική πίεση στην εκροή της δεξαμενής, ενώ η παροχή  $Q_r$  διαμέσου του αγωγού ταυτίζεται με παροχή  $Q_{out}$  που εκρέει από την δεξαμενή.

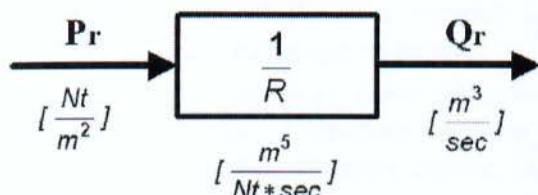
Η αντίσταση  $R$ , παριστάνει την κλίση της εφαιπτομένης της καμπύλης  $Q_r = f\{P_r\}$ , συνεπώς για μια περιορισμένη περιοχή τιμών των μεταβλητών  $Q_r$ ,  $P_r$  κοντά στην μέση στάθμη ισορροπίας του συστήματος, μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το  $R$  είναι σταθερό, δηλαδή η συνάρτηση  $Q_r$  είναι γραμμική ως προς  $P_r$  οπότε μπορούμε να γράψουμε:

$$R = \frac{dP}{Q_{out}} \Rightarrow R = \frac{P_r}{Q_r} \Rightarrow Q_r = \frac{P_c}{R} \quad (7)$$

Εφαρμόζουμε τον μ/τ Laplace στην (7), οπότε έχουμε:

$$L\{Q_r(t)\} = L\left\{\frac{P_c(t)}{R}\right\} \Rightarrow Q_r(s) = \frac{1}{R} \cdot P_c(s) \quad (8)$$

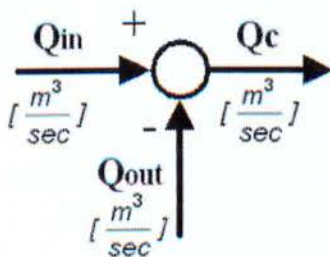
Μπορούμε να σχεδιάσουμε την παραπάνω σχέση (8) με ένα διάγραμμα βαθμίδας:



Σχήμα 2

**Διάγραμμα βαθμίδων διεργασίας Α΄ Τάξης :** Ο νόμος διατήρησης της μάζας για το υγρό (νόμος συνέχειας) στο σύστημα της δεξαμενής, δηλώνει ότι η εισροή  $Q_{in}$ , μείον την εκροή  $Q_{out}$ , είναι ίση με ροή χώρησης της δεξαμενής  $Q_c$ .

$$Q_{in} - Q_{out} = Q_c \quad (9)$$



Σχήμα 3

Μπορούμε να αναπαραστήσουμε την εξίσωση (9), σαν ένα σημείο άθροισης όπου εισόδοι είναι η παροχή  $Q_{in}$  με θετικό πρόσημο, η παροχή  $Q_{out}$  με αρνητικό πρόσημο και έξοδος είναι η ροή χώρησης  $Q_c$ .

Συνθέτουμε τα διαγράμματα βαθμίδων των Σχ. 1 , Σχ. 2 και Σχ. 3 και δημιουργούμε στο Σχ. 4 , το **διάγραμμα βαθμίδων της διεργασίας** , έχοντας υπ' όψη ότι τα σύρματα μεταφέρουν σήματα , συνεπώς **οι εξισώσεις που αναφέρονται σε σήματα , πρέπει να απεικονίζονται με τις αντίστοιχες ενώσεις με σύρματα** . Σύμφωνα με αυτά :

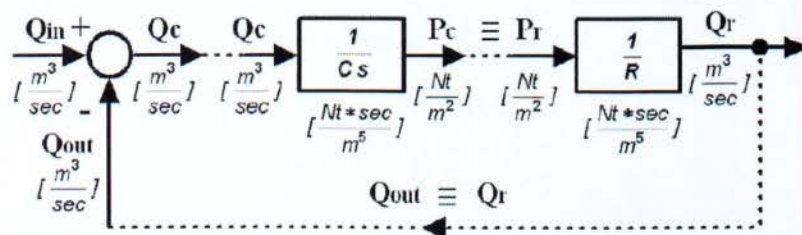
**Α )** Όταν το σήμα εξόδου μιας βαθμίδας θέλουμε να χρησιμοποιηθεί σαν σήμα εισόδου μιας άλλης βαθμίδας , πρέπει να ενώνουμε τις βαθμίδες με σύρμα .

Όπως δείξαμε στο Σχ. 3 η έξοδος του συγκριτή είναι η παροχή  $Q_c$  , την οποία χρησιμοποιούμε σαν είσοδο της βαθμίδας της δεξαμενής του Σχ. 1 , οπότε πρέπει να ενώσουμε την έξοδο  $Q_c$  του συγκριτή με την είσοδο  $Q_c$  της βαθμίδας υδραυλικής χώρησης .

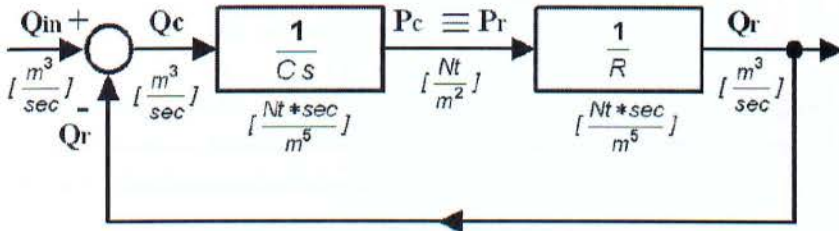
Επίσης από το Σχ. 2 έχουμε ότι η έξοδος της βαθμίδας υδραυλικής αντίστασης είναι η παροχή  $Q_r$  που είναι όμως ταυτόσημη με την παροχή εξόδου της διεργασίας  $Q_{out}$  , συνεπώς πρέπει να ενώσουμε την έξοδο  $Q_r$  της βαθμίδας υδραυλικής αντίστασης με την είσοδο  $Q_{out}$  του συγκριτή .

**Β )** Όταν το σήμα εξόδου μιας βαθμίδας είναι ταυτόσημο με το σήμα εισόδου μιας άλλης βαθμίδας , μπορούμε να ενώνουμε τις βαθμίδες με σύρμα .

Επειδή η υδροστατική πίεση  $P_c$  της δεξαμενής είναι σε κάθε χρονική στιγμή ταυτόσημη με την διαφορά πίεσης  $P_r$  στα άκρα της υδραυλικής αντίστασης  $R$  , μπορούμε να ενώσουμε την έξοδο  $P_c$  της βαθμίδας υδραυλικής χώρησης με την είσοδο  $P_r$  της βαθμίδας υδραυλικής αντίστασης της διεργασίας .



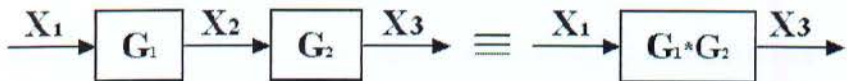
Σχήμα 4



Σχήμα 5

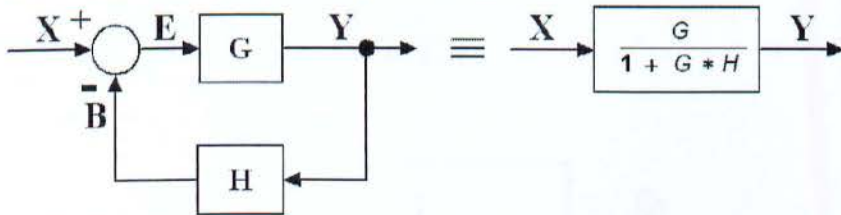
**Ισοδύναμα Διαγράμματα Βαθμίδων :** Επειδή στο μιγαδικό επίπεδο  $s$ , η σχέση ανάμεσα στο σήμα εισόδου και στο σήμα εξόδου ενός γραμμικού συστήματος, είναι ένας απλός πολλαπλασιασμός με την συνάρτησης μεταφοράς, μπορούμε να βρούμε την ολική συνάρτηση μεταφοράς ενός συστήματος, από την γραφική παράσταση του αντίστοιχου ισοδύναμου διαγράμματος βαθμίδων.

A ) Βαθμίδες σε σειρά :



$$X_2 = G_1 * X_1 \Rightarrow X_3 = G_2 * X_2 \Rightarrow X_3 = G_2 * G_1 * X_1 \Rightarrow \frac{X_3}{X_1} = G_1 * G_2 = G_0$$

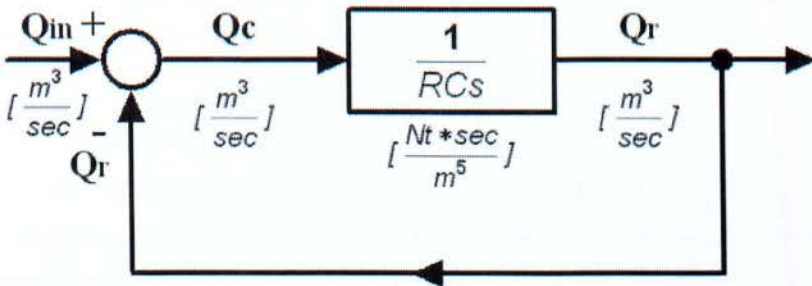
B ) Κλειστό σύστημα βαθμίδας με ανατροφοδότηση :



$$\begin{aligned}
 Y &= G * E \\
 B &= H * Y \Rightarrow Y = G * [X - (H * Y)] \Rightarrow Y = G * X - G * H * Y \Rightarrow \\
 E &= X - B \\
 \Rightarrow Y + G * H * Y &= G * X \Rightarrow Y = \frac{G}{1 + G * H} * X \Rightarrow \\
 \Rightarrow \frac{Y}{X} &= \frac{G}{1 + G * H} = G_0
 \end{aligned}$$

**Προσοχή:** Με θετική ανάδραση η συνάρτηση μεταφοράς είναι :  $G_0 = \frac{G}{1-G*H}$

Μπορούμε να προσθέσουμε τις βαθμίδες σε σειρά στον ευθύ κλάδο, σύμφωνα με ισοδύναμο διάγραμμα βαθμίδων σε σειρά της παραγράφου ( Α ), οπότε προκύπτει το διάγραμμα βαθμίδων του κάτωθι Σχ. 6

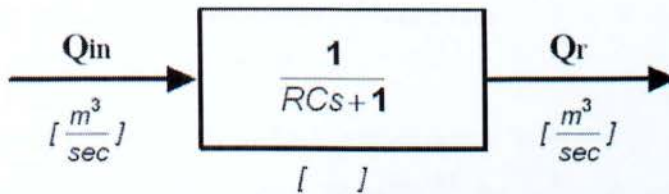


Σχήμα 6

Απλοποιούμε τον κλάδο ανάδρασης σύμφωνα με το ισοδύναμο διάγραμμα βαθμίδων κλειστού συστήματος βαθμίδας με μοναδιαία ανατροφοδότηση της παραγράφου ( Β ), οπότε προκύπτει το ισοδύναμο **διάγραμμα βαθμίδας της διεργασίας**, όπως φαίνεται στο κατωτέρω Σχ. 7 όπου σήμα εισόδου είναι η είσοδος  $Q_{in}$  της διεργασίας και σήμα εξόδου η παροχή  $Q_r$  που είναι ταυτόσημη με την παροχή  $Q_{out}$  της διεργασίας.

Η συνάρτηση μεταφοράς  $G_0$  της βαθμίδας είναι :

$$G_0(s) = \frac{Q_r(s)}{Q_{in}(s)} = \frac{1}{1 + \frac{1}{RCs} * 1} = \frac{1}{RCs + 1}$$



Σχήμα 7

### Ιδιότητες της συνάρτησης μεταφοράς :

Η συνάρτηση μεταφοράς  $G_0$  που προκύπτει , περιέχει όλες τις πληροφορίες που αφορούν το σύστημα . Δεν περιέχει πληροφορίες για τις αρχικές συνθήκες , οι οποίες όμως δεν αφορούν το ίδιο το σύστημα , αλλά τα μεγέθη της εισόδου και της εξόδου του .

Η συνάρτηση μεταφοράς είναι ισοδύναμη με την διαφορική εξίσωση που περιγράφει το σύστημα . Μπορούμε να βρούμε την εξαναγκασμένη απόκριση του συστήματος , δηλαδή την απόκριση όταν οι αρχικές συνθήκες είναι μηδέν , και το σύστημα ξεκινά από ηρεμία .

Από την συνάρτηση μεταφοράς μπορεί να υπολογισθεί και η μόνιμη απόκριση του συστήματος , που δεν εξαρτάται από τις αρχικές συνθήκες .

Με σταθερή είσοδο την μοναδιαία συνάρτηση  $u(t)$  , θα έχουμε :

$$\text{Αν } x(t) = u(t) \xrightarrow{L} X(s) = \frac{1}{s} \text{ και } Y(s) = X(s) * G(s) = \frac{G(s)}{s}$$

Εάν θέλουμε να μελετήσουμε την χρονική απόκριση της  $Q_r$  , σε περίπτωση βηματικής αλλαγής της εισόδου  $Q_{in}$  , επειδή  $Q_{in}(t) = Q_{in} \xrightarrow{L} Q_{in}(s) = \frac{Q_{in}}{s}$

Α ) Η αρχική τιμή της συνάρτησης , δηλαδή η τιμή της συνάρτησης για  $t \rightarrow 0$  , μπορεί να υπολογισθεί βάσει του θεωρήματος αρχικής τιμής :

$$y(0) = \lim_{t \rightarrow 0} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * Y(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * \frac{G(s)}{s} = G(\infty) = ct$$

Άρα για το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 7 , η αρχική τιμή της  $Q_r$  θα είναι :

$$Q_r(0) = \lim_{t \rightarrow 0} Q_r(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * Q_r(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * G(s) * \frac{Q_{in}(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{1}{RCs+1} * Q_{in} = 0$$

Β ) Η τελική τιμή της συνάρτησης , δηλαδή η απόκριση της μόνιμης κατάστασης , μπορεί να υπολογισθεί βάσει του θεωρήματος τελικής τιμής :

$$y_{\infty} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s * Y(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s * \frac{G(s)}{s} = G(0) = ct$$

Άρα για το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 7 , η τελική τιμή της  $Q_r$  θα είναι :

$$Q_r(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} Q_r(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s * Q_r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s * G(s) * \frac{Q_{in}(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{RCs+1} * Q_{in} = Q_{in}$$

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική FLUID\_C.ΘΝΙ με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ).

- 1 ) Ρυθμίστε τις κάτωθι παραμέτρους της άσκησης με τα άνω και κάτω βέλη:
  - 1α ) την υδραυλική αντίσταση  $R = 2.500.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$
  - 1β ) την υδραυλική χώρηση  $C = 0,000004 \text{ m}^5/\text{Nt}$
  - 1γ ) την εισροή της ηλεκτροβάνας  $Q_{in} = 0,012 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 2 ) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της άσκησης ( ON-OFF ) και παρακολουθείστε την μεταβολή της πίεσης  $P_c$  στο δεξιό διάγραμμα και των βροών  $Q_c$  και  $Q_r$  στο αριστερό διάγραμμα , καθώς και την μεταβολή του χρόνου  $t$  που μετρείτε σε Ticks .
- 3 ) Πατήστε το κομβίον PAUSE με το οποίο διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης στον χρόνο μέτρησης που αναφέρεται στον Πίνακα 1α .
- 4 ) Σημειώστε στον Πίνακα 1α τις τιμές του πραγματικού χρόνου  $t$  κατά την στιγμή της διακοπής , την πίεση  $P_c$  , την ροή χώρησης  $Q_c$  και την εκροή  $Q_r \equiv Q_{out}$
- 5 ) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 6 ) Συνεχίστε τις μετρήσεις έως χρόνο  $t = 1000 \text{ Ticks}$  ( 1 Tick = 0,1 sec )
- 7 ) Σημειώστε στο αντίστοιχο τμήμα του Πίνακα 3 την σταθερά χρόνου  $T = R * C$  , καθώς και τις τελικές τιμές των  $P_c(\infty)$  και  $Q_r(\infty)$  ( πρακτικά για χρόνο  $t \gg 5 * T$  )
- 8 ) Μεταβάλετε μόνον την υδραυλική αντίσταση  $R=5.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$  και επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 στον Πίνακα 1β .
- 9 ) Ρυθμίστε τις κάτωθι παραμέτρους της άσκησης με τα άνω και κάτω βέλη:
  - 9α ) την υδραυλική αντίσταση  $R = 5.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$
  - 9β ) την υδραυλική χώρηση  $C = 0,000002 \text{ m}^5/\text{Nt}$
  - 9γ ) την εισροή της ηλεκτροβάνας  $Q_{in} = 0,016 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 10 ) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 στον Πίνακα 2α και Πίνακα 3 αντίστοιχα .
- 11 ) Μεταβάλετε μόνον την υδραυλική χώρηση  $C=0,000004 \text{ m}^5/\text{Nt}$  και επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 2 , 3 , 4 , 5 , 6 , 7 στον Πίνακα 2β και Πίνακα 3 αντίστοιχα .

t	R = 2.500.000 Nt <sup>3</sup> /m <sup>5</sup> C=0,000004 m <sup>5</sup> /Nt , Qin=0,012 m <sup>3</sup> /sec			R = 5.000.000 Nt <sup>3</sup> /m <sup>5</sup> C=0,000004 m <sup>5</sup> /Nt , Qin=0,012 m <sup>3</sup> /sec					
	Χρόνος Μέτρησης	Χρόνος Διακοπής	Pc [Nt/m <sup>2</sup> ]	Qc [m <sup>3</sup> /sec]	Qr [m <sup>3</sup> /sec]	Χρόνος Διακοπής	Pc [Nt/m <sup>2</sup> ]	Qc [m <sup>3</sup> /sec]	Qr [m <sup>3</sup> /sec]
0+									
100									
200									
300									
400									
500									
600									
700									
800									
900									
1000									

Πίνακας 1α

Πίνακας 1β

t	C = 0,000002 m <sup>5</sup> /Nt R=5.000.000 m <sup>5</sup> /Nt , Qin=0,016 m <sup>3</sup> /sec			C = 0,000004 m <sup>5</sup> /Nt R=5.000.000 m <sup>5</sup> /Nt , Qin=0,016 m <sup>3</sup> /sec					
	Χρόνος Μέτρησης	Χρόνος Διακοπής	Pc [Nt/m <sup>2</sup> ]	Qc [m <sup>3</sup> /sec]	Qr [m <sup>3</sup> /sec]	Χρόνος Διακοπής	Pc [Nt/m <sup>2</sup> ]	Qc [m <sup>3</sup> /sec]	Qr [m <sup>3</sup> /sec]
0+									
100									
200									
300									
400									
500									
600									
700									
800									
900									
1000									

Πίνακας 2α

Πίνακας 2β



Υδραυλική Αντίσταση		Υδραυλική Χώρηση		Εισροή Ηλεκτροβάνας		Σταθερά Χρόνου	Τελική Πίεση	Τελική Εκροή
R		C		Q <sub>in</sub>		T	P <sub>c(00)</sub>	Q <sub>r(00)</sub>
[ Nt·sec/m <sup>5</sup> ]		[ m <sup>5</sup> /Nt ]		[ m <sup>3</sup> /sec ]		[ Ticks ]	[ Nt/m <sup>2</sup> ]	[ m <sup>3</sup> /sec ]
Μεταβολή		Αμετάβλητο		Αμετάβλητο				
2,5·10 <sup>6</sup>	-	-	4·10 <sup>-6</sup>	0,012	-			
-	5·10 <sup>6</sup>	-	4·10 <sup>-6</sup>	0,012	-			
Αμετάβλητο		Μεταβολή		Αμετάβλητο				
-	5·10 <sup>6</sup>	2·10 <sup>-6</sup>	-	0,016	-			
-	5·10 <sup>6</sup>	-	4·10 <sup>-6</sup>	0,016	-			
Αμετάβλητο		Αμετάβλητο		Μεταβολή				
5·10 <sup>6</sup>	-	-	4·10 <sup>-6</sup>		0,012			
5·10 <sup>6</sup>	-	-	4·10 <sup>-6</sup>		0,016			

Πίνακας 3

### Άσκηση για το σπίτι :

- 1) Με βάση τις μετρήσεις των Πινάκων 1β & 2β, χαράξτε σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4, τα γραφήματα της  $Q_r$  για  $Q_{in} = 0,0120 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $Q_{in} = 0,0160 \text{ m}^3/\text{sec}$ , όταν  $R = 5.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$  και  $C = 0,000004 \text{ m}^5/\text{Nt}$
- 2) Υπολογίστε την σταθερά χρόνου  $T$  της διεργασίας και υψώστε στον άξονα του χρόνου κάθετο για χρόνο  $t = T$ . Βρείτε για τα δύο γραφήματα, τις τιμές των  $Q_r(T)$
- 3) Δείξτε ότι η τιμή των  $Q_r(T) = 0,632 * Q_{in}$
- 4) Αναδιατάξτε και ακολούθως απλοποιήστε το διάγραμμα βαθμίδων του Σχ. 3, έτσι ώστε να έχετε μία βαθμίδα με είσοδο  $Q_{in}(s)$  και έξοδο  $P_c(s)$
- 5) Με βάση τις μετρήσεις των Πινάκων 1α & 2α χαράξτε σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 τα γραφήματα της  $P_c$ , όταν  $Q_{in} = 0,0120 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $C = 0,000004 \text{ m}^5/\text{Nt}$  για  $R = 2.500.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$  και  $R = 5.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$ .
- 6) Με βάση τις μετρήσεις των Πινάκων 2α & 2β χαράξτε σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 τα γραφήματα της  $P_c$ , όταν  $Q_{in} = 0,0160 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $R = 5.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$  για  $C = 0,000002 \text{ m}^5/\text{Nt}$  και  $C = 0,000004 \text{ m}^5/\text{Nt}$ .
- 7) Να υπολογίσετε την τελική τιμή  $P_c(\infty)$  για τις ανωτέρω περιπτώσεις των γραφημάτων, εφαρμόζοντας στην συνάρτηση  $P_c(s)$  του ερωτήματος 4, το θεώρημα τελικής τιμής.
- 8) Αποδείξτε με βάσει τις μετρήσεις του Πίνακα 3, ότι η τελική τιμή  $P_c(\infty)$ , εξαρτάται μόνον από τις μεταβολές των  $R$ ,  $Q_{in}$  και όχι από την μεταβολή της υδραυλικής χώρησης  $C$ .
- 9) Αναδιατάξτε και ακολούθως απλοποιήστε το διάγραμμα βαθμίδων του Σχ. 3, έτσι ώστε να έχετε μία βαθμίδα με είσοδο  $Q_{in}(s)$  και έξοδο  $Q_c(s)$ .
- 10) Να υπολογίσετε την αρχική τιμή  $Q_c(0)$ , εφαρμόζοντας στην συνάρτηση  $Q_c(s)$  του ερωτήματος 9, το θεώρημα αρχικής τιμής.

Λύσεις - Άσκησης 2

Ερώτημα 1

t	R = 2.500.000 Nt*sec/m5 C=0,000004 m5/Nt, Qin=0,012 m3/sec				R = 5.000.000 Nt*sec/m5 C=0,000004 m5/Nt, Qin=0,012 m3/sec				
	Χρόνος Μέτρησης	Χρόνος Διακοπής	Pc	Qc	Qr	Χρόνος Διακοπής	Pc	Qc	Qr
			[Nt/m2]	[m3/sec]	[m3/sec]		[Nt/m2]	[m3/sec]	[m3/sec]
0+	80	2569	0,011	0,001	8	2346	0,0115	0,0005	
100	114	20254	0,039	0,0081	104	24282	0,0381	0,0099	
200	223	26059	0,0016	0,004	199	57872	0,0054	0,0076	
300	306	29571	0,0026	0,014	311	47279	0,0025	0,0095	
400	404	29455	0,0007	0,018	403	52040	0,0016	0,0104	
500	504	29748	0,0001	0,019	504	55190	0,001	0,011	
600	605	29996	0	0,020	604	57072	0,0006	0,0114	
700	706	29977	0	0,012	705	58234	0,0004	0,0116	
800	804	29989	0	0,012	800	58900	0,0002	0,0118	
900	902	29996	0	0,012	899	59352	0,0001	0,0119	
1000	997	29998	0	0,012	1000	59596	0,0001	0,0119	

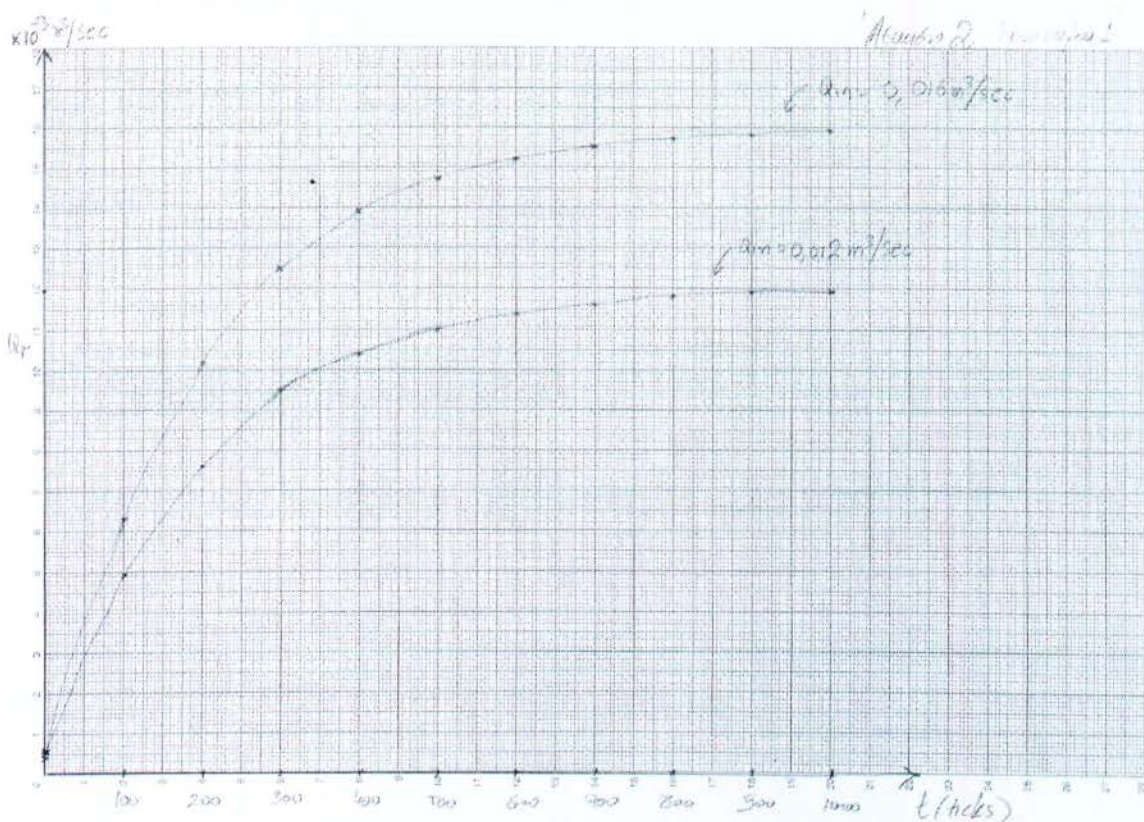
Εικόνα 8 - Άσκηση 2, Πίνακας 1

t	C = 0,000002 m5/Nt R=5.000.000 m5/Nt, Qin=0,016 m3/sec				C = 0,000004 m5/Nt R=5.000.000 m5/Nt, Qin=0,016 m3/sec				
	Χρόνος Μέτρησης	Χρόνος Διακοπής	Pc	Qc	Qr	Χρόνος Διακοπής	Pc	Qc	Qr
			[Nt/m2]	[m3/sec]	[m3/sec]		[Nt/m2]	[m3/sec]	[m3/sec]
0+	7	4636	0,0151	0,0005	6	1970	0,0156	0,0004	
100	104	51005	0,0058	0,0102	101	3147	0,0097	0,0063	
200	205	69280	0,0021	0,0139	204	51078	0,0058	0,0102	
300	303	75916	0,0008	0,0152	305	62610	0,0035	0,0129	
400	404	78513	0,0003	0,0157	404	69586	0,0021	0,0137	
500	501	79430	0,0001	0,0159	502	73490	0,0003	0,0147	
600	607	79799	0	0,016	601	76026	0,0008	0,0152	
700	707	79925			706	77646	0,0005	0,0155	
800	807	79977			803	78548	0,0003	0,0157	
900	903	79989			902	79114	0,0002	0,0158	
1000	1006	79995	0	0,016	1003	79467	0,0001	0,0159	

Εικόνα 9 - Άσκηση 2, Πίνακας 2

Υδραυλική Αντίσταση		Υδραυλική Χώρηση		Εκροή Ηλεκτροβάνας		Σταθερά Χρόνου	Τελική Πίεση	Τελική Εκροή
R		C		Qin		T	Pc(oo)	Qr(oo)
[ Nt*sec/m5 ]		[ m5/Nt ]		[ m3/sec ]		[ Ticks ]	[ NUm2 ]	[ m3/sec ]
Μεταβολή		Αμετάβλητο		Αμετάβλητο				
2,5*10 <sup>-6</sup>	-	-	4*10 <sup>-6</sup>	0,012	-	100	30000	0,012
-	5*10 <sup>-6</sup>	-	4*10 <sup>-6</sup>	0,012	-	200	60000	0,019
Αμετάβλητο		Μεταβολή		Αμετάβλητο				
-	5*10 <sup>-6</sup>	2*10 <sup>-6</sup>	-	0,016	-	100	80000	0,016
-	5*10 <sup>-6</sup>	-	4*10 <sup>-6</sup>	0,016	-	200	80000	0,016
Αμετάβλητο		Αμετάβλητο		Μεταβολή				
5*10 <sup>-6</sup>	-	-	4*10 <sup>-6</sup>		0,012	200	60000	0,019
5*10 <sup>-6</sup>	-	-	4*10 <sup>-6</sup>		0,016	200	80000	0,016

Εικόνα 10 – Άσκηση 2, Πίνακας 3



Εικόνα 11 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 1

### Ερώτημα 2

Από την εξίσωση της σελ. 29  $G_0(s) = \frac{1}{RC_s + 1} = \frac{Q_r(s)}{Q_m(s)}$

προκύπτει ότι  $T=RC$ .

Όπως προκύπτει από τον πίνακα 3 για την περίπτωση του πίνακα 1α/2α=>

$$T=100 \text{ ticks ή } 10\text{sec}$$

και για την περίπτωση του πίνακα 1β/2β=>  $T=200\text{ticks ή } 20\text{sec}$ .

$$Q_{r_1\beta}(T) = 0,0076m^3 / \text{sec}$$

$$Q_{r_2\beta}(T) = 0,0102m^3 / \text{sec}$$

### Ερώτημα 3

$$Q_{r_1\beta}(T) = 0,632 \cdot 0,012m^3 / \text{sec} = 0,00758m^3 / \text{sec}$$

$$Q_{r_2\beta}(T) = 0,632 \cdot 0,016m^3 / \text{sec} = 0,0101m^3 / \text{sec}$$

### Ερώτημα 4

Από εξίσωση (6)  $\Rightarrow P_c(s) = \frac{1}{C \cdot s} Q_c(s) \Rightarrow Q_c(s) = sCP_c(s)$

$$\frac{Q_r(s)}{Q_m(s)} = \frac{1}{RC_s + 1} \Rightarrow Q_r(s) = \frac{Q_m(s)}{RC_s + 1}$$

$$Q_m(s) - Q_r(s) = Q_c(s) \Rightarrow Q_m(s) - \frac{Q_m(s)}{RC_s + 1} = sCP_c(s)$$

$$Q_m(s) \left( 1 - \frac{1}{RC_s + 1} \right) = sCP_c(s) \Rightarrow$$

$$Q_m(s) \frac{RC_s + 1 - 1}{RC_s + 1} = sCP_c(s) \Rightarrow Q_m(s) \frac{R}{RC_s + 1} = P_c(s) \Rightarrow$$

$$\frac{P_c(s)}{Q_m(s)} = \frac{R}{RC_s + 1}$$

Επομένως, το διάγραμμα του σχήματος 3 γίνεται:

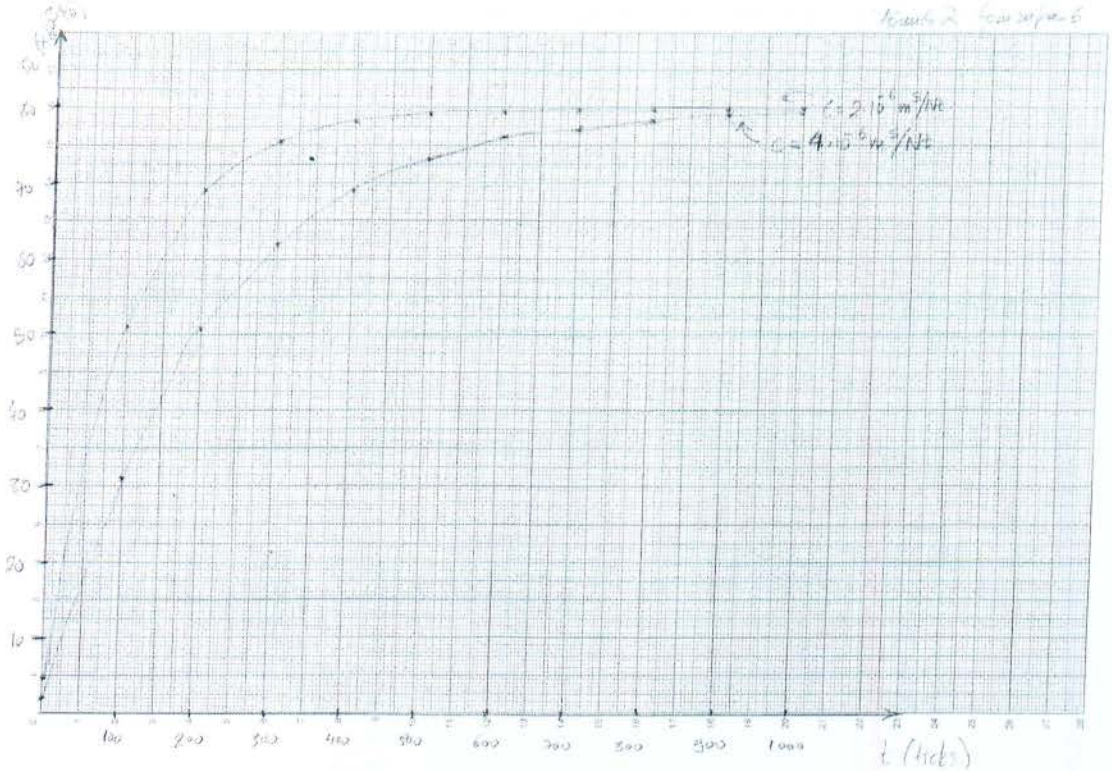
$$\xrightarrow{Q_m(s)} \boxed{\frac{R}{RC_s + 1}} \rightarrow P_c(s)$$

### Ερώτημα 5



Εικόνα 12 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 5

Ερώτημα 6



Εικόνα 13 – Άσκηση 2, Γράφημα Ερωτήματος 6

Ερώτημα 7

$$y_\infty = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sY(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{G(s)}{s} = G(0) = ct$$

$$P_c(s) = \frac{R}{RC_s + 1} \cdot Q_m(s)$$

$$P_c(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} P_c(t) = \lim_{s \rightarrow 0} sP_c(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{R}{RC_s + 1} \cdot \frac{Q_m(s)}{s} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{RQ_m(s)}{RC_s + 1} = RQ_m$$

$$P_{c_{1u}}(\infty) = 30.000 \text{ Nt} / \text{m}^2$$

$$P_{c_{1\theta}}(\infty) = 60.000 \text{ Nt} / \text{m}^2$$

$$P_{c_{2u}}(\infty) = 80.000 \text{ Nt} / \text{m}^2$$

$$P_{c_{2\theta}}(\infty) = 80.000 \text{ Nt} / \text{m}^2$$

### Ερώτημα 8

Από τα αποτελέσματα του πίνακα 3 και του ερωτήματος 7 γίνεται φανερό ότι η τιμή  $P_c(\infty)$  εξαρτάται μόνο από το  $Q_m$  και το R.

Βλέπουμε στον Πίνακα 3 ότι στην περίπτωση του Πίνακα 1α και β, έχουμε μεταβλητή του  $P_c(\infty)$ , λόγω του ότι μεταβάλλεται το R.

Στις περιπτώσεις του Πίνακα 2 που τα R και τα  $Q_m$  παραμένουν σταθερά και μεταβάλλεται μόνο το C, δεν παρατηρείται μεταβολή στο  $P_c(\infty)$ .

### Ερώτημα 9

Η συνάρτηση μεταφοράς του ερωτήματος 4 είναι:

$$\frac{P_c(s)}{Q_m(s)} = \frac{R}{RC_s + 1}, \quad \text{όπου } P_c(s) = \frac{1}{sC} Q_c(s)$$

$$\Rightarrow \frac{Q_c(s)}{Q_m(s)} = \frac{RC_s}{RC_s + 1}$$

$$\text{Άρα: } \xrightarrow{Q_m(s)} \boxed{\frac{RC_s}{RC_s + 1}} \rightarrow Q_c(s)$$

### Ερώτημα 10

$$y(0) = \lim_{t \rightarrow 0} y(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} sY(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot \frac{G(s)}{s} = G(s_{\infty}) = ct$$

$$Q_c(0) = \lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot \frac{Q_m}{s} \cdot \frac{RC_s}{RC_{s+1}} = \lim_{s \rightarrow \infty} \frac{RC_{s+1} - 1}{RC_{s+1}} \cdot Q_m = \lim_{s \rightarrow \infty} \left(1 - \frac{1}{RC_{s+1}}\right) \cdot Q_m = Q_m$$

$$Q_{c1a}(0) = 0,012m^3 / \text{sec} = Q_{c2b}(0)$$

$$Q_{c2a}(0) = 0,016m^3 / \text{sec} = Q_{c2b}(0)$$

Οι υπολογισμοί επαληθεύονται και από τις μετρήσεις



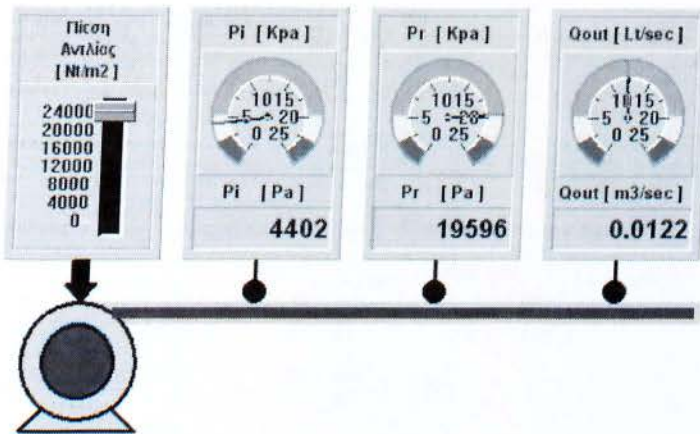
### Άσκηση 3

#### Διεργασία Υδραυλικής Αδράνειας Α' Τάξης

#### Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

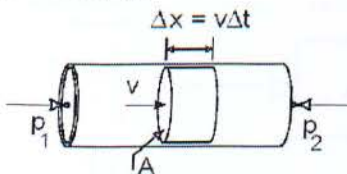
**Σκοπός :** Δημιουργία του διαγράμματος βαθμίδων , ενός συστήματος Α' τάξης , υδραυλικής αδράνειας . Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς με χρήση του μ/τ Laplace . Χρονική απόκριση του συστήματος με χρήση του αντίστροφου μ/τ Laplace .

**Θεωρία :** Μία αντλία τροφοδοτεί με πίεση  $P_{in} = 24.000 Pa$  , έναν αγωγό με υδραυλική αντίσταση  $R = 1,6 \cdot 10^6 \frac{Nt \cdot sec}{m^5}$  και υδραυλική αδράνεια  $I = 32 \cdot 10^6 \frac{Nt \cdot sec^2}{m^5}$



Σχήμα 1

Θα μελετήσουμε τα χαρακτηριστικά της χρονικής απόκρισης της εκροής  $Q_{out}$  του αγωγού , συναρτήσει της πίεσης  $P_{in}$  της αντλίας . Στο Σχ. 2 βλέπουμε το υδραυλικό σύστημα του αγωγού μόνον , του οποίου το ένα άκρο είναι ανοικτό και δέχεται την ατμοσφαιρική πίεση  $P_{atm}$  , ενώ το άλλο είναι συνδεδεμένο με την αντλία , δηλαδή με δέχεται πίεση  $P_{in}$  .



Σχήμα 2

Η διαφορά πίεσης  $P_i$  στα άκρα του αγωγού μόλις ακριβώς ξεκινάει η αντλία είναι :

$$P_i = P_1 - P_2 = (P_{in} + P_{atm}) - P_{atm} = P_{in}$$

Ο όγκος του υγρού μέσα στον αγωγό δέχεται την διαφοράς πίεσης  $P_i$ , συνεπώς εφαρμόζεται στην μάζα του υγρού δύναμη  $F$ , άρα αναπτύσσεται στην μάζα του υγρού μία επιτάχυνση  $a$ , λόγω της οποίας το υγρό αποκτά ταχύτητα  $u$ :

$$P_i = \frac{F}{A} \Rightarrow P_i = \frac{F}{A} \Rightarrow P_i = \frac{m \cdot a}{A} \Rightarrow P_i = \frac{m \cdot (du/dt)}{A} \quad (1)$$

Ο όγκος του υγρού που περιλαμβάνεται στον αγωγό επιφανείας  $A$  και μήκους  $L$  είναι:

$$m = \rho \cdot V \Rightarrow m = \rho \cdot A \cdot L \quad (2)$$

Στα υδραυλικά συστήματα, ο όγκος που διέρχεται από μία διατομή του αγωγού σε χρόνο  $\Delta t$  λόγω της ταχύτητας  $u$  του υγρού, αντιστοιχεί στην παροχή  $Q_i$ :

$$Q_i = \frac{dV}{dt} \Rightarrow Q_i = \frac{d(A \cdot x)}{dt} \Rightarrow Q_i = A \cdot \frac{dx}{dt} \Rightarrow Q_i = A \cdot u \Rightarrow u = \frac{Q_i}{A} \quad (3)$$

Αντικαθιστούμε τις (2) και (3) στην (1) και έχουμε:

$$P_i = \frac{\rho \cdot A \cdot L \cdot \frac{d(Q_i/A)}{dt}}{A} \Rightarrow P_i = \rho \cdot L \cdot \frac{d(Q_i/A)}{dt} \Rightarrow P_i = \frac{\rho \cdot L}{A} \cdot \frac{dQ_i}{dt} \quad (4)$$

Ο συντελεστής  $l = \frac{\rho \cdot L}{A}$  ονομάζεται υδραυλική αδράνεια και έχει μονάδες:

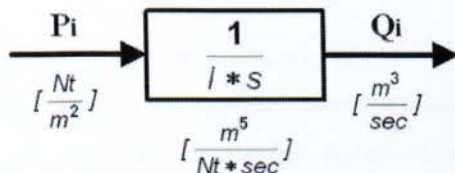
$$[l] = \left[ \frac{\rho \cdot L}{A} \right] = \frac{[\rho] \cdot [L]}{[A]} = \frac{[\text{Kgr}/\text{m}^3] \cdot [m]}{[m^2]} = \frac{[\text{Kgr} \cdot m / \text{sec}^2]}{[m^2]} \Rightarrow [l] = \frac{[Nt] \cdot [\text{sec}^2]}{[m^5]} \Rightarrow [l] = \left[ \frac{Nt \cdot \text{sec}^2}{m^5} \right] \quad (5)$$

$$\xrightarrow{(4) \& (5)} P_i = l \frac{dQ_i}{dt} \Rightarrow \int P_i dt = \int l \cdot \frac{dQ_i}{dt} dt \Rightarrow Q_i(t) = \frac{1}{l} \cdot \int P_i(t) dt \quad (6)$$

Εφαρμόζουμε μ/τ Laplace στην εξίσωση (6), οπότε έχουμε:

$$L\{Q_i(t)\} = L\left\{ \frac{1}{l} \cdot \int P_i(t) dt \right\} \Rightarrow Q_i(s) = \frac{1}{l \cdot s} P_i(s) \quad (7)$$

Αναπαριστούμε την παραπάνω σχέση (7) με το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ 3:



Σχήμα 3

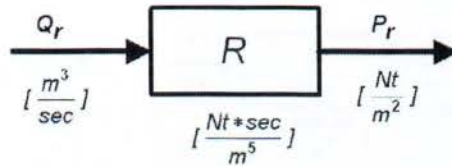
Λόγω της πίεσης  $P_i$  που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού, η μάζα του υγρού αποκτά μία ταχύτητα  $u$ , συνεπώς και μία ροή  $Q_i \neq 0$ .

Η τριβή των μορίων του υγρού με τα τοιχώματα του αγωγού αλλά και μεταξύ τους λόγω διαφορετικής ταχύτητας, δημιουργεί κατά μήκος του αγωγού μία πτώση πίεσης  $P_r = 0$ . Όσο αυξάνεται η ταχύτητα του υγρού αυξάνει η ροή  $Q_i$ , συνεπώς αυξάνεται η πτώση πίεσης  $P_r$  λόγω της υδραυλικής αντίστασης  $R$  του αγωγού  $P_r(t) = R * Q_r(t)$

Εφαρμόζουμε τον μ/τ Laplace στην παραπάνω εξίσωση οπότε έχουμε:

$$L\{P_r(t)\} = L\{R * Q_r(t)\} \Rightarrow P_r(s) = R * Q_r(s) \quad (8)$$

Η παραπάνω σχέση (8) αναπαρίσταται με το κάτωθι διάγραμμα βαθμίδας του Σχ 4:



Σχήμα 4

Η ροή  $Q_i$  που έχει η μάζα του υγρού λόγω της ταχύτητας  $u$ , είναι ταυτόσημη με την ροή  $Q_r$  που προξενεί την πτώση πίεσης  $P_r$  κατά μήκος του αγωγού, και επίσης είναι ταυτόσημη με την ροή  $Q_{out}$  που μπορούμε να μετρήσουμε στην εκροή του αγωγού, δηλαδή  $Q_i(t) \equiv Q_r(t) \equiv Q_{out}(t)$  (9)

Όταν ξεκινάμε την λειτουργία της αντλίας η ταχύτητα του υγρού είναι μηδενική, άρα  $Q_i = 0$ , οπότε και η ροή  $Q_r$  είναι μηδενική, δηλαδή  $P_r = 0$ , συνεπώς  $P_i = P_{in}$

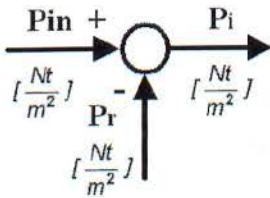
Λόγω αυτής της αρχικής πίεσης  $P_i$  που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού, η μάζα του υγρού αποκτά μία αρχική ταχύτητα  $u$ , οπότε έχουμε  $Q_i = Q_r = Q_{out} \neq 0$

Εφόσον όμως  $Q_i = Q_r = Q_{out} \neq 0$  θα είναι πλέον και  $P_r = R * Q_r \neq 0$ , δηλαδή ένα μέρος της πίεσης  $P_{in}$  της αντλίας απορροφάται από την μάζα του υγρού για την μεταβολή της κινητικής κατάστασης των μορίων του, ενώ ένα άλλο καταναλώνεται για την υπερνίκηση των τριβών, δηλαδή μετατρέπεται σε αύξηση της θερμικής ενέργειας των μορίων του υγρού.

$$P_{in}(t) = P_i(t) + P_r(t) \Rightarrow P_i(t) = P_{in}(t) - P_r(t)$$

Εφαρμόζουμε τον μ/τ Laplace στην παραπάνω εξίσωση οπότε έχουμε:

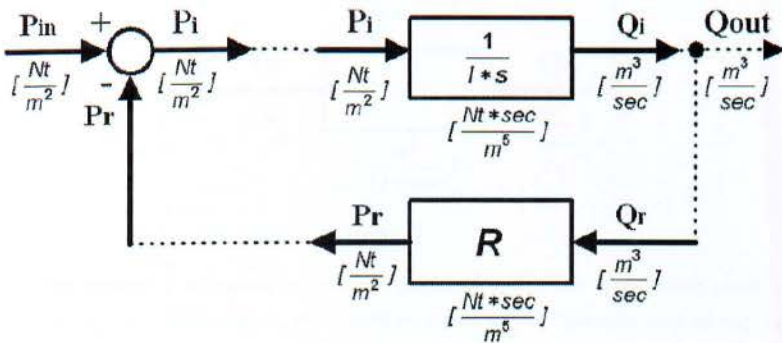
$$L\{P_i(t)\} = L\{P_{in}(t) - P_r(t)\} \Rightarrow P_i(s) = P_{in}(s) - P_r(s) \quad (10)$$



Σχήμα 5

Η ανωτέρω εξίσωση (10) μετατρέπεται όπως στο παρακάτω Σχ. 5 , σε ένα σημείο άθροισης όπου σήματα εισόδου είναι η πίεση της αντλίας  $P_{in}$  με θετικό πρόσημο , η πτώση πίεσης  $P_r$  λόγω της υδραυλικής αντίστασης του αγωγού με αρνητικό πρόσημο και σήμα εξόδου είναι η πτώση πίεσης λόγω της υδραυλικής αδράνειας  $P_i$  .

Συνθέτουμε τα διαγράμματα βαθμίδων των Σχ 3 , Σχ 4 και Σχ 5 , στο κάτωθι Σχ 6



Σχήμα 6

Από την σύνθεση των επί μέρους βαθμίδων της διεργασίας , δημιουργούμε στο Σχ. 7 το διάγραμμα βαθμίδων της διεργασίας , έχοντας υπ' όψη ότι τα σύρματα μεταφέρουν σήματα , συνεπώς οι εξισώσεις που αναφέρονται σε σήματα , πρέπει να απεικονίζονται με τις αντίστοιχες ενώσεις με σύρματα . Σύμφωνα με αυτά :

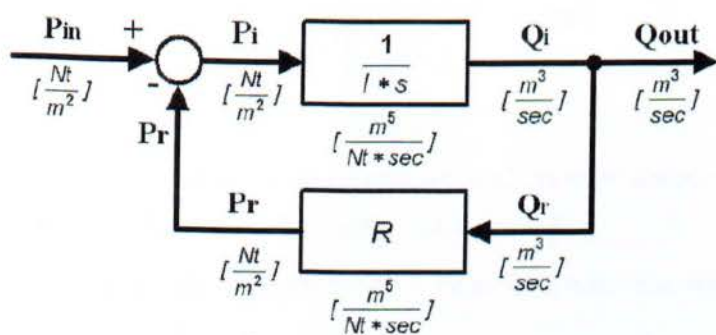
**A )** Όταν το σήμα εξόδου μιας βαθμίδας θέλουμε να χρησιμοποιηθεί σαν σήμα εισόδου μιας άλλης βαθμίδας , πρέπει να ενώνουμε τις βαθμίδες με σύρμα .

Αρα πρέπει να ενώσουμε την έξοδο  $Q_i$  της βαθμίδας υδραυλικής αδράνειας με την είσοδο  $Q_r$  της βαθμίδας υδραυλικής αντίστασης και με την έξοδο  $Q_{out}$  της διεργασίας , επειδή είναι ότι  $Q_i \equiv Q_r \equiv Q_{out}$

**B )** Όταν το σήμα εξόδου μιας βαθμίδας είναι ταυτόσημο με το σήμα εισόδου μιας άλλης βαθμίδας , μπορούμε να ενώνουμε τις βαθμίδες με σύρμα .

Συνεπώς μπορούμε να ενώσουμε την έξοδο  $P_i$  του συγκριτή με την είσοδο  $P_i$  της βαθμίδας υδραυλικής αδράνειας, όπως επίσης την έξοδο  $P_r$  της βαθμίδας υδραυλικής αντίστασης με την είσοδο  $P_r$  του συγκριτή.

Βάσει όλων των ανωτέρω προκύπτει το διάγραμμα βαθμίδων της διεργασίας, όπως φαίνεται στο κάτωθι Σχ. 7



Σχήμα 7

Από την εξίσωση (10) φαίνεται ότι, όσον αυξάνεται η  $P_r$ , σαν αποτέλεσμα μειώνεται η πτώση πίεσης  $P_i$  λόγω αδράνειας. Αυτή η μείωση της  $P_i$  προκαλεί μείωση της  $Q_i$ , δηλαδή ο ρυθμός αύξησης της ταχύτητας του υγρού γίνεται μικρότερος.

Το σύστημα θα ισορροπήσει όταν η ροή  $Q_r$  μέσω της υδραυλικής αντίστασης  $R$ , θα γίνει τόση, που θα δημιουργεί πτώση πίεσης  $P_r = R * Q_r = P_{In}$ , συνεπώς η  $P_i = P_{In} - P_r = 0$ , οπότε εφόσον μηδενίζεται η πίεση  $P_i$  που αυξάνει την ταχύτητα, το υγρό θα έχει ήδη αποκτήσει μία τελική ταχύτητα ροής  $Q_i$  που δεν θα αυξάνεται άλλο, οπότε θα έχουμε την τελική τιμή της μετρούμενης εκροής  $Q_{out} = Q_i = Q_r$ .

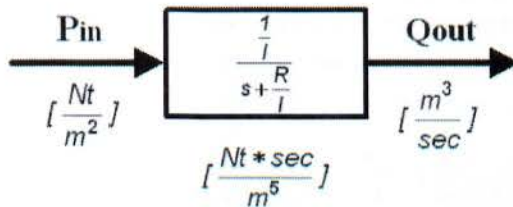
Από το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 7, προκύπτει ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι:

$$G(s) = \frac{\frac{1}{l * s}}{1 + \frac{1}{l * s} * R} = \frac{1}{l * s + R} = \frac{1}{l} \frac{1}{s + \frac{R}{l}} = \frac{1}{s + \frac{R}{l}} \quad (11)$$

Συνεπώς έχουμε ότι:

$$Q_{out}(s) = P_{in}(s) * \frac{1/l}{s + R/l} \quad (12)$$

Η απλοποίηση του διαγράμματος βαθμίδων του Σχ. 7 μας δίνει το διάγραμμα βαθμίδας της διεργασίας στο κάτωθι Σχ. 8.



Σχήμα 8

Εάν θέλουμε να μελετήσουμε την χρονική απόκριση της  $Q_r$ , σε περίπτωση βηματικής αλλαγής της εισόδου  $P_{in}$ , επειδή  $P_{in}(t) = P_{in}$  είναι  $P_{in}(s) = \frac{P_{in}}{s}$

Άρα η λύση της εξίσωσης (12), στο επίπεδο  $s$  της μιγαδικής συχνότητας είναι :

$$Q_{out}(s) = \frac{P_{in}}{s} * \frac{1}{s + \frac{R}{I}} \Rightarrow Q_{out}(s) = \frac{P_{in}}{I} * \frac{1}{s * (s + \frac{R}{I})} \quad (13)$$

Θεώρημα Αρχικής Τιμής :

$$Q_{out}(0) = \lim_{t \rightarrow 0} Q_{out}(t) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * Q_{out}(s) = \lim_{s \rightarrow \infty} s * \frac{P_{in}/I}{s * (s + R/I)} = \frac{P_{in}/I}{(\infty + R/I)} = 0$$

Θεώρημα Τελικής Τιμής :

$$Q_{out}(\infty) = \lim_{t \rightarrow \infty} Q_{out}(t) = \lim_{s \rightarrow 0} s * Q_{out}(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s * \frac{P_{in}/I}{s * (s + R/I)} = \frac{P_{in}/I}{(0 + R/I)} = \frac{P_{in}}{R}$$

**Αντίστροφος M/T Laplace :**

Προκειμένου να μελετήσουμε την χρονική απόκριση της μεταβλητής  $Q_{out}(t)$ , πρέπει να εφαρμόσουμε στην εξίσωση ( 13 ), τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace, οπότε θα επιστρέψουμε από το επίπεδο της μιγαδικής συχνότητας  $s$  στο επίπεδο του χρόνου  $t$ .

Για να εφαρμόσουμε τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace, πρέπει να κάνουμε την ανάλυση του κλάσματος της εξίσωσης ( 13 ) :

$$\text{Θέτουμε : } Q_{out}(s) = \frac{P_{in}}{I} * \left\{ \frac{1}{s * (s + R/I)} \right\} = \frac{P_{in}}{I} * \left\{ \frac{a}{s} + \frac{b}{s + R/I} \right\}$$

Πρέπει να ισχύει:  $a * (s + R/I) + b * s = 1$  για κάθε ρίζα του πολυωνύμου  $s$

Άρα δια  $s = 0$  :  $a * (0 + R/I) + b * 0 = 1 \Rightarrow a = I/R$

Και δια  $s = -R/I$  :  $a * (-R/I + R/I) + b * -R/I = 1 \Rightarrow b = -I/R = -a$

Έτσι η λύση της  $Q_{out}(s)$  αντικαθιστώντας τους συντελεστές  $a$  και  $b$ , γράφεται :

$$Q_{out}(s) = \frac{P_{in}}{I} * \left\{ \frac{I/R}{s} - \frac{I/R}{s + R/I} \right\} = \frac{P_{in}}{R} * \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + R/I} \right)$$

Με αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace, μπορούμε να βρούμε τώρα την λύση της διαφορικής εξίσωσης από την οποία προκύπτει η χρονική απόκριση της  $Q_r(t)$  :

$$L^{-1} \{ Q_{out}(s) \} = L^{-1} \left\{ \frac{P_{in}}{R} * \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + R/I} \right) \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_{out}(t) = \frac{P_{in}}{R} * \left( 1 - e^{-\frac{R}{I}t} \right) \quad (13)$$

Το κλάσμα  $I/R$  ονομάζεται σταθερά χρόνου  $T$  του συστήματος γιατί έχει μονάδες χρόνου, και δείχνει πόσο γρήγορα αντιδρά η εξεταζόμενη μεταβλητή εξόδου του συστήματος  $Q_{out}(t)$ , σε μια βαθμωτή μεταβολή της μεταβλητής εισόδου  $P_{in}(t)$ .

$$[T] = \left[ \frac{I}{R} \right] = \frac{[Nt * \frac{sec^2}{m^5}]}{[Nt * \frac{sec}{m^5}]} = [sec]$$

Όταν  $t = T \Rightarrow t = \frac{1}{R}$  τότε η εξίσωση (13) γίνεται :

$$\Rightarrow Q_{out}(t) = \frac{P_{in}}{R} * (1 - e^{-\frac{R}{I} * \frac{1}{R}}) \Rightarrow$$

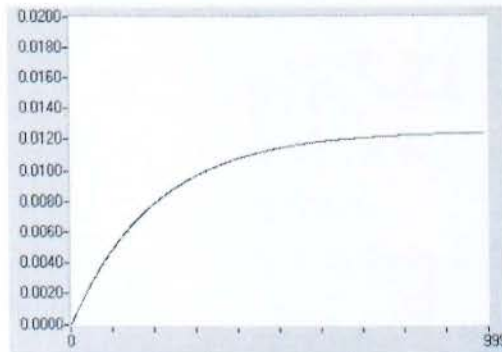
$$\Rightarrow Q_{out}(t) = \frac{P_{in}}{R} * (1 - \frac{1}{e}) \quad \text{Επειδή } 1 - \frac{1}{e} = 0,632, \text{ άρα :}$$

$$\Rightarrow Q_{out}(t) = 0,632 * \frac{P_{in}}{R} \quad (14)$$

Για να σχεδιάσουμε ένα σκαρίφημα της χρονικής απόκρισης, αρκεί να γνωρίζουμε τρεις χαρακτηριστικές τιμές της  $Q_{out}(t)$ , που είναι σύμφωνα με τα παραπάνω :

- ☛ Για χρόνο  $t = 0^+$ , αρχική τιμή της  $Q_{out}(t)$  είναι  $Q_{out}(0) = 0$
- ☛ Για χρόνο  $t = \infty$ , τελική τιμή της  $Q_{out}(t)$  είναι  $Q_{out}(\infty) = \frac{P_{in}}{R}$ , τιμή στην οποία η  $Q_{out}(t)$  πρακτικά φθάνει μετά από χρόνο  $t = 5T$ ,
- ☛ Για χρόνο  $t = T$ , είναι  $Q_{out}(T) = 0,632 * \frac{P_{in}}{R} = 0,632 * Q_{out}(\infty)$

Έχοντας σαν δεδομένα τις παραπάνω τιμές, μπορούμε να σχεδιάσουμε την χρονική απόκριση της  $Q_{out}(t)$ , που είναι της μορφής του κάτωθι Σχ 9.



Σχήμα 9

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε, εφ'όσον  $Q_{out} \equiv Q_i \equiv Q_f$ , τα τρία αυτά σήματα θα έχουν ταυτόσημη μορφή χρονικής απόκρισης.



**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική FLUID\_I.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ).

Ρυθμίστε την πίεση της αντλίας σε  $P_{in} = 24.000 \text{ Pa}$  . Ρυθμίστε τον αγωγό εκροής έτσι ώστε να έχει , υδραυλική αντίσταση  $R=1.600.000 \text{ Nt*sec/m}^5$  και υδραυλική αδράνεια  $I=32.000.000 \text{ Nt*sec}^2/\text{m}^5$ .

A ) Πιέστε το κομβίο ( **ON-OFF** ) ελέγχου της λειτουργίας της άσκησης , για την έναρξη της άσκησης και παρακολουθείστε :

α1 ) Την μεταβολή στο δεξιό διάγραμμα των πιέσεων συναρτήσει του χρόνου :

- την χρονική μεταβολή της πίεσης  $P_r$  με την κόκκινη γραμμή
- την απόκριση της πίεσης  $P_i$  , με την μπλε γραμμή

α2 ) Την μεταβολή στο αριστερό διάγραμμα των παροχών συναρτήσει του χρόνου :

- την χρονική μεταβολή της παροχής  $Q_{out}$  με την μπλε γραμμή

α3 ) Την μέτρηση του χρόνου που μεταβάλλεται σε Ticks ( 1 Tick = 0.1 sec ) .

α4 ) Πατήστε το κομβίο **PAUSE** για την διακοπή της εκτέλεσης της άσκησης .

α5 ) Πατήστε το κομβίο **RESUME** για συνέχιση της εκτέλεσης της άσκησης .

B ) Η λήψη των μετρήσεων γίνεται διακόπτοντας την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο **PAUSE** , στον χρόνο διακοπής που αναγράφεται στον Πίνακα 1 , δηλαδή ανά 100 Ticks .

β1 ) Σημειώστε στον ανωτέρω Πίνακα 1 , τις τιμές των πιέσεων  $P_r$  ,  $P_i$  , της παροχής  $Q_r$  , καθώς και του πραγματικού χρόνου  $t$  κατά την στιγμή της διακοπής .

β2 ) Πιέστε το κομβίο **RESUME** ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .

β3 ) Συνεχίστε τις μετρήσεις έως χρόνο  $t = 1000 \text{ Ticks}$  .

Γ ) Πιέστε το κομβίο ( **ON-OFF** ) ελέγχου της λειτουργίας της άσκησης , ώστε να σταματήσετε την εκτέλεση της άσκησης .

Μεταβάλετε την πίεση της αντλίας σε  $P_{in} = 16.000 \text{ Pa}$

Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων A , B , Γ , Δ , E και σημειώστε τα αποτελέσματα στον παρακάτω Πίνακα 1 .

- Δ) Όταν η παροχή φθάσει στην τελική της τιμή  $Q_{out}(∞)$ , μηδενίστε με βηματική αλλαγή την πίεση της αντλίας ώστε να γίνει  $P_{in} = 0$  και να μηδενιστεί το χρονόμετρο.
- δ1) Παρατηρήστε την μεταβολή της μείωσης στο γράφημα της  $Q_{out}$ .
  - δ2) Υπολογίστε την τιμή  $Q_{out}(t) = 0,368 * Q_{out}(∞)$
  - δ3) Διακόψτε την εκτέλεση της άσκησης μόλις η τιμή της  $Q_{out}(t)$  γίνει ίση με την τιμή που υπολογίσατε στο βήμα δ2. Σημειώστε τον χρόνο  $t$  που χρειάστηκε.
  - δ4) Συγκρίνατε αυτόν τον χρόνο  $t$  με την σταθερά χρόνου  $T$  του συστήματος.
  - δ5) Αποτυπώστε σε γράφημα την μεταβολή των  $P_r$  και  $P_f$  όταν  $P_{in} = 0$ , έτσι ώστε να απαντήσετε στο ερώτημα 13 της άσκησης στο σπίτι.

### Άσκηση για το σπίτι :

- 1) Υπολογίστε την σταθερά χρόνου  $T$  του συστήματος σε sec και σε Ticks.
- 2) Σε χαρτί μιλιμετρέ , με άξονες ίδιους με αυτούς της άσκησης , χαράξτε τα γραφήματα της χρονικής απόκρισης της παροχής  $Q_{out}(t)$  , που προκύπτουν από τον παραπάνω πίνακα.
- 3) Υπολογίστε , βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 13 ) , ποια είναι η τιμή της  $Q_{out}(t)$  όταν ο χρόνος είναι τόσος όσος η σταθερά χρόνου  $T$  του συστήματος , δηλ για χρόνο  $t=T$  .
- 4) Στον άξονα του χρόνου , ο οποίος μετράτε σε Ticks , επιλέξτε τιμή  $t=T$  και υψώστε κάθετο που να τέμνει το γράφημα της  $Q_{out}(t)$  . Συγκρίνате την τιμή της  $Q_{out}(T)$  που βρήκατε γραφικά , με την τιμή που υπολογίσατε στην παράγραφο 3 .
- 5) Υπολογίστε βάσει της διαφορικής εξίσωσης ( 13 ) , την τελική τιμή  $Q_{out}(\infty)$
- 6) Στον άξονα του χρόνου , επιλέξτε τιμή  $t=5T$  και υψώστε την κάθετο που τέμνει το γράφημα της  $Q_{out}(t)$  . Συγκρίνате την τιμή της  $Q_{out}(\infty)$  που βρήκατε γραφικά , με την τιμή που υπολογίσατε στην παράγραφο 5 .
- 7) Αναδιατάξτε το διάγραμμα βαθμιδών , έτσι ώστε να έχετε την  $P_r$  ως έξοδο του συστήματος Απλοποιήστε το ανωτέρω διαγραμμα και υπολογίστε την συνάρτηση μεταφοράς  $G(s)$  , έτσι ώστε  $P_r(s) = G(s) * P_{in}(s)$  . Με εφαρμογή του αντίστροφου μετασχηματισμού Laplace , να βρείτε την διαφορική εξίσωση της  $P_r(t)$  .
- 8) Επαναλάβετε για την  $P_r(t)$  τα παραπάνω βήματα 2 , 3 , 4 , 5 , 6
- 9) Αναδιατάξτε το διάγραμμα βαθμιδών , έτσι ώστε να έχετε την  $P_i$  ως έξοδο του συστήματος . Απλοποιήστε το ανωτέρω διάγραμμα και υπολογίστε την συνάρτηση μεταφοράς  $G(s)$  , έτσι ώστε  $P_i(s) = G(s) * P_{in}(s)$  . Με εφαρμογή του αντίστροφου μετασχηματισμού Laplace , να βρείτε την διαφορική εξίσωση της  $P_i(t)$  .
- 10) Επαναλάβετε για την  $P_i(t)$  τα παραπάνω βήματα 2 , 3 , 4
- 11) Υπολογίστε βάσει της διαφορικής εξίσωσης της  $P_i(t)$  , την αρχική τιμή  $P_i(0)$  .
- 12) Στον άξονα του χρόνου , επιλέξτε τιμή  $t=0$  και υψώστε κάθετο που τέμνει το γράφημα της  $P_i(t)$  . Συγκρίνате την τιμή της  $P_i(0)$  που βρήκατε γραφικά , με την τιμή που υπολογίσατε στην παράγραφο 11 .
- 13) Εξηγήστε βάσει ποιού τύπου , προκύπτει η μεταβολή στα γραφήματα των πιέσεων  $P_r$  και  $P_i$  του ερωτήματος 5β στην άσκηση στο εργαστήριο , δηλαδή όταν  $P_{in} = 0$ .

Πίνακας Μετρήσεων Άσκησης FLUID_I.GNI								
Χρόνος	Πίεση Αντλίας P <sub>in</sub> = 24.000 Pa				Πίεση Αντλίας P <sub>in</sub> = 16.000 Pa			
ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αντίστασης	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Παροχή μέσω Αγωγού	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αντίστασης	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Παροχή μέσω Αγωγού
t [ Ticks ]	t [ Ticks ]	P <sub>r</sub> [ Nt/m <sup>2</sup> ]	P <sub>i</sub> [ Nt/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>out</sub> [m <sup>3</sup> /sec]	t [ Ticks ]	P <sub>r</sub> [ Nt/m <sup>2</sup> ]	P <sub>i</sub> [ Nt/m <sup>2</sup> ]	Q <sub>out</sub> [m <sup>3</sup> /sec]
0+								
100								
200								
300								
400								
500								
600								
700								
800								
900								
1000								

Πίνακας 1

Λύσεις - Άσκησης 3

$$P_{in} = 24.000 P_a / P_{in} = 16.000 P_a : \text{πίεση αντλίας}$$

$$R = 1.600.000 N_t \cdot \text{sec} / m^5 : \text{υδραυλική αντίσταση}$$

$$I = 32.000.000 N_t \cdot \text{sec}^2 / m^5 : \text{υδραυλική αδράνεια}$$

Πίνακας Μετρήσεων Άσκησης FLUID_I.GNI								
Χρόνος	Πίεση Αντλίας Pin = 24.000 Pa				Πίεση Αντλίας Pin = 16.000 Pa			
ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αντίστασης	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Παροχή μέσω Αγωγού	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αντίστασης	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Παροχή μέσω Αγωγού
t [Ticks]	t [Ticks]	$P_1 - P_2$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_1 - P_2$ [N/m <sup>2</sup> ]	Qout [m <sup>3</sup> /sec]	t [Ticks]	$P_1 - P_2$ [N/m <sup>2</sup> ]	$P_1 - P_2$ [N/m <sup>2</sup> ]	Qout [m <sup>3</sup> /sec]
0+	19	21830	2109	0.0014	31	13776	2223	0.0014
100	105	14215	9784	0.0061	105	9477	6522	0.0041
200	204	8676	15323	0.0096	203	5813	10186	0.0084
300	306	5216	18783	0.0117	305	3512	12487	0.0078
400	404	3199	20800	0.013	408	2101	13898	0.0087
500	509	1895	22104	0.0138	504	1308	14691	0.0092
600	603	1185	22813	0.0148	604	794	15205	0.0095
700	703	723	23276	0.0145	703	484	15514	0.0097
800	806	430	23569	0.0147	806	290	15709	0.0098
900	904	264	23735	0.0148	903	179	15820	0.0099
1000	1001	162	23837	0.0149	1004	108	15891	0.0099

Εικόνα 14 - Άσκηση 3, Πίνακας 1

Ερώτημα 1

Υπολογισμός σταθεράς χρόνου του συστήματος  $T$  από τη σχέση (σελ.47):

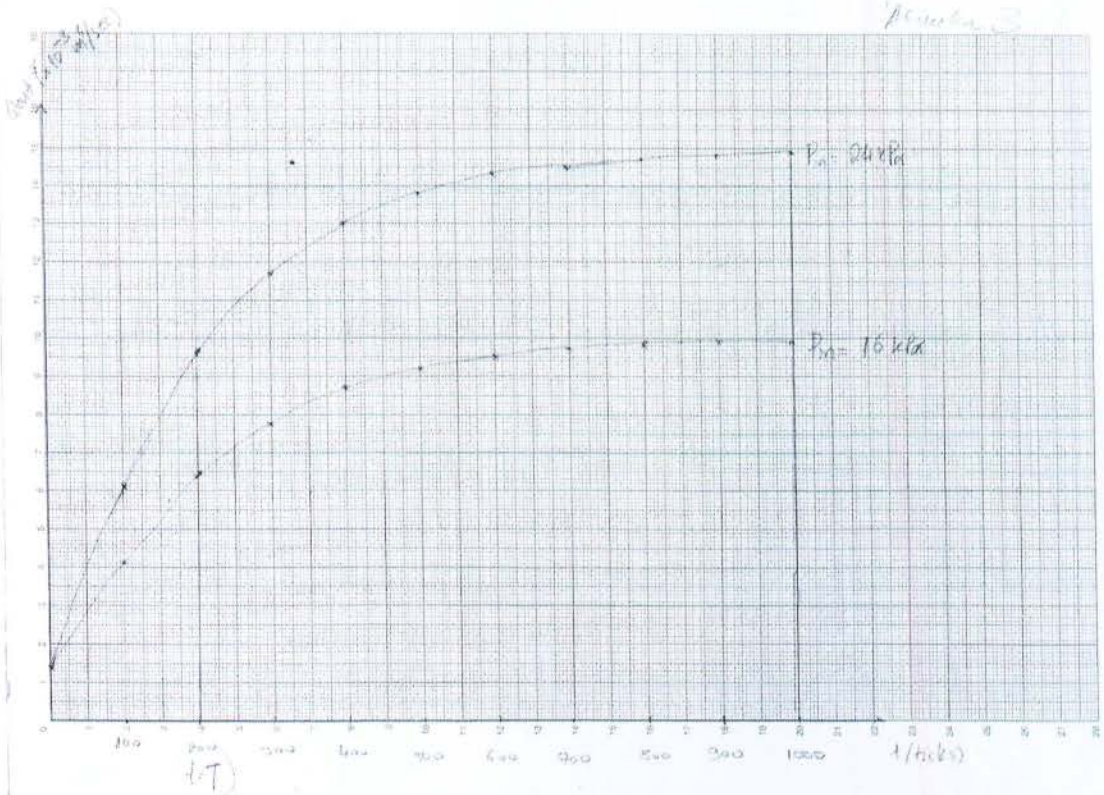
$$T = \frac{I}{R} = \frac{32.000.000 N_t \cdot sec^2/m^5}{1.600.000 N_t \cdot sec/m^5} = 20sec$$

Ερώτημα 2

Μετατροπή σε ticks:  $1Tick = 0.1sec \Rightarrow 10Ticks = 1sec \Rightarrow 200Ticks = 20sec$

$\Rightarrow$

$$T = 200Ticks$$



Εικόνα 15 – Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 2

### Ερώτημα 3

$$Q_{out}(t) = \frac{P_{in}}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{I}t}\right)$$

$$\text{Όταν } t = T = \frac{I}{R} \Rightarrow Q_{out}(T) = \frac{P_{in}}{R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{R}{I} \cdot \frac{I}{R}}\right)$$

$$\Rightarrow Q_{out}(T) = \frac{P_{in}}{R} \cdot (1 - e^{-1}) = 0.632 \cdot \frac{P_{in}}{R}$$

$$\Rightarrow Q_{out}(T) = 0.632 \cdot \frac{24.000}{1.600.000} = 9,48 \cdot 10^{-3} m^3/sec$$

$$\text{ή } Q_{out}(T) = 0.632 \cdot \frac{16.000}{1.600.000} = 6,32 \cdot 10^{-3} m^3/sec$$

### Ερώτημα 4

Οι τιμές αυτές επιβεβαιώνονται και από τα διαγράμματα όπου για

$$t = 204 \text{ έχει υπολογιστεί } Q_{out}(T) = 9,6 \cdot 10^{-3} m^3/sec$$

$$\text{και για } t = 203 \text{ έχει υπολογιστεί } Q_{out}(T) = 6,4 \cdot 10^{-3} m^3/sec.$$

Οι τιμές για  $t = T = 200 \text{ ticks}$  προσεγγίζουν με ακρίβεια τις τιμές που προέκυψαν από την εξίσωση (13)

### Ερώτημα 5

$$Q_{out}(\infty) = \frac{P_{in}}{R} \Rightarrow \begin{aligned} Q_{out}(\infty) &= \frac{24.000}{1.600.000} = 15 \cdot 10^{-3} m^3/sec \\ Q_{out}(\infty) &= \frac{16.000}{1.600.000} = 10 \cdot 10^{-3} m^3/sec \end{aligned}$$

### Ερώτημα 6

Για  $t \cong 1.000 \text{ ticks}$  ( $= 5 \cdot T$ ) προκύπτει στην πρώτη περίπτωση

$$Q_{out}(T) = 14,9 \cdot 10^{-3} m^3/sec$$

και στην δεύτερη περίπτωση  $Q_{out}(T) = 9,9 \cdot 10^{-3} m^3/sec$

επομένως προσεγγίζουμε με πολύ καλή ακρίβεια τις τιμές του ερωτήματος 5.

### Ερώτημα 7

$$P_{in}(s) - P_r(s) = \frac{I_s}{R} P_r(s) \Rightarrow P_{in}(s) = \frac{R + I_s}{R} P_r(s) \Rightarrow P_r(s) = \frac{R}{R + I_s} P_{in}(s)$$

$$P_{in} \rightarrow \frac{R}{R + I_s} \rightarrow P_r$$

$$P_r(s) = \frac{R}{R + I_s} P_{in}(s) = \frac{R/I}{R/I + s} P_{in}(s)$$

$$\text{Επομένως } G(s) = \frac{P_r(s)}{P_{in}(s)} = \frac{R/I}{R/I + s}$$

$$P_r(s) = \frac{R/I}{R/I + s} \cdot P_{in}(s) = \frac{R/I}{\left(\frac{R}{I} + s\right)s} P_{in} \left( P_{in}(s) = \frac{P_{in}}{s} \right)$$

$$\Rightarrow P_r(s) = \frac{R \cdot P_{in}}{I} \cdot \frac{1}{s \left( s + \frac{R}{I} \right)}$$

$$\Rightarrow P_r(s) = \frac{R \cdot P_{in}}{I} \cdot \left( \frac{a}{s} + \frac{b}{s + \frac{R}{I}} \right)$$

$$(\text{από ανάλυση σελ.47}) \Rightarrow a = \frac{I}{R} \text{ και } b = -\frac{I}{R}$$

$$\Rightarrow P_r(s) = \frac{R}{I} \cdot P_{in} \cdot \frac{I}{R} \cdot \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{R}{I}} \right)$$

$$\Rightarrow P_r(s) = P_{in} \cdot \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + \frac{R}{I}} \right)$$

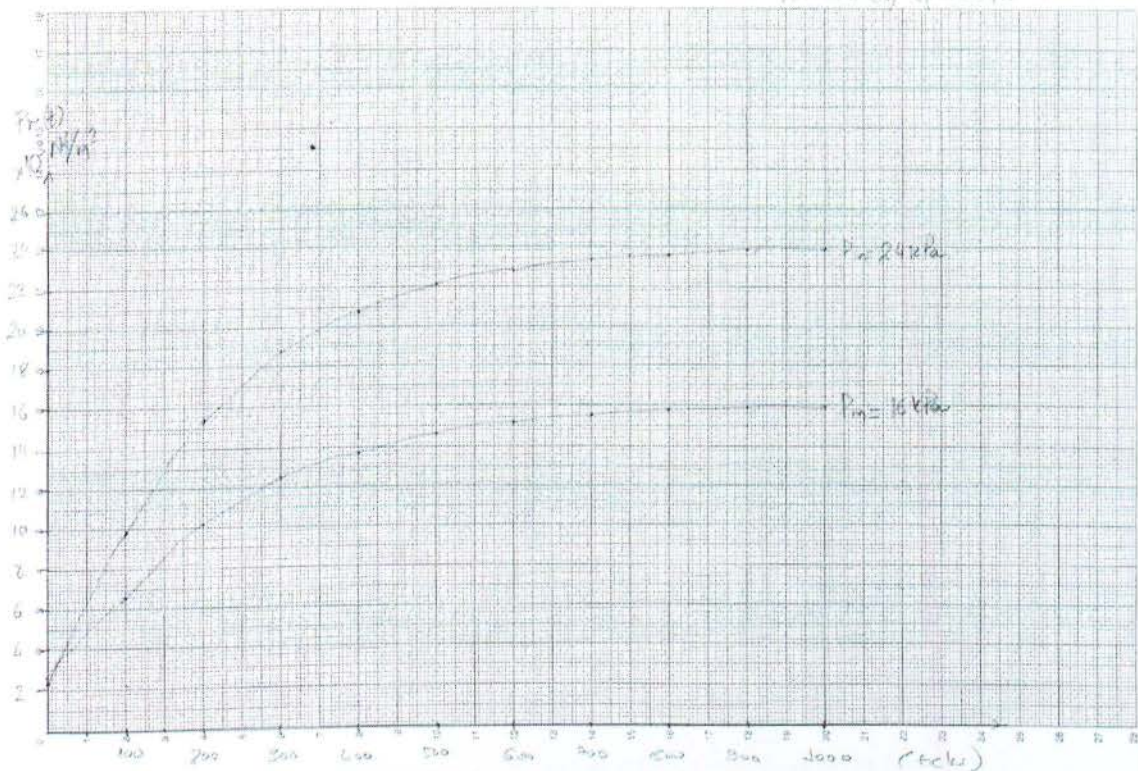
$$\Rightarrow P_r(t) = P_{in} \cdot \left( 1 - e^{-\frac{R}{I}t} \right)$$



$$T = \frac{I}{R} = 20\text{sec} = 200\text{ticks}$$

Ερώτημα 8

Ασκήση 3, Ερώτημα 8



Εικόνα 16 - Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 8

$$P_r(T) = P_r(200) = 0,632 \cdot P_{in}$$

$$\Rightarrow P_r(T) = 15.168 P_a \quad (P_{in} = 24 kPa)$$

$$\text{ή } P_r(T) = 10.112 P_a \quad (P_{in} = 16 kPa)$$

από τις μετρήσεις

$$P_r(204) = 15.323 \text{ για } P_{in} = 24 kPa)$$

$$\text{και } P_r(203) = 10.186 \text{ για } P_{in} = 16 kPa)$$

οι οποίες είναι ελάχιστα μεγαλύτερες τιμές από τις υπολογισθείσες καθώς ο χρόνος μέτρησης είναι ελαφρώς μεγαλύτερος.

$$P_r(\infty) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot P_r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot P_r(s) \left( \frac{1}{s} - \frac{1}{s + R/I} \right) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot P_{in} \left( 1 - \frac{s}{s + R/I} \right) = P_{in}$$

επομένως όταν  $P_{in} = 24kP_a \Rightarrow P_r(\infty) = 24kP_a$

και όταν  $P_{in} = 16kP_a \Rightarrow P_r(\infty) = 16kP_a$

κάτι που προκύπτει και από τις μετρήσεις

καθώς  $P_r(1.001) = 23.837P_a$  ( $P_{in} = 24kP_a$ )

και  $P_r(1.004) = 15.891P_a$  ( $P_{in} = 16kP_a$ )

### Ερώτημα 9

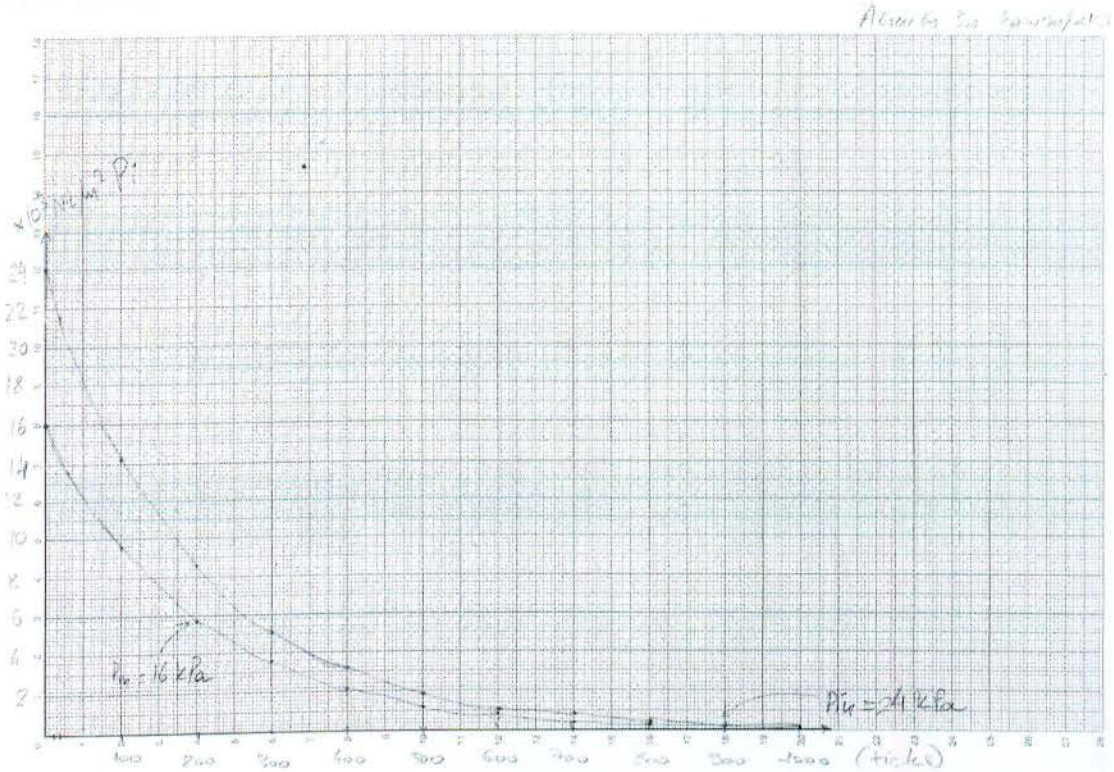
$$\left. \begin{aligned} P_i(s) &= P_{in}(s) - P_r(s) \\ P_r(s) &= P_i(s) \cdot \frac{1}{I_s} \cdot R \end{aligned} \right\} \Rightarrow P_i(s) = P_{in}(s) - P_i(s) \frac{R}{I_s} \Rightarrow P_i(s) \left( 1 - \frac{R}{I_s} \right) = P_{in}(s)$$

$$\Rightarrow \frac{P_i(s)}{P_{in}(s)} = \frac{I_s}{I_s + R} \Rightarrow P_i(s) = \frac{s}{s + \frac{R}{I}} \cdot P_{in}(s) \Rightarrow P_i(s) = \frac{s \cdot \frac{P_{in}}{s}}{s + \frac{R}{I}} \Rightarrow P_i(s) = \frac{P_{in}}{s + \frac{R}{I}}$$

$$\Rightarrow P_i(t) = P_{in} \cdot e^{-\frac{R}{I}t}$$

$T = 200ticks$

Ερώτημα 10



Εικόνα 17 – Άσκηση 3, Γράφημα Ερωτήματος 10

$$P_i(T) = 0,368 \cdot P_{in} = 8.832P_a \quad (P_{in} = 24kP_a)$$

$$P_i(T) = 0,368 \cdot P_{in} = 5.888P_a \quad (P_{in} = 16kP_a)$$

Οι υπολογισθείσες τιμές είναι πολύ κοντά στις μετρήσεις καθώς  $P_i(204) = 8.676P_a$

και  $P_i(203) = 5,813P_a$  αντίστοιχα

Ερώτημα 11

$$P_i(t) = P_{in} \cdot e^{-\frac{R}{I}t}$$

$$t = 0 \Rightarrow P_i(0) = P_{in}$$

### Ερώτημα 12

Εάν προεκτίνουμε τις καμπύλες στο  $z = 0$  για το  $P_i$ , τότε προκύπτει  $P_i(0) = P_{in}$ ,  
 $\forall P_{in}$

### Ερώτημα 13

Στην περίπτωση που  $P_{in} = 0$  το διάγραμμα βαθμίδων γίνεται:

$$\left. \begin{aligned} P_i &= -P_r \Rightarrow P_i + P_r = 0 \\ P_i &= I \cdot s Q_{out} \Rightarrow P_i(t) = \frac{dQ_{out}}{dt} \cdot I \\ P_r &= R Q_{out} \Rightarrow P_r(t) = Q_{out}(t) \cdot R \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{dQ_{out}}{dt} \cdot I + Q_{out}(t) \cdot R = 0 \Rightarrow \frac{dQ_{out}}{dt} + \frac{R}{I} Q_{out}(t) = 0 \Rightarrow$$

(γραμμική ομογενής διαφορική εξίσωση)

$$\Rightarrow Q_{out}(t) = c \cdot e^{-\frac{R}{I}t}$$

$$Q_{out}(0) = 0,0099 \Rightarrow c = 0,0099$$

$$\text{Από τις μετρήσεις προέκυψε ότι } Q_{out} = 0,368 \cdot Q_{out}(\infty)$$

$$\text{όταν } t = 197 \text{tricks} \cong \frac{I}{R} = T \text{ (σταθερά του χρόνου)}$$

$$\text{δηλαδή επιβεβαιώνεται η σχέση } Q_{out}(t) = 0,0099e^{-\frac{R}{I}t}$$

$$P_i(t) = I \cdot \frac{dQ_{out}}{dt} = -R \cdot 0,0099e^{-\frac{R}{I}t} = -15.840e^{-\frac{R}{I}t}$$

$$P_i(T) = 0,368 \cdot 15.840 = -5829P_a,$$

ακριβώς όσο προκύπτει και από το πρόγραμμα.

$$P_r(t) = R \cdot Q_{out}(t) = R \cdot 0,0099e^{-\frac{R}{I}t} = 15.840e^{-\frac{R}{I}t}$$

$\Rightarrow P_r(T) = 0,368 \cdot 15.840 = 5829P_a$ , ακριβώς όσο προκύπτει και από το πρόγραμμα.

## Άσκηση 4

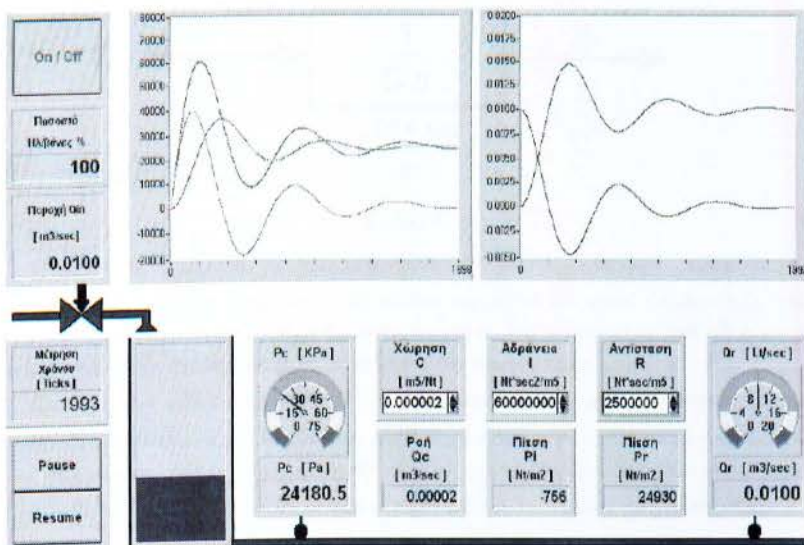
### Υδραυλικά Συστήματα Β' Τάξης

#### Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Δημιουργία του διαγράμματος βαθμίδων , ενός υδραυλικού συστήματος Β' τάξης . Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς με χρήση του μ/τ Laplace . Χρονική απόκριση του συστήματος με χρήση του αντίστροφου μ/τ Laplace .

**Θεωρία :** Έστω μία δεξαμενή υδραυλικής χώρησης  $C$  , στην οποία έχουμε εισροή υγρού μέσω ηλεκτροβάνας με παροχή  $Q_{in}$  . Η δεξαμενή τροφοδοτεί την κατανάλωση , μέσω ενός αγωγού ο οποίος παρουσιάζει υδραυλική αντίσταση  $R$  και υδραυλική αδράνεια  $I$  .

Όπως φαίνεται στο δεξιό διάγραμμα στο Σχ. 1 , κατ' αρχάς η εκροή βραίνει συνεχώς αυξανόμενη από  $Q_{out}=0$  Lt/sec μέχρι την τιμή  $Q_{out}=15$  Lt/sec . Κατόπιν μειώνεται μέχρι την τιμή  $Q_{out}=7,5$  Lt/sec και στην συνέχεια με μια αποσβεννύμενη ταλάντωση καταλήγει στη τελική της τιμή  $Q_{out}=10$  Lt/sec .



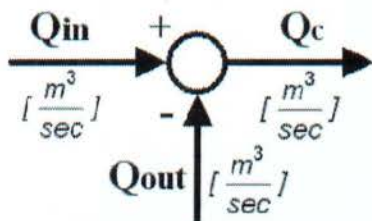
Σχήμα 1

Θα μελετήσουμε τα ποσοτικά χαρακτηριστικά της μεταβατικής απόκρισης αυτού του συστήματος , δημιουργώντας το διάγραμμα βαθμίδων της διεργασίας .

Η εκροή  $Q_{out}$  είναι ίση με την εισροή  $Q_{in}$  στην δεξαμενή μείον την ροή χώρησης  $Q_c$  , δηλαδή την ροή που παραμένει εντός της δεξαμενής και δημιουργεί την πίεση  $P_c$  .

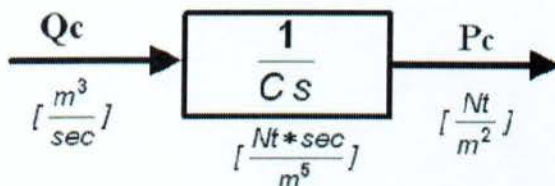
$$Q_{in} - Q_c = Q_{out} \quad (1)$$

Η εξίσωση (1) μετατρέπεται όπως στο κάτωθι Σχ. 2 σε ένα σημείο άθροισης όπου σήματα εισόδου είναι η εισροή  $Q_{in}$  με θετικό πρόσημο, η ροή χώρησης της δεξαμενής  $Q_c$  με αρνητικό πρόσημο και σήμα εξόδου είναι η εκροή  $Q_{out}$  του αγωγού.



Σχήμα 2

Η πίεση  $P_c$  της δεξαμενής, είναι αποτέλεσμα της ροής χώρησης  $Q_c$  της δεξαμενής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 3



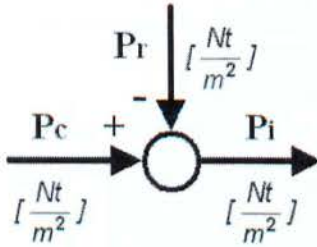
Σχήμα 3

Η πίεση της δεξαμενής  $P_c$  που εφαρμόζεται στο άκρο του αγωγού, προκαλεί την μεταβολή της κινητικής κατάστασης των μορίων της μάζας του υγρού και συνεπώς την ροή  $Q_i$  μέσω του αγωγού. Η ροή όμως του υγρού δημιουργεί λόγω της υδραυλικής αντίστασης  $R$  μία πτώση πίεσης  $P_r$  κατά μήκος του αγωγού του αγωγού.

Συνεπώς ένα μέρος της πίεσης  $P_c$  απορροφάτε από την μάζα του υγρού για την μεταβολή της κινητικής του κατάστασης λόγω αδράνειας και το υπόλοιπο καταναλώνεται στις θερμικές απώλειες του υγρού δηλαδή στην αύξηση της θερμοκρασίας του υγρού λόγω τριβών με τα τοιχώματα αλλά και μεταξύ των μορίων που έχουν διαφορετική ταχύτητα.

$$P_c = P_i + P_r \Rightarrow P_c - P_r = P_i \quad (2)$$

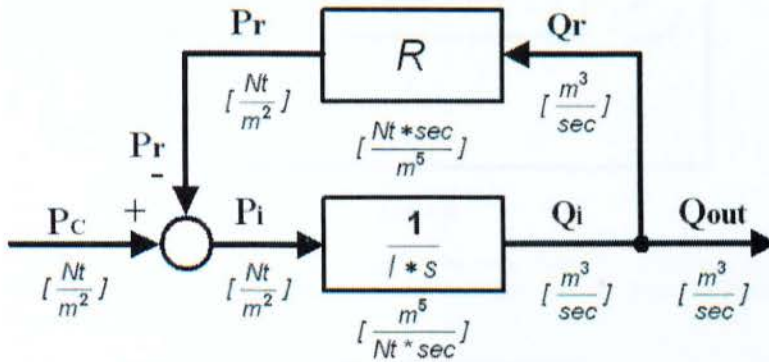
Η εξίσωση (2) μετατρέπεται όπως στο κάτωθι Σχ. 4, σε ένα σημείο άθροισης όπου σήματα εισόδου είναι η πίεση της δεξαμενής  $P_c$  με θετικό πρόσημο, η πτώση πίεσης  $P_r$  λόγω της υδραυλικής αντίστασης του αγωγού με αρνητικό πρόσημο και σήμα εξόδου είναι η πτώση πίεσης λόγω της υδραυλικής αδράνειας  $P_i$ .



Σχήμα 4

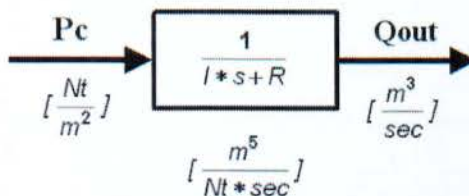
Η πίεση  $P_i$  που απορροφάτε για την μεταβολή της ταχύτητας του υγρού, άρα για να υπερνικηθεί η αδράνεια της μάζας του υγρού, δημιουργεί την ροή  $Q_i$  μέσω του αγωγού.

Όσο αυξάνεται η ροή  $Q_i$ , αυξάνεται και η ροή  $Q_r$  που είναι ταυτόσημη, δηλαδή η ροή η οποία δημιουργεί την πτώση πίεσης  $P_r$  λόγω υδραυλικής αντίστασης. Η πτώση πίεσης  $P_r$ , αφαιρείται από την πίεση  $P_c$  και το αποτέλεσμα είναι η πίεση  $P_i$  η οποία εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 5



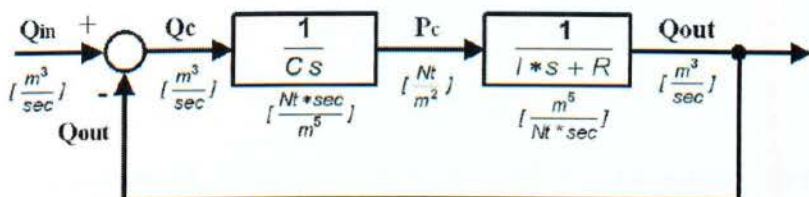
Σχήμα 5

Η απλοποίηση του διαγράμματος βαθμιδών του Σχ. 5 μας δίνει το διάγραμμα βαθμίδας της διεργασίας στο κάτωθι Σχ. 6



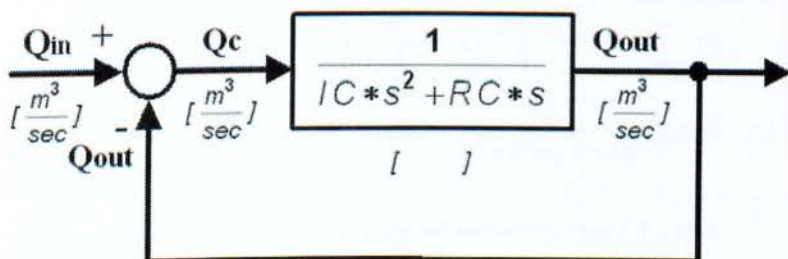
Σχήμα 6

Το συνολικό διάγραμμα βαθμίδων της υδραυλικής διεργασίας που προκύπτει από τα ανωτέρω, θα είναι όπως αυτό παρακάτω Σχ. 7 :



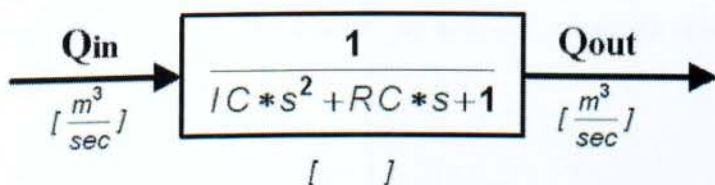
Σχήμα 7

Από το διάγραμμα του Σχ. 7, μετά την ενοποίηση των δύο μονάδων του ευθύ κλάδου προκύπτει το κάτωθι διάγραμμα βαθμίδων της διεργασίας του Σχ 8 :



Σχήμα 8

Από το διάγραμμα του Σχ 8, μετά την απλοποίηση του μοναδιαίου βρόγχου ανάδρασης προκύπτει το τελικό διάγραμμα βαθμίδας για την διεργασία όπως στο παρακάτω Σχ 9 :



Σχήμα 9

Από το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 9, προκύπτει ότι η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$G(s) = \frac{1}{lC*s^2 + RC*s + 1} \quad (3)$$



Η χαρακτηριστική εξίσωση του παρανομαστή, είναι της μορφής :  $As^2 + Bs + 1 = 0$

Η οποία γράφεται συνήθως υπό την μορφή :

$$T_n^2 s^2 + 2\zeta T_n s + 1 = 0 \quad \text{ή} \quad s^2 + 2\zeta \omega_n s + \omega_n^2 = 0$$

$$\text{όπου : } T_n^2 = \frac{1}{\omega_n^2} = A \quad \text{και} \quad \zeta = \frac{B}{2T_n} = \sqrt{\frac{B^2}{4A}}$$

➤ Η παράμετρος  $T_n$  έχει διαστάσεις χρόνου και ονομάζεται χαρακτηριστικός χρόνος του συστήματος .

➤ Η παράμετρος  $\omega_n$  με διαστάσεις  $T^{-1}$ , ονομάζεται φυσική συχνότητα χωρίς απόσβεση ή κυκλική ιδιοσυχνότητα, του συστήματος .

➤ Ο συντελεστής  $\zeta$  είναι αδιάστατο μέγεθος και ονομάζεται σταθερά απόσβεσης .

$$\omega_n^2 = \frac{1}{IC} \Rightarrow IC = \frac{1}{\omega_n^2} \quad (2) \quad \zeta = \frac{RC}{2\sqrt{IC}} \Rightarrow \zeta = \frac{RC\omega_n}{2} \Rightarrow RC = \frac{2\zeta}{\omega_n} \quad (3)$$

$$P_c(s) = \frac{1}{\omega_n^2 s^2 + \frac{2\zeta}{\omega_n} s + 1} P_{in}(s) \Rightarrow P_c(s) = \frac{\omega_n^2}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} P_{in}(s) \quad (4)$$

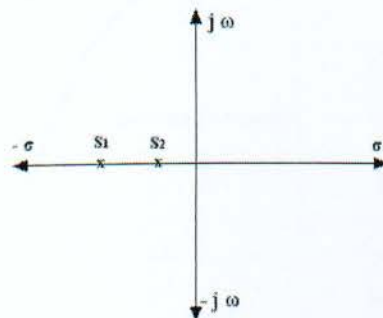
Οι ρίζες του χαρακτηριστικού πολυωνύμου του παρανομαστή της (4) είναι :

$$s_1 = -\zeta\omega_n + \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1} \quad \text{και} \quad s_2 = -\zeta\omega_n - \omega_n \sqrt{\zeta^2 - 1}$$

Διακρίνουμε τέσσερις χαρακτηριστικές περιπτώσεις της σταθεράς απόσβεσης  $\zeta$  :

A)  $\zeta^2 - 1 > 0 \Rightarrow \zeta > 1$  (Υπεραπόσβεση = Overdamped)

Στην περίπτωση αυτή έχουμε δύο ρίζες  $s_1, s_2$  αρνητικές, πραγματικές και άνισες .



Συνεπώς η έξοδος  $Q_{out}(s)$  θα είναι :

$$Q_{out}(s) = G(s) * Q_{in}(s) \Rightarrow Q_{out}(s) = \frac{\omega_n^2}{(s - s_1) * (s - s_2)} * Q_{in}(s)$$

Εάν έχουμε βηματική αλλαγή της εισόδου  $Q_{in}$ , τότε λόγω του μ/τ Laplace έχουμε :

$$Q_{in}(t) = Q_{in} \xrightarrow{L} Q_{in}(s) = \frac{Q_{in}}{s}$$

$$Q_{out}(s) = \frac{\omega_n^2}{(s - s_1) * (s - s_2)} * \frac{Q_{in}}{s} = \frac{c_1}{s} + \frac{c_2}{s - s_1} + \frac{c_3}{s - s_2} \quad (5)$$

Αναλύουμε την κλασματική συνάρτηση (5) σε άθροισμα μερικών κλασμάτων, και υπολογίζουμε τις σταθερές  $c_1, c_2, c_3$  των μερικών κλασμάτων, οπότε έχουμε :

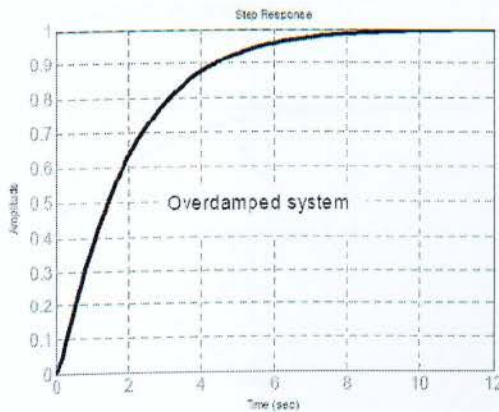
$$Q_{out}(s) = Q_{in} * \left[ \frac{1}{s} + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} * \left( \frac{1}{s_1 * (s - s_1)} - \frac{1}{s_2 * (s - s_2)} \right) \right] \quad (6)$$

Εφαρμόζουμε στην εξίσωση (7), τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace, οπότε προκύπτει η χρονική απόκριση της εξόδου :

$$Q_{out}(t) = Q_{in} * \left[ 1 + \frac{\omega_n}{2\sqrt{\zeta^2 - 1}} * \left( \frac{e^{+s_1 t}}{s_1} - \frac{e^{+s_2 t}}{s_2} \right) \right] \quad (7)$$

$$\text{Αν } \zeta \gg 1 \Rightarrow Q_{out}(t) = Q_{in} * \left[ 1 - e^{-(\zeta - \sqrt{\zeta^2 - 1})\omega_n t} \right]$$

Η χρονική συμπεριφορά ενός συστήματος δευτέρας τάξης με υπεραπόσβεση, είναι παρόμοια με αυτήν ενός συστήματος πρώτης τάξης με αργή απόκριση.



B)  $\zeta^2 - 1 = 0 \Rightarrow \zeta = 1$  ( Κρίσιμη απόσβεση = Critically Damped )

Θα έχουμε τότε μία διπλή ρίζα στην θέση  $s_{1,2} = -\omega_n$

Η απόκριση στην περίπτωση αυτή , για βαθμωτή διαταραχή σύμφωνα με τα παραπάνω θα είναι :



$$Q_{out}(s) = \frac{\omega_n^2}{(s-s_1)^2} * \frac{Q_{in}}{s} = \frac{c_1}{s} + \frac{c_2}{s-s_1} + \frac{c_3}{(s-s_1)^2} \quad (8)$$

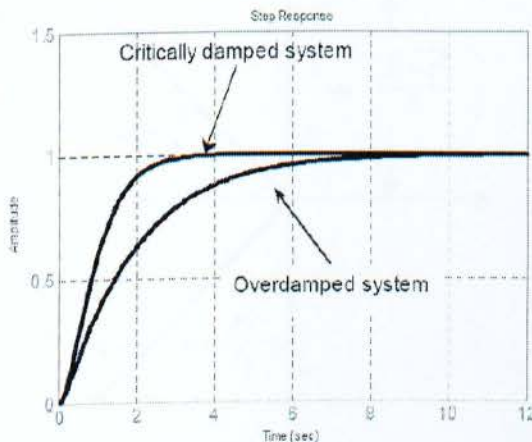
Αναλύουμε την κλασματική συνάρτηση (8) σε άθροισμα μερικών κλασμάτων , και υπολογίζουμε τις σταθερές  $c_1, c_2, c_3$  των μερικών κλασμάτων , οπότε έχουμε :

$$Q_{out}(s) = Q_{in} * \left[ \frac{1}{s} - \frac{1}{(s-s_1)} + \frac{s_1}{(s-s_1)^2} \right] \quad (9)$$

Εφαρμόζουμε στην εξίσωση (9) , τον αντίστροφο μετασχηματισμό Laplace , οπότε προκύπτει η χρονική απόκριση της εξόδου :

$$Q_{out}(s) = Q_{in} * [ 1 - (1 + \omega_n t) e^{\omega_n t} ] \quad (10)$$

Η μικρότερη απόσβεση την οποία μπορεί να έχει ένα σύστημα δευτέρας τάξης χωρίς να παρουσιάζει ταλαντώσεις , είναι η απόσβεση για  $\zeta = 1$  και ονομάζεται κρίσιμη απόσβεση.



Γ)  $\zeta^2 - 1 < 0 \Rightarrow 0 < \zeta < 1$  (υποαπόσβεση = underdamped)

Προκύπτουν δύο συζυγείς μιγαδικές ρίζες  $s_1$  και  $s_2$  της μορφής  $s_{1,2} = \sigma \pm j\omega_d$ ,  
 οπότε η απόκριση για βαθμωτή διαταραχή λαμβάνει την κάτωθι μορφή:

$$Q_{out}(s) = \frac{\omega_n^2}{[s - (-\zeta\omega_n + j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})] * [s - (-\zeta\omega_n - j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})]} * \frac{Q_{in}}{s} \Rightarrow$$

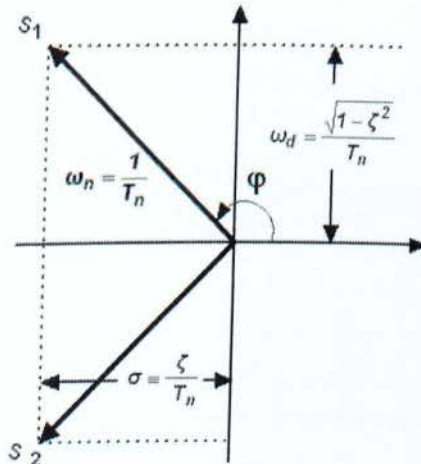
$$Q_{out}(s) = \frac{C_1}{[s - (-\zeta\omega_n + j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})]} + \frac{C_2}{[s - (-\zeta\omega_n - j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2})]} + \frac{C_3}{s} \quad (11)$$

Υπολογίζουμε τις σταθερές των μερικών κλασμάτων  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  και τις αντικαθιστούμε στην εξίσωση (11). Με εφαρμογή αντίστροφου μετασχηματισμού Laplace προκύπτει η χρονική απόκριση της εξόδου  $Q_{out}(t)$  του συστήματος:

$$Q_{out}(t) = Q_{in}(t) * \left[ 1 + \frac{e^{-\zeta\omega_n t}}{\sqrt{1-\zeta^2}} * \sin(\omega_n \sqrt{1-\zeta^2} t - \varphi) \right] \quad (12)$$

$$\text{Όπου: } \varphi = \tan^{-1} \frac{\sqrt{1-\zeta^2}}{-\zeta}$$

Συνεπώς οι συζυγείς μιγαδικές ρίζες  $s_1$  και  $s_2$  μπορούν να παρασταθούν σαν δύο διανύσματα, στα οποία το πραγματικό μέρος είναι  $\sigma = \zeta\omega_n$  και το φανταστικό μέρος είναι  $\omega_d = \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2}$ , δηλαδή είναι της μορφής  $s_{1,2} = \sigma \pm j\omega_d$ .



Ονομάζουμε φυσική συχνότητα με απόσβεση ή φυσική ιδιοσυχνότητα , την συχνότητα των ταλαντώσεων  $\omega_d$  του συστήματος :

$$\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2} \Rightarrow \omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \omega_n^2 \zeta^2} \Rightarrow \omega_d = \sqrt{\omega_n^2 - \sigma^2} \quad (13)$$

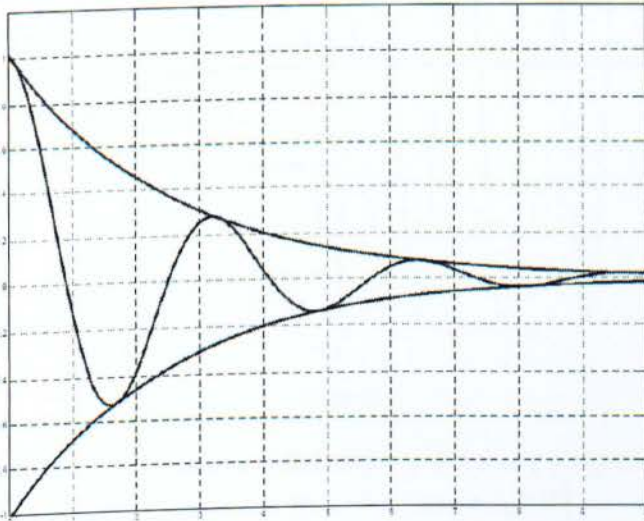
Το εύρος των ταλαντώσεων αποσβέννεται , γιατί ο περιοδικός όρος ( ημιτονοειδής όρος ) , πολλαπλασιάζεται με τον εκθετικό παράγοντα  $e^{-\zeta\omega_n t}$  .

Η απόσβεση είναι τόσο ταχύτερη , όσο μεγαλύτερος είναι ο παράγων  $\zeta\omega_n$  , ο οποίος ονομάζεται συντελεστής απόσβεσης  $\sigma$  , δηλαδή είναι :  $\sigma \equiv \zeta\omega_n = \frac{\zeta}{T_n}$  (14)

Το πραγματικό μέρος των ριζών καθορίζει το εύρος και τον χρόνο αποσβέσεως των ταλαντώσεων . Το σύστημα ταλαντώνεται μέσα στα όρια που καθορίζουν οι εκθετικές καμπύλες ,  $1 + e^{-\zeta\omega_n t}$  και  $1 - e^{-\zeta\omega_n t}$  . Η καμπύλη αποσβέσεως  $1 - e^{-\zeta\omega_n t}$  , είναι χαρακτηριστική καμπύλη συστήματος Α' τάξης , με σταθερά χρόνου  $T_n/\zeta = 1/\omega_n \ast \zeta$

Όσον ο συντελεστής  $\zeta$  ελαττώνεται , το φανταστικό μέρος των ριζών ελαττώνεται ενώ το φανταστικό αυξάνεται , με αποτέλεσμα το σύστημα να ταλαντώνεται εντονότερα .

Η χρονική απόκριση των εκθετικών όρων  $1 + e^{-\zeta\omega_n t}$  και  $1 - e^{-\zeta\omega_n t}$  που καθορίζουν τα όρια διακύμανσης του ημιτονοειδούς όρου  $f\omega_d$  φαίνονται στο Σχήμα 10 .



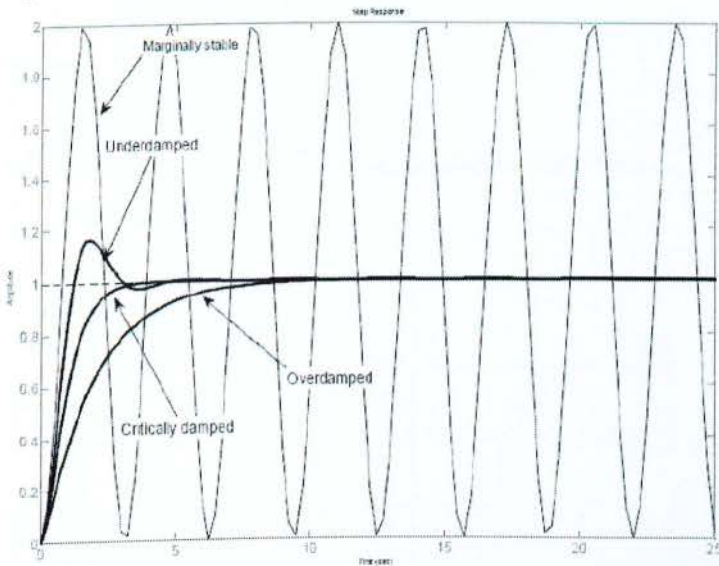
Σχήμα 10

**Δ )  $\zeta = 0$  ( Οριακά ευσταθές = Marginally stable )**

Όταν ο συντελεστής  $\zeta$  ελαττώνεται , το πραγματικό μέρος των ριζών επίσης ελαττώνεται , ενώ το φανταστικό αυξάνει , με αποτέλεσμα το σύστημα να ταλαντώνεται εντονότερα . Στην περίπτωση που ο συντελεστής  $\zeta$  γίνεται ίσος με το μηδέν , τότε το πραγματικό μέρος των ριζών μηδενίζεται επειδή  $\sigma \equiv \zeta \omega_n = 0$  , ενώ το φανταστικό γίνεται  $\omega_d = \pm j \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \Rightarrow \omega_d = \pm j \omega_n$  , δηλαδή το σύστημα υφίσταται μόνιμη ημιτονοειδή ταλάντωση συχνότητας  $\omega_n$  χωρίς απόσβεση .

Το πραγματικό μέρος των ριζών Συνεπώς το σύστημα υφίσταται μόνιμη ημιτονοειδή ταλάντωση συχνότητας  $\omega_n$  χωρίς απόσβεση . Το σύστημα καλείται οριακά ευσταθές επειδή οι λύσεις της εξίσωσης ( 12 ) δεν αποκλίνουν προς το άπειρο .

Οι τέσσερις παραπάνω περιπτώσεις μεταβολής της σταθεράς απόσβεσης  $\zeta$  συνδυάζονται στο παρακάτω Σχ. 11



Σχήμα 11

Όταν η συχνότητα  $\omega_n$  παραμένει σταθερή ενώ ο συντελεστής  $\zeta$  μεταβάλλεται , τότε το γινόμενο των δύο ριζών παραμένει σταθερό και ίσο προς  $s_1 s_2 = \omega_n^2$

Επομένως :

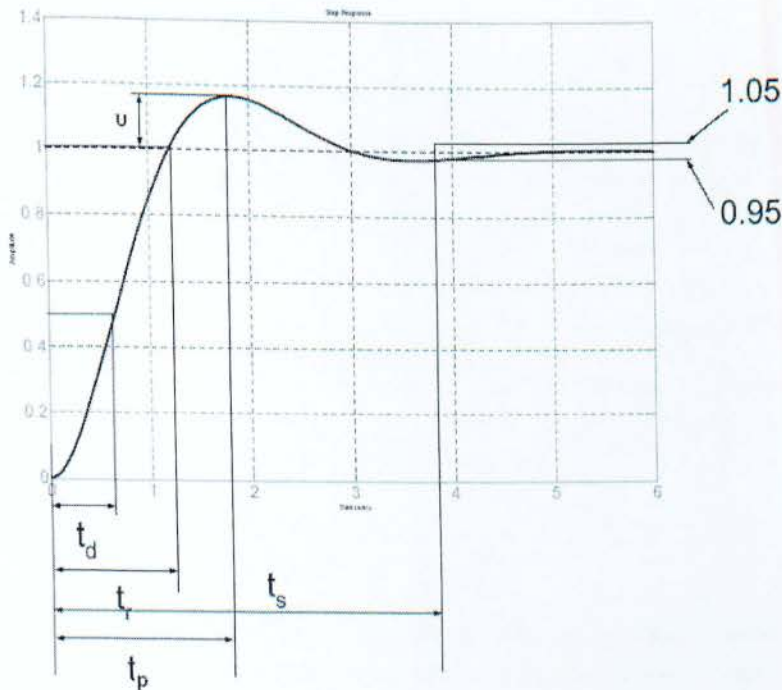
$$\text{Για } \zeta = \infty, \quad s_1 = 0, \quad s_2 = \infty$$

$$\text{Για } \zeta = 1, \quad s_1 = s_2 = \omega_n$$

$$\text{Για } \zeta = 0, \quad s_1 = +j\omega_n, \quad s_2 = -j\omega_n$$

$$\text{Για } 0 < \zeta < 1, \quad |s_1| = |s_2| = \omega_n$$

Εκτός από τα χαρακτηριστικά των συστημάτων Β' τάξης που αναφέρθηκαν προηγουμένως, γίνεται συνήθως χρήση και των εξής χαρακτηριστικών που φαίνονται στο παρακάτω Σχήμα 12.



Σχήμα 12

1) Υπερύψωση  $u$  (Overshoot) : Είναι το μέγιστο ύψος  $u$  στο οποίο φθάνει η συνάρτηση, πάνω από την τελική τιμή  $Y_{out}(\infty)$ . Η τιμή της υπερύψωσης είναι το πρώτο μέγιστο της βηματικής χρονικής απόκρισης, που προκύπτει από την σχέση  $dY_{out}/dt = 0$

$$u = \frac{Y_m - Y_{\infty}}{Y_{\infty}} = e^{-\frac{\zeta \pi}{\sqrt{1-\zeta^2}}} \quad \text{ποσοστό επί της 100\% της τελικής τιμής } Y_{out}(\infty)$$

2) Χρόνος ανύψωσης  $t_r$  (Rise Time) : Είναι ο χρόνος στον οποίο η απόκριση φθάνει για πρώτη φορά την τελική τιμή, την οποία φυσικά στην συνέχεια υπερβαίνει. Προσεγγιστικά ο χρόνος ανύψωσης  $t_r$ , υπολογίζεται από την σχέση:

$$t_r \approx \frac{1 + 2,5\zeta}{\omega_n}$$

3) Χρόνος υπερύψωσης  $t_p$  (Peak Time) : Είναι ο χρόνος που χρειάζεται η συνάρτηση να φθάσει στο μέγιστο ύψος  $u$ .

$$t_p = \frac{\pi}{\omega_d}$$

4) Χρόνος αποκατάστασης  $t_s$  (Settling Time) : Είναι ο χρόνος που απαιτείται ώστε οι ταλαντώσεις της απόκρισης να περιορισθούν σε μία ζώνη  $\pm \varepsilon$  γύρω από την τελική τιμή  $Y_{out}(\infty)$ . Προσεγγιστικά για μικρές τιμές απόσβεσης ( $0,3 > \zeta > 0,8$ ), ο χρόνος ανύψωσης  $t_s$  υπολογίζεται από τους κάτωθι τύπους:

$$\text{για } \varepsilon\% = 2\% \quad , \quad t_s \approx \frac{4}{\zeta\omega_n} \quad \text{και για } \varepsilon\% = 5\% \quad , \quad t_s \approx \frac{3}{\zeta\omega_n}$$

Το σύστημα της δεξαμενής απομονωμένο, περιλαμβάνει την υδραυλική χώρηση της δεξαμενής  $C$ , μαζί με την υδραυλική αντίσταση  $R$  της εκροής, οπότε μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύστημα  $A'$  τάξης με σταθερά χρόνου  $T_{RC} = R * C$ .

Το σύστημα του αγωγού εκροής απομονωμένο, περιλαμβάνει την υδραυλική αδράνεια του αγωγού εκροής  $I$  μαζί με την υδραυλική αντίσταση  $R$  της εκροής, οπότε μπορεί να θεωρηθεί σαν ένα σύστημα  $A'$  τάξης με σταθερά χρόνου  $T_{IR} = \frac{I}{R}$ .

Ο λόγος απόσβεσης  $\zeta$  είναι:

$$\zeta = \frac{B}{2T_n} = \frac{\sqrt{B^2}}{\sqrt{4A}} = \sqrt{\frac{(RC)^2}{4 * IC}} = \sqrt{\frac{R^2 C}{4 * I}} = \frac{1}{2} * \sqrt{\frac{T_{RC}}{T_{IR}}}$$

• Εάν  $\zeta > 1$ , οπότε  $T_{RC} > 4 * T_{IR}$ , το σύστημα παρουσιάζει υπεραπόσβεση, δηλαδή η χρονική απόκριση έχει τα χαρακτηριστικά συστήματος υδραυλικής χώρησης  $A'$  τάξης, όπου δεν υπάρχει υπερύψωση  $u$  και η ζώνη σφάλματος είναι  $\varepsilon\% = 1\%$ , τότε μπορούμε να θεωρήσουμε σαν χρόνο αποκατάστασης  $t_s \approx 5 * T_{RC} \Rightarrow t_s \approx 5 * RC$



⇒ Όταν δεν υπάρχει ανατροφοδότηση , τα φυσικά συστήματα παρουσιάζουν αποσβεννύμενη απόκριση

⇒ Σε συστήματα με ανατροφοδότηση , όλες οι τιμές του ζ μπορούν να παρουσιαστούν με κατάλληλη επιλογή των σταθερών του συστήματος

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική B\_TAXHS.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ) .

Ρυθμίστε την χώρηση της δεξαμενής έτσι ώστε  $C=0,000.002 \text{ m}^5/\text{Nt}$  . Ρυθμίστε τον αγωγό εκροής έτσι ώστε να έχει , υδραυλική αντίσταση  $R=4,000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$  και υδραυλική αδράνεια  $I=42.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$ .

A ) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF ) και παρακολουθείστε :

a1 ) Την μεταβολή στο αριστερό διάγραμμα των πιέσεων συναρτήσει του χρόνου :

- την πτώση πίεσης λόγω αδράνειας  $P_i$  , με την την ματζέντα ( μωβ ) γραμμή
- την πτώση πίεσης κατά μήκος της εκροής  $P_r$  , με την κόκκινη γραμμή

a2 ) Την μεταβολή στο δεξιό διάγραμμα της ροής  $Q_c$  συναρτήσει του χρόνου .

a3 ) Την μέτρηση του χρόνου που μεταβάλλεται σε Ticks ( 1 sec = 10 Ticks ) .

B ) Η λήψη των μετρήσεων γίνεται διακόπτοντας την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στον χρόνο διακοπής που αναγράφεται στον Πίνακα 1 , δηλαδή ανά 50 Ticks .

β1 ) Σημειώστε στον κατωτέρω Πίνακα 1 , τον πραγματικό χρόνο  $t$  κατά την στιγμή της διακοπής , τις τιμές των πιέσεων  $P_c$  ,  $P_r$  , καθώς και της παροχής  $Q_r$  .

β2 ) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .

β3 ) Συνεχίστε τις μετρήσεις έως χρόνο  $t = 1000$  Ticks .

Γ ) Πιέστε το κομβίο STOP , ώστε να σταματήσετε την εκτέλεση της άσκησης .

Δ ) Ρυθμίστε την χώρηση της δεξαμενής έτσι ώστε  $C=0,000.002 \text{ m}^5/\text{Nt}$  . Ρυθμίστε τον αγωγό εκροής έτσι ώστε να έχει , υδραυλική αντίσταση  $R=4,000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$  και υδραυλική αδράνεια  $I=2,000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$ .

Ε ) Επανάλαβτε τις μετρήσεις των βημάτων A , Β , Γ , Δ , Ε και σημειώστε τα αποτελέσματα στον παρακάτω Πίνακα 1 .

Ζ ) Με βάση τις χρονικές αποκρίσεις των  $P_i$  και  $P_r$  , σχεδιάστε στους ίδιους άξονες το γράφημα της  $P_c(t)$  , και αιτιολογήστε την μορφή της χρονικής απόκρισης .

Η ) Με βάση την χρονική απόκριση της  $Q_c$  , σχεδιάστε στους ίδιους άξονες το γράφημα της  $Q_r(t)$  , και αιτιολογήστε την μορφή της χρονικής απόκρισης .

Χρόνος	$R = 4.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}5$ $I = 42.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}2/\text{m}5$ $C = 0,000002 \text{ m}5/\text{Nt}$				$R = 4.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}5$ $I = 2.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}2/\text{m}5$ $C = 0,000002 \text{ m}5/\text{Nt}$			
ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Πτώση Πίεσης Αγωγού	Ροή Χώρησης	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αδράνειας	Πτώση Πίεσης Αγωγού	Ροή Χώρησης
t [ Ticks ]	t [ Ticks ]	Pi [ Nt/m2 ]	Pr [ NU/m2 ]	Qc [ m3/sec ]	t [ Ticks ]	Pi [ NU/m2 ]	Pr [ NU/m2 ]	Qc [ m3/sec ]
0+								
50								
100								
150								
200								
250								
300								
350								
400								
450								
500								
550								
600								
650								
700								
750								
800								
850								
900								
950								
1000								

Πίνακας 1

### Άσκηση για το σπίτι :

1) Δια την κάθε μία περίπτωση διαφορετικών τιμών των συντελεστών  $R$ ,  $I$  και  $C$  υπολογίστε βάσει των αντίστοιχων τύπων :

- α) Τον χαρακτηριστικό χρόνο  $T_n$  του συστήματος σε sec και σε Ticks
- β) Τον συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$  του συστήματος
- γ) Την υπερύψωση  $\psi$ , εάν υπάρχει
- δ) Τον χρόνο αποκατάστασης  $t_s$

2) Σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4, με κλίμακα χρόνου  $t = 0 \sim 1000$  Ticks και κλίμακα  $Q_r(t) = 0 \sim 0,0120$  m<sup>3</sup>/sec, χαράξτε μαζί τα 2 γραφήματα της χρονικής απόκρισης της ροής  $Q_r = Q_i \equiv Q_{out}$ , που προκύπτει υπολογιστικά με βάσει τις μετρήσεις της ροής χώρησης  $Q_c(t)$  του παραπάνω Πίνακα 1.

3) Βρείτε γραφικά, για κάθε μία από τις 2 καμπύλες που χαράξατε, την υπερύψωση  $\psi$  εφόσον υφίσταται, καθώς και τον χρόνο αποκατάστασης  $t_s$ . Συγκρίνате τις τιμές που υπολογίσατε με τις αντίστοιχες που προέκυψαν γραφικά.

4) Αναδιατάξτε το διάγραμμα βαθμίδων, έτσι ώστε να έχετε την  $Q_c$  ως έξοδο του συστήματος.

5) Απλοποιήσατε το διάγραμμα και βρείτε την συνάρτηση μεταφοράς  $Q_c(s) = G * Q_{in}(s)$

6) Υπολογίσατε από την συνάρτηση μεταφοράς, την αρχική τιμή της  $Q_c(s)$

7) Σε χαρτί μιλιμετρέ διαστάσεων A4 με κλίμακα χρόνου  $t = 0 \sim 1000$  Ticks και κλίμακα  $P_c(s) = 0 \sim 50.000$  Pa, χαράξτε μαζί τα 2 γραφήματα της χρονικής απόκρισης της πίεσης  $P_c(s)$  της δεξαμενής, που προκύπτει υπολογιστικά από τον Πίνακα 1,

8) Βρείτε γραφικά την περίοδο ταλάντωσης  $T_d$  στην καμπύλη απόσβεσης της συνάρτησης  $P_c(t)$ . Η περίοδος  $T_d$  είναι ο χρόνος μεταξύ δύο διαδοχικών μέγιστων ή δύο διαδοχικών μηδενισμών της τιμής της συνάρτησης  $P_c(t)$ .

9) Υπολογίσατε την περίοδο  $T_d$  των ταλαντώσεων σε Ticks βάσει του τύπου :

$$\omega_d = \frac{1}{T_d}, \quad [\omega_d] = \left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right] \Rightarrow [\omega_d] = \frac{2 * \pi \left[ \frac{\text{rad}}{\text{sec}} \right]}{T_d \left[ \text{sec} \right]} \Rightarrow T_d = \frac{2 * \pi}{\omega_d} \left[ \text{sec} \right]$$

$$\xrightarrow{(15)} T_d = \frac{2 * \pi}{\omega_n * \sqrt{1 - \zeta^2}} \left[ \text{sec} \right] \Rightarrow T_d = \frac{2 * \pi * T_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \left[ \text{sec} \right]$$

όπου  $T_n$  ο χαρακτηριστικός χρόνος του φυσικού συστήματος χωρίς απόσβεση

Λύσεις - Άσκησης 4

Χρόνος	R = 4.000.000 Nt*sec/m5 I = 42.000.000 Nt*sec2/m5 C = 0,00002 m5/Nt				R = 4.000.000 Nt*sec/m5 I = 2.000.000 Nt*sec2/m5 C = 0,00002 m5/Nt			
	ΧΡΟΝΟΣ ΔΙΑΚΟΠΗΣ	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αδρανείας	Πτώση Πίεσης Αγωγού	Ροή Χώρισης	ΧΡΟΝΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	Πτώση Πίεσης Αδρανείας	Πτώση Πίεσης Αγωγού
t [Ticks]	t [Ticks]	Pr [N/m2]	Pr [N/m2]	Qc [m3/sec]	t [Ticks]	Pr [N/m2]	Pr [N/m2]	Qc [m3/sec]
0+	16	2343	610	0.0038	12	2090	3669	0.0051
50	53	19550	5600	0.0086	55	1389	19273	0.0052
100	104	26288	19196	0.0057	101	752	28763	0.0028
150	156	24179	29723	0.0026	153	362	34596	0.0014
200	205	19469	39517	0.0001	205	188	37189	0.0007
250	255	9246	45236	-0.0015	256	95	37572	0.0004
300	304	2159	48294	-0.0021	305	49	39256	0.0002
350	356	-2893	48084	-0.0002	355	25	3989	0.0001
400	405	-5230	46131	-0.0015	404	13	39804	0.0000
450	455	-5567	43186	-0.0009	458	6	3993	0.0000
500	504	-4528	41098	-0.0008	506	3	39919	0.0000
550	557	-2770	39289	0.0002	555	1	39974	0.0000
600	605	-1144	38409	0.0004	604	0	39987	0.0000
650	654	146	38200	0.0005	654	0	39993	0.0000
700	709	979	38528	0.0004	705	0	39997	0.0000
750	757	1205	39044	0.0002	755	0	39999	0.0000
800	806	1085	39588	0.0001	804	0	40000	0
850	856	762	40031	-0.000	854	0	40000	0
900	901	424	40283	-0.0001	901	0	40000	0
950	951	94	40402	-0.0001	951	0	40000	0
1000	1004	-140	40364	-0.0001	1004	0	40000	0

Εικόνα 18 - Άσκηση 4, Πίνακας 1

Ερώτημα 1

$$\frac{Q_{out}}{Q_{in}} = \frac{1}{ICs^2 + RCs + 1} \quad (1)$$

Περίπτωση Α:

$$T_n^2 = \frac{1}{\omega_n^2} = IC = 42 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 84 \text{sec}^2 \Rightarrow$$

$$T_n = 9,17 \text{sec} = 91,7 \text{ ticks}$$

$$\omega_n = 0,11 \text{Hz}$$

$$J = \frac{RC}{2T_n} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{sec}}{18,34 \text{sec}} = 0,436$$

$$u = e^{\frac{-J\pi}{\sqrt{1-J^2}}} = e^{\frac{-1,37}{0,9}} = e^{-1,52} = 0,219$$

$$t_s(2\%) = \frac{4}{J\omega_n} = 83,4 \text{sec}$$

$$t_s(5\%) = \frac{3}{J\omega_n} = 62,55 \text{sec}$$

Περίπτωση Δ:

$$T_n^2 = IC = 2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 4 \Rightarrow$$

$$T_n = 2 \text{sec} = 20 \text{ticks}$$

$$\omega_n = 0,5 \text{Hz}$$

$$J = \frac{RC}{2T_n} = \frac{8}{2 \cdot 2} = 2$$

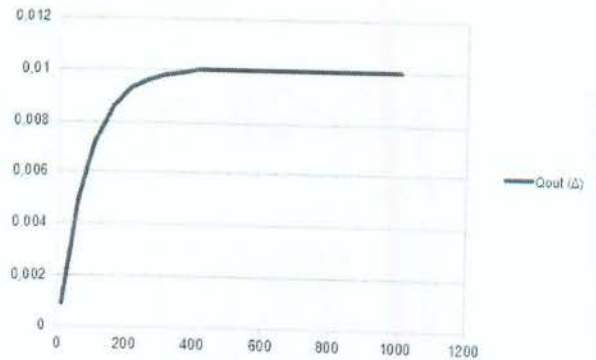
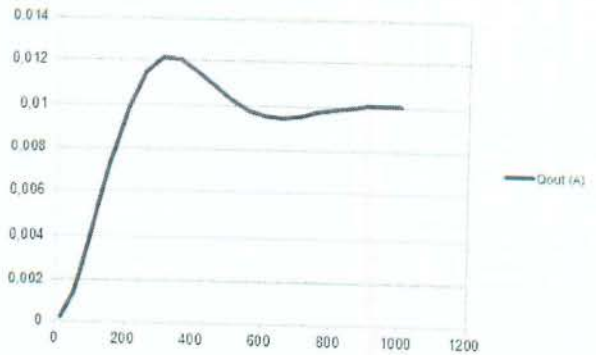
$u$  δεν υπάρχει  $\rightarrow$  υπεραπόσβεση

$$J > 1 \Rightarrow t_s \approx 4RC = 4 \cdot 8 = 32 \text{sec}$$

## Ερώτημα 2

Βλέπε συνημμένο excel στο τέλος της άσκησης/  $Q_{out} = Q_m - Q_c$

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α			ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Δ		
T	Qc	Qout (A)	T	Qc	Qout (Δ)
16	0.0098	0.0002	12	0.0091	0.0009
53	0.0086	0.0014	55	0.0052	0.0048
104	0.0057	0.0043	101	0.0028	0.0072
156	0.0025	0.0074	156	0.0014	0.0086
205	0.0001	0.0099	205	0.0007	0.0093
255	-0.0015	0.0115	256	0.0004	0.0096
304	-0.0021	0.0121	305	0.0002	0.0098
356	-0.002	0.012	355	0.0001	0.0099
405	-0.0015	0.0115	404	0	0.01
455	-0.0009	0.0109	458	0	0.01
504	-0.0003	0.0103	506	0	0.01
557	0.0002	0.0098	555	0	0.01
605	0.0004	0.0096	604	0	0.01
654	0.0005	0.0095	654	0	0.01
709	0.0004	0.0096	705	0	0.01
757	0.0002	0.0098	755	0	0.01
806	0.0001	0.0099	804	0	0.01
856	0	0.01	854	0	0.01
901	-0.0001	0.0101	901	0	0.01
951	-0.0001	0.0101	951	0	0.01
1004	-0.0001	0.0101	1004	0	0.01



Εικόνα 19 - Άσκηση 4, Πίνακας & Γράφημα Ερωτήματος 2

### Ερώτημα 3

Από τα γραφήματα του ερωτήματος (2)

Για το γράφημα της περίπτωσης Α:

( $Q_{out}$  + Στήλης C) συμπεραίνουμε ότι έχουμε υποαπόσβεση και άρα υπάρχει  $u$  (υπερύψωση).

$$u = \frac{0,0121 - 0,0101}{0,0101} = 0,198$$

$$t_s(5\%) = 654 \text{ ticks} = 65,4 \text{ sec (όταν } Q_{out} = 0,95 \cdot Q_{out}(\infty))$$

$$t_s(2\%) = 806 \text{ ticks} = 80,6 \text{ sec (όταν } Q_{out} = 0,98 \cdot Q_{out}(\infty))$$

Οι τιμές που προκύπτουν υπολογιστικά προσεγγίζουν με καλή ακρίβεια αυτές του ερωτήματος 1.

Για το γράφημα της περίπτωσης Δ:

Δεν έχουμε υπερύψωση.

$$t_s (1\%) = 355 \text{ ticks} = 35,5 \text{ sec} \quad \text{για } Q_{out}(t) = 0,99 \cdot Q_{out}(\infty) = 0,099$$

**Ερώτημα 4 & 5**

$$\left. \begin{aligned} Q_{out} &= Q_m - Q_c \\ Q_{out} &= \frac{Q_c}{ICs^2 + RCs} \end{aligned} \right\} \Rightarrow$$

$$Q_c = Q_m - \frac{Q_c}{ICs^2 + RCs} \Rightarrow Q_m = Q_c \left( \frac{ICs^2 + RCs + 1}{ICs^2 + RCs} \right) \Rightarrow \frac{Q_c(s)}{Q_m(s)} = \frac{ICs^2 + RCs}{ICs^2 + RCs + 1}$$

$$\xrightarrow{Q_m} \left[ \frac{ICs^2 + RCs}{ICs^2 + RCs + 1} \right] \xrightarrow{Q_c}$$

**Ερώτημα 6**

$$Q_c(s) = Q_m(s) \left( \frac{ICs^2 + RCs}{ICs^2 + RCs + 1} \right), \quad \text{όπου } Q_m(s) = \frac{Q_m}{s}$$

Βάσει του θεωρήματος αρχικής τιμής:

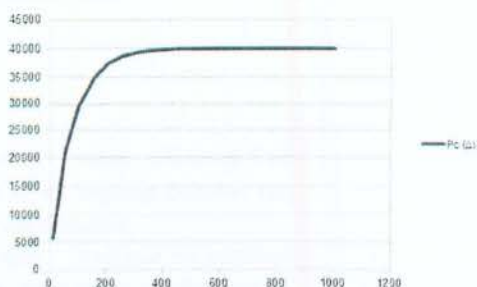
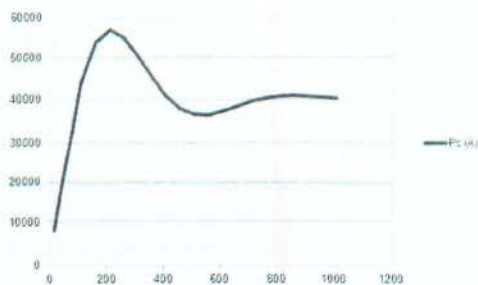
$$\lim_{s \rightarrow \infty} s \cdot \frac{Q_m}{s} \left( 1 - \frac{1}{ICs^2 + RCs + 1} \right) = Q_m$$

Άρα η αρχική τιμή της  $Q_c$  για κάθε περίπτωση Α ή Δ είναι:

$$Q_c(0) = Q_m - 0,01 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

Ερώτημα 7

ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Α				ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ Β			
T	PI	Pr	Pe (Δ)	T	PI	Pr	Pe (Δ)
16	7343	610	7363	12	2090	3653	2753
53	18560	5600	25160	56	1380	15273	20661
104	26288	17196	43484	101	762	28783	29616
156	24179	29723	53902	156	362	34856	34968
205	17469	39517	56966	205	198	37185	37373
255	9246	45836	56082	256	95	38572	38967
304	2159	48394	50553	305	49	39256	39305
356	-2893	48084	45191	356	26	39618	39643
405	-6220	46131	40901	404	13	39804	39817
465	-8667	43486	37919	468	6	39903	39909
504	-4528	41096	36670	506	3	39949	39962
567	-2770	39287	36517	565	1	39974	39975
605	-1144	38409	37265	604	0	39967	39987
654	146	38200	38246	654	0	39953	39993
709	979	38520	39507	705	0	39997	39997
757	1205	39644	40249	755	0	39999	39999
806	1085	39583	40673	804	0	40000	40000
856	762	40031	40793	854	0	40000	40000
901	-424	40283	40707	901	0	40000	40000
951	94	40402	40496	951	0	40000	40000
1004	-149	40384	40244	1004	0	40000	40000



Εικόνα 20 - Άσκηση 4, Πίνακας & Γράφημα Ερωτηματος 7



Question 4.xls



## Άσκηση 5

### Ανοικτό Σύστημα Ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης

Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Δημιουργία του διαγράμματος βαθμίδων , ενός συστήματος ελέγχου μιας υδραυλικής διεργασίας Β' τάξης . Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς του συστήματος ρύθμισης . Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και υπολογισμός των ποσοτικών χαρακτηριστικών ενός ανοικτού συστήματος ρύθμισης .

**Θεωρία :** Τα βασικά στοιχεία σε κάθε ρυθμιζόμενη διεργασία είναι :

- ✓ η διεργασία καθαυτή
- ✓ το στοιχείο μέτρησης
- ✓ ο ρυθμιστής
- ✓ το στοιχείο τελικής ρύθμισης

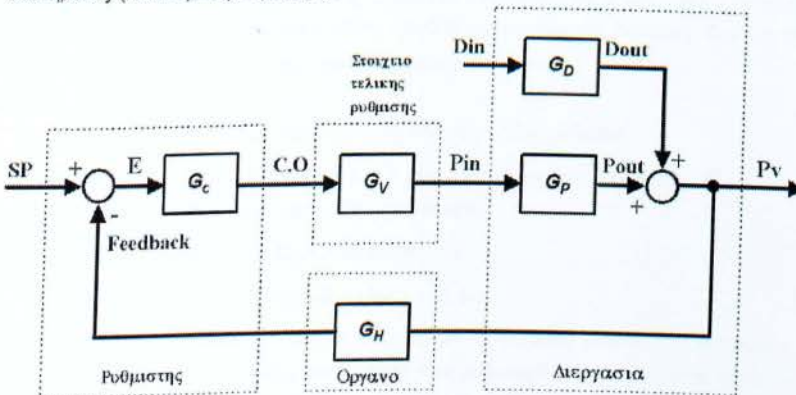
Α ) Η διεργασία δυνατόν να είναι μηχανική , ηλεκτρική , χημική , υδραυλική ή και οποιοσδήποτε συνδυασμός τους . Στο Σχ.1 δίδεται το τυπικό διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος ρύθμισης ( ή άλλως συστήματος ελέγχου ) μιας διεργασίας .

Αναλόγως των προδιαγραφών ελέγχου μιας διεργασίας , επιλέγουμε την κατάλληλη μεταβλητή της διεργασίας  $P_V$  (= Process variable ) την οποία πρέπει να ρυθμίσουμε .

Η ρυθμιζόμενη έξοδος της διεργασίας  $P_V$  επηρεάζεται από δύο εισόδους :

➤ την είσοδο  $P_{IN}$  (= Process Input ) η οποία 'χειρίζεται' από το στοιχείο τελικής ρύθμισης και γι' αυτό αποκαλείται μεταβλητή εκ χειρισμού .

➤ την είσοδο διαταραχής  $D_{IN}$  (= Disturbance Input ) η οποία παριστάνει την τυχαία εξωτερική διαταραχή ( εξωτερικός θόρυβος ) ή την αλλαγή των παραμέτρων του συστήματος ( εσωτερικός θόρυβος ) .



Σχήμα 1

Η τιμή της  $P_V$  προσδιορίζεται από την σχέση :

$$P_V = G_P * P_{IN} + G_D * D_{IN} \quad (1)$$

Όπου  $G_P$  η συνάρτηση μεταφοράς της διεργασίας και  $G_D$  η συνάρτηση μεταφοράς που αντιστοιχεί σε κάθε μεταβλητή διαταραχής ( θορύβου εξωτερικού ή εξωτερικού ).

Β ) Το στοιχείο μέτρησης είναι το όργανο , το οποίο χρησιμεύει στην διακρίβωση των διακυμάνσεων των τιμών της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $P_V$  και διαβιβάζει το ανάλογο σήμα ανατροφοδότησης ( *Feedback* ) στον ρυθμιστή .

$$Feedback = G_H * P_V \quad (2)$$

Γ ) Ο ρυθμιστής ( ή άλλως ελεγκτής ) έχει σκοπό να 'επέμβει' έτσι ώστε να έχουμε την διατήρηση της επιθυμητής τιμής  $SP$  ( = Setpoint ) της ρυθμιζόμενης μεταβλητής . Για τον σκοπό αυτό στον ρυθμιστή περιλαμβάνονται :

- ο μηχανισμός με τον οποίο καθορίζεται η επιθυμητή τιμή (  $SP$  ) της  $P_V$
- ο μηχανισμός σύγκρισης της πραγματικής ( μετρούμενης ) με την επιθυμητή τιμή που παράγει την ρυθμιστική απόκλιση ή άλλως σφάλμα  $E$  ( = Error )
- ο κυρίως ελεγκτής που υπολογίζει και τροφοδοτεί το τελικό στοιχείο ρύθμισης με κατάλληλο σήμα  $C.O$  ( = Controller Output ) .

Για τον ρυθμιστή μπορούμε να γράψουμε τις σχέσεις :

$$E = SP - Feedback \quad (3)$$

$$C.O = G_C * E \quad (4) \quad \text{Όπου } G_C \text{ η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή .}$$

Δ ) Το στοιχείο τελικής ρύθμισης σε υδραυλικές διεργασίες συχνά είναι μία ρυθμιστική βαλβίδα , δηλαδή μία βαλβίδα με κατάλληλο ηλεκτρομηχανικό εξοπλισμό ενεργοποίησης , ο οποίος ανάλογα με το σήμα του ρυθμιστή μετατοπίζει το στέλεχος της βαλβίδας ώστε να μεταβάλλεται η διατομή του ανοίγματος μέσω του οποίου γίνεται η ροή . Με τον τρόπο αυτό 'χειρίζεται' την μεταβλητή εισόδου της διεργασίας  $P_{IN}$  και συνεπώς δρα για τον καθορισμό του ρυθμού με τον οποίο θα συνεχισθεί η διεργασία .

$$P_{IN} = G_V * C.O \quad (5)$$

Όπου  $G_V$  η συνάρτηση μεταφοράς του τελικού στοιχείου ρύθμισης .

Από την σχέση ( 5 ) λόγω των ( 2 ) , ( 3 ) και ( 4 ) προκύπτει η τιμή της  $P_{IN}$  :

$$P_{IN} = G_V * G_C * E = G_V * G_C * (SP - Feedback) \Rightarrow$$

$$P_{IN} = G_V * G_C * SP - G_V * G_C * Feedback \Rightarrow$$

$$P_{IN} = G_V * G_C * SP - G_V * G_C * G_H * P_V \quad (6)$$

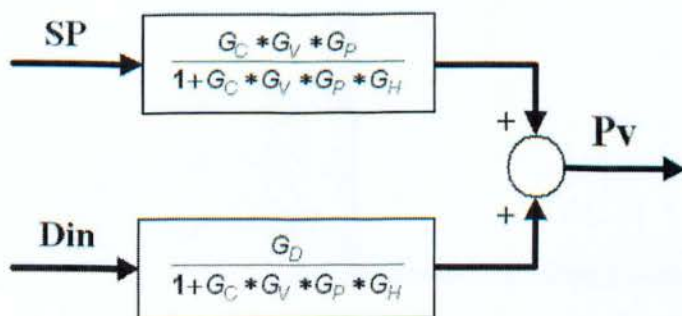
Αν δεν υπάρχει ανάδραση , δηλαδή υπάρχει μόνον ο ευθύς κλάδος του συστήματος ελέγχου , ο 2<sup>ος</sup> όρος είναι μηδέν και η συνάρτηση μεταφοράς του συστήματος ανοικτού βρόγχου που προκύπτει με αντικατάσταση της τιμής της  $P_{IN}$  στην ( 1 ) είναι :

$$P_V = G_P * G_V * G_C * SP + G_D * D_{IN} \quad (7)$$

Για το σύστημα κλειστού βρόγχου η συνάρτηση μεταφοράς βρίσκεται αν αντικαταστήσουμε την τιμή της  $P_{IN}$  από την εξίσωση ( 6 ) στην εξίσωση ( 1 ) και επιλύσουμε ως προς  $P_{IN}$  .

$$P_{IN} = \frac{G_C * G_V * G_P}{1 + G_C * G_V * G_P * G_H} * SP + \frac{G_D}{1 + G_C * G_C * G_P} * D_{IN} \quad (8)$$

Η σχέση ( 8 ) συνδέει την ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_{IN}$  με τις δύο μεταβλητές εισόδου του συστήματος ρύθμισης ( ελέγχου ), δηλαδή την επιθυμητή τιμή  $SP$  και την μεταβλητή της διαταραχής  $D_{IN}$  . Η σχέση αυτή μπορεί να αποδοθεί σε ένα διάγραμμα βαθμιδών :



Σχήμα 2

Όταν μία είσοδος σε ένα γραμμικό σύστημα δεν μεταβάλλεται παραμένοντας σταθερή στην τιμή ισορροπίας , η επίδρασή της είναι μηδέν και μπορεί να παραληφθεί ο σχεδιασμός της στο διάγραμμα βαθμιδών .

Έτσι η επίδραση που έχει η μεταβολή της μεταβλητής της διαταραχής  $D_{IN}$  είναι :

$$P_{IN}(s) = \frac{G_D}{1 + G_C * G_C * G_P} * D_{IN}(s) \quad (9)$$

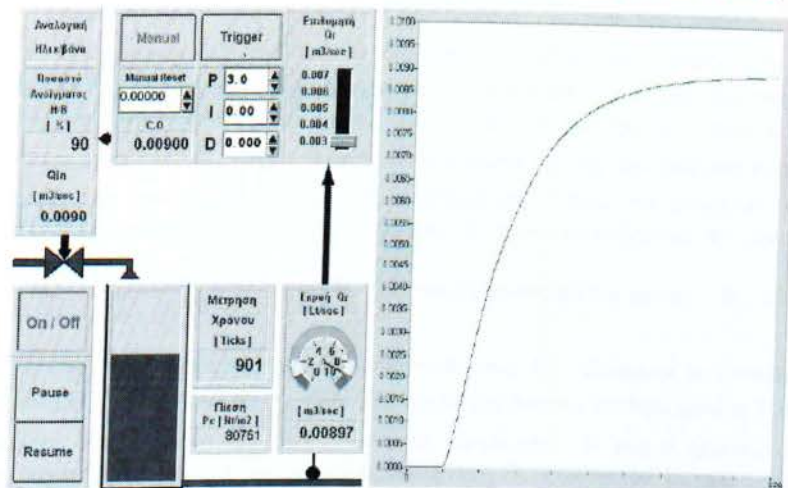
Ενώ η επίδραση που έχει η μεταβολή της επιθυμητής τιμής  $SP$  είναι :

$$P_{IN}(s) = \frac{G_C * G_V * G_P}{1 + G_C * G_V * G_P * G_H} * SP(s) \quad (10)$$

Προφανώς οι σχέσεις ( 9 ) και ( 10 ) ισχύουν με την προϋπόθεση ότι όλες οι άλλες μεταβλητές παραμένουν σταθερές .

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική OPEN.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ).

Στο κάτωθι Σχ. 3 έχουμε μία υδραυλική διεργασία , στην οποία θέλουμε να ελέγξουμε την ροή εξόδου  $Q_r$  , δηλαδή επιλέγουμε ως ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_V$  την εκροή  $Q_r$  .



Σχήμα 1

Τα κύρια στοιχεία της ρυθμιζόμενης διεργασίας είναι :

**A )** Η υδραυλική διεργασία καθαυτή , η οποία αποτελείται από :

A1 ) Δεξαμενή με υδραυλική χώραση  $C= 0,000,002 \text{ m}^5/\text{Nt}$

A2 ) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R= 9,000,000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$

A3 ) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I= 18,000,000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$

Η δεξαμενή τροφοδοτεί την κατανάλωση μέσω ενός αγωγού εκροής ο οποίος παρουσιάζει υδραυλική αντίσταση  $R$  αλλά και υδραυλική αδράνεια  $I$  , δηλαδή η υδραυλική διεργασία είναι 2<sup>ου</sup> βαθμού και η συνάρτηση μεταφοράς της είναι :  $G_P = \frac{1}{ICs^2 + RCs + 1}$

**B )** Το τελικό στοιχείο ρύθμισης που είναι μία αναλογική ηλεκτροβάνα , της οποίας ο μηχανισμός ενεργοποίησης δέχεται το σήμα  $C.O$  από την έξοδο του ελεγκτή και μεταβάλλει ανάλογα το ποσοστό ανοίγματος (  $\gamma\%$  ) της ηλεκτροβάνας . Έχουμε την μέγιστη παροχή  $Q_{max}$  της ηλεκτροβάνας όταν είναι εντελώς ανοικτή (  $\gamma = 100\%$  ) , και την ελάχιστη παροχή  $Q_{min}$  όταν είναι εντελώς κλειστή (  $\gamma = 0\%$  ) .

« Η ηλεκτροβάννα επιλέγεται έτσι ώστε, να έχει παροχή  $Q_{max}$  διπλάσια από την επιθυμητή τιμή  $SP$  της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$ , συνεπώς να εργάζεται στο γραμμικό τμήμα λειτουργίας της ώστε να ελέγχει την διεργασία αναλογικά, σε σχέση με το σήμα εξόδου του ελεγκτή.

Θεωρούμε ότι η σταθερά χρόνου της ηλεκτροβάννας  $T_v$  είναι πολύ μικρότερη από την σταθερά χρόνου  $T$  της ίδιας της διεργασίας και άρα μπορεί να παραλειφθεί. Η φυσική ερμηνεία της παραδοχής αυτής είναι η ηλεκτροβάννα έχει μεγάλη ευαισθησία, σε τρόπο ώστε το σήμα εξόδου της  $Q_m$ , να είναι ανάλογο του σήματος εισόδου  $C.O$ , οπότε είναι και  $G_v = K_v$ . Ο συντελεστής κέρδους  $K_v$  της ηλεκτροβάννας είναι ο λόγος της λειτουργικής παροχής της ηλεκτροβάννας, προς την αντίστοιχη τιμή ηλεκτρικού σήματος εισόδου που είναι συνήθως  $4 \sim 20 \text{ mA}$  ή εναλλακτικά  $0 \sim 10 \text{ V}$ .

$$\text{Άρα : } K_v = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{20 - 4} \frac{\text{m}^3/\text{sec}}{\text{mA}} \text{ και είναι δεδομένος για την άσκηση, } K_v = 1$$

Γ ) Το όργανο μέτρησης της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$ . Θεωρούμε ότι η σταθερά χρόνου του οργάνου μέτρησης  $T_m$  είναι πολύ μικρότερη από την σταθερά χρόνου  $T$  της ίδιας της διεργασίας και άρα είναι δυνατόν να παραλειφθεί. Η φυσική ερμηνεία της παραδοχής αυτής είναι ότι το όργανο μέτρησης της  $Q_r$  (ροόμετρο) έχει μεγάλη ευαισθησία, σε τρόπο ώστε το σήμα εξόδου (Feedback) ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου  $P_v$ , οπότε είναι  $G_m = 1$  άρα  $\text{Feedback} \equiv Q_r$

Δ ) Τον ρυθμιστή που αποτελείται από τα εξής 3 στοιχεία :

- δ1 ) ποτενσιόμετρο μεταβολής της επιθυμητής τιμής ( $SP$ ) της εκροής  $Q_r$ ,
- δ2 ) συγκριτή με έξοδο την ρυθμιστική απόκλιση  $E = SP - \text{Feedback} = SP - Q_r$ ,
- δ3 ) ελεγκτή 3 όρων ( Ελεγκτής PID ), ο οποίος με βάση την ρυθμιστική απόκλιση ή άλλως σφάλμα  $E$  παράγει το κατάλληλο σήμα για τον έλεγχο της Η/Β.

δ3.1) Ο ελεγκτής PID : Μέχρι πριν από μερικά χρόνια κυριαρχούσαν τα πνευματικά συστήματα ρύθμισης, με συνέπεια να έχουμε πνευματικούς ρυθμιστές απευθείας δράσης.

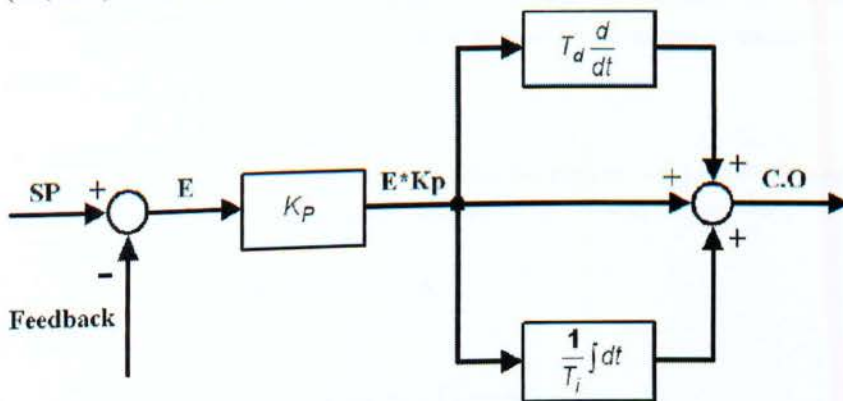
Σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως ηλεκτρονικά συστήματα ρύθμισης στα οποία δεν υπάρχουν κινούμενες μάζες ώστε να παρουσιάζουν αδρανειακά φαινόμενα και η μετάδοση του σήματος σε μεγάλες αποστάσεις δεν παρουσιάζει προβλήματα. Η κύρια μονάδα ενός τέτοιου ρυθμιστή ονομάζεται ελεγκτής 3 όρων ή άλλως ελεγκτής PID.

Το σύστημα ρύθμισης μιας ρυθμιζόμενης διεργασίας εκτελεί τις ακόλουθες εργασίες :

- ✓ Σχηματίζει την ρυθμιστική απόκλιση  $E (= \text{Error})$  από την σύγκριση της επιθυμητής τιμής ( $SP$ ) με την πραγματική μετρούμενη τιμή της ρυθμιζόμενης μεταβλητής, δηλαδή του σήματος  $\text{Feedback}$  :  $E = SP - \text{Feedback}$

✓ Προσδιορίζει σύμφωνα με την συγκεκριμένη ρυθμιστική απόκλιση  $E$ , ένα τέτοιο σήμα εξόδου του ελεγκτή  $C.O (= Controller Output)$ , ώστε το τελικό στοιχείο ρύθμισης να επηρεάσει την διεργασία με τέτοιο τρόπο, ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα  $E$ .

Ονομάζουμε τον ελεγκτή παράλληλο (Μη-Διαδραστικό) ή σειριακό (Διαδραστικό), εάν έχουμε αντίστοιχα παράλληλη ή σειριακή εσωτερική διασύνδεση των βαθμίδων που αντιστοιχούν στους όρους  $T_i$  του ολοκληρωτικού χρόνου και του χρόνου προπορείας  $T_d$  του ελεγκτή. Στην περίπτωση του προγράμματος VisiDAQ έχουμε παράλληλο ελεγκτή (Μη-Διαδραστικό) και το διάγραμμα βαθμίδων είναι όπως στο κάτωθι Σχ. 2



Σχήμα 2

➤ Η σταθερά  $K_p$  ονομάζεται συντελεστής ενίσχυσης ή αναλογικό κέρδος του ελεγκτή, και ρυθμίζεται από την μεταβολή του συντελεστή  $P$  του ελεγκτή.

$$C.O = K_p E \Rightarrow L\{C.O\} = L\{K_p E\} \Rightarrow C.O(s) = K_p E(s) \quad (1)$$

➤ Η σταθερά χρόνου  $T_i$  παριστάνει τον χρόνο που θέλουμε να διανύσει ο μηχανισμός ενεργοποίησης του στοιχείου τελικής ρύθμισης για να φθάσει την μέγιστη έξοδό του, στην περίπτωση μας ο μηχανισμός να ωθήσει την ηλεκτροβάννα σε άνοιγμα  $\gamma = 100\%$  και συνεπώς σε μέγιστη παροχή  $Q_{max}$ . Η σταθερά χρόνου  $T_i$  ονομάζεται ολοκληρωτικός χρόνος και ρυθμίζεται από τον συντελεστή  $I$  του ελεγκτή.

$$C.O = \frac{1}{T_i} \int_0^t E dt \Rightarrow L\{C.O\} = L\left\{\frac{1}{T_i} \int_0^t E dt\right\} \Rightarrow C.O(s) = \frac{1}{T_i s} E(s) \quad (2)$$

➤ Η σταθερά χρόνου  $T_d$  εκφράζει την αναλογία μεταξύ του σήματος εξόδου του ελεγκτή και της πρώτης παραγώγου της ρυθμιστικής απόκλισης  $E$ . Η σταθερά χρόνου  $T_d$  ονομάζεται χρόνος προπορείας και ρυθμίζεται από τον συντελεστή  $D$  του ελεγκτή.

$$C.O = T_d \frac{dE}{dt} \Rightarrow L\{C.O\} = L\left\{T_d \frac{dE}{dt}\right\} \Rightarrow C.O(s) = T_d s E(s) \quad (3)$$

**δ3.2 ) Βασικοί τύποι ελεγκτών :** Ο ελεγκτής 3 όρων (*PID Controller*), έχει την δυνατότητα διαφορετικής λειτουργία, αναλόγως της ρύθμισης των τριών συντελεστών (3 όρων)  $P, I, D$  που καθορίζουν την συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή.

♦ Αναλογικός ελεγκτής (P-mode)

Έχουμε μόνον τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή και έχουμε μηδενίσει τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  και τον χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει :

$$P \neq 0, I = 0 \text{ και } D = 0$$

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι :

$$G_c = K_P$$

♦ Αναλογικός - Ολοκληρωτικός ελεγκτής (PI-mode)

Έχουμε συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή και ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  αλλά έχουμε μηδενίσει τον χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει :

$$P \neq 0, I \neq 0 \text{ και } D = 0$$

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι :

$$G_c = K_P \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} \right]$$

♦ Αναλογικός - Ολοκληρωτικός - Διαφορικός ελεγκτής (PID-mode)

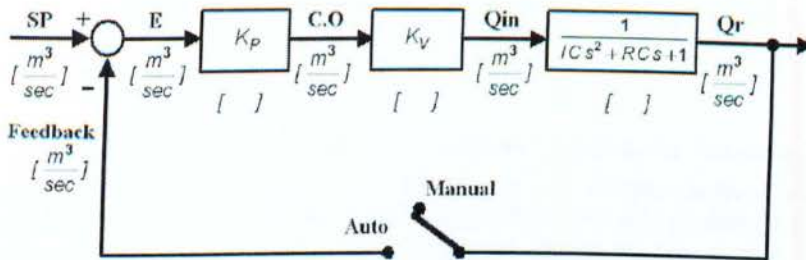
Έχουμε θέσει συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή, ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  αλλά και χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει :

$$P \neq 0, I \neq 0, D \neq 0$$

Η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι :

$$G_c = K_P * \left[ 1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right]$$

**δ3.3 ) Ανοικτά - Κλειστά συστήματα ρύθμισης :** Το διάγραμμα βαθμίδων της ρυθμιζόμενης διεργασίας του Σχ. 1 σύμφωνα με τα ανωτέρω παρουσιάζεται στο κάτωθι Σχ. 3 , όπου ο διακόπτης ( Manual-Auto ) στον κλάδο ανατροφοδότησης , καθορίζει τον τρόπο λειτουργίας του συστήματος ελέγχου :



Σχήμα 3

A ) Χειροκίνητη λειτουργία του ελεγκτή ( Manual )

Ο διακόπτης είναι ανοικτός οπότε διακόπτετε το σήμα ανατροφοδότησης από το όργανο μέτρησης προς ελεγκτή , συνεπώς στον υπολογισμό της εξόδου του ελεγκτή λαμβάνετε υπ' όψην μόνον η επιθυμητή τιμή SP της εκροής Q<sub>r</sub> και ο συντελεστής αναλογικού κέρδους K<sub>p</sub> του ελεγκτή .

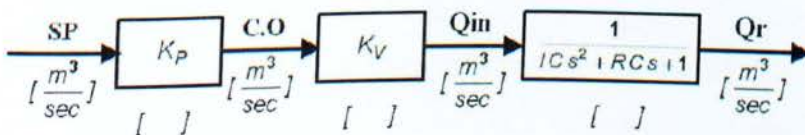
Επειδή έχουμε ανοικτό τον βρόγχο ανατροφοδότησης , το σύστημα ελέγχου ονομάζεται ανοικτό σύστημα ελέγχου .

B ) Αυτόματη λειτουργία του ελεγκτή ( Auto )

Ο διακόπτης είναι κλειστός οπότε το σήμα εξόδου της διεργασίας Q<sub>r</sub> μέσω του οργάνου μέτρησης ανατροφοδοτεί τον ελεγκτή , συνεπώς για τον υπολογισμό της εξόδου του ελεγκτή λαμβάνετε υπ' όψην , η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής τιμής και της πραγματικής τιμής της εκροής Q<sub>r</sub> , δηλαδή E = SP - Q<sub>r</sub> .

Επειδή έχουμε κλειστό τον βρόγχο ανατροφοδότησης , το σύστημα ελέγχου ονομάζεται κλειστό σύστημα ελέγχου .

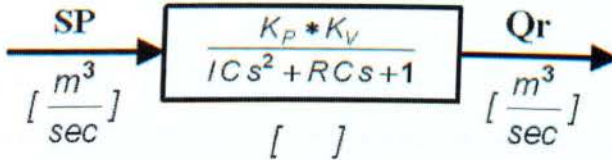
Όταν επιλέγουμε την Χειροκίνητη λειτουργία του ελεγκτή , το διάγραμμα του Σχ.3 απλοποιείται όπως στο κάτωθι Σχ. 4 .



Σχήμα 4



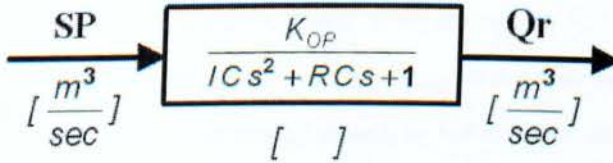
Συνοπώς το διάγραμμα βαθμίδας της διεργασίας είναι της μορφής του Σχ. 5



Σχήμα 5

Ο αριθμητής  $K_p * K_v$  της συνάρτησης μεταφοράς της βαθμίδας διεργασίας, αντιστοιχεί στην ολική ενίσχυση του σήματος δια του ανοικτού βρόγχου και χαρακτηρίζεται ως ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$  (Open Loop Gain) ή ενίσχυση σε μόνιμη κατάσταση και είναι ανάλογος του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, δοθέντος ότι όλοι οι άλλοι συντελεστές είναι σταθεροί για το σύστημα.

Η ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{OP} = K_p * K_v$  είναι αδιάστατος αριθμός, δεδομένου ότι προκύπτει από το γινόμενο όλων των συναρτήσεων μεταφοράς του βρόγχου.



Σχήμα 6

Συνοπώς από το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ.6 έχουμε ότι :

$$Q_r(s) = \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1} * SP(s) \quad (11)$$

Σε περίπτωση βηματικής αλλαγής της επιθυμητή τιμής  $SP$ , η συνολική απόκριση της ρυθμιζόμενης διεργασίας δίδεται από την σχέση :

$$Q_r(s) = \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1} * \frac{SP}{s} \quad \text{και το σύστημα ισορροπεί στην τελική τιμή :}$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Q_r(t) = \lim_{s \rightarrow 0} Q_r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1} * \frac{SP}{s} = s \Rightarrow Q_r(\infty) = K_{OP} * SP$$

⇨ Μόνιμο Σφάλμα ή  $E_{ss}$  ( = **Steady State Error** ), ονομάζουμε τη σταθερή απόκλιση της εξόδου ενός συστήματος από την είσοδο αναφοράς του στην μόνιμη κατάσταση .

Άρα για στην περίπτωση του ανοικτού συστήματος εάν έχουμε μοναδιαία είσοδο  $SP$  :

$$E_{ss} = SP - Q_r(\infty) = SP - K_{OP} * SP = (1 - K_{OP}) * SP$$

Δηλαδή θα έχουμε μόνιμο σφάλμα  $E_{ss}$  που εξαρτάτε από το κέρδος του ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$  , το οποίο όμως είναι ανάλογο του αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $K_P$  .

#### ♦ Αρχικές ρυθμίσεις :

Α ) Έχουμε την υδραυλική διεργασία η οποία αποτελείται από :

A1 ) Δεξαμενή με υδραυλική χώνηση  $C= 0,000.002 \text{ m}^5/\text{Nt}$

A2 ) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R= 9.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$

A3 ) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I= 18.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}^2/\text{m}^5$

Β ) Ρυθμίστε την επιθυμητή τιμή  $Q_r$  της εκροής  $SP= 0.0030 \text{ m}^3/\text{sec}$  .

Γ ) Έχουμε επιλέξει ηλεκτροβάνα με μέγιστη παροχή  $Q_{max} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $K_v = 1$

Δ ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε χειροκίνητη λειτουργία , με κέρδος  $K_P = 1$  , δηλαδή :

δ1 ) Ενεργοποιείστε το πλήκτρο λειτουργίας *Manual* του ελεγκτή

δ2 ) Μεταβάλετε τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P = 1$

δ3 ) Μηδενίστε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  , δηλαδή θέσατε  $I = 0$

δ4 ) Μηδενίστε τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή θέσατε  $D = 0$

☛ ΠΡΟΣΟΧΗ : Για τις μεταβολές των συντελεστών του ελεγκτή *PID* ,

α ) Χρησιμοποιήστε τα βέλη άνω και κάτω των αριθμητήρων

β ) Εναλλακτικά εγγράψετε αριθμητικά τις τιμές και πιέσετε απαραίτητα Enter .

☛ ΠΡΟΣΟΧΗ : Για την ενεργοποίηση των μεταβολών των συντελεστών του ελεγκτή *PID* πιέστε απαραίτητα το κομβίο Trigger

◆ Λήψη μετρήσεων :

- 1 ) Πρίν πιέσετε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας , σημειώστε στον Πίνακα 1 τις μετρήσεις από :
  - 1α ) Την τιμή εξόδου C.O του ελεγκτή
  - 1β ) Το άνοιγμα  $\gamma\%$  της ηλεκτροβάνας
  - 1γ ) Την παροχή  $Q_{in}$  προς την δεξαμενή.
- 2 ) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF ) και απευθείας το κομβίο PAUSE , ώστε να καταγράψουμε στον Πίνακα 2 , για χρόνο  $t = 0^+$  :
  - 2α ) Την μέτρηση του πραγματικού χρόνου  $t$  διακοπής της διεργασίας
  - 2β ) Την τιμή της εκροής  $Q_r(t)$
- 3 ) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 4 ) Διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στα χρονικά διαστήματα  $t$  όπως στον Πίνακα 2 και σημειώνουμε τις αντίστοιχες τιμές .
- 5 ) Όταν η  $Q_r(t)$  λάβει την τελική της τιμή  $Q_r(\infty)$  , σημειώστε στον Πίνακα 1
  - 5α ) Την τιμή εξόδου C.O του ελεγκτή
  - 5β ) Το άνοιγμα  $\gamma\%$  της ηλεκτροβάνας
  - 5γ ) Την παροχή  $Q_{in}$  προς την δεξαμενή
- 6 ) Πιέστε το κομβίο διακοπής λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF )
- 7 ) Μεταβάλετε το αναλογικό κέρδος του ελεγκτή σε  $K_p = 3$
- 8 ) Επαναλάβετε τα βήματα 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6
- 9 ) Ρυθμίστε το αναλογικό κέρδος του ελεγκτή σε  $K_p = 5$
- 10 ) Επαναλάβετε τα βήματα 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6

Δεδομένα					
I	C	R	Qmax	Kv	SP
Υδραυλική Αδράνεια	Υδραυλική Χώρηση	Υδραυλική Αντίσταση	Μέγιστη Παροχή Η/Β	Κέρδος Ηλεκτροβάνας	Επιθυμητή Τιμή
Nt*sec <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	m <sup>5</sup> /Nt	Nt*sec/m <sup>5</sup>	m <sup>3</sup> /sec	[ ]	Nt/m <sup>2</sup>
18 10 <sup>^6</sup>	2 10 <sup>^-6</sup>	9 10 <sup>^6</sup>	0,01	1	0,005

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για Kp=1					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για Kp=3					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για Kp=5					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)

Πίνακας 1

t	Δια Κρ=1		Δια Κρ=3		Δια Κρ=5	
	t	Qr	t	Qr	t	Qr
kT	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec
0+						
50						
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						
450						
500						
550						
600						
650						
700						
750						
800						
850						
900						
950						
1000						

Πίνακας 2

### Άσκηση για το σπίτι :

- 1 ) Υπολογίστε με βάσει την συνάρτηση μεταφοράς του Σχ. 6 για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή :
  - 1α ) τον συντελεστή κέρδους  $K \equiv K_{dp}$  , του ανοικτού συστήματος ελέγχου
  - 1β ) τον χαρακτηριστικό χρόνο  $T_n$
  - 1γ ) τον συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$
  - 1δ ) την τελική τιμή της  $Q_r(t)$
  - 1ε ) το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$
  - 1ζ ) το εκατοστιαίο σφάλμα  $E\% = \frac{SP - Q_r(t)}{SP} \cdot 100\%$
- 2 ) Με βάση τα δεδομένα και τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , να υπολογίσετε τα άνω και κάτω όρια λειτουργίας ,  $C.O_{max}$  και  $C.O_{min}$  του ελεγκτή .
- 3 ) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , να αποδείξετε ότι για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή , είναι  $C.O = K_p \cdot SP$  , μέχρι να φθάσει η έξοδος του ελεγκτή την μέγιστη τιμή της , δηλαδή  $C.O \equiv C.O_{max}$  .
- 4 ) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , να αποδείξετε ότι για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή , είναι  $Q_{in} = K_v \cdot C.O$  μέχρι να φθάσει η παροχή της ηλεκτροβάνας την μέγιστη τιμή της , δηλαδή  $Q_{in} \equiv Q_{max}$  .
- 5 ) Σε χαρτί μιλιμετρέ με άξονες ίδιους με αυτούς της άσκησης , χαράξτε μαζί τα γραφήματα της χρονικής απόκρισης της παροχής  $Q_{out}(t)$  , για κάθε μία από τις διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή . Οι κλίμακες των αξόνων να είναι για τον χρόνο  $t=0 \sim 1000$  Ticks και για την ροή  $Q_r(t) = 0 \sim 0,0100$  m<sup>3</sup>/sec.
- 6 ) Βρείτε γραφικά για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή , το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$  .

Λύσεις - Άσκησης 5

Δεδομένα					
I	C	R	Q <sub>max</sub>	K <sub>v</sub>	SP
Υδραυλική Αδράνεια	Υδραυλική Χώρηση	Υδραυλική Αντίσταση	Μέγιστη Παροχή Η/Β	Κέρδος Ηλεκτροβάνας	Επιθυμητή Τιμή
Nt <sup>2</sup> sec <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	m <sup>5</sup> /Nt	Nt <sup>2</sup> sec/m <sup>5</sup>	m <sup>3</sup> /sec	[ ]	Nt/m <sup>2</sup>
18 10 <sup>-6</sup>	2 10 <sup>-6</sup>	9 10 <sup>-6</sup>	0,01	1	0,003

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =1					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)
0,003	30%	0,003	0,003	30	0,003

$P_c(\infty)$   
Nt/m<sup>2</sup>  
26960

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =3					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)
0,009	90	0,009	0,009	90	0,009

$P_c(\infty)$   
80885

Μετρήσεις Ανοικτού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =5					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)
0,01	100	0,01	0,01	100	0,01

Εικόνα 21 - Άσκηση 5, Πίνακας 1

t	Δια Κρ=1		Δια Κρ=3		Δια Κρ=5	
	t	Qr	t	Qr	t	Qr
kT	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec
0+	7	0,00002	6	0,00005	6	0,00004
50	52	0,00053	49	0,00142	54	0,00181
100	104	0,00112	104	0,00357	104	0,00393
150	173	0,00183	157	0,00511	155	0,00560
200	204	0,00204	204	0,00611	204	0,00677
250	254	0,00230	256	0,00692	266	0,00782
300	305	0,00249	302	0,00745	305	0,0083
350	359	0,00264	355	0,00789	357	0,00878
400	404	0,00273	405	0,00819	404	0,00909
450	455	0,0028	457	0,00842	458	0,00936
500	504	0,00286	504	0,00857	504	0,00952
550	556	0,0029	559	0,00870	559	0,00966
600	605	0,00293	605	0,00878	605	0,00975
650	654	0,00295	654	0,00884	656	0,00982
700	705	0,00296	706	0,00888	705	0,00987
750	762	0,00297	756	0,00892	755	0,0099
800	803	0,00298	806	0,00894	806	0,00993
850	854	0,00299	855	0,00896	858	0,00995
900	904	0,00299	904	0,00897	909	0,00996
950	954	0,00299	958	0,00898	954	0,00997
1000	1001	0,00299	1005	0,00898	1004	0,00998

Εικόνα 22 – Άσκηση 4, Πίνακας 2

$$Qr(s) = \frac{Kop}{ICs^2 + RCs + 1} \cdot SP(s)$$



$$Kop = Kp \cdot Kv, Kv = 1 \Rightarrow Kop = Kp$$

$$C = 2 \cdot 10^{-6} m^5 / Nt$$

$$R = 9 \cdot 10^6 Nt \text{ sec} / m^5$$

$$I = 18 \cdot 10^6 Nt \text{ sec}^2 / m^5$$

$$SP = 0.003$$

$$SP(s) = \frac{0.003}{s}$$

$$Qr(s) = \frac{Kp}{36s^2 + 18s + 1} \cdot SP(s) \Rightarrow Qr(s) = \frac{0.002 Kp}{s(36s^2 + 18s + 1)}$$

### Ερώτημα 1α

$$Kop = Kp = 1 \text{ ή } 3 \text{ ή } 5$$

### Ερώτημα 1β

$$Tn = \sqrt{36} = 6 \text{ sec ή } 60 \text{ ticks}$$

### Ερώτημα 1γ

$$j = \sqrt{\frac{18}{2 \cdot 6}} = 1.5$$

### Ερώτημα 1δ

$$Qr(t) = \lim_{t \rightarrow \infty} s \cdot \frac{0.003 \cdot Kp}{s(36s^2 + 18s + 1)} = 0.03Kp$$

άρα

$$Qr(\infty) = 0.003 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ για } Kp = 1$$

$$Qr(\infty) = 0.009 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ για } Kp = 3$$

$$Qr(\infty) = 0.01 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ για } Kp = 5$$

$$\text{γιατί } Q_{max} = 0.01 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ παρ'όλοπου } 0.03 \cdot 5 = 0.015 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 1ε

$$E_{5S} = SP - Qr(\infty) = (1 - Kp)SP = 0 \text{ για } Kp = 1$$

$$= 0.006 \text{ για } Kp = 3$$

$$= 0.012 \text{ για } Kp = 5$$

Όμως

$$Qr(\infty) \text{ για } Kp = 5 \text{ είναι } 0,01 \text{ m}^3/\text{sec} \Rightarrow E_{5S} Kp = 5 = 0.007 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 1ζ

$$E\% = \frac{SP - Qr(\infty)}{SP} \cdot 100\% = \frac{SP - SP \cdot Kp}{SP} \cdot 100\% = [1 - Kp](100\%)$$

$$E\% = -200\% \text{ ή } -400\% \text{ για } Kp = 3 \text{ ή } 5 \text{ αντίστοιχα}$$

$$\text{για } Kp = 1 \text{ } E\% = 0$$

### Ερώτημα 2

Με βάση το διάγραμμα του Σχήματος 4 (σελ. 88)

$$Q_{in} = SP \cdot Kp \cdot Kv$$

$$C.O. = SP \cdot Kp$$

$$Q_{in} = Kv \cdot C.O. \Rightarrow C.O. = \frac{Q_{in}}{Kv} \text{ όπου } Kv = 1 \Rightarrow C.O. = Q_{in}$$

Επομένως το  $C.O.$  παίρνει τις μέγιστες και ελάχιστες τιμές του  $Q_{in}$  ⇒

$$C.O._{min} = 0.003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$C.O._{max} = 0.01 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 3

Βάση του ερωτήματος (2) αποδείξαμε ότι  $C.O. = Q_{in} \Rightarrow C.O. = Kp \cdot SP \cdot Kv$  όπου  $Kv = 1 \Rightarrow C.O. = Kp \cdot SP$  με  $C.O._{max} = 0.01 \text{ m}^3/\text{sec}$

Αυτό αποδεικνύεται και από τις μετρήσεις του πίνακα 1 όπου

$$\text{για } Kp = 1 \text{ είναι } C.O. = 1 \cdot 0.003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{για } Kp = 3 \text{ είναι } C.O. = 0.009 \text{ m}^3/\text{sec} = 3 \cdot 0.003 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ και}$$

$$\text{για } Kp = 5 \text{ είναι } C.O. = 0.003 \cdot 5 = 0,015 \text{ m}^3/\text{sec} > C.O._{max} \Rightarrow C.O. = C.O._{max} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 4

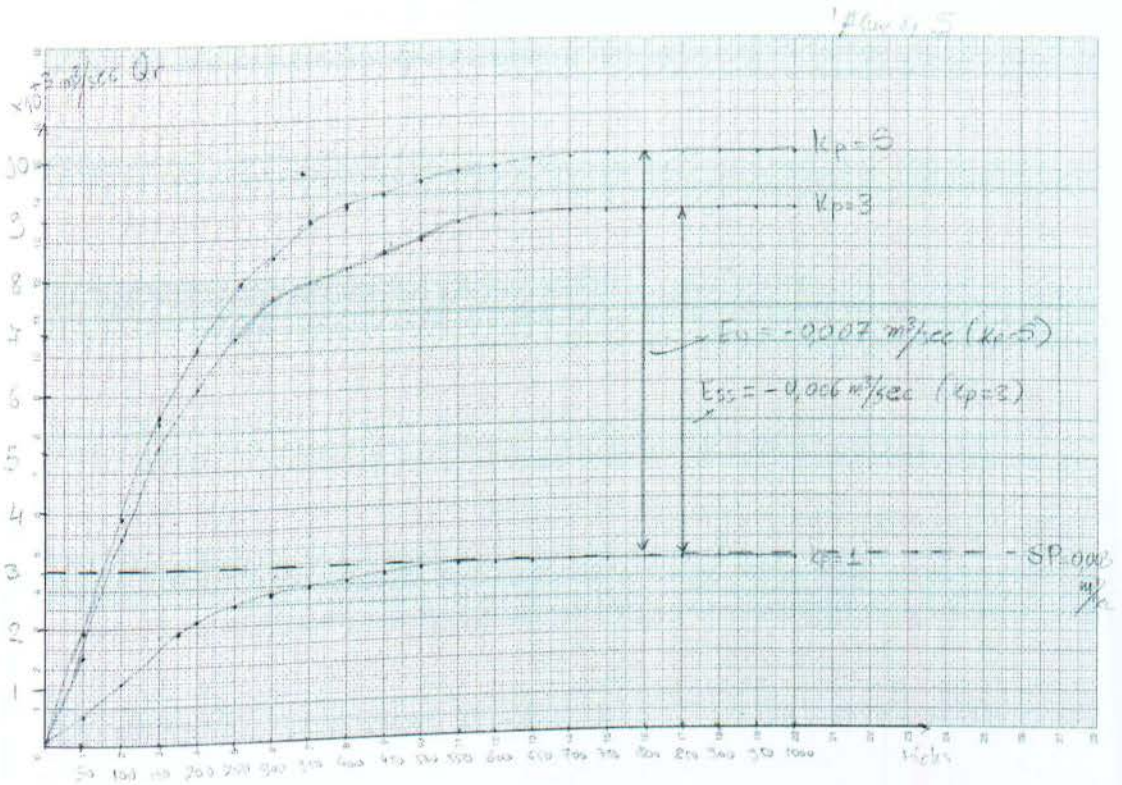
$Q_{in} = Kv \cdot C.O.$  όπως φαίνεται στο διάγραμμα του Σχήματος 4 με  $Kv = 1$  για την άσκηση

$$\text{για } Kp = 1 \Rightarrow C.O. = 0.003 \text{ m}^3/\text{sec} \text{ (από ερώτημα 3)} \Rightarrow Q_{in} = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{για } Kp = 3 \Rightarrow C.O. = 0.009 \text{ m}^3/\text{sec} \Rightarrow Q_{in} = 0,009 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{για } Kp = 5 \Rightarrow C.O. = 0.01 \text{ m}^3/\text{sec} \Rightarrow Q_{in} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec} = Q_{in,max} \text{ δηλαδή φτάνει την μέγιστη τιμή της και δεν την ξεπερνά πα' όλο που } C.O. = 0.003 \cdot 5 = 0,015 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Ερώτημα 5



Εικόνα 23 - Άσκηση 5, Γράφημα Ερωτήματος 5

## Άσκηση 6

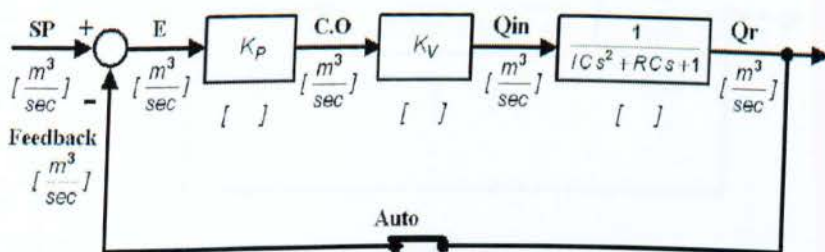
### Κλειστό Σύστημα Ελέγχου Διεργασίας Β' Τάξης

Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Δημιουργία του διαγράμματος βαθμίδων, ενός συστήματος κλειστού βρόχου ελέγχου μιας υδραυλικής διεργασίας Β' τάξης. Εύρεση της συνάρτησης μεταφοράς του συστήματος ρύθμισης (ελέγχου). Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και υπολογισμός των ποσοτικών χαρακτηριστικών ενός κλειστού συστήματος ελέγχου.

**Θεωρία :** Η θεμελιώδης διαφορά μεταξύ των συστημάτων ανοικτού και κλειστού βρόχου ελέγχου, είναι ότι το κλειστό σύστημα έχει την ιδιότητα του αυτοελέγχου, δηλαδή μπορεί να διαπιστώνει κατά την διάρκεια του ελέγχου την ποιότητα του ελέγχου που πραγματοποιήσε και επεμβαίνει ώστε να διορθώσει τον έλεγχο αυτό.

Το διάγραμμα βαθμίδων του Σχ.1 μας δείχνει ότι στην περίπτωση της αυτόματης λειτουργίας, ο διακόπτης στον κλάδο ανατροφοδότησης είναι κλειστός.



Σχήμα 1

Η τιμή της ρυθμιζόμενης μεταβλητής της διεργασίας  $P_V$ , που στην περίπτωση της άσκησης είναι η εκροή του αγωγού  $Q_r$ , μετράτε μέσω του οργάνου και επιστρέφει στον ελεγκτή σαν σήμα ανατροφοδότησης (Feedback).

Η σύγκριση της επιθυμητής τιμής (SP) της  $Q_r$  με την πραγματική μετρούμενη τιμή της, δημιουργεί το σήμα απόκλισης  $E (= Error)$  με το οποίο ο ελεγκτής υπολογίζει την τιμή του σήματος εξόδου του C.O (= Controller Output).

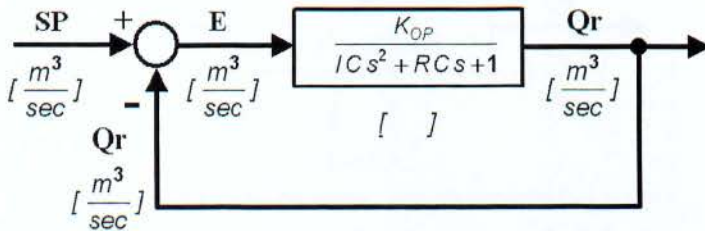
Το σήμα C.O τροφοδοτεί το τελικό στοιχείο ρύθμισης, που είναι μία αναλογική ηλεκτροβάννα, της οποίας ο μηχανισμός ενεργοποίησης μεταβάλλει ανάλογα το ποσοστό ανοίγματος ( $\gamma\%$ ) της ηλεκτροβάννας. Το γινόμενο του ποσοστού ανοίγματος  $\gamma\%$  επί την μέγιστη παροχή  $Q_m$  της ηλεκτροβάννας μας δίνει την στιγμιαία τιμή της εισροής  $Q_{in}$  προς την δεξαμενή. Με τον τρόπο αυτό η H/B 'χειρίζεται' την μεταβλητή εισόδου της διεργασίας  $P_{in}$  και συνεπώς δρα για τον καθορισμό του ρυθμού με τον οποίο θα συνεχισθεί η διεργασία.

Στο Σχ. 1 απεικονίζεται το διάγραμμα βαθμίδων του συστήματος για την περίπτωση αναλογικής ρύθμισης, δηλαδή όταν η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι:  $G_C = K_P$

Θεωρούμαι ότι οι σταθερά του οργάνου μέτρησης  $T_m$  και της ηλεκτροβάνας  $T_v$  είναι πολύ μικρότερες από την σταθερά χρόνου  $T$  της ίδιας της διεργασίας και άρα είναι δυνατόν να παραλειφθούν. Η φυσική ερμηνεία της παραδοχής αυτής είναι ότι τόσο το όργανο μέτρησης (ροόμετρο) όσο και το τελικό στοιχείο ρύθμισης (ηλεκτροβάνα) έχουν μεγάλη ευαισθησία, σε τρόπο ώστε το σήμα εξόδου τους να ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου, οπότε είναι  $G_m = 1$  και  $G_v = K_V$  αντίστοιχα.

Ο αριθμητής  $K_P * K_V$  της συνάρτησης μεταφοράς της βαθμίδας διεργασίας, αντιστοιχεί στην ολική ενίσχυση του σήματος δια του ανοικτού βρόγχου και χαρακτηρίζεται ως ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$  (Open Loop Gain).

Η ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{OP} = K_P * K_V$  είναι αδιάστατος αριθμός, δεδομένου ότι προκύπτει από το γινόμενο όλων των συναρτήσεων μεταφοράς του βρόγχου.



Σχήμα 2

Από το παραπάνω Σχ. 2 προκύπτει ότι η συνολική συνάρτηση μεταφοράς της ρυθμιζόμενης διεργασίας, με έξοδο την ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  και είσοδο την επιθυμητή τιμή της  $SP$  θα είναι:

$$G_{CL} = \frac{K_{OP}}{1 + \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1}} \Rightarrow G_{CL} = \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}}$$

$$G_{CL} = \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}} \Rightarrow G_{CL} = \frac{\frac{K_{OP}}{1 + K_{OP}}}{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}}$$

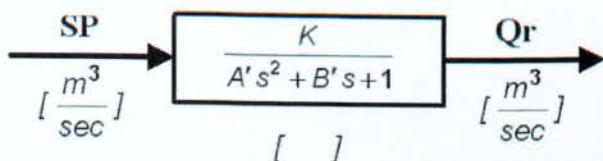
Θέτουμε :  $K = \frac{K_{OP}}{1+K_{OP}}$  ,  $A' = \frac{IC}{1+K_{OP}}$  ,  $T' = \sqrt{\frac{IC}{1+K_{OP}}}$  ,  $B' = \frac{RC}{1+K_{OP}}$

Άρα θα έχουμε :  $G_{CL} = \frac{K}{A' s^2 + B' s + 1}$  (1)

Συνεπώς το σύστημα ρύθμισης είναι δευτέρου βαθμού, με φυσική συχνότητα χωρίς απόσβεση :  $\omega_n' = \sqrt{\frac{1+K_{OP}}{IC}}$  και σταθερά απόσβεσης  $\zeta' = \frac{1}{2} \frac{RC}{\sqrt{IC} \sqrt{1+K_{OP}}}$

Από την συνάρτηση μεταφοράς  $G_{CL}$  προκύπτει το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 3, οπότε έχουμε ότι η απόκριση του συστήματος δίδεται από την σχέση :

$Q_r(s) = \frac{K}{A' s^2 + B' s + 1} * SP(s)$  (2)



Σχήμα 3

Στην περίπτωση του ανοικτού συστήματος, από την συνάρτηση  $G_{OP}$  έχουμε :

$G_{OP} = \frac{K_{OP}}{As^2 + Bs + 1}$  όπου  $A = IC \Rightarrow T_n = \sqrt{IC}$  και  $B = RC$ , με φυσική

συχνότητα χωρίς απόσβεση  $\omega_n = \sqrt{\frac{1}{IC}}$  και σταθερά απόσβεσης  $\zeta = \frac{1}{2} \frac{RC}{\sqrt{IC}}$  (3)

Στην περίπτωση του κλειστού συστήματος, από τις (1), (3) έχουμε ότι

$\omega_n' = \omega_n * \sqrt{1+K_{OP}}$  ή  $T_n' = \frac{T_n}{\sqrt{1+K_{OP}}}$  και  $\zeta' = \frac{\zeta}{\sqrt{1+K_{OP}}}$

Όσον αυξάνεται το αναλογικό κέρδος  $K_p$  του ελεγκτή άρα η ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{op} = K_p * K_v$ , τόσο αυξάνεται η φυσική συχνότητα χωρίς απόσβεση  $\omega_n'$ , ενώ η περίοδος των αποσβεννύμενων ταλαντώσεων  $T_d'$  μειώνεται και είναι :

$T_d' = \frac{2\pi * T_n'}{\sqrt{1-\zeta'^2}} \Rightarrow T_d' = \frac{2\pi * \frac{T_n}{\sqrt{1+K_{op}}}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\zeta}{\sqrt{1+K_{op}}}\right)^2}} \Rightarrow T_d' = \frac{2\pi * T_n}{\sqrt{1+K_{op} - \zeta^2}}$

Επίσης ελαττώνεται η σταθερά απόσβεσης  $\zeta'$ , πράγμα που σημαίνει ότι αυξάνεται ο αριθμός των ταλαντώσεων, έως ότου το σύστημα ισορροπήσει στην τελική του τιμή.

Σε περίπτωση βηματικής αλλαγής της επιθυμητή τιμής  $SP$ , η συνολική απόκριση της ρυθμιζόμενης διεργασίας δίδεται από την σχέση:

$$Q_r(s) = \frac{K}{A's^2 + B's + 1} * \frac{SP}{s} \quad \text{και το σύστημα ισορροπεί στην τελική τιμή:}$$

$$Q_r(t) = Q_r(s) = \frac{K}{A's^2 + B's + 1} * \frac{SP}{s} * s = Q_r(\infty) = K * SP = \frac{K_{OP}}{1 + K_{OP}} * SP$$

$$t \rightarrow \infty \quad s \rightarrow 0 \quad s \rightarrow 0$$

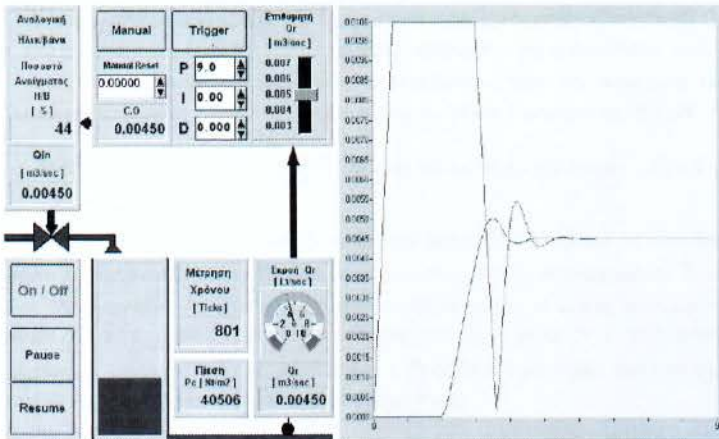
Άρα για στην περίπτωση του κλειστού συστήματος έχουμε:

$$E_{ss} = SP - Q_r(\infty) = SP - K * SP = SP * \left(1 - \frac{K_{OP}}{1 + K_{OP}}\right) = SP * \frac{1}{1 + K_{OP}} \quad (4)$$

Δηλαδή το μόνιμο σφάλμα  $E_{ss}$  θα ελαττώνεται όσο αυξάνεται το κέρδος του ανοικτού βρόχου  $K_{OP}$ , δηλαδή το αναλογικό κέρδος του ελεγκτή  $K_P$ .

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική CLOSED.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα (Run -> Start).

Στο κάτωθι Σχ. 4 έχουμε μία υδραυλική διεργασία, στην οποία θέλουμε να ελέγξουμε την ροή εξόδου  $Q_r$ , δηλαδή επιλέγουμε ως ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_V$  την εκροή  $Q_r$ .



Σχήμα 4



Τα στοιχεία της ρυθμιζόμενης διεργασίας είναι :

- A )** Η υδραυλική διεργασία καθαυτή η οποία αποτελείται από δεξαμενή με υδραυλικήχώρηση  $C$  , που τροφοδοτεί την κατανάλωση μέσω ενός αγώνου εκροής ο οποίος παρουσιάζει υδραυλική αντίσταση  $R$  αλλά και υδραυλική αδράνεια  $I$  , δηλαδή η υδραυλική διεργασία είναι 2<sup>ου</sup> βαθμού και η συνάρτηση μεταφοράς της είναι :

$$G_P = \frac{1}{ICs^2 + RCs + 1}$$

- B )** Το τελικό στοιχείο ρύθμισης που είναι μία αναλογική ηλεκτροβάνα , της οποίας ο μηχανισμός ενεργοποίησης δέχεται το σήμα  $C.O$  από την έξοδο του ελεγκτή και μεταβάλλει ανάλογα το ποσοστό ανοίγματος (  $\gamma\%$  ) της ηλεκτροβάνας . Έχουμε την μέγιστη παροχή  $Q_{max}$  της ηλεκτροβάνας όταν είναι εντελώς ανοικτή (  $\gamma = 100\%$  ) , και την ελάχιστη παροχή  $Q_{min}$  όταν είναι εντελώς κλειστή (  $\gamma = 0\%$  ) .

☞ Η ηλεκτροβάνα επιλέγεται έτσι ώστε , να έχει παροχή  $Q_{max}$  διπλάσια από την επιθυμητή τιμή  $SP$  της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  , συνεπώς να εργάζεται στο γραμμικό τμήμα λειτουργίας της ώστε να ελέγχει την διεργασία αναλογικά , σε σχέση με το σήμα εξόδου του ελεγκτή .

Θεωρούμε ότι η σταθερά χρόνου της ηλεκτροβάνας  $T_v$  είναι πολύ μικρότερη από την σταθερά χρόνου  $T$  της ίδιας της διεργασίας και άρα μπορεί να παραλειφθεί . Η φυσική ερμηνεία της παραδοχής αυτής είναι η ηλεκτροβάνα έχει μεγάλη ευαισθησία , σε τρόπο ώστε το σήμα εξόδου της  $Q_m$  , να είναι ανάλογο του σήματος εισόδου  $C.O$  , οπότε είναι και  $G_v = K_v$  . Ο συντελεστής κέρδους  $K_v$  της ηλεκτροβάνας είναι ο λόγος της λειτουργικής παροχής της ηλεκτροβάνας , προς την αντίστοιχη τιμή ηλεκτρικού σήματος εισόδου που είναι συνήθως 4 ~ 20 mA ή εναλλακτικά 0 ~ 10V .

Άρα :  $K_v = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{20 - 4} \frac{m^3/sec}{mA}$  και είναι δεδομένος για την άσκηση ,  $K_v = 1$

- Γ )** Το όργανο μέτρησης της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  . Θεωρούμε ότι η σταθερά χρόνου του οργάνου μέτρησης  $T_m$  είναι πολύ μικρότερη από την σταθερά χρόνου  $T$  της ίδιας της διεργασίας και άρα είναι δυνατόν να παραλειφθεί . Η φυσική ερμηνεία της παραδοχής αυτής είναι ότι το όργανο μέτρησης της  $Q_r$  ( ροόμετρο ) έχει μεγάλη ευαισθησία , σε τρόπο ώστε το σήμα εξόδου ( *Feedback* ) ακολουθεί πιστά το σήμα εισόδου  $P_v$  , οπότε είναι  $G_m = 1$  άρα *Feedback*  $= Q_r$

Δ ) Τον ρυθμιστή που αποτελείται από τα εξής 3 στοιχεία :

- δ1 ) ποτενσιόμετρο μεταβολής της επιθυμητής τιμής ( $SP$ ) της εκροής  $Q_r$
- δ2 ) συγκριτή με έξοδο την ρυθμιστική απόκλιση  $E = SP - Feedback = SP - Q_r$
- δ3 ) ελεγκτή 3 όρων ( Ελεγκτής PID ), ο οποίος με βάση την ρυθμιστική απόκλιση ή άλλως σφάλμα  $E$  παράγει το κατάλληλο σήμα για τον έλεγχο της Η/Β .

♦ Αρχικές ρυθμίσεις :

Α ) Έχουμε την υδραυλική διεργασία η οποία αποτελείται από :

- A1 ) Δεξαμενή με υδραυλική χωρησία  $C = 0,000.002 \text{ m}^3/\text{Nt}$
- A2 ) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R = 9.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}/\text{m}^5$
- A3 ) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I = 18.000.000 \text{ Nt}^* \text{sec}^2/\text{m}^5$

Β ) Ρυθμίστε την επιθυμητή τιμή  $Q_r$  της εκροής  $SP = 0.0030 \text{ m}^3/\text{sec}$  .

Γ ) Έχουμε επιλέξει ηλεκτροβάνα με μέγιστη παροχή  $Q_{max} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$  και  $K_v = 1$

Δ ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία , με κέρδος  $K_p = 1$  , δηλαδή :

- δ1 ) ΔΕΝ ενεργοποιείτε το πλήκτρο λειτουργίας **Manual** του ελεγκτή , οπότε έχουμε κλειστό τον βρόγχο ανατροφοδότησης ( κλειστό σύστημα ελέγχου ) . Η συνάρτηση μεταφοράς  $G_C$  του ελεγκτή λόγω της αναλογικής ρύθμισης , είναι ίση με το αναλογικό κέρδος  $K_p$  του ελεγκτή , άρα  $G_C \equiv K_p$  .

Στην οθόνη το σήμα εξόδου του ελεγκτή **C.O** έχει χρώμα κίτρινο .

- δ2 ) Μεταβάλετε τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P = 1$
- δ3 ) Μηδενίστε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  , δηλαδή θέσατε  $I = 0$
- δ4 ) Μηδενίστε τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή θέσατε  $D = 0$

☞ ΠΡΟΣΟΧΗ : Για τις μεταβολές των συντελεστών του ελεγκτή **PID** ,

- α ) Χρησιμοποιήστε τα βέλη άνω και κάτω των αριθμητήρων
- β ) Εναλλακτικά εγγράψετε αριθμητικά τις τιμές και πιέσετε απαραίτητα Enter .

☞ ΠΡΟΣΟΧΗ : Για την ενεργοποίηση των μεταβολών των συντελεστών του ελεγκτή **PID** πιέσετε απαραίτητα το κομβίο Trigger

◆ Λήψη μετρήσεων :

- 1) Πρίν πιέσετε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας , σημειώστε στον Πίνακα 1 τις μετρήσεις από :
  - 1α) Την τιμή εξόδου C.O του ελεγκτή
  - 1β) Το άνοιγμα  $\gamma\%$  της ηλεκτροβάνας
  - 1γ) Την παροχή  $Q_m$  προς την δεξαμενή.
- 2) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF ) και απευθείας το κομβίο PAUSE , ώστε να καταγράψουμε στον Πίνακα 2 , για χρόνο  $t = 0^+$  :
  - 2α) Την μέτρηση του πραγματικού χρόνου  $t$  διακοπής της διεργασίας
  - 2β) Την τιμή της εκροής  $Q_r(t)$
- 3) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 4) Διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στα χρονικά διαστήματα  $t$  όπως στον Πίνακα 2 και σημειώνουμε τις αντίστοιχες τιμές .
- 5) Όταν η  $Q_r(t)$  λάβει την τελική της τιμή  $Q_r(\infty)$  , σημειώστε στον Πίνακα 1
  - 5α) Την τιμή εξόδου C.O του ελεγκτή
  - 5β) Το άνοιγμα  $\gamma\%$  της ηλεκτροβάνας
  - 5γ) Την παροχή  $Q_m$  προς την δεξαμενή
- 6) Πιέστε το κομβίο διακοπής λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF )
- 7) Μεταβάλετε το αναλογικό κέρδος του ελεγκτή σε  $K_p = 3$
- 8) Επαναλάβετε τα βήματα 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6
- 9) Ρυθμίστε το αναλογικό κέρδος του ελεγκτή σε  $K_p = 5$
- 10) Επαναλάβετε τα βήματα 1 , 2 , 3 , 4 , 5 , 6

Δεδομένα					
I	C	R	Q <sub>max</sub>	K <sub>v</sub>	SP
Υδραυλική Αδράνεια	Υδραυλική Χώρηση	Υδραυλική Αντίσταση	Μέγιστη Παροχή Η/Β	Κέρδος Ηλεκτροβάνας	Επιθυμητή Τιμή
Nt <sup>2</sup> sec <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	m <sup>5</sup> /Nt	Nt <sup>2</sup> sec/m <sup>5</sup>	m <sup>3</sup> /sec	[ ]	Nt/m <sup>2</sup>
18 10 <sup>-6</sup>	2 10 <sup>-6</sup>	9 10 <sup>-6</sup>	0,01	1	0,005

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =1					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =3					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για K <sub>p</sub> =5					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Q <sub>in</sub> (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Q <sub>in</sub> (∞)

Πίνακας 1

t	Δια Κρ=1		Δια Κρ=3		Δια Κρ=5	
	t	Qr	t	Qr	t	Qr
κΤ	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec
0+						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
330						
360						
390						
420						
450						
480						
510						
540						
570						
600						

Πίνακας 2

### Άσκηση για το σπίτι :

- 1) Υπολογίστε με βάση την συνάρτηση μεταφοράς του Σχ. 6 για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή :
  - 1α) τον συντελεστή κέρδους  $K = \frac{K_{op}}{1 + K_{op}}$ , του κλειστού συστήματος ελέγχου
  - 1β) τον χαρακτηριστικό χρόνο  $T_n$
  - 1γ) τον συντελεστή απόσβεσης  $\zeta$
  - 1δ) την τελική τιμή της  $Q_r(t)$
  - 1ε) το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$
  - 1ζ) το εκατοστιαίο σφάλμα  $E\% = \frac{SP - Q_r(t)}{SP} \cdot 100\%$
- 2) Με βάση τα δεδομένα και τις μετρήσεις του Πίνακα 1, να υπολογίσετε τα άνω και κάτω όρια λειτουργίας,  $C.O_{max}$  και  $C.O_{min}$  του ελεγκτή.
- 3) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1, να αποδείξετε ότι για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, είναι  $C.O = K_p \cdot SP$ , μέχρι να φθάσει η έξοδος του ελεγκτή την μέγιστη τιμή της, δηλαδή  $C.O \equiv C.O_{max}$
- 4) Με βάση τις μετρήσεις του Πίνακα 1, να αποδείξετε ότι για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, είναι  $Q_{in} = K_v \cdot C.O$  μέχρι να φθάσει η παροχή της ηλεκτροβάνας την μέγιστη τιμή της, δηλαδή  $Q_{in} \equiv Q_{max}$
- 5) Σε χαρτί μιλιμετρέ με άξονες ίδιους με αυτούς της άσκησης, χαράξτε μαζί τα γραφήματα της χρονικής απόκρισης της παροχής  $Q_{out}(t)$ , για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή. Οι κλίμακες των αξόνων να είναι για τον χρόνο  $t=0 \sim 600$  Τicks και για την ροή  $Q_r(t) = 0 \sim 0,0100$  m<sup>3</sup>/sec.
- 6) Βρείτε γραφικά για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$ .
- 7) Βρείτε γραφικά για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, την υπέρβαση  $\nu$
- 8) Υπολογίστε την ζώνη σφάλματος  $e\% = 2\%$  για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή.

- 9 ) Βρείτε γραφικά για κάθε μία από τις 3 διαφορετικές τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  αφού πρώτα χαράξετε την αντίστοιχη ζώνη σφάλματος  $\varepsilon\% = 2\%$
- 10 ) Πως επιδρά η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή στην τελική τιμή της  $Q_r(t)$  ; Αποδείξτε την απάντησή σας βάσει των τύπων .
- 11 ) Πως επιδρά η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή στο μόνιμο σφάλμα  $E_{ss}$  ; Αποδείξτε την απάντησή σας βάσει των τύπων .
- 12 ) Πως επιδρά η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή στην υπέρβαση  $\nu$  ; Δικαιολογήστε την απάντησή σας βάσει των μετρήσεων του Πίνακα 2 .
- 13 ) Πως επιδρά η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή στον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  ; Δικαιολογήστε την απάντησή σας βάσει των μετρήσεων του Πίνακα 2 .
- 14 ) Συγκρίνετε για τις 3 τιμές αναλογικού κέρδους  $K_p$  , τις αντίστοιχες τιμές της σταθερής απόσβεσης  $\zeta$  . Πως επιδρά η αύξηση του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή στην σταθερά απόσβεσης  $\zeta$  ; Δικαιολογήστε βάσει των τύπων , γιατί αρχίζουν να εμφανίζονται αποσβενύμενες ταλαντώσεις στην χρονική απόκριση της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r(t)$  , όσο αυξάνουμε το αναλογικό κέρδος  $K_p$  .

Λύσεις - Άσκησης 6

Δεδομένα					
I	C	R	Qmax	Kv	SP
Υδραυλική Αδράνεια	Υδραυλική Χώρηση	Υδραυλική Αντίσταση	Μέγιστη Παροχή Η/Β	Κέρδος Ηλεκτροβάνας	Επιθυμητή Τιμή
Nt*sec <sup>2</sup> /m <sup>5</sup>	m <sup>5</sup> /Nt	Nt*sec/m <sup>5</sup>	m <sup>3</sup> /sec	[ ]	Nt/m <sup>2</sup>
18 10 <sup>-6</sup>	2 10 <sup>-6</sup>	9 10 <sup>-6</sup>	0,01	1	0,005

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για Kp=1					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)
0,003	30	0,003	0,0015	14	0,00150

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για Kp=3					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)
0,009	90	0,009	0,00225	22	0,00225

Μετρήσεις Κλειστού Συστήματος Ελέγχου για Kp=5					
C.O (t=0)	γ% (t=0)	Qin (t=0)	C.O (t=∞)	γ% (t=∞)	Qin(∞)
0,01	100	0,01	0,0025	24	0,0025

Εικόνα 24 - Άσκηση 6, Πίνακας 1



t	Δια Κρ=1		Δια Κρ=3		Δια Κρ=5	
	t	Qr	t	Qr	t	Qr
kT	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec
0+	7	0,00007	9	0,00009	7	0,00005
30	32	0,00026	31	0,00027	34	0,00027
60	63	0,00068	65	0,00071	63	0,00212
90	97	0,0012	95	0,00217	95	0,00270
120	124	0,00114	122	0,00231	122	0,00276
150	158	0,0013	152	0,00232	151	0,00259
180	182	0,00136	181	0,00225	180	0,00248
210	211	0,00141	213	0,00226	211	0,00247
240	245	0,00145	247	0,00225	244	0,00249
270	277	0,00147	269	0,00225	271	0,0025
300	304	0,00148	305	0,00225	303	0,0025
330	334	0,00149	333	0,00225	334	0,0025
360	361	0,00149	365	0,00225	364	0,0025
390	391	0,00150	395	0,00225	390	0,0025
420	425	0,00150	422	0,00225	424	0,0025
450	454	0,00150	454	0,00225	454	0,0025
480	482	0,00150	481	0,00225	483	0,0025
510	515	0,00150	513	0,00225	514	0,0025
540	554	0,00150	543	0,00225	542	0,0025
570	574	0,00150	569	0,00225	573	0,0025
600	602	0,00150	604	0,00225	601	0,0025

Εικόνα 25 – Άσκηση 6, Πίνακας 2

Ερώτημα 1

$$K_{op} = K_p \cdot K_v \text{ (openloopgain)}$$

$$G_{CL} = \frac{\frac{K_{op}}{1+K_{op}}}{\frac{IG_{s2} + RC_s + 1 + K_{op}}{1+K_{op}}}$$

κέρδος κλειστού βροχου

$$C = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m}^5 / N_t,$$

$$R = 9 \cdot 10^6 \text{ Nt}_{sec} / \text{m}^5,$$

$$I = 18 \cdot 10^6 \text{ Nt}_{sec} / \text{m}^5,$$

$$SP = 0,003 \text{ m}^3 / \text{sec}$$

$$Q_{max} = 0,01 \text{ m}^3 / \text{sec}, K_v = 1$$

### Ερώτημα 1α

$$K_{(K_p=1)} = \frac{K_{op}}{1+K_{op}} = \frac{K_p \cdot K_v}{1+K_p \cdot K_v} = \frac{1}{1+1} = 0,5$$

$$K_{(K_p=3)} = \frac{3}{4} = 0,75$$

$$K_{(K_p=5)} = \frac{5}{6} = 0,83$$

### Ερώτημα 1β

$$T_n = \frac{\sqrt{I_c}}{\sqrt{1+K_{op}}} = \frac{6}{\sqrt{1+K_{op}}} = \frac{6}{\sqrt{2}} = 4,24 \text{ sec } (K_p = 1)$$

$$T_n = \frac{6}{\sqrt{4}} = 3 \text{ sec } (K_p = 3)$$

$$T_n = \frac{6}{\sqrt{6}} = 2,45 \text{ sec } (K_p = 5)$$

### Ερώτημα 1γ

$$j = \frac{R_c}{2\sqrt{I_c}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+K_{op}}} = \frac{9}{6} \cdot \frac{1}{\sqrt{1+K_{op}}} = 1,5 \cdot \frac{1}{\sqrt{1+K_{op}}}$$

$$j = 1,06 \text{ για } K_p = 1$$

$$j = 0,75 \text{ για } K_p = 3$$

$$j = 0,61 \text{ για } K_p = 5$$

### Ερώτημα 1δ

$$Q_r(s) = \frac{K}{A's^2 + B's + 1} SP(s) \text{ (Σχέση (z) σε λ.103)}$$

Και  $SP(s) = \frac{SP}{s}$  οπότε η (z) γίνεται:

$$K_p = 1: Q_r(s) = \frac{0,5}{18s^2 + 9s + 1} \cdot \frac{SP}{s}$$

$$K_p = 3: Q_r(s) = \frac{0,75}{9s^2 + 4,5s + 1} \cdot \frac{SP}{s}$$

$$K_p = 5: Q_r(s) = \frac{0,83}{6s^2 + 3s + 1} \cdot \frac{SP}{s}$$

Από το θεώρημα τελικής τιμής:

$$Q_r(t) = Q_r(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{SP}{s} \cdot \frac{0,5}{18s^2 + 9s + 1} = 0,5 \cdot SP$$

$$\Rightarrow Q_r(\infty)_{(K_p=1)} = 0,5 \cdot SP = 0,0015 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Ομοίως

$$Q_r(\infty)_{(K_p=3)} = 0,003 \cdot 0,75 = 0,00225 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_r(\infty)_{(K_p=5)} = 0,003 \cdot 0,83 = 0,0025 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 1ε & 1ζ

$$E_{ss(K_p=1)} = 0,003 - 0,0015 = 0,0015 \text{ m}^3/\text{sec}, E\% = 50\%$$

$$E_{ss(K_p=3)} = 0,003 - 0,00225 = 0,00075 \text{ m}^3/\text{sec}, E\% = 25\%$$

$$E_{ss(K_p=5)} = 0,003 - 0,0025 = 0,0005 \text{ m}^3/\text{sec}, E\% = 16,7\%$$

### Ερώτημα 2

Από το διάγραμμα του σχήματος 1 έχουμε τα εξής:  $c \cdot 0 = (SP - Q_r) \cdot k_p$

$$K_p = 1: \text{για } t = 0 \quad Q_r = 0 \Rightarrow c \cdot 0_{max} = k_p \cdot SP = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{για } t = \infty \quad Q_r = 0,0015 \Rightarrow c \cdot 0_{min} = k_p(SP - Q_{r\infty}) = 0,0015 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$K_p = 3: \text{για } t = 0 \quad Q_r = 0 \Rightarrow c \cdot 0_{max} = k_p \cdot SP = 0,009 \text{ m}^3/\text{sec}$$

για

$$t = \infty \quad Q_r = 0,00225 \Rightarrow c \cdot 0_{min} = 3 \cdot (SP - Q_{r\infty}) = 0,00225 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$K_p = 5: \text{για } t = 0 \quad Q_r = 0 \Rightarrow c \cdot \theta_{max} = 5 \cdot 0,003 = 0,015 \text{ m}^3/\text{sec} > Q_{in_{max}}$$

$$\Rightarrow C \cdot \theta_{max} = Q_{in_{max}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{για } t = \infty \quad Q_r = 0,0025 \Rightarrow c \cdot \theta_{min} = 5 \cdot (SP - Q_{r_{\infty}}) = 0,0025 \text{ m}^3/\text{sec}$$

### Ερώτημα 3

Απαντήθηκε στο (2)

### Ερώτημα 4

Από το διάγραμμα του σχήματος 1  $\Rightarrow Q_{in} = k_v \cdot C \cdot \theta$

$$\text{Για } k_p = 1: Q_{in_{max}} = k_v \cdot C \cdot \theta_{max} = 1 \cdot 0,003 = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}$$

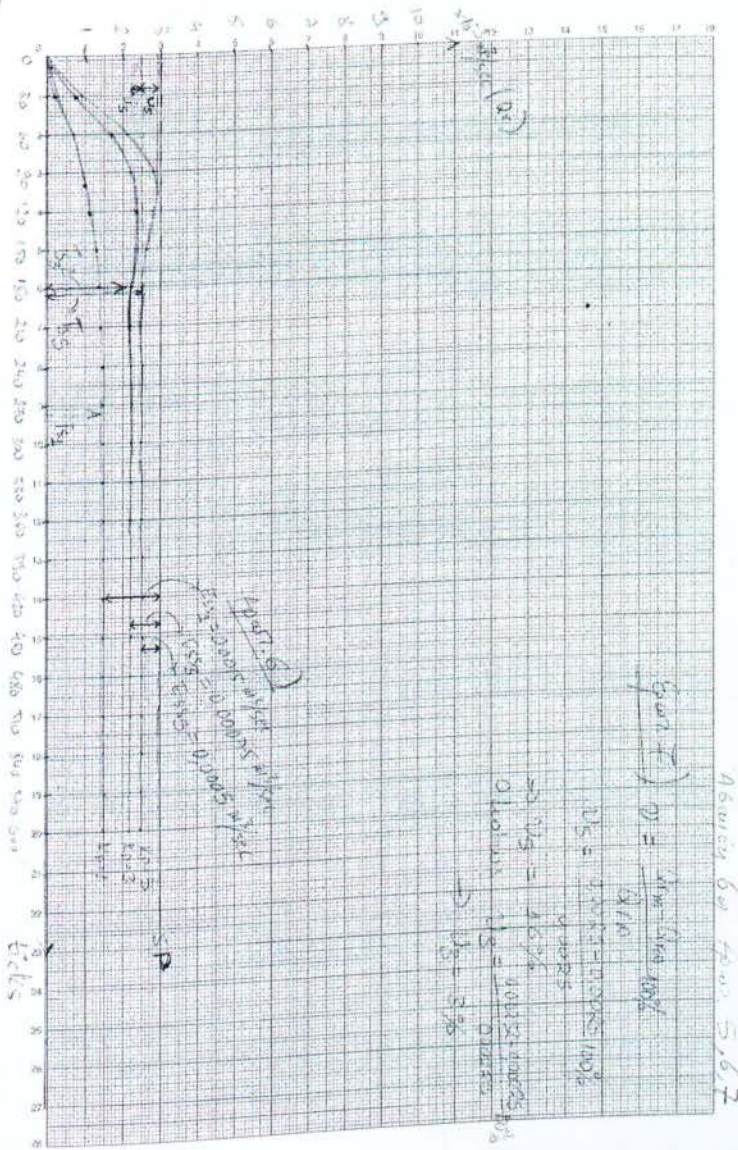
$$Q_{in_{min}} = k_v \cdot C \cdot \theta_{min} = 1 \cdot 0,0015 = 0,0015 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$\text{Για } k_p = 3: Q_{in_{max}} = k_v \cdot C \cdot \theta_{max} = 0,009 \text{ m}^3/\text{sec}$$

$$Q_{in_{min}} = k_v \cdot C \cdot \theta_{min} = 0,00225 \text{ m}^3/\text{sec}$$

Ομοίως για  $k_p = 5$  όπου  $Q_{in_{max}} = 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$  η μέγιστη τιμή της ηλεκτροβάνας.

Ερώτημα 5



Εικόνα 26 - Άσκηση 6, Γράφημα Ερωτήματος 5

Ερώτημα 6

Βλέπε ερώτημα 5

Ερώτημα 7

Βλέπε ερώτημα 5

### Ερώτημα 8

$$k_p = 1 \Rightarrow \text{ζώνη σφάλματος } 2\% [0,00153, 0,00147]$$

$$k_p = 3 \Rightarrow [0,002295, 0,002205]$$

$$k_p = 5 \Rightarrow [0,00255, 0,00245]$$

### Ερώτημα 9

Από γράφημα και από μετρήσεις:

$$k_p = 1 \rightarrow T_s = 277 \text{ ticks}$$

$$k_p = 3 \rightarrow T_s = 182 \text{ ticks}$$

$$k_p = 5 \rightarrow T_s = 180 \text{ ticks}$$

### Ερώτημα 10

$$Q_r(\infty) = k \cdot SP \text{ (από ερώτημα 1δ)}$$

$$\Rightarrow Q_r(\infty) = \frac{k_p \cdot k_v}{1 + k_p \cdot k_v} \cdot SP = \frac{k_p \cdot k_v \cdot SP}{1 + k_p \cdot k_v}$$

$$k_v = 1 \Rightarrow Q_r(\infty) = \frac{k_p \cdot SP}{1 + k_p} = \frac{SP}{1 + \frac{1}{k_p}}$$

$SP = \text{σταθερό}$

Επομένως αυξάνοντας το  $k_p$  μειώνεται ο παρανομαστής και άρα αυξάνεται το  $Q_r(\infty)$ . Ανάλογα, μείωση του  $k_p$  σημαίνει μείωση και του  $Q_r(\infty)$ .

### Ερώτημα 11

$$E_{SS} = SP - Q_r(\infty)$$

Εφόσον από ερώτημα 10 αποδείξαμε ότι μεταβολή του  $k_p$  σημαίνει ανάλογη μεταβολή του  $Q_r(\infty)$ , συμπεραίνουμε ότι αύξηση του  $k_p$  σημαίνει γείωση  $E_{SS}$  και μείωση του  $k_p$  σημαίνει αύξηση του  $E_{SS}$ .

### Ερώτημα 12

Από τις μετρήσεις του Πίνακα 2 και τα γραφήματα για τα όποια υπολογίσατε γραφικά. Το  $u$  συμπεραίνουμε ότι η αύξηση του  $k_p$  αυξάνεται  $u$ . Αρκεί να παρατηρήσουμε ότι για  $k_p = 1, u = 0$ , μετά για  $k_p = 3$ , το  $u$  έγινε 3% και για  $k_p = 5$  το  $u$  αυξήθηκε στο 16%.

*Ερώτημα 13*

Επίσης παρατηρήθηκε ότι αύξηση του  $k_p$  μειώνει τον χρόνο  $T_S$ .

*Ερώτημα 14*

Σε κλειστά συστήματα  $\zeta' = \frac{\zeta}{\sqrt{1+k_{op}}} = \frac{\zeta}{\sqrt{1+k_p}}$

⇒καθώς το  $k_p$  αυξάνεται παρατηρείται μείωση στο  $\zeta'$  όπως υπολογίστηκε και στο ερώτημα 1. Αυτό σημαίνει ότι αυξάνεται ο αριθμός των ταλαντώσεων.

## Άσκηση 7

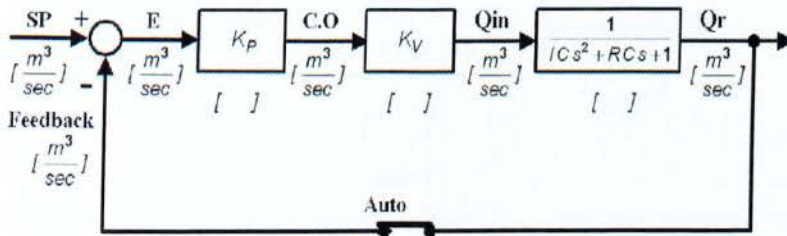
### Αναλογικός Ελεγκτής Διεργασίας Β' Τάξης

Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός** : Έχοντας σαν δεδομένο ένα υδραυλικό σύστημα Β' τάξης, ζητείται ελεγκτής έτσι ώστε να πληρούται η προδιαγραφή μονίμου σφάλματος. Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και υπολογισμός των ποσοτικών χαρακτηριστικών ενός κλειστού συστήματος ελέγχου με ελεγκτή αναλογίας ( P ).

**Θεωρία** : Το διάγραμμα βαθμιδών του Σχ.2 μας δείχνει την περίπτωση αυτόματης λειτουργίας του ελεγκτή, οπότε ο διακόπτης λειτουργίας Auto στον κλάδο ανατροφοδότησης είναι κλειστός.

Ο ελεγκτής είναι ρυθμισμένος σε αναλογική ρύθμιση, δηλαδή έχουμε μόνον τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή P και έχουμε μηδενίσει τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  και τον χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει  $I = 0$  και  $D = 0$ .



Σχήμα 2

Η συνάρτηση μεταφοράς της ρυθμιζόμενης διεργασίας, με έξοδο την ρυθμιζόμενη μεταβλητή Qr και είσοδο την επιθυμητή τιμή της SP θα είναι :

$$G_{CL} = \frac{\frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1}}{1 + \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1}} \Rightarrow G_{CL} = \frac{\frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1}}{\frac{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1}} \Rightarrow$$

Η ενίσχυση ανοικτού βρόχου ( Open Loop Gain )  $K_{OP} = K_P * K_V$ , είναι ο αριθμητής της συνολικής συνάρτησης μεταφοράς του ευθύ κλάδου δηλαδή προκύπτει από το γινόμενο όλων των συναρτήσεων μεταφοράς του βρόχου.

Οι διαστάσεις των μονάδων στις επιμέρους βαθμιδες του ευθύ κλάδου, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε το γινόμενο τους να είναι αδιάστατος αριθμός.



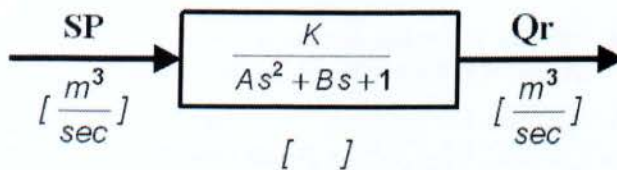
$$G_{CL} = \frac{K_{OP}}{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}} \Rightarrow G_{CL} = \frac{\frac{K_{OP}}{1 + K_{OP}}}{\frac{ICs^2 + RCs + 1 + K_{OP}}{1 + K_{OP}}}$$

$$\text{Θέτουμε : } K = \frac{K_{OP}}{1 + K_{OP}} \quad , \quad A = \frac{IC}{1 + K_{OP}} \quad , \quad T = \sqrt{\frac{IC}{1 + K_{OP}}} \quad , \quad B = \frac{RC}{1 + K_{OP}}$$

$$\text{Άρα θα έχουμε : } G_{CL} = \frac{K}{As^2 + Bs + 1} \quad (1)$$

Όπως προκύπτει από την (1) το σύστημα ρύθμισης είναι δευτέρου βαθμού με φυσική συχνότητα :  $\omega_n = \sqrt{\frac{1 + K_{OP}}{IC}}$  και συντελεστή απόσβεσης  $\zeta = \frac{1}{2} \frac{RC}{\sqrt{IC} \sqrt{1 + K_{OP}}}$

Από την συνάρτηση μεταφοράς  $G_{CL}$  προκύπτει το διάγραμμα βαθμίδας του Σχ. 3



Σχήμα 2

Όσον αυξάνεται η ενίσχυση ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$  που είναι ανάλογος του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή, έχουμε μεγαλύτερη φυσική συχνότητα  $\omega_n$ , άρα έχουμε μικρότερη περίοδο  $T_d$  των ταλαντώσεων του συστήματος.

Επίσης ελαττώνεται ο συντελεστής απόσβεσης  $\zeta$ , συνεπώς αυξάνει ο αριθμός των ταλαντώσεων του συστήματος έως την κατάσταση ισορροπίας.

Ακόμη ελαττώνεται το μόνιμο σφάλμα  $E_{ss}$  όσο αυξάνεται το κέρδος του ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$ , που είναι ανάλογο του αναλογικού κέρδους  $K_p$  του ελεγκτή.

**Ρύθμιση ελεγκτή P** Οι κανόνες ρύθμισης των παραμέτρων ενός αναλογικού πνευματικού ελεγκτή αναπτύχθηκαν το 1942 από τους Ziegler-Nichols. Σύμφωνα με τους κανόνες αυτούς ρυθμίζουμε και τους σύγχρονους ψηφιακούς ελεγκτές ως εξής :

- 1) Θέτουμε τον ελεγκτή σε αναλογική ρύθμιση με αναλογικό κέρδος  $K_p$ , δηλαδή μεταβάλλουμε μόνον τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P$ .
- 2) Μηδενίζουμε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$ , δηλαδή θέτουμε  $I = 0$ .

- 3) Μηδενίζουμε τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή θέτουμε και  $D = 0$  .
- 4) Πιέστε το κουμπί λειτουργίας της άσκησης ( ON-OFF ) και παρατηρήστε εάν παρουσιάζονται ταλαντώσεις στην χρονική απόκριση της εξόδου του ελεγκτή καθώς και της ρυθμιζόμενης μεταβλητής .
- 5) Εάν οι ταλαντώσεις είναι αποσβεννύμενες , πιέστε το κουμπί διακοπής της άσκησης ( ON-OFF )
- 6) Αυξήστε σταδιακά τον συντελεστή αναλογικού κέρδους  $P$  του ελεγκτή και επαναλάβετε την διαδικασία των βημάτων 4 και 5 , στην έξοδο του ελεγκτή καθώς και της ρυθμιζόμενης μεταβλητής εμφανίζονται ταλαντώσεις συντηρούμενες δηλαδή μη αποσβεννύμενες ταλαντώσεις σταθερού πλάτους .
- 7) Σημειώστε την τιμή  $P_u$  του ελάχιστου κέρδους , για την οποία αρχίζουν να εμφανίζονται οι συντηρούμενες ταλαντώσεις .

Οι ρυθμίσεις για έναν ελεγκτή σε αναλογική ρύθμιση (  $P$  ελεγκτής ) , βασίζονται στους κανόνες των Ziegler-Nichols και υπολογίζονται με βάση την τιμή  $P_u$  .

⇒  $P$  ελεγκτής (  $P$ - mode ) :

$$✓ P = \text{Proportional Gain} = 0,5 * P_u$$

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική P\_MODE.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ) . Όπως βλέπουμε στο κάτωθι Σχ. 3 έχουμε μία υδραυλική διεργασία , στην οποία θέλουμε να ελέγξουμε την ροή εξόδου  $Q_r$  , δηλαδή επιλέγουμε ως ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_v$  την εκροή  $Q_r$  .

A) Έχουμε μία υδραυλική διεργασία που αποτελείται από :

- a1) Δεξαμενή με υδραυλική χωρηση  $C = 0,000.002 \text{ m}^5/\text{Nt}$
- a2) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R = 9.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$
- a3) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I = 18.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$

B) Ρυθμίστε την επιθυμητή τιμή  $Q_r$  της εκροής  $SP = 0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$  .

Γ) Έχουμε επιλέξει ηλεκτροβάνα με μέγιστη ποροχή να είναι  $Q_m = 0,0100 \text{ m}^3/\text{sec}$   
Ο συντελεστής κέρδους της ηλεκτροβάνας είναι  $K_v = 1$  .

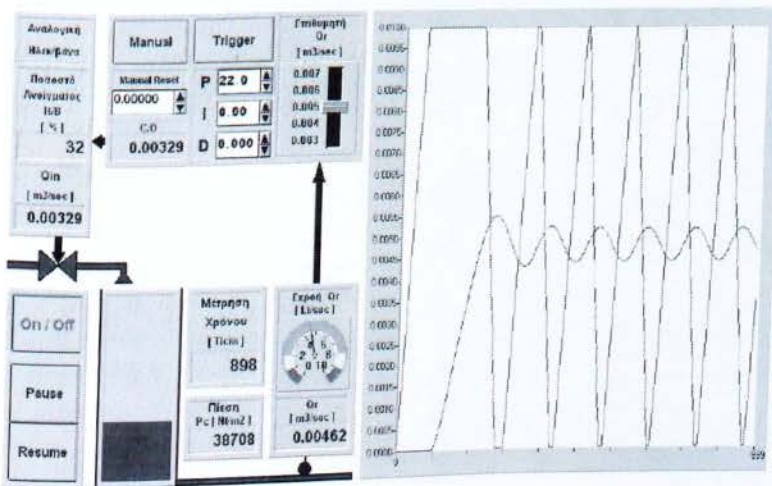
Δ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία , και αναλογικό κέρδος  $K_p = 10$

δ1) Μεταβάλετε τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P = 10$

δ2) Μηδενίστε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  , δηλαδή θέσατε  $I = 0$

δ3) Μηδενίστε τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή θέσατε  $D = 0$

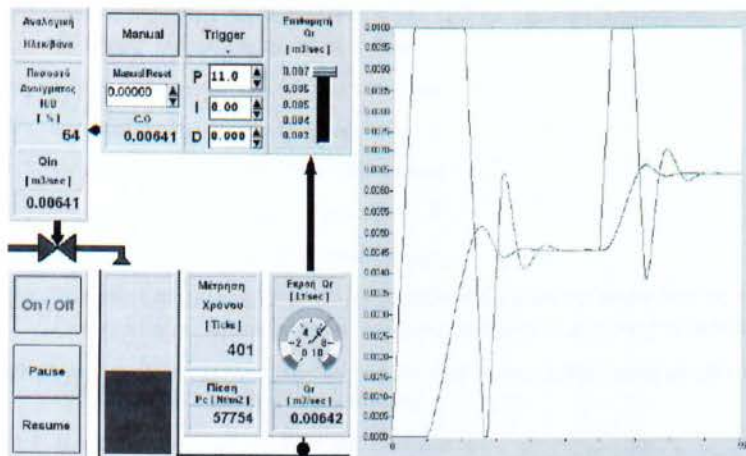
- Ε) Παρατηρήστε στην οθόνη την μεταβολή του σήματος εξόδου του ελεγκτή με χρώμα κίτρινο. Όταν έχετε την τελική τιμή του σήματος C.O, πιέστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας (ON-OFF)
- Ζ) Παρατηρήστε την χρονική απόκριση της εξόδου C.O του ελεγκτή, εάν έχετε αποσβεννύμενες ταλαντώσεις. Αυξήστε το αναλογικό κέρδος έως όταν έχετε συντηρούμενες ταλαντώσεις σταθερού πλάτους στην έξοδο C.O του ελεγκτή.
- ☞ ΠΡΟΣΟΧΗ: Για τις μεταβολές των συντελεστών του ελεγκτή PID,
- Χρησιμοποιήστε τα βέλη άνω και κάτω των αριθμητήρων
  - Εναλλακτικά εγγράψετε αριθμητικά τις τιμές και πιέσετε απαραίτητα *Enter*.
- ☞ ΠΡΟΣΟΧΗ: Για την ενεργοποίηση των μεταβολών των συντελεστών του ελεγκτή PID πιέστε απαραίτητα το κομβίο *Trigger*
- Η) Όπως παρατηρούμε στο Σχ 3, όταν αυξήσαμε το αναλογικό κέρδος σε  $K_p = 22$ , η χρονική απόκριση της εξόδου C.O του ελεγκτή (κίτρινο χρώμα), έχει συντηρούμενες ταλαντώσεις σταθερού πλάτους, οπότε ομοίως ταλαντώνεται και η παροχή  $Q_{in}$ , άρα και η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  (μπλέ χρώμα).
- Συνεπώς το ελάχιστο αναλογικό κέρδος, για το οποίο παρουσιάζει συντηρούμενες ταλαντώσεις σταθερού πλάτους, η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  είναι:  $P_u = 22$



Σχήμα 3

Θ) Η αναλογική ρύθμιση του ελεγκτή θα είναι:  $P = 0,5 * P_u = 0,5 * 22 = 11,0$

- I ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία με αναλογικό κέρδος  $P = 11,0$
- K ) Όταν έχετε την τελική τιμή του σήματος C.O , πιάστε το κομβίο λειτουργίας της ηλεκτροβάνας ( ON-OFF ) και παρατηρήστε την χρονική απόκριση της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  όταν μεταβάλετε το SP σε 0,007 m<sup>3</sup>/sec , όπως στο κάτωθι Σχ. 4



Σχήμα 4

#### ➤ Manual Reset :

Στην περίπτωση της αναλογικής ρύθμισης του συστήματος ελέγχου ενός συστήματος , Β΄ Τάξης , παρατηρούμε ότι λόγω της φύσεως του αναλογικού ελέγχου έχουμε σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$  .

Χρησιμοποιούμε την ρύθμιση του Manual Reset με την οποία χειροκίνητα μεταβάλλουμε την έξοδο του ελεγκτή ώστε να μηδενίσουμε το σφάλμα . Η ρύθμιση του **Manual Reset** ισχύει μόνον για την συγκεκριμένη τιμή του SP , οπότε αν μεταβάλλουμε την τιμή του SP αλλάζει και η ρύθμιση του **Manual Reset**

$$Q_r(\infty) = [SP + \text{Manual Reset}] = K \Rightarrow SP = [SP + M.R] \cdot K \Rightarrow M.R = \frac{SP[1-K]}{K} \quad (1)$$

$$K = \frac{K_{op}}{1+K_{op}} \quad (2) \quad \xrightarrow{(1)\&(2)} \quad M.R = \frac{SP}{K_{op}} \quad (3)$$

### Εργασία στο σπίτι :

- 1) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,005 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 2) Περιμένετε έως ότου , η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  λάβει την μόνιμη τιμή της .
- 3) Σημειώστε τις τιμές της εξόδου του ελεγκτή  $C.O$  και της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  χωρίς την ρύθμιση του **Manual Reset** .
- 4) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,007 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 5) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 2 , 3
- 6) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 7) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 2 , 3
- 8) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,005 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 9) Περιμένετε έως ότου , η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  λάβει την μόνιμη τιμή της και κατόπιν ρυθμίστε το **Manual Reset** κατάλληλα έτσι ώστε να μηδενίσετε το σφάλμα .
- 10) Σημειώστε τις τιμές της εξόδου του ελεγκτή  $C.O$  και της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  μετά την ρύθμιση του **Manual Reset** .
- 11) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,007 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 12) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 9 , 10
- 13) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 14) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 9 , 10
- 15) Εξηγήστε βάσει των μετρήσεων την διαφορά των ρυθμίσεων του **Manual Reset**
- 16) Υπολογίστε την τελική τιμή της  $Q_r$  βάσει του θεωρήματος τελικής τιμής για τις ανωτέρω μεταβολές του  $SP$  .
- 17) Υπολογίστε αντίστοιχα κάθε φορά , ποια πρέπει να είναι η ρύθμιση του **Manual Reset** , έτσι ώστε να μηδενίζεται το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$  .

## Λύσεις - Άσκησης 7

### Ερώτημα 1

Η επιθυμητή τιμή  $\theta_n$  της εκροής είναι  $0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Ρυθμίζουμε αρχικά το αναλογικό κέρδος  $K_p = 10$  δηλαδή ( $P = 10, I = D = 0$ ) και παρατηρούμε ότι χωρίς να έχουμε πατήσει το ON-OFF, ο ελεγκτής μεταβάλλει το σήμα εξόδου σύμφωνα με τις τιμές  $P, I, D$  που δώσαμε.

Η τελική τιμή του  $C.O.$  είναι  $0.005$

Στην συνέχεια γίνεται εκτέλεση της διεργασίας πιέζοντας το κουμπί λειτουργίας της ηλετροβάνας (ON-OFF). Παρατηρούμε στο διάγραμμα με κίτρινο χρώμα την χρονική απόκριση  $C.O.$  του ελεγκτή και με μπλε χρώμα την εκροή  $Q_r$

Με  $P = 10$  τα  $C.O.$  και  $Q_r$  παρουσιάζουν αποσβενούμενες ταλαντώσεις. Σταματάμε τη διεργασία και μεταβάλλουμε το  $P$  με βήματα του 1, επαναλαμβάνοντας τις παραπάνω παρατηρήσεις. Η πρώτη τιμή του  $P$  για την οποία οι ταλαντώσεις είναι σταθερού πλάτους και συντηρούμενες (δηλαδή ούτε το  $C.O.$  ούτε το  $Q_r$  φτάνουν σε μία τελική σταθερή τιμή) είναι το  $P_u = 22$

Σύμφωνα με τους κανόνες των Ziegler-Nichols  $P = 0.5 \cdot P_u = 11$

Επομένως ρυθμίσαμε τον ελεγκτή σε  $P = 11, I = 0, D = 0$

Όλη η ανωτέρω διαδικασία έγινε για να προσδιορίσουμε την τιμή του  $P$  για την οποία θα έχουμε σταθερή έξοδο με μικρό σφάλμα.

### Ερώτημα 2

Έχοντας  $P = 11$  και  $SP = 0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$  εκκινούμε την διεργασία παρατηρώντας ότι παρουσιάζονται αρχικές ταλαντώσεις οι οποίες αποσβένουν μετά από ~600 ticks. Η τιμή του  $C.O.$  εκτελεί μεγαλύτερες ταλαντώσεις ενώ του  $Q_r$  μεταβάλλεται πιο ομαλά.

### Ερώτημα 3

Εφόσον σταματήσουν οι ταλαντώσεις οι τελικές τιμές είναι  $C.O. = 0.00458$  και  $Q_r = 0.00458 \text{ m}^3/\text{sec}$

#### Ερώτημα 4

Χωρίς να πατήσουμε το ON-OFF, μεταβάλλουμε το  $SP$  σε  $0.007 \text{ m}^3/\text{sec}$  και παρατηρούμε ταλαντώσεις της ίδιας μορφής με πριν κατά την μετάβαση του συστήματος στην νέα κατάσταση.

Οι τελικές τιμές τώρα είναι  $C.O. = 0.00642$  και  $Qr = 0.00642 \text{ m}^3/\text{sec}$

#### Ερώτημα 5

Ομοίως με 4

#### Ερώτημα 6

Ομοίως με 4, με τελικές τιμές  $C.O. = 0.00275$  και  $Qr = 0.00275 \text{ m}^3/\text{sec}$

#### Ερώτημα 7

Ομοίως με 6

#### Ερώτημα 8

Επαναφέρουμε το  $SP = 0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$  και περιμένουμε να αποσβέσουν οι ταλαντώσεις και το  $Qr$  να πάρει την τιμή  $0.00458 \text{ m}^3/\text{sec}$

#### Ερώτημα 9

##### ManualReset

Καθώς το πρόγραμμα τρέχει, υπολογίζουμε την τιμή του ManualReset που θα μηδενίσει το σφάλμα σύμφωνα με την ανάλυση της σελίδας 124

$$M.R. = \frac{SP}{Kop} = \frac{0.005}{11} = 0.004545$$

Βάζουμε αυτή την τιμή στην τιμή του ManualReset στο πρόγραμμα και πατάμε ENTER.

### Ερώτημα 10

Βλέπουμε τα  $C.O.$  και  $Qr$  να φτάνουν την τιμή 0.005 που είναι και η επιθυμητή ( $SP$ ) δηλαδή το σφάλμα μηδενίζεται

### Ερώτημα 11

Διατηρούμε την τιμή του Manual Reset σταθερή (0.0004545) και αλλάζουμε το  $SP$  σε  $0.007 \text{ m}^3/\text{sec}$

### Ερώτημα 12

Παρατηρούμε ότι πάλι υπάρχει σφάλμα καθώς η τελική τιμή του  $Qr = 0,00683 \text{ m}^3/\text{sec}$  ( $C.O. = 0.00683$ )  $\Rightarrow Qr = 0,007 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $C.O. = 0.007$  (τελικές τιμές)

### Ερώτημα 13

Αφήνοντας το ManualReset στην προηγούμενη τιμή του αλλάζουμε το  $SP$  σε  $0.003 \text{ m}^3/\text{sec}$

### Ερώτημα 14

Πάλι υπάρχει σφάλμα στις τελικές τιμές  $Qr = 0,0033 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,  $C.O. = 0.0033$

$$M.R. = \frac{0.003}{11} = 0.0002727$$

$$Qr = 0,003 \text{ m}^3/\text{sec}, C.O. = 0.003$$



### Ερώτημα 15

Όταν έχουμε μόνο αναλογική ρύθμιση του συστήματος ελέγχου, παρατηρείται σφάλμα μόνιμης κατάστασης.  $E_{SS}$ , όπως αποδεικνύεται και από τις παραπάνω μετρήσεις όπου πριν το ManualReset είχαμε απόκλιση μεταξύ τελικής και επιθυμητής τιμής.

Με την ρύθμιση  $M. R.$  μεταβάλλουμε την έξοδο του ελεγκτή χειροκίνητα ώστε να μηδενίσουμε το σφάλμα.

$$E_{SS_{SP=0.005}} = 0.005 - 0.00458 = 0.00042$$

$$E_{SS_{SP=0.007}} = 0.007 - 0.00683 = 0.00017$$

$$E_{SS_{SP=0.003}} = 0.003 - 0.0033 = -0.0003$$

### Ερώτημα 16

$$Qr(s) = \frac{SP}{S} \cdot \frac{K}{As^2 + Bs + 1}$$

Όπου

$$K = \frac{Kop}{1 + Kop} = \frac{11}{12} = 0.917$$

$$A = \frac{IC}{1 + Kop} = \frac{36}{12} = 3$$

$$B = \frac{RC}{1 + Kop} = \frac{18}{12} = 1.5$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} Qr(t) = \lim_{s \rightarrow 0} Qr(s) = \lim_{s \rightarrow 0} s \cdot \frac{SP}{s} \cdot \frac{K}{As^2 + Bs + 1} = K \cdot SP$$

Άρα η αναμενόμενη τιμή του  $Qr$  για κάθε  $SP$  είναι  $Qr(\infty) = 0.917 \cdot SP$ , υπάρχει λοιπόν σφάλμα.

$$Qr(\infty)_{SP=0.005} = 0.00458 \text{ (A)}$$

$$Qr(\infty)_{SP=0.003} = 0.00275 \text{ (B)}$$

$$Qr(\infty)_{SP=0.007} = 0.006419 \text{ (Γ)}$$

### Ερώτημα 17

$$Qr(\infty) = K \cdot SP$$

Αν μπορέσουμε να προσθέσουμε μια σταθερά στο  $SP$  ώστε  $(SP + C) \cdot 0.917 = SP$  τότε θα μπορούσαμε να μηδενίσουμε το σφάλμα

$$SP \cdot K + C \cdot K = SP \Rightarrow C = \frac{(1 - K) \cdot SP}{K} \Rightarrow^{(1)} C = Kop^{-1} \cdot SP$$

$$K = \frac{Kop}{1 + Kop} \Rightarrow K + K \cdot Kop = Kop \Rightarrow (1 - K)Kop = K \Rightarrow Kop = \frac{K}{1 - k} \quad (1)$$

Επομένως  $M.R. = C$

Οι υπολογισμοί  $\forall SP$  έχουν γίνει στα προηγούμενα ερωτήματα.

## Άσκηση 8

### Αναλογικός-Ολοκληρωτικός Ελεγκτής

#### Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός** : Έχοντας σαν δεδομένο ένα υδραυλικό σύστημα Β΄ τάξης , ζητείται ρύθμιση της διεργασίας , με Αναλογικό- Ολοκληρωτικό ελεγκτή , έτσι ώστε να μηδενιστεί η ρυθμιστική απόκλιση και να πληρούται η προδιαγραφή μονίμου σφάλματος . Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και υπολογισμός των ποσοτικών χαρακτηριστικών ενός κλειστού συστήματος ελέγχου με Αναλογικό- Ολοκληρωτικό ελεγκτή ( *PI – Control* ) .

**Θεωρία** : Ο αναλογικός ρυθμιστής δεν είναι σε θέση να μηδενίσει την ρυθμιστική απόκλιση που παρουσιάζει η ρυθμιζόμενη μεταβλητή σε ένα κλειστό σύστημα ελέγχου .

Το διάγραμμα βαθμίδων ενός συστήματος ρύθμισης με αναλογικό ελεγκτή απλοποιείται όπως στο Σχ. 1 . Όταν έχουμε βηματική αλλαγή της επιθυμητής τιμής  $SP$  , η τελική τιμή της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  θα είναι :

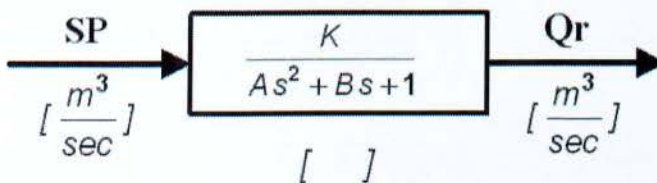
$$Q_r(\infty) = K * SP = \frac{K_{OP}}{1+K_{OP}} * SP$$

Όπου  $K_{OP} = K_P * K_V$  η ενίσχυση ανοικτού βρόγχου ( Open Loop Gain )

Το σφάλμα μόνιμης κατάστασης  $E_{ss}$  είναι :

$$E_{ss} = SP - Q_r(\infty) = SP - K * SP = 1 - K = 1 - \frac{K_{OP}}{1+K_{OP}} = \frac{1}{1+K_{OP}} \quad (4)$$

Δηλαδή το μόνιμο σφάλμα  $E_{ss}$  ελαττώνεται όσο αυξάνεται το κέρδος του ανοικτού βρόγχου  $K_{OP}$  , όμως ποτέ δεν μηδενίζεται .



Σχήμα 1

Μεταβαλλόντας χειροκίνητα , ' πολώνοντας ' την έξοδο του ελεγκτή με την χρήση του *Manual Re set* , επιτυγχάνουμε τον μηδενισμό του μόνιμου σφάλματος  $E_{ss}$  , όμως σε κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής  $SP$  , απαιτείται διαφορετική ρύθμιση του *Manual Re set* .

Επειδή στην πράξη απαιτείται η χρήση ενός ρυθμιστή ο οποίος είναι σε θέση να μεταβάλλει συνεχώς ( αυτόματα ) την έξοδο , όσο υπάρχει απόκλιση της ρυθμιζόμενης

μεταβλητής  $Q_r$  από την επιθυμητή τιμή  $SP$ , χρησιμοποιούμε έναν ρυθμιστή που περιέχει αναλογικό και ολοκληρωτικό όρο.

### Αναλογικός - Ολοκληρωτικός ελεγκτής (PI-mode)

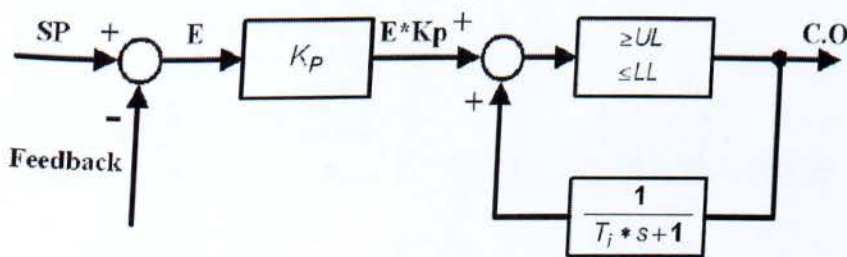
Έχουμε συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή και ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$ , αλλά έχουμε μηδενίσει τον χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει:

$$P \neq 0, I \neq 0 \text{ και } D = 0$$

Ο ρυθμιστής αυτός ονομάζεται Αναλογικό-Ολοκληρωτικός ρυθμιστής (Ελεγκτής PI) και συνδυάζει την σχετικά μεγάλη ταχύτητα του Αναλογικού ρυθμιστή - καλή δυναμική συμπεριφορά - με την ιδιότητα του Ολοκληρωτικού ρυθμιστή να μηδενίζει την ρυθμιστική απόκλιση - καλή στατική συμπεριφορά - της ρυθμιζόμενης μεταβλητής.

Μπορούμε να υλοποιήσουμε έναν αναλογικό-ολοκληρωτικό ελεγκτή, προσθέτωντας στην αναλογική έξοδο του ελεγκτή μία θετική ανατροφοδότηση της εξόδου με χρονική καθυστέρηση  $T_i$ , όπως φαίνεται στο διάγραμμα βαθμίδων του Σχ. 2.

- Η σταθερά  $K_P$  ονομάζεται συντελεστής ενίσχυσης ή αναλογικό κέρδος του ελεγκτή, και ρυθμίζεται από την μεταβολή του συντελεστή  $P$  του ελεγκτή.
- Η σταθερά χρόνου  $T_i$  παριστάνει τον χρόνο που θέλουμε να διανύσει ο μηχανισμός ενεργοποίησης του στοιχείου τελικής ρύθμισης για να φθάσει την μέγιστη έξοδό του, στην περίπτωση μας ο μηχανισμός να ωθήσει την ηλεκτροβάννα σε άνοιγμα  $\gamma = 100\%$  και συνεπώς σε μέγιστη παροχή  $Q_{max}$ . Η σταθερά χρόνου  $T_i$  ονομάζεται ολοκληρωτικός χρόνος και ρυθμίζεται από τον συντελεστή  $I$  του ελεγκτή.
- Η βαθμίδα στον ευθύ κλάδο της ανατροφοδότησης, εξασφαλίζει ότι η τιμή της εξόδου του ελεγκτή, θα παραμείνει σε καθορισμένα όρια ( $\geq UL =$  μικρότερη του άνω ορίου) και ( $\leq LL =$  μεγαλύτερη του κάτω ορίου).



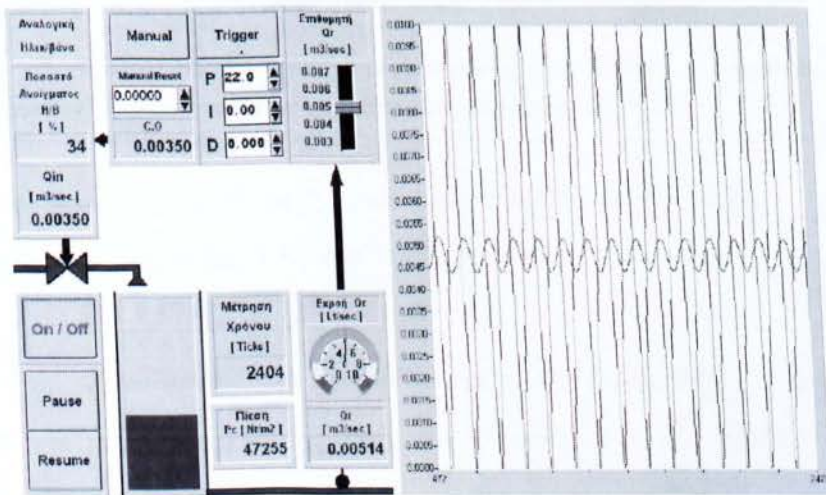
Σχήμα 2

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι :

$$G_c = K_P * \left[ \frac{1}{1 - \frac{1}{T_I s + 1}} \right] \Rightarrow G_c = K_P * \left[ \frac{T_I s + 1}{T_I s} \right] \Rightarrow G_c = K_P * \left[ 1 + \frac{1}{T_I s} \right]$$

**Ρύθμιση ελεγκτή PI :** Σύμφωνα με τους κανόνες των Ziegler-Nichols , για να ρυθμίσουμε τον αναλογικό-ολοκληρωτικό ελεγκτή :

- 1 ) Ρυθμίζουμε τον ελεγκτή σε αναλογική ρύθμιση , δηλαδή έχουμε μόνον τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P$  και μηδενίζουμε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_I$  και τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή έχουμε θέσει  $I = 0$  και  $D = 0$  .
- 2) Αυξάνουμε σταδιακά το κέρδος έως όπου η έξοδος του ελεγκτής αρχίζει να ταλαντώνεται με σταθερό πλάτος .
- 3 ) Σημειώνουμε την τιμή  $P_u$  του ελάχιστου κέρδους , για το οποίο αρχίζουν να εμφανίζονται οι συντηρούμενες ( μη αποσβεννύμενες ταλαντώσεις ) όπως στο παρακάτω Σχήμα 3 , όπου παρατηρούμε ότι  $P_u = 22.0$



Σχήμα 3

4 ) Μετράμε την περίοδο  $T_U$  , δηλαδή τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων ταλαντώσεων . Εφαρμόζουμε την εξής τεχνική για την μέτρηση της περιόδου  $T_U$  :

4α ) Έστω ότι ο άξονας του X του γραφήματος των ταλαντώσεων έχει εύρος 2000 δειγματοληψίες και η περίοδος μεταξύ δύο διαδοχικών δειγματοληψιών είναι 100 msec , τότε ο άξονας X αντιστοιχεί σε χρόνο  $t = 2000 * 100 \text{ msec} = 2000 * 0,1 \text{ sec} = 200 \text{ sec}$

4β ) Αφήνουμε τις σταθερές ταλαντώσεις να εμφανισθούν σε όλο το πλάτος της οθόνης και πατάμε το κομβίο PAUSE

4γ ) Μετράμε τον αριθμό των αέριων κυματομορφών μαζί με το δεκαδικό τους μέρος . Έστω ότι εμφανίζονται π.χ 15,30 κυματομορφές σε όλο το πλάτος της οθόνης , δηλαδή σε 200 sec . Η κάθε κυματομορφή έχει περίοδο  $T_U = 200/15,30 = 13,07 \text{ sec}$

ΠΡΟΣΟΧΗ : Για να επιτύχουμε σωστή ρύθμιση, πρέπει να μετατρέψουμε τις μονάδες χρόνου της περιόδου ταλάντωσης  $T_U$  που υπολογίσαμε πιο πάνω , στις ίδιες μονάδες χρόνου όπως αυτές που χρησιμοποιεί ο ελεγκτής προς ρύθμιση .

Ο συντελεστής  $I$  του ολοκληρωτικού χρόνου ανάλογα με τον κατασκευαστή , έχει μονάδες είτε  $\frac{\text{min}}{\text{repeat}}$  (= Integral time) , είτε  $\frac{\text{repeats}}{\text{min}}$  (= Reset) .

Ο ελεγκτής PID που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα του VisiDAQ , χρησιμοποιεί μονάδες  $\frac{\text{repeats}}{\text{min}}$  , συνεπώς χρησιμοποιούμε τους τύπους για Reset

5 ) Με βάση τις τιμές  $P_U$  και  $T_U$  , υπολογίζουμε τους συντελεστές  $P$  ,  $I$  και  $D$  :

⇒ PI ελεγκτής ( PI - mode ) :

$$P = 0,45 * P_U \Rightarrow P = 0,45 * 22 = 9,9 \Rightarrow \checkmark P = 9,9$$

Ο συντελεστής  $I$  του ολοκληρωτικού χρόνου έχει μονάδες  $\frac{\text{repeats}}{\text{min}}$  , όμως

$$[T_U] = [\text{sec}] \Rightarrow \left[ \frac{T_U}{60} \right] = [\text{min}] \text{ άρα } I = \text{Reset} = \frac{1,2}{T_U} = \frac{1,2}{\frac{T_U}{60}} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} \Rightarrow$$

$$I = \text{Reset} = \frac{72}{T_U} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} = \frac{72}{13,07} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} \Rightarrow \checkmark I = 5,50 \frac{\text{repeats}}{\text{min}}$$

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξτε την στρατηγική PI\_MODE.GNI με το λογισμικό VisiDAQ και τρέξτε το πρόγραμμα (Run → Start).

Όπως βλέπουμε στο παραπάνω Σχήμα 3 έχουμε μία υδραυλική διεργασία, στην οποία θέλουμε να ελέγξουμε την ροή εξόδου  $Q_f$ , δηλαδή επιλέγουμε ως ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_v$  της διεργασίας, την εκροή του αγωγού  $Q_f$ .

A) Έχουμε μία υδραυλική διεργασία που αποτελείται από :

- a1) Δεξαμενή με υδραυλική χώνηση  $C = 0,000.002 \text{ m}^5/\text{Nt}$
- a2) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R = 9.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$
- a3) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I = 18.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$

B) Ρυθμίστε την επιθυμητή τιμή  $Q_f$  της εκροής  $SP = 0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Γ) Έχουμε επιλέξει ηλεκτροβάννα με μέγιστη παροχή να είναι  $Q_m = 0,0100 \text{ m}^3/\text{sec}$   
Ο συντελεστής κέρδους της ηλεκτροβάννας είναι  $K_v = 1$ .

Δ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία

Ε) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της άσκησης (ON-OFF)

Z) Αυξήστε το αναλογικό κέρδος  $K_p$  του ελεγκτή, ώστε να έχετε ταλαντώσεις συνεχούς πλάτους στην έξοδο του ελεγκτή και άρα στην ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_f$ .

H) Σημειώστε το ελάχιστο αναλογικό κέρδος  $P_u$  του ελεγκτή, για το οποίο έχετε τις συντηρούμενες (μη αποσβεννύμενες) ταλαντώσεις.

Θ) Μετρήστε την περίοδο  $T_u$  των ταλαντώσεων

I) Σταματήστε την εκτέλεση της άσκησης με Run → Stop

K) Υπολογίστε με βάση τις τιμές  $P_u$  και  $T_u$ , τους συντελεστές  $P$  και  $I$  ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική λειτουργία του ελεγκτή (PI - mode)

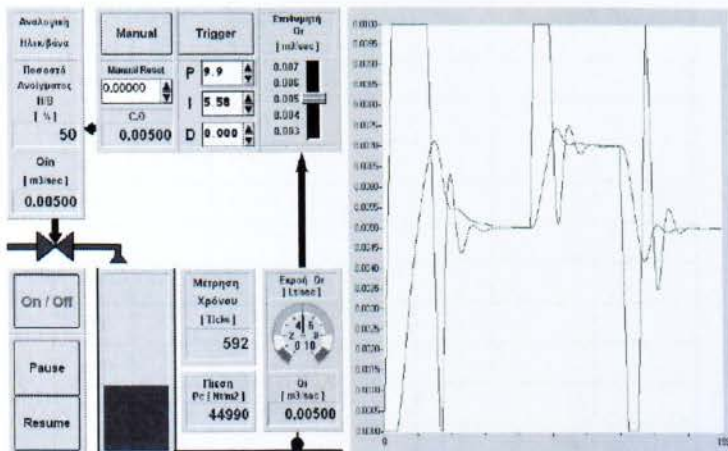
Λ) Ρυθμίστε τους αριθμητήρες των συντελεστών  $P$  και  $I$  του ελεγκτή, εγγράφοντας στις αρχικές τιμές τους (Initial Value), αυτές που υπολογίσατε στο βήμα (K)

M) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία και πιέστε το κομβίο Trigger

N) Περιμένετε ώστε η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_f$  λάβει την τελική της τιμή, η οποία πρέπει είναι όση και η επιθυμητή τιμή  $SP = 0.005 \text{ m}^3/\text{sec}$

### Λήψη Μετρήσεων :

- 1 ) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP=0,0070$  m3/sec και πιάστε απευθείας το κομβίο PAUSE , ώστε να καταγράψετε στον Πίνακα 1 , για χρόνο  $t = 0^+$ 
  - 1α) Την μέτρηση του πραγματικού χρόνου  $t$  διακοπής της διεργασίας
  - 1β) Την τιμή της εξόδου του ελεγκτή C.O
  - 1γ) Την τιμή της παροχής  $Q_r$ .
- 2 ) Πιάστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 3 ) Διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στα χρονικά διαστήματα  $t$  όπως αναγράφονται στον Πίνακα 1 και σημειώνουμε τις αντίστοιχες τιμές όπως στο παραπάνω βήμα 1 .
- 4 ) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,0050$  m3/sec
- 5 ) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 1 , 2 , 3 και θα έχετε το γράφημα μεταβολής της της παροχής  $Q_r(t)$  συνάρτησι της μεταβολής του  $SP$  , όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4 .
- 6 ) Σταματήστε την εκτέλεση της άσκησης με Run-> Stop



Σχήμα 4



	SP=0,0050 -> SP=0,0070			SP=0,0070 -> SP=0,0050		
	t	C.O	Qr	t	C.O	Qr
t	Χρόνος	Έξοδος Ελεγκτή	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Έξοδος Ελεγκτή	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	m3/sec	Ticks	m3/sec	m3/sec
0+						
30						
60						
90						
120						
150						
180						
210						
240						
270						
300						
330						
360						
390						
420						
450						
480						
510						
540						
570						
600						

Πίνακας 1

### Εργασία στο σπίτι :

- 1) Περιγράψτε την διαδικασία και σημειώστε τους υπολογισμούς που εκτελέσατε , έτσι ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική ρύθμιση του ελεγκτή .
- 2) Με βάσει τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , χαράξτε σε μιλιμετρέ χαρτί διαστάσεων A4 τις καμπύλες  $C.O(t)$  και  $Q_r(t)$  και για τις 2 μεταβολές του  $SP$ .  
Οι κλίμακα του αξόνα του χρόνου θα είναι  $t=0\sim 600$  Ticks για την μεταβολή του  $SP$  σε  $0,0070 \text{ m}^3/\text{sec}$  και ακολούθως  $t=600\sim 1200$  Ticks για την μεταβολή του  $SP$  σε  $0,0050 \text{ m}^3/\text{sec}$  .
- 3) Βρείτε βάσει των μετρήσεων την υπέρβαση  $\upsilon$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής  $SP$  .
- 4) Υπολογίστε την ζώνη  $\pm 2\%$  επί της εκάστοτε τιμής του  $SP$  , και βρείτε βάσει των μετρήσεων τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$
- 5) Σημειώστε στο γράφημα την υπέρβαση  $\upsilon$  και τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής  $SP$  .

Λύσεις - Άσκησης 8

	SP=0,0050 → SP=0,0070			SP=0,0070 → SP=0,0050		
	t	C.O	Qr	t	C.O	Qr
t	Χρόνος	Έξοδος Ελεγκτή	Εκπόη Αγωγού	Χρόνος	Έξοδος Ελεγκτή	Εκπόη Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	m3/sec	Ticks	m3/sec	m3/sec
0+	13	0.00783	0.00503	15	0.0074	0.00696
30	36	0.01	0.00531	36	0.0085	0.00669
60	64	0.01	0.00591	73	0	0.00565
90	94	0.01	0.00656	92	0	0.0051
120	122	0.028	0.00711	123	0.0096	0.00434
150	152	0.00534	0.00739	153	0.00846	0.00427
180	180	0.00570	0.00725	182	0.00669	0.00479
210	215	0.00732	0.00705	213	0.00399	0.00508
240	242	0.00701	0.00704	245	0.00437	0.00498
270	271	0.00697	0.00707	274	0.00538	0.0049
300	301	0.00682	0.00706	305	0.00528	0.00494
330	333	0.00696	0.00703	332	0.00495	0.00498
360	366	0.00704	0.00702	364	0.0049	0.00499
390	392	0.00700	0.00702	394	0.00501	0.00498
420	424	0.00698	0.00702	424	0.00504	0.00498
450	455	0.00699	0.00701	455	0.0050	0.00499
480	481	0.007	0.00701	487	0.00499	0.00499
510	513	0.007	0.00701	515	0.005	0.00499
540	513	0.007	0.007	541	0.005	0.005
570	571	0.007	0.007	574	0.005	0.005
600	603	0.007	0.007	605	0.005	0.005

Εικόνα 27 - Άσκηση 8, Πίνακας 1

Ερώτημα 1

Ρυθμίζουμε  $SP=0,005 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

Διατηρούμε τις τιμές  $I=D=0$  στον ελεγκτή.

Αρχίζουμε να αυξάνουμε την τιμή του  $P$  έως ότου παρατηρήσουμε ότι το  $Q$  και το  $C.O$  στο διάγραμμα παρουσιάζουν συνεχείς ταλαντώσεις σταθερού πλάτους και σημειώνουμε την τιμή  $P=22$  για τη οποία συμβαίνει αυτό.

Αφήνουμε το πρόγραμμα να τρέξει ώστε στην εικόνα του διαγράμματος να περιλαμβάνονται μόνο οι ταλαντώσεις σταθερού πλάτους και όχι οι αρχικές μεταβατικές ταλαντώσεις.

Για να μετρήσουμε την περίοδο των ταλαντώσεων, μετράμε τον αριθμό των ακέραιων κυματομορφών (δηλαδή πόσα μέγιστα έχουμε) σε χρόνο 1998 ticks ή 199,8 sec. Εμφανίζονται περίπου 15,3 κυματομορφές, που σημαίνει 13,06 sec =  $T$ .

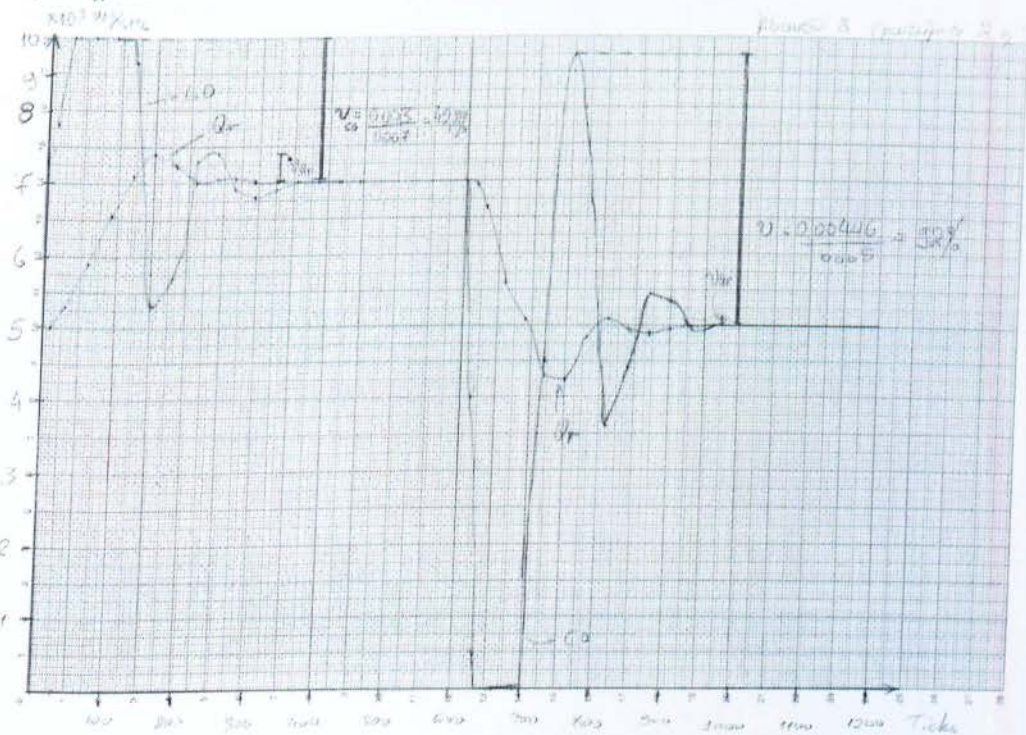
Βάσει την ανάλυση της σελίδας 134, υπολογίζουμε την τιμή  $I$  του ελεγκτή  $I=72/T=72/13,06=5,51$ .

Επίσης, υπολογίζουμε και το  $P=0,45 \times 22=9,9$ .

Βάζουμε αυτές τις τιμές  $P, I$  στο πρόγραμμα πατώντας Enter και μετά Trigger.

Το  $Q$  λαμβάνει τιμή  $0,005 \text{ m}^2/\text{sec} = SP$ .

## Ερώτημα 2



Εικόνα 28 – Άσκηση 8, Γράφημα Ερωτήματος 2 & 5

### Ερώτημα 3

$$SP=0,005 \rightarrow 0,007: U_{co} = (0,01-0,007)/0,007 = 42,8\%$$

$$SP=0,007 \rightarrow 0,005: U_{co} = (0,00946-0,005)/0,005 = 92\%$$

$$U_{Qr} = (0,00739 - 0,007)/0,007 = 5,6\%$$

$$U_{Qr} = (0,00508 - 0,005)/0,005 = 1,6\%$$

### Ερώτημα 4

$$0,007 \pm 2\% = 0,00686 - 0,00714$$

$$T_{s_{co}} = 333 \text{ ticks}$$

$$T_{s_{Qr}} = 210 \text{ ticks}$$

$$0,005 \pm 2\% = 0,0049 - 0,0051$$

$$T_{s_{co}} = 332 \text{ ticks}$$

$$T_{s_{Qr}} = 210 \text{ ticks}$$

### Ερώτημα 5

Βλέπε ερώτημα 2

## Άσκηση 9

### Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός Ελεγκτής

#### Θεωρία και Περιγραφή Ασκήσεων - Διάρκεια 2 Ώρες

**Σκοπός :** Έχοντας σαν δεδομένο ένα υδραυλικό σύστημα Β΄ τάξης, ζητείται ρύθμιση της διεργασίας, με Αναλογικό- Ολοκληρωτικό-Διαφορικό ελεγκτή, έτσι ώστε αφενός να μηδενιστεί η ρυθμιστική απόκλιση και να πληρούται η προδιαγραφή μονίμου σφάλματος αφετέρου να έχουμε μικρή υπέρβαση και χρόνο αποκατάστασης  $T_s$ . Ανάλυση των ποιοτικών χαρακτηριστικών και ποσοτικών χαρακτηριστικών ενός κλειστού συστήματος ελέγχου με Αναλογικό-Ολοκληρωτικό-Διαφορικό ελεγκτή ( *PID-Contol* ).

**Θεωρία :** Στην πράξη, συχνά γίνεται χρήση ελεγκτή με Αναλογική-Ολοκληρωτική ρύθμιση, η οποία μπορεί να μεταβάλλει συνεχώς την έξοδό του ελεγκτή όσο υπάρχει απόκλιση της ρυθμιζόμενης μεταβλητής  $Q_r$  από την επιθυμητή τιμή  $SP$ .

Η ρύθμιση αυτή έχει καλή στατική συμπεριφορά, αφού τελικά οδηγεί την ρυθμιζόμενη μεταβλητή στην επιθυμητή τιμή  $SP$ , όμως η αδράνεια του ολοκληρωτικού μέρους του *PI*- ελεγκτή, έχει ως συνέπεια να δρα ο ρυθμιστής με μία σχετική χρονική μετατόπιση, η οποία εξαρτάται από :

- α) την αδράνεια του ολοκληρωτικού μέρους
- β) την ταχύτητα μετακίνησης του μηχανισμού ενεργοποίησης
- γ) από την χρονική συμπεριφορά της ρυθμιζόμενης διεργασίας

Αυτός είναι ο λόγος που πολλές φορές είμαστε αναγκασμένοι να προσφύγουμε στην χρήση ενός Αναλογικού-Ολοκληρωτικού-Διαφορικού ελεγκτής ο οποίος ενσωματώνει και τις τρεις βασικές ιδιότητες των ρυθμιστών σε ένα ρυθμιστή και ως εκ τούτου είναι επόμενο να αποτελεί τον ρυθμιστή με τις καλύτερες ιδιότητες τόσο σε στατική όσο και σε δυναμική συμπεριφορά.

#### Αναλογικός-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός ελεγκτής ( *PID- mode* )

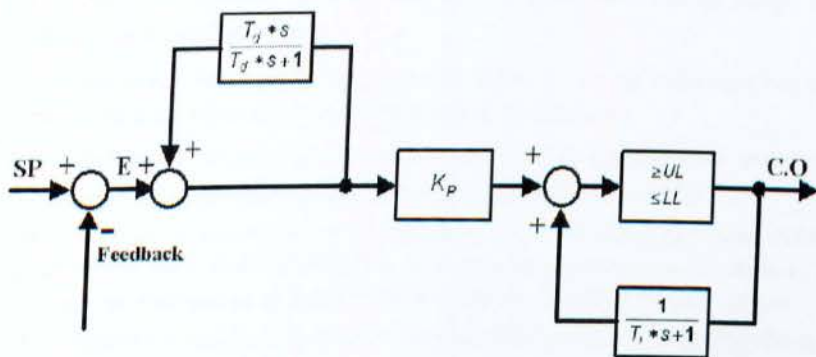
Έχουμε συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή, ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  αλλά και χρόνο προπορείας  $T_d$ , δηλαδή έχουμε θέσει :

$$P \neq 0, I \neq 0 \text{ και } D \neq 0$$

Ο ρυθμιστής αυτός ονομάζεται Αναλογικό-Ολοκληρωτικός-Διαφορικός ελεγκτής ( Ελεγκτής *PID* ) και χρησιμοποιείται όταν η ρυθμιζόμενη μεταβλητή, με την χρήση ελεγκτή *PI* παρουσιάζει πολλές ταλαντώσεις μέχρι να ισορροπήσει στην τελική της τιμή.

Μπορούμε να υλοποιήσουμε έναν αναλογικό-ολοκληρωτικό-διαφορικό ελεγκτή, προσθέτωντας στην είσοδο του ελεγκτή μία αποσβεννύμενη θετική ανατροφοδότηση της εισόδου, όπως φαίνεται στο διάγραμμα βαθμιδών του Σχ. 1.

- Η σταθερά  $K_P$  ονομάζεται συντελεστής ενίσχυσης ή αναλογικό κέρδος του ελεγκτή, και ρυθμίζεται από την μεταβολή του συντελεστή  $P$  του ελεγκτή.
- Η σταθερά χρόνου  $T_I$  παριστάνει τον χρόνο που θέλουμε να διανύσει ο μηχανισμός ενεργοποίησης του στοιχείου τελικής ρύθμισης για να φθάσει την μέγιστη έξοδό του, στην περίπτωση μας ο μηχανισμός να ωθήσει την ηλεκτροβάννα σε άνοιγμα  $\gamma = 100\%$  και συνεπώς σε μέγιστη παροχή  $Q_{max}$ . Η σταθερά χρόνου  $T_I$  ονομάζεται ολοκληρωτικός χρόνος και ρυθμίζεται από τον συντελεστή  $I$  του ελεγκτή.
- Η βαθμίδα στον ευθύ κλάδο της ανατροφοδότησης, εξασφαλίζει ότι η τιμή της εξόδου του ελεγκτή, θα παραμείνει σε καθορισμένα όρια ( $\geq UL =$  μικρότερη του άνω ορίου) και ( $\leq LL =$  μεγαλύτερη του κάτω ορίου).
- Η σταθερά χρόνου  $T_d$  εκφράζει την αναλογία μεταξύ του σήματος εξόδου του ελεγκτή και της πρώτης παραγώγου της ρυθμιστικής απόκλισης  $E$ . Η σταθερά χρόνου  $T_d$  ονομάζεται χρόνος προπορείας και ρυθμίζεται από τον συντελεστή  $D$  του ελεγκτή.



Σχήμα 1

Η συνάρτηση μεταφοράς του ελεγκτή είναι :

$$G_c = \left[ \frac{1}{1 - \frac{T_d s}{T_d s + 1}} \right] * K_P * \left[ \frac{1}{1 - \frac{1}{T_i s + 1}} \right] \Rightarrow$$

$$G_c = \left[ \frac{T_d s + 1}{(T_d s + 1) - T_d s} \right] * K_P * \left[ \frac{T_i s + 1}{(T_i s + 1) - 1} \right] \Rightarrow$$

$$G_c = [T_d s + 1] * K_P * \left[ \frac{T_i s + 1}{T_i s} \right] \Rightarrow$$

$$G_c = [T_d s + 1] * K_p * [1 + \frac{1}{T_i s}] \Rightarrow$$

$$G_c = K_p * [1 + \frac{T_d s}{T_i s} + \frac{1}{T_i s} + T_d s] \Rightarrow \text{Επειδή } \frac{T_d}{T_i} \ll 1 \Rightarrow 1 + \frac{T_d}{T_i} \approx 1 \text{ άρα:}$$

$$G_c \approx K_p * [1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s]$$

**Ρύθμιση ελεγκτή PID :** Σύμφωνα με τους κανόνες των Ziegler-Nichols , για να ρυθμίσουμε τον αναλογικό-ολοκληρωτικό ελεγκτή :

1 ) Ρυθμίζουμε τον ελεγκτή σε αναλογική ρύθμιση , δηλαδή έχουμε μόνον τον συντελεστή αναλογικού κέρδους του ελεγκτή  $P$  και μηδενίζουμε τον ολοκληρωτικό χρόνο  $T_i$  και τον χρόνο προπορείας  $T_d$  , δηλαδή έχουμε θέσει  $I = 0$  και  $D = 0$  .

2 ) Αυξάνουμε σταδιακά το κέρδος έως ότου η έξοδος του ελεγκτής αρχίζει να ταλαντώνεται με σταθερό πλάτος .

3 ) Σημειώνουμε την τιμή  $P_u$  του ελάχιστου κέρδους , για το οποίο αρχίζουν να εμφανίζονται οι συντηρούμενες (μη αποσβεννύμενες ταλαντώσεις) .

4 ) Μετράμε την περίοδο  $T_u$  , δηλαδή τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών μεγίστων ταλαντώσεων . Εφαρμόζουμε την εξής τεχνική για την μέτρηση της περιόδου  $T_u$  :

4α ) Έστω ότι ο άξονας του  $X$  του γραφήματος των ταλαντώσεων έχει εύρος 2000 δειγματοληψίες και η περίοδος μεταξύ δύο διαδοχικών δειγματοληψιών είναι 100 msec , τότε ο άξονας  $X$  αντιστοιχεί σε χρόνο  $t = 2000 * 100 \text{ msec} = 2000 * 0,1 \text{ sec} = 200 \text{ sec}$

4β ) Αφήνουμε τις σταθερές ταλαντώσεις να εμφανισθούν σε όλο το πλάτος της οθόνης και πατάμε το κομβίο PAUSE

4γ ) Μετράμε τον αριθμό των ακέραιων κυματομορφών μαζί με το δεκαδικό τους μέρος . Έστω ότι εμφανίζονται π.χ 15,30 κυματομορφές σε όλο το πλάτος της οθόνης , δηλαδή σε 200 sec . Η κάθε κυματομορφή έχει περίοδο  $T_u = 200/15,30 = 13,38 \text{ sec}$

**ΠΡΟΣΟΧΗ :** Για να επιτύχουμε σωστή ρύθμιση, πρέπει να μετατρέψουμε τις μονάδες χρόνου της περιόδου ταλάντωσης  $T_u$  που υπολογίσαμε πιο πάνω , στις ίδιες μονάδες χρόνου όπως αυτές που χρησιμοποιεί ο ελεγκτής προς ρύθμιση .

Ο συντελεστής  $D$  χρόνου προπορείας , έχει μονάδες χρόνου και μετράτε σε min!



5) Με βάση τις τιμές  $P_u$  και  $T_u$ , υπολογίζουμε τους συντελεστές  $P$ ,  $I$  και  $D$ :

⇒ PID ελεγκτής (PID-mode):

$$P = 0,60 * P_u \Rightarrow P = 0,60 * 11 \Rightarrow \checkmark P = 9,9$$

Ο συντελεστής  $I$  του ολοκληρωτικού χρόνου έχει μονάδες  $\frac{\text{repeats}}{\text{min}}$ , όμως

$$[T_u] = [\text{sec}] \Rightarrow \left[\frac{T_u}{60}\right] = [\text{min}] \text{ άρα } I = \text{Re set} = \frac{2}{T_u} = \frac{2}{\frac{T_u}{60}} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} \Rightarrow$$

$$I = \text{Re set} = \frac{120}{T_u} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} = \frac{120}{15,38} \frac{\text{repeats}}{\text{min}} \Rightarrow \checkmark I = 4,68 \frac{\text{repeats}}{\text{min}}$$

$$D = \frac{T_u}{8} \text{ Ο συντελεστής } D \text{ χρόνου προπορείας μετράτε σε min,}$$

$$\text{όμως } [T_u] = [\text{sec}] \Rightarrow \left[\frac{T_u}{60}\right] = [\text{min}] \text{ άρα:}$$

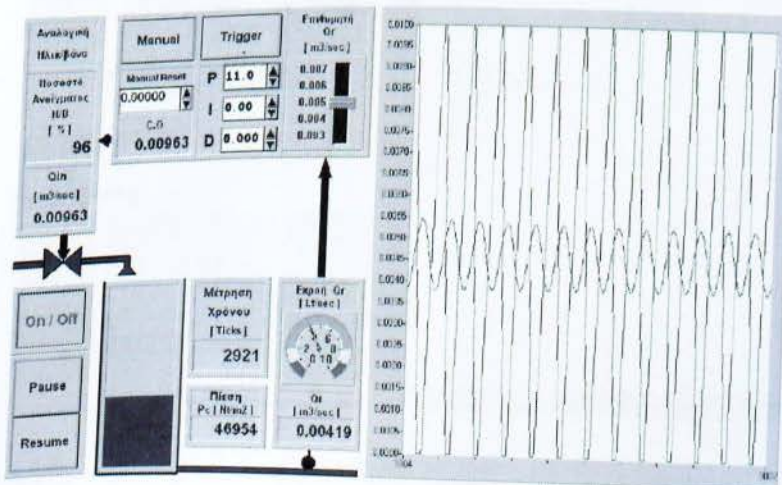
$$D = \frac{T_u}{60} * \frac{1}{8} = \frac{T_u}{480} [\text{min}] = \frac{15,38}{480} [\text{min}] \Rightarrow \checkmark D = 0,032 [\text{min}]$$

Τέλος πρέπει να λάβουμε υπ'όψιν μας, ότι οι κανόνες ρύθμισης των παραμέτρων ενός ελεγκτή από τους Ziegler-Nichols αφορούν σειριακού τύπου ελεγκτές, συνεπώς υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ των παραμέτρων  $I$  και  $D$ , ενώ όταν έχουμε ελεγκτή παράλληλου ή ιδανικού τύπου η ρύθμιση των παραμέτρων  $I$  και  $D$  είναι σχετικά ανεξάρτητη.

Συνεπώς στην περίπτωση του προγράμματος VisiDAQ όπου έχουμε ελεγκτή παράλληλου ή ιδανικού τύπου, η ρύθμιση των παραμέτρων  $I$  και  $D$  διαφέρει οπότε οι τιμές των παραμέτρων που υπολογίσαμε παραπάνω, αποτελούν την αφετηρία για την περαιτέρω μικρο-ρύθμιση του ελεγκτή.

**Άσκηση στο εργαστήριο :** Ανοίξετε την στρατηγική PID\_MODE.ΘΝΙ με το λογισμικό VisiDAQ και 'τρέξτε' το πρόγραμμα ( Run -> Start ). Όπως βλέπουμε στο κάτω Σχ. 2 έχουμε μία υδραυλική διεργασία , στην οποία θέλουμε να ελέγξουμε την ροή εξόδου  $Q_r$  , δηλαδή επιλέγουμε ως ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $P_r$  την εκροή  $Q_r$  .

- Α ) Ρυθμίστε την υδραυλική διεργασία έτσι ώστε να έχουμε :
- α1 ) Δεξαμενή με υδραυλική χώραση  $C= 0,000.001 \text{ m}^5/\text{Nt}$
  - α2 ) Υδραυλική αντίσταση αγωγού εκροής  $R= 6.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}/\text{m}^5$
  - α3 ) Υδραυλική αδράνεια αγωγού εκροής  $I= 36.000.000 \text{ Nt}^*\text{sec}^2/\text{m}^5$
- Β ) Ρυθμίστε την επιθυμητή τιμή  $Q_r$  της εκροής  $SP= 0.0005 \text{ m}^3/\text{sec}$  .
- Γ ) Επιλέξτε την μέγιστη παροχή της ηλεκτροβάνας  $Q_m= 0,01 \text{ m}^3/\text{sec}$   
Ο συντελεστής κέρδους της ηλεκτροβάνας , υπολογίζεται από τον λόγο της μέγιστης παροχής  $Q_m$  , προς την αντίστοιχη μέγιστη έξοδο  $C.O_{max}$  του ελεγκτή
- Δ ) Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία
- Ε ) Πιέστε το κομβίο λειτουργίας της άσκησης ( ON-OFF )
- Ζ ) Αυξήστε το αναλογικό κέρδος  $K_p$  του ελεγκτή , ώστε να έχετε ταλαντώσεις συνεχούς πλάτους στην έξοδο του ελεγκτή και άρα στην ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$  .

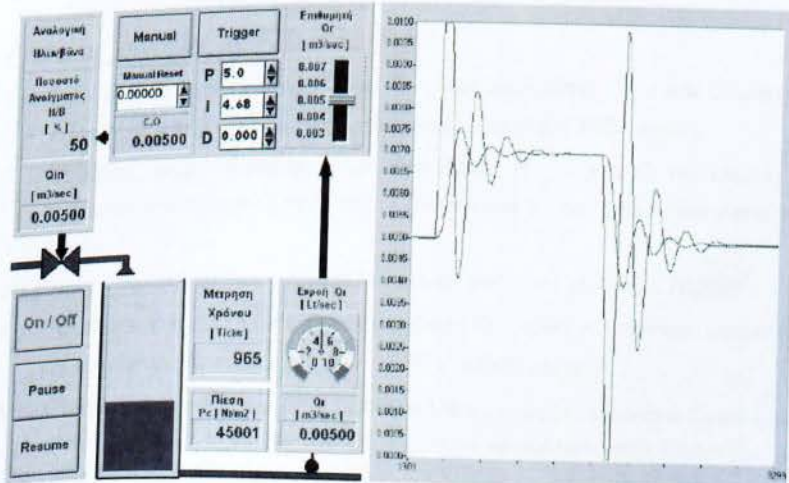


Σχήμα 2

- Η) Σημειώστε το ελάχιστο αναλογικό κέρδος  $P_U$  του ελεγκτή, για το οποίο έχετε τις συντηρούμενες (μη αποσβεννύμενες) ταλαντώσεις.
- Θ) Μετρήστε την περίοδο  $T_U$  των ταλαντώσεων
- Ι) Σταματήστε την εκτέλεση της άσκησης με Run-> Stop

### Λήψη μετρήσεων με PI-ελεγκτή :

- Υπολογίστε με βάση τις τιμές  $P_U$  και  $T_U$ , τους συντελεστές  $P$  και  $I$  ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική λειτουργία του ελεγκτή (PI - mode)
- Ρυθμίστε τους αριθμητήρες των συντελεστών  $P$  και  $I$  του ελεγκτή, εγγράφοντας στις αρχικές τιμές τους (Initial Value), αυτές που υπολογίσατε στο βήμα 1.
- Ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία και πιέστε το κουμπί *Trigger*
- Περιμένετε έως ότου η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$ , έρθει σε κατάσταση ισορροπίας και γίνει ίση με την επιθυμητή τιμή του  $SP = 0.0005 \text{ m}^3/\text{sec}$



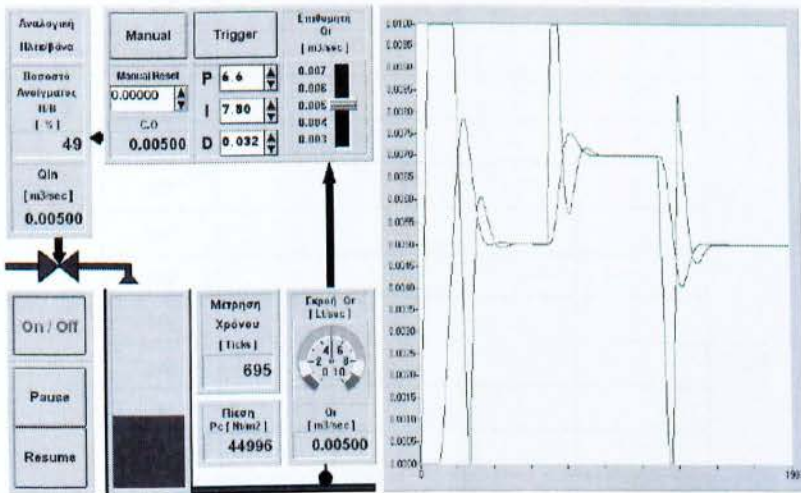
Σχήμα 3

- 5) Μεταβάλλεται την τιμή του  $SP = 0,0070 \text{ m}^3/\text{sec}$ , όπως στο παραπάνω Σχήμα 3 και πιέστε απευθείας το κομβίο PAUSE, ώστε να καταγράψετε στον Πίνακα 1, για χρόνο  $t = 0^+$ 
  - 5α) Την μέτρηση του πραγματικού χρόνου  $t$  διακοπής της διεργασίας
  - 5β) Την τιμή της εξόδου του ελεγκτή C.O
  - 5γ) Την τιμή της παροχής  $Q_r$
- 6) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση.
- 7) Διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE, στα χρονικά διαστήματα  $t$  όπως αναγράφονται στον Πίνακα 1 και σημειώνουμε τις αντίστοιχες τιμές όπως στο παραπάνω βήμα 5.
- 8) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση.
- 9) Μεταβάλλεται την τιμή του  $SP = 0,0050 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 10) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 5, 6, 7
- 11) Σταματήστε την εκτέλεση της άσκησης με Run-> Stop

### Λήψη μετρήσεων με PID-ελεγκτή :

- 1) Υπολογίστε με βάση τις τιμές  $P_u$  και  $T_u$ , τους συντελεστές  $P$ ,  $I$  και  $D$  ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική λειτουργία του ελεγκτή (PID-mode)
- 2) ρυθμίστε τους αριθμητήρες των συντελεστών  $P$ ,  $I$  και  $D$  του ελεγκτή, εγγράφοντας στις αρχικές τιμές τους (Initial Value), αυτές που υπολογίσατε στο βήμα 1.
- 3) ρυθμίστε τον ελεγκτή σε αυτόματη λειτουργία και πιέστε το κομβίο Trigger
- 4) Περιμένετε έως ότου η ρυθμιζόμενη μεταβλητή  $Q_r$ , έρθει σε κατάσταση ισορροπίας και γίνει ίση με την επιθυμητή τιμή του  $SP = 0.0005 \text{ m}^3/\text{sec}$ ,
- 5) Μεταβάλλεται την τιμή του  $SP = 0,0070 \text{ m}^3/\text{sec}$ , όπως στο παρακάτω Σχήμα 4 και πιέστε απευθείας το κομβίο PAUSE, ώστε να καταγράψετε στον Πίνακα 2, για χρόνο  $t = 0^+$ 
  - 5α) Την μέτρηση του πραγματικού χρόνου  $t$  διακοπής της διεργασίας
  - 5β) Την τιμή της εξόδου του ελεγκτή C.O
  - 5γ) Την τιμή της παροχής  $Q_r$

- 6) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 7) Διακόπτουμε την εκτέλεση της άσκησης με το κομβίο PAUSE , στα χρονικά διαστήματα  $t$  όπως αναγράφονται στον Πίνακα 2 και σημειώνουμε τις αντίστοιχες τιμές όπως στο παραπάνω βήμα 5 .
- 8) Πιέστε το κομβίο RESUME ώστε να επανεκκινήσετε την άσκηση .
- 9) Μεταβάλεται την τιμή του  $SP = 0,0050 \text{ m}^3/\text{sec}$
- 10) Επαναλάβετε τις μετρήσεις των βημάτων 5 , 6 , 7 και θα έχετε το γράφημα μεταβολής της της παροχής  $Q_r(t)$  συναρτήσει της μεταβολής του  $SP$  , όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 4 .
- 11) Σταματήστε την εκτέλεση της άσκησης με Run-> Stop



Σχήμα 4

PI Ελεγκτής	SP=0,005 -> SP=0,007		SP=0,007 -> SP=0,005	
	t	Qr	t	Qr
kT	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec
0+				
30				
60				
90				
120				
150				
180				
210				
240				
270				
300				
330				
360				
390				
420				
450				
480				
510				
540				
570				
600				

Πίνακας 1

PI D Ελεγκτής	SP=0,005 -> SP=0,007		SP=0,007 -> SP=0,005	
	t	Qr	t	Qr
kT	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού
Ticks	Ticks	m <sup>3</sup> /sec	Ticks	m <sup>3</sup> /sec
0+				
30				
60				
90				
120				
150				
180				
210				
240				
270				
300				
330				
360				
390				
420				
450				
480				
510				
540				
570				
600				

Πίνακας 2

### Εργασία στο σπίτι :

- 1) Περιγράψτε την διαδικασία και σημειώστε τους υπολογισμούς που εκτελέσατε , έτσι ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική ρύθμιση του ελεγκτή .
- 2) Με βάσει τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , χαράξτε σε μιλιμετρέ χαρτί διαστάσεων A4 την καμπύλη  $Q_r(t)$  και για τις 2 μεταβολές του SP , όταν έχετε ελεγκτή με Αναλογική-Ολοκληρωτική ρύθμιση .  
Οι κλίμακα του αξόνα του χρόνου θα είναι  $t=0\sim 600$  Ticks για την μεταβολή του SP σε  $0,0070 \text{ m}^3/\text{sec}$  και ακολούθως  $t=600\sim 1200$  Ticks για την μεταβολή του SP σε  $0,0050 \text{ m}^3/\text{sec}$  .
- 3) Βρείτε βάσει των μετρήσεων την υπέρβαση  $\nu$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής SP .
- 4) Υπολογίστε την ζώνη  $\pm 2\%$  επί της εκάστοτε τιμής του SP , και βρείτε βάσει των μετρήσεων τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  .
- 5) Σημειώστε στο γράφημα την υπέρβαση  $\nu$  και τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής SP .
- 6) Περιγράψτε την διαδικασία και σημειώστε τους υπολογισμούς που εκτελέσατε , έτσι ώστε να έχετε Αναλογική-Ολοκληρωτική-Διαφορική ρύθμιση του ελεγκτή .
- 7) Με βάσει τις μετρήσεις του Πίνακα 1 , χαράξτε σε μιλιμετρέ χαρτί διαστάσεων A4 την καμπύλη  $Q_r(t)$  και για τις 2 μεταβολές του SP , όταν έχετε ελεγκτή με Αναλογική-Ολοκληρωτική-Διαφορική ρύθμιση .  
Οι κλίμακα του αξόνα του χρόνου θα είναι  $t=0\sim 600$  Ticks για την μεταβολή του SP σε  $0,0070 \text{ m}^3/\text{sec}$  και ακολούθως  $t=600\sim 1200$  Ticks για την μεταβολή του SP σε  $0,0050 \text{ m}^3/\text{sec}$  .
- 8) Βρείτε βάσει των μετρήσεων την υπέρβαση  $\nu$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής SP .
- 9) Υπολογίστε την ζώνη  $\pm 2\%$  επί της εκάστοτε τιμής του SP , και βρείτε βάσει των μετρήσεων τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  .
- 10) Σημειώστε στο γράφημα την υπέρβαση  $\nu$  και τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  για κάθε μεταβολή της επιθυμητής τιμής SP .
- 11) Με βάσει την υπέρβαση  $\nu$  και τον χρόνο αποκατάστασης  $T_s$  , συγκρίνετε την δράση των δύο διαφορετικών ρυθμίσεων του ελεγκτή .



Λύσεις - Άσκησης 9

PI Ελεγκτής	SP=0,005 -> SP=0,007		SP=0,007 -> SP=0,005		t (ticks)	
	CO	Qr	CO	Qr		
kT	Χρόνος	* Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού		
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec		
0+	30	0,00077	0,00502	0,00445	0,00698	12
30	34	0,01	0,00533	0,00128	0,00674	31
60	63	0,011	0,0062	0,00017	0,00568	61
90	93	0,00664	0,00719	0,0055	0,00436	93
120	124	0,00412	0,00754	0,00576	0,00409	126
150	153	0,00532	0,0077	0,00713	0,00479	154
180	182	0,00756	0,00675	0,00365	0,00544	182
210	214	0,00843	0,00668	0,00295	0,00538	220
240	246	0,00748	0,00694	0,00424	0,00507	241
270	269	0,00661	0,00710	0,00603	0,00476	274
300	299	0,00627	0,00712	0,00602	0,00484	304
330	332	0,00681	0,00659	0,00514	0,00503	331
360	361	0,0073	0,00691	0,0044	0,00514	365
390	394	0,0073	0,00694	0,00463	0,00506	396
420	427	0,00697	0,00701	0,00511	0,00496	425
450	455	0,00681	0,00704	0,00581	0,00494	451
480	482	0,00687	0,00701	0,00516	0,00498	482
510	516	0,00704	0,00698	0,0049	0,00503	515
540	544	0,00709	0,00698	0,00485	0,00503	545
570	572	0,0064	0,00699	0,00495	0,00501	571
600	600	0,00697	0,00701	0,00506	0,00499	603

Εικόνα 29 - Άσκηση 9, Πίνακας 1

PI D Ελεγκτής	SP=0,005 -> SP=0,007		SP=0,007 -> SP=0,005		t (ticks)
	CO	Qr	CO	Qr	
κΤ	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	Χρόνος	Εκροή Αγωγού	
Ticks	Ticks	m3/sec	Ticks	m3/sec	
0+ 10	0.00683	0.00501	0.00333	0.00692	12
30 30	0.01	0.0052	0	0.00651	33
60 64	0.01	0.00612	0.00233	0.00525	64
90 93	0.00665	0.00711	0.00733	0.00426	94
120 124	0.00569	0.00752	0.00684	0.00425	123
150 154	0.00637	0.00743	0.00522	0.00465	153
180 184	0.00698	0.0072	0.00463	0.00495	187
210 212	0.00717	0.00709	0.00473	0.00503	216
240 243	0.00713	0.00701	0.00497	0.00502	244
270 272	0.00704	0.00701	0.00501	0.00500	275
300 304	0.007	0.00701	0.00503	0.00499	306
330 334	0.00699	0.00701	0.00501	0.00499	333
360 360	0.007	0.00701	0.005	0.005	365
390 390	0.007	0.007			
420 428	.	.			
450 450	.	.			
480	.	.			
510	.	.			
540	.	.			
570	.	.			
600	.	.			

Εικόνα 30 - Άσκηση 9, Πίνακας 2

### Ερώτημα 1

Η διαδικασία είναι ακριβώς αυτή που περιγράψαμε στην Άσκηση 8.

Διατηρώντας τα l, Δμηδενικά, αυξάνουμε την τιμή του P ώστε να παρουσιάζονται συνεχείς ταλαντώσεις σταθερού πλάτους.

$$P_{n=11} \Rightarrow P = 0,45 \cdot 11 = 4,95 \approx 5 \text{ (το πρόγραμμα στρογγυλοποιεί)}$$

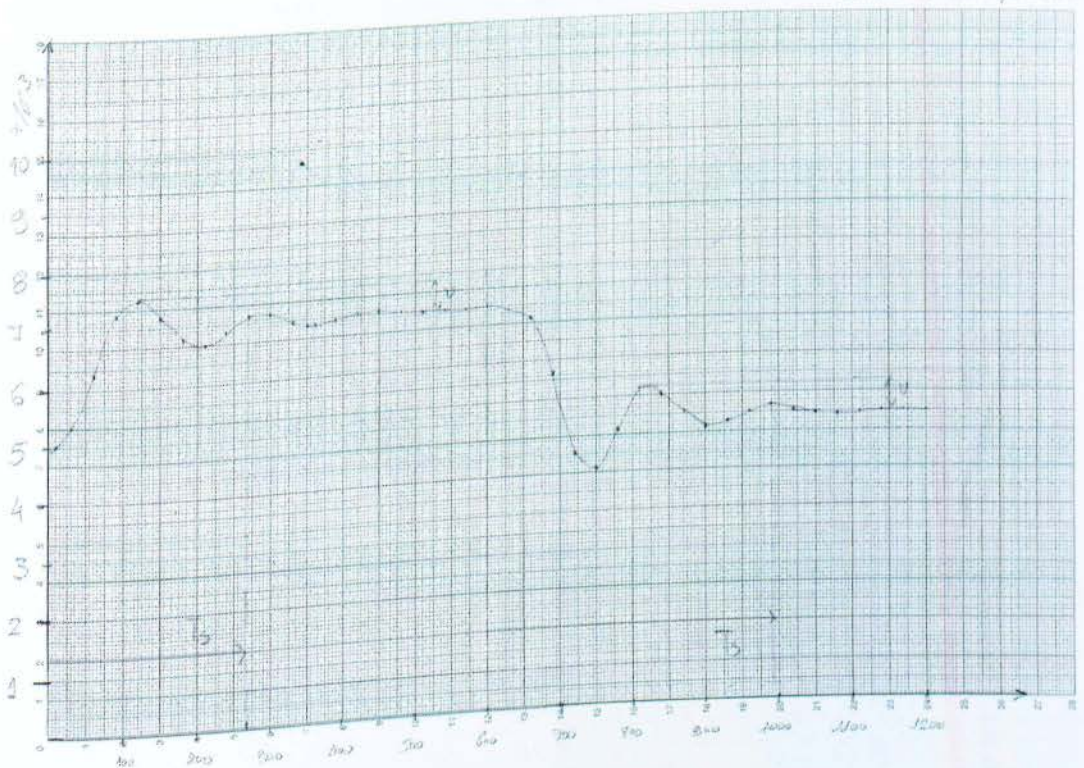
Επίσης, παρατηρούμε ότι εμφανίζονται 13 πλήρεις κυματομορφές σε 2.000ticks ή 200 sec.

Συνεπώς:

$$T_u = \frac{200}{13} = 15,38 \text{ sec} \Rightarrow I = \frac{72}{15,38} = 4,68$$

Εισάγουμε αυτές τις ρυθμίσεις στα κατάλληλα πεδία και πατάμε κάθε φορά Enter και trigger.

## Ερώτημα 2



Εικόνα 31 – Άσκηση 9, Γράφημα Ερωτήματος 2 & 5

## Ερώτημα 3 & 4

### Πίνακας 1

$$U = \frac{0,00754 - 0,007}{0,007} = 7,7\% (0,005 \rightarrow 0,007) \text{ και } T_x = 269 \text{ ticks}$$

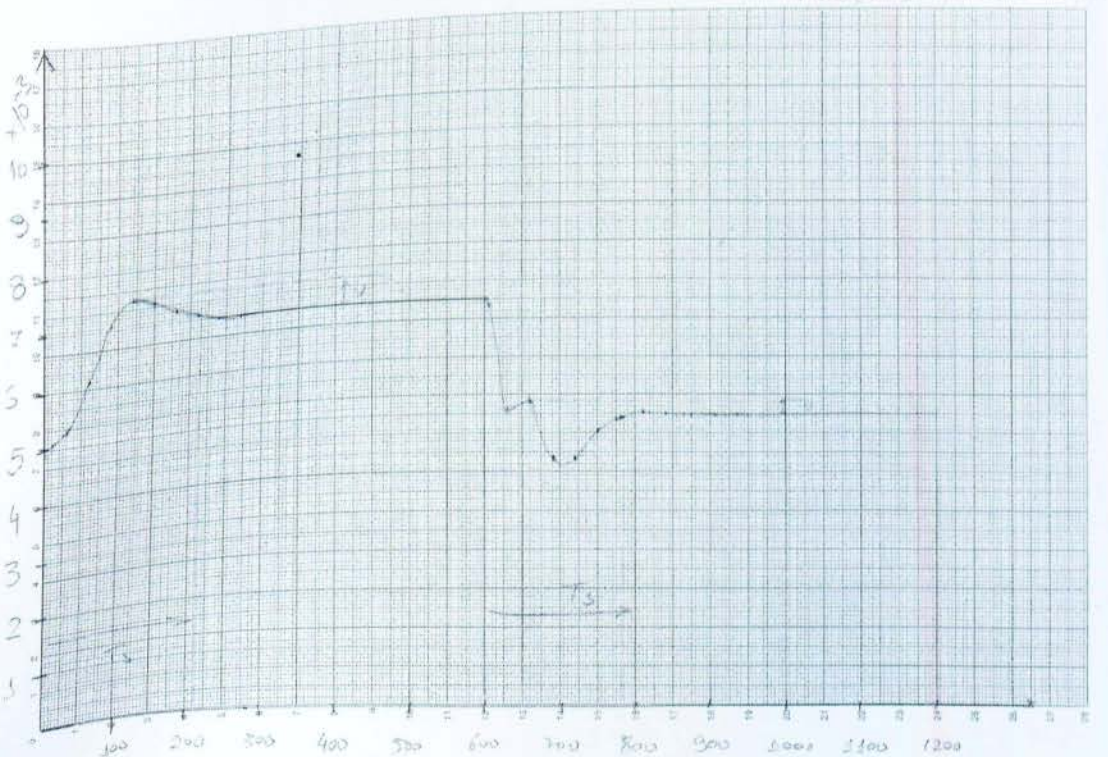
$$U = \frac{0,00544 - 0,005}{0,005} = 8,8\% (0,007 \rightarrow 0,005) \text{ και } T_x = 396 \text{ ticks}$$

$$\text{όπου } \begin{cases} 0,007 \pm 2\% = 0,00686 - 0,00714 \\ 0,005 \pm 2\% = 0,0049 - 0,0051 \end{cases}$$

Ερώτημα 5

Βλέπε Ερώτηση 2

Ερώτημα 7



Εικόνα 32 - Άσκηση 9, Γράφημα Ερωτήματος 7 & 10

Ερώτημα 8 & 9

Πίνακας 2

$$U = \frac{0,00752 - 0,007}{0,007} = 7,4\% (0,005 \rightarrow 0,007) \text{ και } T_s = 212 \text{ ticks}$$

$$U = \frac{0,00525 - 0,005}{0,005} = 5,0\% (0,007 \rightarrow 0,005) \text{ και } T_s = 187 \text{ ticks}$$

Ερώτημα 10

Βλέπε Ερώτηση 7

Ερώτημα 11

Παρατηρούμε ότι τόσο η υπέρβαση, όσο και ο χρόνος αποκατάστασης είναι μικρότεροι με τον ελεγκτή PID σε σχέση με τον ελεγκτή PI.

## Επίλογος

Στις παραπάνω ενότητες της πτυχιακής εργασία, αναλύθηκαν 9 εργαστηριακές ασκήσεις εισαγωγής στα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου.

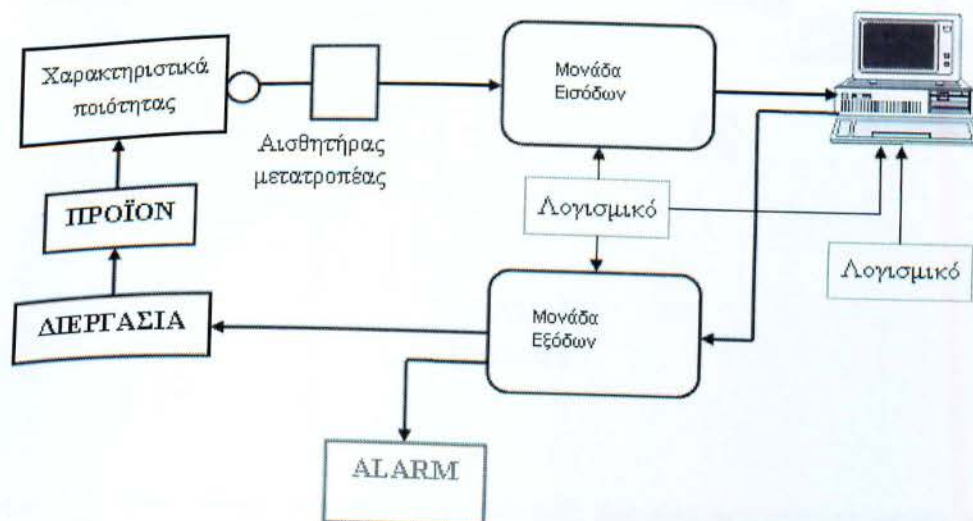
## Το λογισμικό VisiDAQ

❖ **Σκοπός :** Εισαγωγή στα Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου των φυσικοχημικών διεργασιών , με την χρήση Η/Υ ( PC based Automation ) .

❖ **Θεωρία :** Με την έννοια έλεγχος μιας διεργασίας , εννοούμε τον καθορισμό των μεταβλητών εισόδου μιας διεργασίας , έτσι ώστε η τα μετρούμενα χαρακτηριστικά του παραγόμενου προϊόντος , να προσεγγίζουν όσον το δυνατόν καλύτερα , τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ποιότητας .

Στο σχήμα 1.1 η διεργασία παράγει ένα προϊόν με συγκεκριμένες ιδιότητες από τις οποίες κάποιες αποτελούν τα χαρακτηριστικά ποιότητας. Η διάταξη ελέγχου της διεργασίας με χρήση Η/Υ ( PC based Automation ) , περιλαμβάνει τα εξής :

- Αισθητήρες ( Sensors ) για λήψη μετρήσεων των χαρακτηριστικών ποιότητας . Ο αισθητήρας καταγράφει συνεχώς ή κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα τις τιμές των χαρακτηριστικών ποιότητας. Η τιμές υπό μορφή σήματος , ψηφιακού ή αναλογικού μεταφέρονται στην αντίστοιχη μονάδα εισόδου ( Module ) .
- Υλικό μετατροπής των σημάτων των αισθητήρων σε αναγνωρίσιμα σήματα εισόδου από τον Η/Υ με την χρήση αντίστοιχων μονάδων εισόδου ( Modules ) π.χ Μονάδα Αναλογικών εισόδων ή Μονάδα Ψηφιακών εισόδων ή Μονάδα Θερμοκρασίας .
- Υλικό μετατροπής των σημάτων εξόδου από τον Η/Υ με την χρήση αντίστοιχων μονάδων ( Module ) σε μεταβλητές εισόδου της διεργασίας π.χ Μονάδα Ψηφιακών εξόδων .
- Η/Υ με τα κατάλληλα λογισμικά , έτσι ώστε :
  - Να επικοινωνούν οι μονάδες εισόδου με τον Η/Υ
  - Να γίνεται η επεξεργασία των σημάτων από τον Η/Υ
  - Να επικοινωνεί ο Η/Υ με τις μονάδες εξόδου

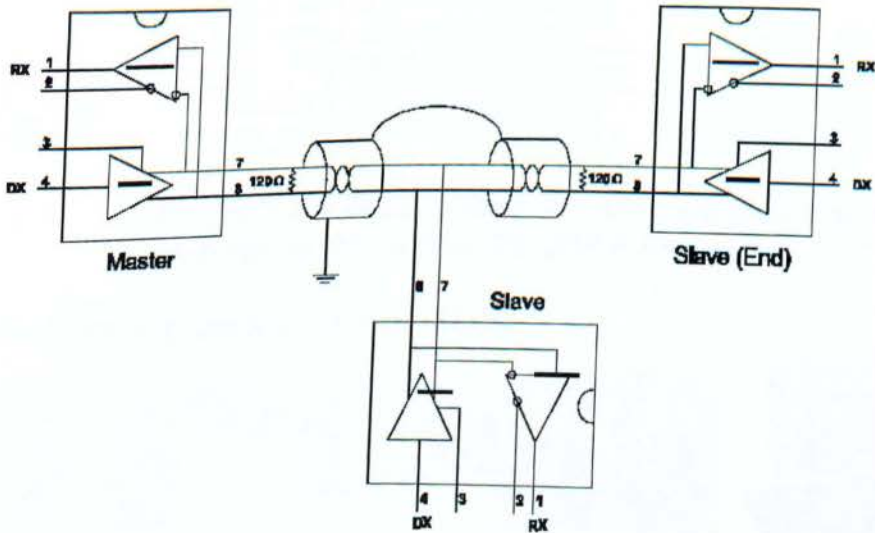


Σχήμα 1.1

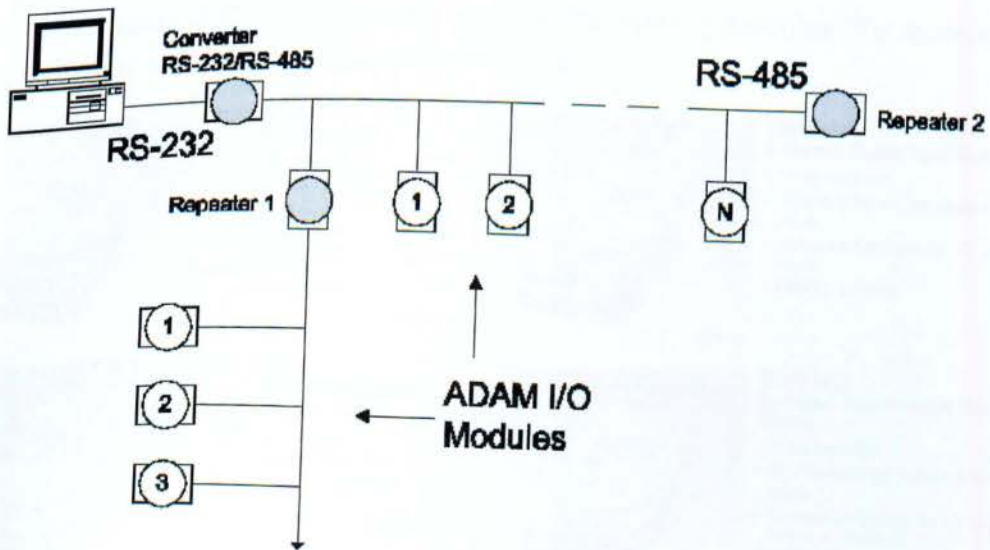
## ❖ Η Σειρά Adam-4000 της Advantech

Η σειρά ADAM 4000 είναι μια συλλογή από μονάδες (modules) εισόδου-εξόδου. Η δουλειά των modules εισόδου είναι να μετρούν τα σήματα εισόδου, να τα ψηφιοποιούν και να τα στέλνουν σαν δεδομένα μετρήσεων, όταν τους ζητηθεί με εντολή από το κανάλι δεδομένων. Τα modules εξόδου, παίρνουν από το κανάλι δεδομένων εντολές και τις εφαρμόζουν είτε παράγοντας ψηφιακά ή αναλογικά σήματα εξόδου, είτε ανοιγοκλείνουν relays. Με τον τρόπο αυτό επηρεάζουν τις μεταβλητές εισόδου της διεργασίας και συνεπώς την έξοδό της προς την επιθυμητή προκαθορισμένη τιμή, δηλαδή τελικά επιτυγχάνουν τον έλεγχο της διεργασίας.

### ➤ Επικοινωνία των modules



Σχήμα 1.2 Το RS-485 Bus

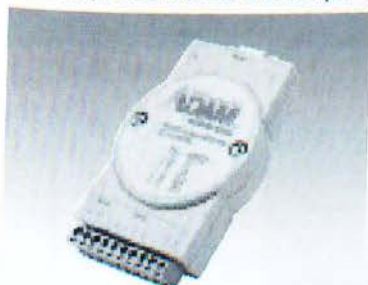


Σχήμα 1.3 Κάθε μονάδα συνδέεται στο RS-485 Bus που αποτελεί το κανάλι στο οποίο κινούνται οι εντολές και τα δεδομένα με συγκεκριμένο τρόπο.



Κάθε module έχει μια μοναδική διεύθυνση στο RS-485 Bus. Τα σήματα ελέγχου που κινούνται στο κανάλι είναι αλφαριθμητικά που έχουν συγκεκριμένη διεύθυνση παραλήπτη. Σε κάθε σήμα ελέγχου, το συγκεκριμένο module υποχρεούται να απαντήσει με αλφαριθμητικό μέσα σε ένα μικρό χρονικό διάστημα.

Τα σήματα ελέγχου και η συλλογή των απαντήσεων, συνήθως δημιουργούνται από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή που τρέχει ένα πρόγραμμα SCADA όπως το VisiDAQ με ικανότητα να επικοινωνεί με τα modules.



### ADAM-4520/4522 Isolated RS-232 to RS-422/485 Converter

- Transmission speeds up to 115.2 Kbps
- Automatic RS-485 data flow control
- 3000 V<sub>DC</sub> isolation protection
- Networking up to 4000 feet
- Power requirement: +10 ~ +30 V<sub>DC</sub>

Σχήμα 1.4 Επειδή ο Η/Υ δεν διαθέτει θύρα RS-485 υπάρχουν modules που μετατρέπουν το RS-485 σε RS-232 ή Ethernet.

## ➤ Τα Modules της σειράς Adam-4000



Σχήμα 1.5 Τρόποι στήριξης και προστασίας των modules

Η σειρά Adam 4000 περιλαμβάνει περίπου 50 τύπους modules. Τα modules που χρησιμοποιήσαμε για τις ασκήσεις μας είναι τα εξής :



### ADAM-4060 Relay Output Module

- 2 Form A relay outputs
- 2 Form C relay outputs
- Contact rating:  
AC: 125 V @ 0.6 A  
250 V @ 0.3 A  
DC: 30 V @ 2 A  
110 V @ 0.6 A

ρ. 9-17



### ADAM-4017 8-channel Analog Input Module

- 16-bit resolution
- Six differential and two single ended inputs
- Software configurable for mV, V or mA inputs
- 3000 V<sub>DC</sub> isolation

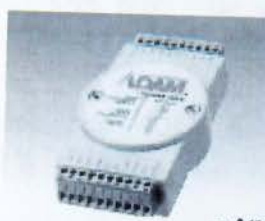
ρ. 9-14



### ADAM-4080 Counter/Frequency Module

- 2 independent 32-bit counters
- 2500 V<sub>RM</sub> isolation
- Programmable digital filter
- Programmable threshold for non-isolated input
- 2 digital outputs or high/low alarms
- Counter preset selection

ρ. 9-17



### ADAM-4018 8-channel Thermocouple Input Module

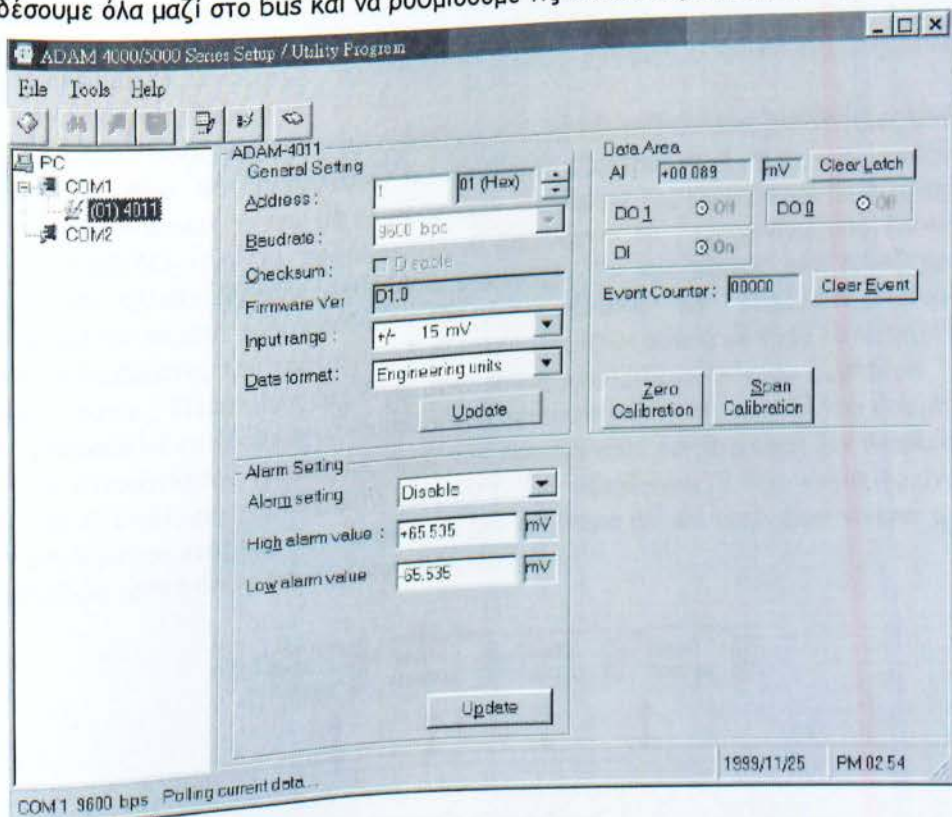
- 16-bit resolution
- Six differential and two single-ended inputs
- Software configurable for T/C, low level voltage or mA inputs
- 3000 V<sub>DC</sub> isolation

ρ. 9-15

Σχήμα 1.6 Τα modules που χρησιμοποιούνται στις ασκήσεις

## ➤ Ρύθμιση συσκευών

Αφού συνδέσουμε ένα-ένα τα modules στο bus με το Adam 4520 και τα τροφοδοτήσουμε με ρεύμα, τους δίνουμε διεύθυνση με τη βοήθεια του προγράμματος Adam Utility, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 1.7. Μετά μπορούμε να τα συνδέσουμε όλα μαζί στο bus και να ρυθμίσουμε τις υπόλοιπες παραμέτρους



Σχήμα 1.7.

### Παρατηρήσεις:

- Σε κάθε module πρέπει να πηγαίνουν 2 καλώδια, ένα με 2 αγωγούς με 24V DC για την τροφοδοσία και ένα 2 αγωγούς twisted pair και blendaz του data bus.
- Στην αρχή και το τέλος του, το data bus πρέπει να τερματίζεται με αντιστάσεις  $120\Omega$  στο + και το - των εισόδων δεδομένων ( data input ). Στην περίπτωση μας που έχουμε RS-485 Bus, θα πρέπει να τερματίσουμε στην μονάδα μετατροπής Adam-4520/4522 και στην τελευταία μονάδα που είναι συνδεδεμένη στο data bus.
- Για να μετρήσουμε mA στην είσοδο του 4017 ή του 4018 πρέπει να συνδέσουμε αντίσταση  $125\Omega/0.01\%$  στο + και το - της αντίστοιχης εισόδου δεδομένων.
- Το data bus μπορεί να έχει μήκος 1.2χμ χωρίς repeater
- Υπάρχει περιορισμός του data bus έως 256 modules

## ❖ Το πρόγραμμα VisiDAQ

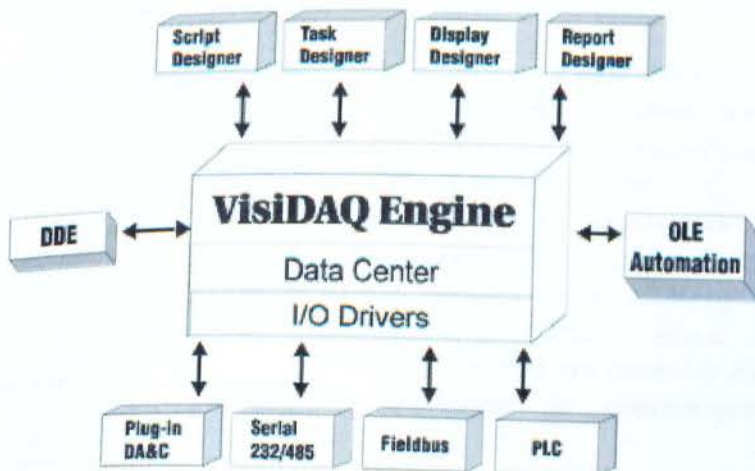
Όταν αυτοματοποιούμε μια διεργασία , πρέπει να επιλέξουμε ποια είναι τα σήματα που πρέπει να μετρούμε ( είσοδοι ) , και ποια τα σήματα που πρέπει να δημιουργήσουμε ( έξοδοι ) ώστε να ελέγχουμε την πορεία της φυσικοχημικής διεργασίας .

Κατόπιν πρέπει για κάθε σήμα εισόδου να εγκαταστήσουμε την αντίστοιχη μονάδα εισόδου που θα συλλέγει και θα οδηγεί στον υπολογιστή το σήμα μέτρησης. Εκεί μέσω του προγράμματος VisiDAQ , θα ληφθούν κάποιες αποφάσεις και θα δημιουργηθούν τα κατάλληλα σήματα εξόδου .

Τα σήματα αυτά από τον υπολογιστή πρέπει να οδηγηθούν στις αντίστοιχες μονάδες εξόδου , όπου θα επιδράσουν σε διάφορα εξαρτήματα ( π.χ ηλεκτροβάνες , ηλεκτρομηχανικά ρελέ ) που θα ελέγξουν την λειτουργία της φυσικοχημικής διεργασίας .

Το VisiDAQ είναι το πρόγραμμα που δημιουργεί το Human-Machine Interface (περιβάλλον αλληλεπίδρασης ανθρώπου-μηχανής). Το πρόγραμμα επεξεργάζεται και καταγράφει τα σήματα των εισόδων , οδηγεί τις εξόδους και παρουσιάζει μέσω του μιμικού διαγράμματος την πορεία της διαδικασίας μας στην οθόνη με έναν κατανοητό στον χειριστή τρόπο . Παράλληλα μας δίνει στην οθόνη χειριστήρια ελέγχου ( controls ) , τα οποία μπορούν να επιδράσουν σαν είσοδοι του αυτοματισμού, κατ' εντολή του χειριστή.

Η λειτουργία του VisiDAQ ως προς την εγκατάσταση και τη χρήση δεν διαφέρει και πολύ από τα υπόλοιπα προγράμματα ενός Η/Υ. Για παράδειγμα, η δημιουργία, το άνοιγμα και η αποθήκευση ενός αρχείου καθώς και μια πληθώρα άλλων ενεργειών γίνεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και σε άλλα προγράμματα.

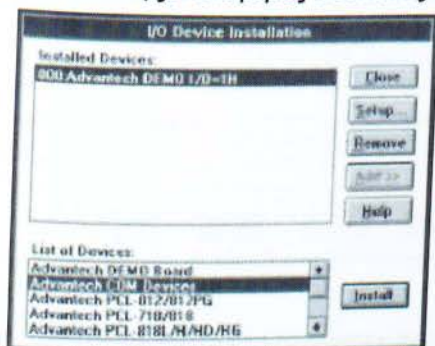


Σχήμα 1.8 Η αρχιτεκτονική του VisiDAQ

### ➤ Εγκατάσταση συσκευών στο VisiDAQ

Σε πρώτη φάση θα πρέπει να δηλώσουμε τα modules που ήδη έχουμε ρυθμίσει. Αυτό γίνεται από το menu **setup** -> **devices** του VisiDAQ. Αν η επικοινωνία των modules με τον Η/Υ γίνεται μέσω της RS-232 τότε πρέπει να κάνουμε **Add** -> **Com devices** εκεί θα πρέπει επίσης να δηλώσουμε σε πια Com θύρα βρίσκεται το ADAM4520/22. Από εκεί πέρα θα δηλώσουμε ένα-ένα τα modules που είναι συνδεδεμένα στην Com Device με

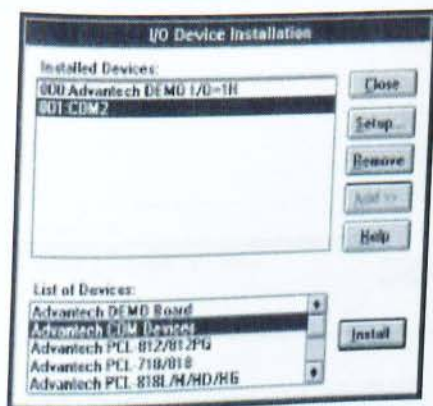
τον τύπο και τη διεύθυνση τους στο data bus. Το VisiDAQ έχει ανοιχτή αρχιτεκτονική και μπορεί να ελέγξει διάφορες συσκευές όχι κατ' ανάγκη μόνον modules της Advantech



Σχήμα 1.9

**Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (1)**

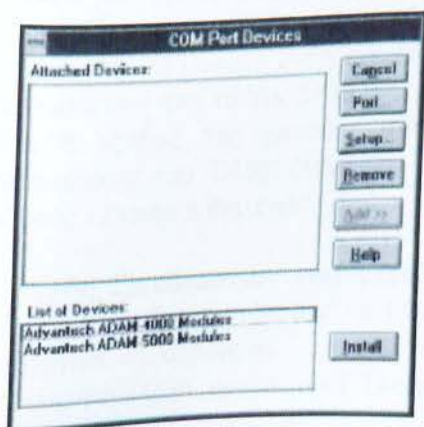
Αν η επικοινωνία των modules με τον Η/Υ γίνεται μέσω της RS-232 τότε πρέπει να κάνουμε Add -> Com devices



Σχήμα 1.10

**Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (1)**

Μόλις πατήσουμε install στην παραπάνω φόρμα, η συσκευή που επιθυμούμε εγκαθίσταται. Με Remove η επιλεγμένη συσκευή απεγκαθίσταται

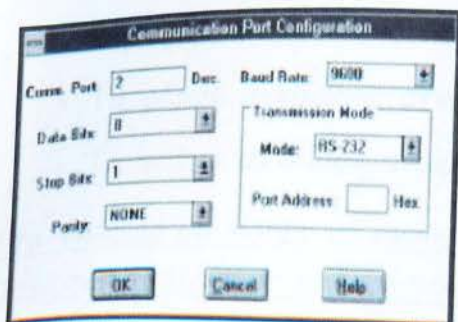


Σχήμα 1.11

**Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (2)**

Αν εδώ πατήσουμε Port εμφανίζεται η φόρμα 1.12 για ρύθμιση της θύρας Com.

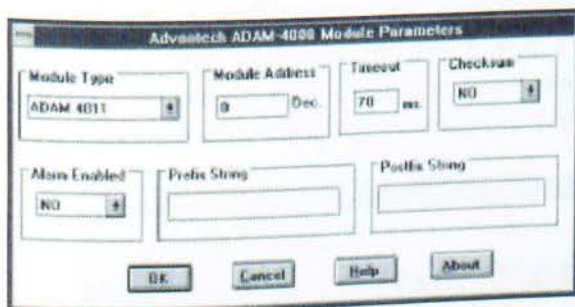
Αν πατήσουμε Add η φόρμα επεκτείνεται και μας ζητά να εγκαταστήσουμε με Install ποιά σειρά ADAM modules θέλουμε. Μόλις πατήσουμε το Install θα εμφανιστεί η φόρμα 1.13 όπου θα ρυθμίσουμε κάποιο συγκεκριμένο module. Με την ίδια διαδικασία θα εγκαταστήσουμε όλα τα modules.



Σχήμα 1.12

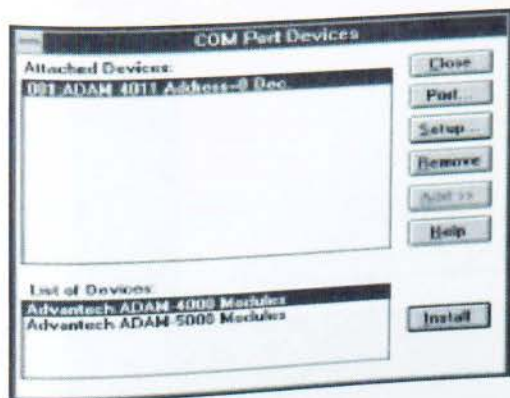
**Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (3)**

Μόλις πατήσουμε PORT στην παραπάνω φόρμα μας ζητούνται περισσότερα στοιχεία για τον τρόπο επικοινωνίας της συσκευής (θύρα, bit rate κλπ)



Σχήμα 1.13

*Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (4)  
Αυτή προκύπτει από τη φόρμα 1.11 μόλις πατήσουμε install ή τη φόρμα 1.14 αν πατήσουμε setup. Εδώ μπορούμε να ρυθμίσουμε τον τύπο του module, τη διεύθυνση του και άλλα χρήσιμα στοιχεία*



Σχήμα 1.14

*Η Φόρμα εγκατάστασης συσκευών (2)  
Αν θέλουμε να απεγκαταστήσουμε κάποιο, το επιλέγουμε και πατάμε remove*

Έτσι αφού τελειώσουμε με αυτή τη διαδικασία, το VisiDAQ πλέον μπορεί με τα εργαλεία του TASK Designer (Σχήμα 1.15) να βλέπει τις μονάδες που εγκαταστήσαμε. Για παράδειγμα η μονάδα Adam-4018 έχοντας σαν αισθητήρα κάποιο thermo coupler μετράει mV. Η μονάδα αυτή εγκαθιστάτε όπως προαναφέρθηκε παραπάνω, ώστε να αναγνωρίζεται από το VisiDAQ. Όταν η έξοδος της μονάδας αυτής, χρησιμοποιηθεί σαν είσοδος στο εργαλείο θερμοκρασίας του TASK Designer, θα δούμε ότι η μέτρηση αμέσως να ανάγεται σε βαθμούς Κελσίου ή Φαρενάιτ.

### ➤ Είδη Σχεδιαστών του VisiDAQ

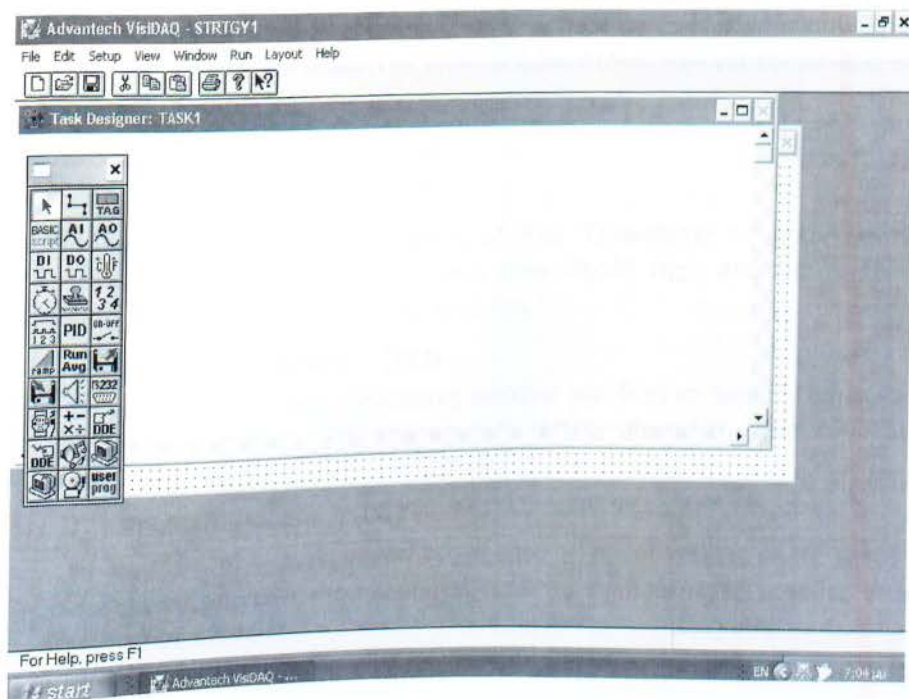
Για να δημιουργήσουμε το Human-Machine Interface, και να χρησιμοποιούμε λειτουργικά τα δεδομένα, το VisiDAQ περιλαμβάνει 4 φόρμες σχεδιασμού, με την κατάλληλη συλλογή εργαλείων (Toolbox) για την κάθε μία:

- Την φόρμα σχεδίασης της διεργασίας (Task Designer)
- Την φόρμα σχεδίασης της προβολής (Display Designer)
- Τη φόρμα σχεδίασης σεναρίου (Script Designer)
- Τη φόρμα σχεδίαση αναφορών (Report Designer)

Στο VisiDAQ μπορούμε να έχουμε παραπάνω από έναν TASK ή DISPLAY Designer ανάλογα με την πολυπλοκότητα της εφαρμογής

## ❖ Φόρμα Σχεδίασης της διεργασίας ( Task Designer )

Στη φόρμα που φαίνεται στο Σχήμα 1.15 , θα προγραμματίσουμε με οπτικό - κυρίως- τρόπο τις διεργασίες μας χρησιμοποιώντας τα εργαλεία από την αντίστοιχη εργαλειοθήκη ή θα εισάγουμε πρόγραμμα με τον Script Designer .



Σχήμα 1.15 Φόρμα σχεδίασης Διεργασιών ( Task Designer )

## ➤ Εργαλειοθήκη Διεργασιών (Task Toolbox)

Το παράθυρο της Σχεδίασης Διεργασιών (Task Designer) περιλαμβάνει δύο βασικά στοιχεία, την Εργαλειοθήκη Διεργασιών (Task Toolbox) και την Επιφάνεια Εργασίας.

Για την σχεδίαση λοιπόν μιας Διεργασίας (Task), επιλέγουμε τα κατάλληλα εργαλεία από την Εργαλειοθήκη Διεργασιών (Task Toolbox) . Μετά κάνουμε click στην Επιφάνεια Εργασίας, οπότε εμφανίζονται οι εικόνες των αντίστοιχων εργαλείων (TAG Icons) , τα οποία ονομάζουμε για συντομία μονάδες ( TAGs ).

Κατόπιν επιλέγουμε στην επιφάνεια εργασίας την κάθε μονάδα ξεχωριστά και διαμορφώνουμε τις παραμέτρους λειτουργίας των. Τέλος γίνεται, η συρμάτωση των μονάδων ( TAGs ) μεταξύ τους.

Από τις μονάδες που χρησιμοποιούμε για την σχεδίαση της Διεργασίας (Task), μερικές έχουν δυνατότητα εισόδου / εξόδου μόνο λογισμική , ενώ κάποιες άλλες αντιστοιχίζονται σε συσκευές ( Hardware Devices ).



## ➤ Κατηγορίες Μονάδων

### ▪ Αγωγός σύνδεσης ( Συρμάτωση )

Όταν το εργαλείο αυτό επιλεχθεί, ο δείκτης του ποντικιού αλλάζει σχήμα από το σύνηθες βέλος σε κάτι που θυμίζει κουβάρι σύρμα και χρησιμοποιείται για να συνδέσει λογικά τις μονάδες ( TAGs ) μεταξύ τους. Η μονάδα που θα επιλεχθεί πρώτη, αποτελεί την πηγή εισόδου δεδομένων για την μονάδα που θα επιλεχθεί δεύτερη.



### ▪ Μονάδες Εισόδων/Εξόδων

#### A ) Αναλογική Εισόδος (AI)

Η μονάδα ( AI ) έχει ικανότητες εξόδου. Τροφοδοτεί τις άλλες μονάδες με πληροφορίες αναλογικές που λαμβάνει στην είσοδό της, από τις συνδεδεμένες μονάδες αναλογικής εισόδου ( AI modules ).



#### B ) Αναλογική Εξόδος (AO)

Η μονάδα ( AO ) έχει ικανότητες εισόδου και δέχεται ψηφιακές πληροφορίες από άλλες μονάδες. Τις πληροφορίες αυτές προωθεί στις συνδεδεμένες μονάδες αναλογικής εξόδου ( AO modules )



AO1

#### Γ ) Ψηφιακή Εισόδος (DI)

Η μονάδα ( DI ) έχει ικανότητες εξόδου. Τροφοδοτεί τις άλλες μονάδες με πληροφορίες ψηφιακές που λαμβάνει από τις συνδεδεμένες μονάδες ψηφιακής εισόδου ( DI modules ).



DI1

#### Δ ) Ψηφιακή Εξόδος (DO)

Η μονάδα ( DO ) έχει ικανότητες εισόδου και δέχεται ψηφιακές πληροφορίες από άλλες μονάδες. Τις πληροφορίες αυτές προωθεί, στις συνδεδεμένες μονάδες ψηφιακής εξόδου ( DO modules ).



DO1

#### Ε ) Μέτρησης Θερμοκρασίας (TMP)

Η μονάδα ( TMP ) παρόμοια με την μονάδα αναλογικής εισόδου (AI), μετασχηματίζει γραμμικά τα αναλογικά σήματα από τις συνδεδεμένες μονάδες Θερμοκρασίας ( Temperature modules ), σε δεδομένα θερμοκρασίας βαθμούς Κελσίου, Φαρενάιτ ή Κέλβιν.



TMP1

#### Ζ ) Μέτρησης Συμβάντων/Συχνότητας ή Δημιουργίας Παλμών (CTFQ)

Η μονάδα CTFQ έχει την δυνατότητα είτε εισόδου συμβάντων/συχνότητας οπότε χρησιμοποιήτε σαν μετρητής συμβάντων και παρέχει στην έξοδό της πληροφορίες μέτρησης των συμβάντων / συχνότητας, είτε εξόδου Παλμών οπότε χρησιμοποιείτε σαν γεννήτρια παλμών.



CTFQ1

#### Η ) Συσσκευής Συναγερμού (ALM)

Η μονάδα ALM παρέχει σήμα συναγερμού στις συσκευές που είναι συνδεδεμένες στην έξοδο και έχουν διαθέσιμα κανάλια συναγερμού, όταν η στάθμη του σήματος που λαμβάνει από τις μονάδες του τμήματος εισόδου ξεπεράσουν τα προκαθορισμένα όρια.



ALM1

## ▪ Μονάδες Σκανδαλισμού

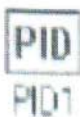
### A ) Μονάδα Ψηφιακού Διακόπτη (ONF)

Η μονάδα (ONF) έχει δυνατότητα εισόδου και εξόδου. Η είσοδος αποτελείται από μία μετρούμενη τιμή η οποία πρέπει να βρίσκεται σε ένα εύρος τιμών προκαθορισμένο, άνω του οποίου η μονάδα δίνει λογικό 1 στην έξοδο της και κάτω του οποίου δίνει αντίστοιχα λογικό 0.



### B ) Μονάδα Διαφοριστή / Ολοκληρωτή / Παραγωγισμού (PID)

Η μονάδα (PID) έχει δυνατότητα εισόδου και εξόδου. Η είσοδος αποτελείται από μία τιμή μετρούμενη και ελεγχόμενη από την συνάρτηση ελέγχου της μονάδας ώστε η έξοδος να κυμαίνεται εντός των προκαθορισμένων ορίων. Η μονάδα έχει 3 συναρτήσεις ελέγχου οι οποίες μπορούν να επιλεγούν ανάλογα με της ανάγκες της εφαρμογής.



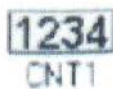
### Γ ) Μονάδα Παραγωγής Βαθμωτών Τιμών (RMP)

Η μονάδα (RMP) έχει δυνατότητα εισόδου και εξόδου. Είναι μία γεννήτρια αναλογικών τιμών που τροφοδοτεί τις συνδεδεμένες στην έξοδό της μονάδες με τιμές γραμμικής κλίμακας κινητής υποδιαστολής.



### Δ ) Μονάδα Μέτρησης Συμβάντων (CNT)

Η μονάδα CNT έχει δυνατότητες εισόδου και εξόδου. Είναι ένας λογισμικός μετρητής συμβάντων που μετρά τις ακμές των ψηφιακών ανυψώσεων (λογικό 1), από κάθε μονάδα που παρέχει ψηφιακές πληροφορίες (λογικά 1 και λογικά 0).



## ▪ Μονάδες Υπολογισμών

### A ) Μονάδα Μέσου Όρου (AVG)

Η μονάδα (AVG) έχει δυνατότητα εισόδου και εξόδου. Εάν επιλεγθεί η μέθοδος του κινούμενου Μέσου Όρου, η είσοδος παίρνει την τιμή μέσου όρου επί καθορισμένου αριθμού δειγμάτων, ενώ αν επιλεγθεί η μέθοδος του ολικού Μέσου Όρου, τότε η είσοδος παίρνει την τιμή μέσου όρου επί όλων των δειγμάτων της εισόδου.



### B ) Μονάδα Υπολογισμών Ενός Τελεστή (SOC)

Η μονάδα (SOC) κάνει μαθηματικές και λογικές πράξεις όπως άθροιση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμό, τετραγωνική ρίζα, ισότητα, απόλυτο, μέγιστο, ελάχιστο κ.λ.π



## ▪ Μονάδα Διασύνδεσης (TAG)

Η μονάδα χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις μονάδες της Διεργασίας (Task) με τα στοιχεία της Απεικόνισης (Display) ή με μία εικονική μεταβλητή (Virtual Tag). Τα στοιχεία ελέγχου από την Οθόνη Απεικόνισης ή οι εικονικές μεταβλητές μπορούν έτσι να αποστείλουν τις τιμές τους σε άλλες μονάδες.





## ▪ Μονάδες Αρχείου



### A) Μονάδα Ανάκτησης Δεδομένων από Αρχείο (INF)

Η μονάδα (INF) έχει δυνατότητες εξόδου. Η μονάδα λαμβάνει δεδομένα από ένα αρχείο δεδομένων τύπου ASCII, και αποστέλλει τα δεδομένα αυτά στις μονάδες που συνδέονται στην έξοδό της.



### B) Μονάδα Καταγραφής Δεδομένων (LOG)

Η μονάδα έχει δυνατότητες εισόδου. Η μονάδα, με τα δεδομένα που λαμβάνει από τις μονάδες που συνδέονται στην είσοδό της, μπορεί να ενημερώνει ένα αρχείο δεδομένων τύπου ASCII.



### Γ) Μονάδα Καταγραφής Συναγερμών (ALOG)

Η μονάδα (ALOG) έχει δυνατότητες εισόδου και εξόδου. Η μονάδα καταγράφει εισερχόμενα δεδομένα συναγερμού σε αρχείο καταγραφής συμβάντων του VisiDAQ. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να απεικονισθούν και να αναγνωρισθούν κατά την διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος.

## ▪ Μονάδες Ηχητικές



### A) Μονάδα Μεγαφώνου (SP)

Η μονάδα (SP) δέχεται μόνο μία είσοδο και παρέχει έξοδο ηχητικού συναγερμού στο μεγάφωνο του υπολογιστή ή σε εξωτερικό μεγάφωνο. Η μονάδα μεγαφώνου περνάει τα δεδομένα εισόδου στις συνδεδεμένες στην έξοδό της μονάδες.



### B) Μονάδα Αρχείων Δειγματοληψίας Ήχου (SOUND)

Η μονάδα (SOUND) έχει δυνατότητα μόνον εισόδου τιμών από μία άλλη μονάδα. Για κάθε τιμή από 0 έως 7 από αντιστοιχίζεται ένα διαφορετικό αρχείο δειγματοληψίας ήχου (wave file) τα οποία μπορεί να αναπαραχθεί από μία κάρτα ήχου.

## ▪ Μονάδες Χρονομέτρησης



### A) Μονάδα Μετρητή Χρόνου (ET)

Η μονάδα (ET) έχει δυνατότητα εισόδων για επανεκκίνηση (Reset) του μετρητή χρόνου και επίσης έχει δυνατότητα εξόδου υπολειπόμενου χρόνου ή απόλυτου χρόνου στην μονάδα που συνδέουμε στη έξοδό της.



### B) Μονάδα Επικύρωσης Χρόνου (TS)

Η μονάδα (TS) έχει μόνο δυνατότητα εξόδου. Ο παρόν χρόνος μπορεί να απεικονισθεί σε μία οθόνη ή σε ένα αρχείο καταγραφής.

## ▪ Μονάδα RS-232

Η μονάδα RS-232 (Σειριακή Μονάδα) χρησιμοποιείται για την επικοινωνία μεταξύ του υπολογιστή που είναι αποθηκευμένο και "τρέχει" το πρόγραμμα του VisiDAQ και άλλων σειριακών συσκευών που υποστηρίζουν το πρότυπο επικοινωνίας RS-232 (άλλοι υπολογιστές, ADAM modules, κ.λ.π)



## ▪ Μονάδες Επικοινωνίας

### A) Μονάδα Δυναμικής Ανταλλαγής Δεδομένων Εξυπηρετητού (DDE Server)



Η μονάδα DDEES1 παρέχει δεδομένα από το VisiDAQ σε άλλες εφαρμογές των Windows. Επειδή η μονάδα χρησιμοποιεί επικοινωνία τύπου εκπομπής, τα δεδομένα του "δημοσιοποιούνται" και είναι ευθύνη των άλλων εφαρμογών να τα βρουν και να τα σχηματοποιήσουν όπως θέλουν.

### B) Μονάδα Δυναμικής Ανταλλαγής Δεδομένων Πελάτου (DDE Client)



Η μονάδα DDEEC1 δέχεται δεδομένα από άλλες εφαρμογές των Windows που παίζουν τον ρόλο εφαρμογής εξυπηρετητού (Server). Τα δεδομένα που λαμβάνει η μονάδα, μπορεί να τα μεταδώσει στην έξοδό της, σε οποιοδήποτε αριθμό άλλων μονάδων συνδεθούν μαζί της για να την χρησιμοποιήσουν σαν είσοδο.

### Γ) Μονάδα Δικτυακής Λήψης Δεδομένων (NETIN)



Η μονάδα (NETIN) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την λήψη έως 8 τιμών, σε αντίστοιχες εξόδους, από μία ανταποκρινόμενη μονάδα Δικτυακής Αποστολής Δεδομένων (NETIN) ή από έναν άλλο απομακρυσμένο σταθμό εργασίας που εκτελεί το VisiDAQ με την προϋπόθεση ότι το τοπικό μας δίκτυο υποστηρίζει το πρωτόκολλο IPX

### Δ) Μονάδα Δικτυακής Αποστολής Δεδομένων (NETOUT)



Η μονάδα (NETOUT) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετάδοση έως 8 τιμών εισόδου, σε μία ανταποκρινόμενη μονάδα Δικτυακής Λήψης Δεδομένων (NETIN) ή σε έναν άλλο απομακρυσμένο σταθμό εργασίας που εκτελεί το VisiDAQ με την προϋπόθεση ότι το τοπικό μας δίκτυο (LAN) υποστηρίζει το πρωτόκολλο IPX

## ▪ Μονάδες Προγραμματισμού

### A) Μονάδα Γλώσσας Basic (SCR)



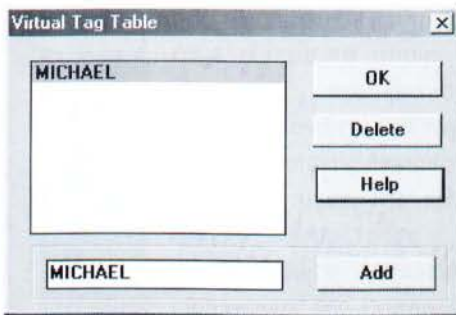
Η μονάδα (SCR) χρησιμοποιεί μία γλώσσα προγραμματισμού με σύνταξη συμβατή με την Microsoft Visual Basic και την Visual Basic for Applications. Υποστηρίζει πολλές (άνευ ορίου) εισόδους από όλους τους τύπους των μονάδων. Η έξοδός της έχει 8 κανάλια που μπορούν να συνδεθούν με αντίστοιχες μονάδες. Με διπλό κλικ πάνω στην Μονάδα Γλώσσας Basic, ανοίγει η Ψόρμα Script Designer με την οποία γίνεται η επεξεργασία του προγράμματος.

### B) Μονάδα Προγραμματισμού Χρήστη (PRG)



Η μονάδα (PRG) έχει την δυνατότητα έως 8 καναλιών εισόδου και εξόδου. Μπορούμε να συνδέσουμε στις εισόδους διάφορες μονάδες και να εκτελέσουμε σ' αυτές μαθηματικές ή λογικές πράξεις ή να γράψουμε ένα πρόγραμμα που χρησιμοποιεί σύνταξη τύπου γλώσσας C, το οποίο να συμπεριφέρεται στις συνδεδεμένες μονάδες εισόδου σαν να είναι μεταβλητές.

➤ **Virtual TAGs**

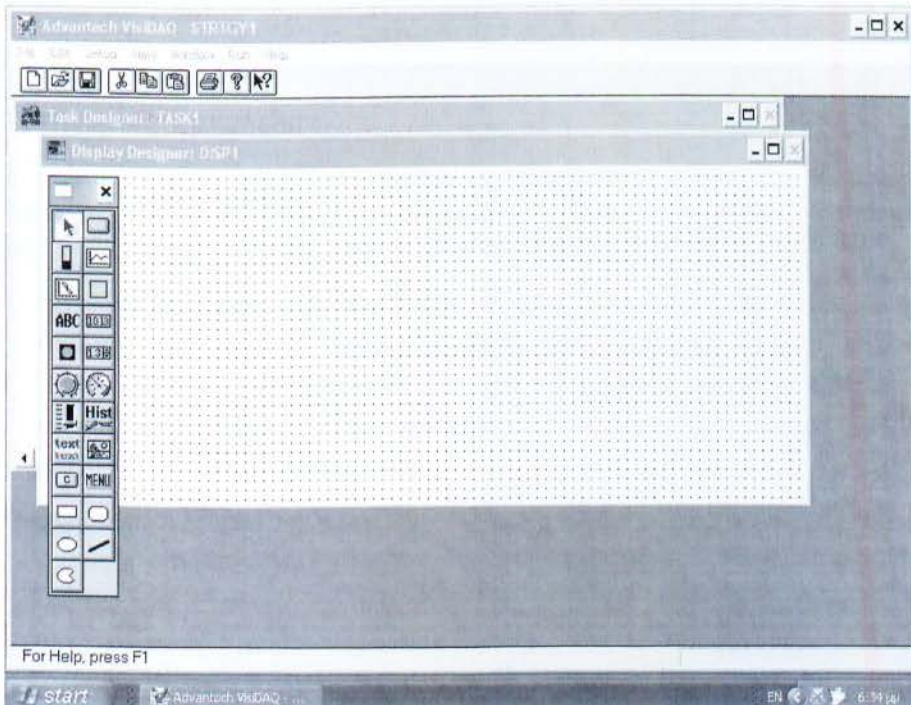


Εκτός από τα TAGs που δημιουργούνται από αντικείμενα του VisiDAQ μπορούμε να δημιουργήσουμε και τα δικά μας εικονικά TAGs που θα παίξουν το ρόλο των μεταβλητών για να τους δίνουμε τιμές και να τις μεταφέρουμε από TASK σε TASK ή σε DISPLAY Designer.

Τα virtual tags μπορούν να δημιουργηθούν αν την ώρα που βλέπουμε μια φόρμα TASK πάμε στο μενού SETUP->Add/Delete Virtual Tags

❖ **Φόρμα Σχεδίασης Παρουσίασης ( Display Designer )**

Εδώ σχεδιάζουμε αυτό που τελικά θα βλέπει ο χρήστης στην οθόνη του Η/Υ όταν λειτουργήσει ο αυτοματισμός . Ο χρήστης παρακολουθεί την πορεία της διεργασίας και επικοινωνεί με την εφαρμογή μέσω της οθόνης σε πραγματικό χρόνο μεταβάλλοντας τις προς έλεγχο παραμέτρους .



Σχήμα 1.16 Η Φόρμα Σχεδίασης Παρουσίασης ( Display Designer )

## ➤ Εργαλειοθήκη Παρουσίασης (Display Toolbox)



Αντίστοιχα με το Task Toolbox, στο Display Toolbox μας δίδονται τα εργαλεία με τα οποία σχεδιάζουμε στην Φόρμα Παρουσίασης το 'μιμικό διάγραμμα', που αναπαριστά την πορεία της διεργασίας στην οθόνη, με τρόπο κατανοητό για τον χειριστή της.

Ο χειριστής παρακολουθεί το 'μιμικό διάγραμμα' και επικοινωνεί με την εφαρμογή μέσω της οθόνης σε πραγματικό χρόνο μεταβάλλοντας τις προς έλεγχο παραμέτρους.

Το πρώτο εργαλείο (βέλος) είναι το εργαλείο επιλογής, με αυτό επιλέγουμε ότι έχουμε σχεδιάσει στη φόρμα και με διπλό click σε κάποιο μπορούμε να ρυθμίσουμε τις ιδιότητες του. Οι ιδιότητες μπορεί να είναι χρώματα εμφάνισης, περιοχές τιμών, πηγές εισόδου εάν πρόκειται για όργανα που εμφανίζουν τιμές και άλλα.

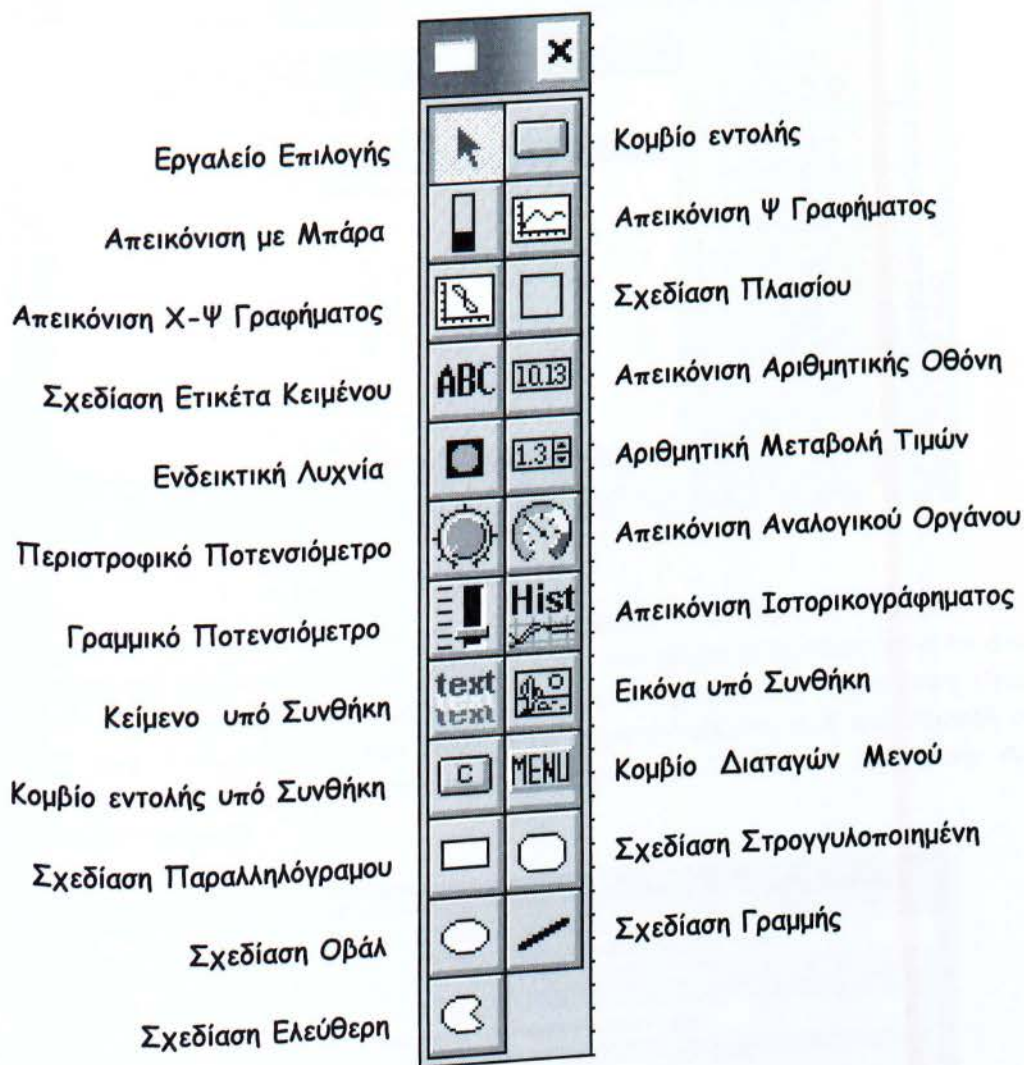
Τα υπόλοιπα εργαλεία εισάγονται στη φόρμα, αν κάνουμε click την εργαλειοθήκη και μετά στο σημείο της φόρμας που θέλουμε να τα εισάγουμε. Σβήνονται δε από τη φόρμα αν τα επιλέξουμε και πατήσουμε del.

Το μέγεθος των εργαλείων αλλάζει αν τα επιλέξουμε και τραβήξουμε τα άκρα τους. Ακόμα μεταφέρονται σε άλλο σημείο της φόρμας αν τα τραβήξουμε από το εσωτερικό τους με το ποντίκι και μικρομετρικά με τα βελάκια.

## ➤ Κατηγορίες Εργαλείων

Τα εργαλεία της Φόρμας Παρουσίασης αλληλοεπιδρούν στέλνοντας ή λαμβάνοντας τιμές προς και από τις μονάδες της Διεργασίας (Task). Ανάλογα λοιπόν με την λειτουργία τους, χωρίζονται σε 3 κατηγορίες όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.17

- **Εργαλεία Ελέγχου** είναι το Κομβίο εντολής, το Κομβίο Διαταγών Μενού, το Κομβίο εντολής υπό Συνθήκη, η Αριθμητική Μεταβολή Τιμών, το Γραμμικό Ποτενσιόμετρο και το Περιστροφικό ποτενσιόμετρο με τα οποία θέτουμε τιμές ψηφιακές ή αναλογικές με οπτικό τρόπο, οι οποίες οδηγούνται για επεξεργασία στις μονάδες του Task designer.
- **Εργαλεία Απεικόνισης** είναι το Γράφημα Μπάρας, το Χ-Ψ Γράφημα, το Ψ Γράφημα, το Ιστορικό Γράφημα, η Αριθμητική Οθόνη, η Ενδεικτική Λυχνία, το Κείμενο υπό Συνθήκη και η Εικόνα υπό Συνθήκη με τα οποία εμφανίζονται οι τιμές ψηφιακές ή αναλογικές από τις μονάδες του Task Designer.
- **Εργαλεία Σχεδίασης** είναι το Παραλληλόγραμμο, το Οβάλ, το Στρογγυλοποιημένο Παραλληλόγραμμο, η Γραμμή, η Ελεύθερη Σχεδίαση, η Ετικέτα Κειμένου και το Πλαίσιο με τα οποία σχεδιάζουμε στην Φόρμα Παρουσίασης, το 'μιμικό διάγραμμα' της διεργασίας.

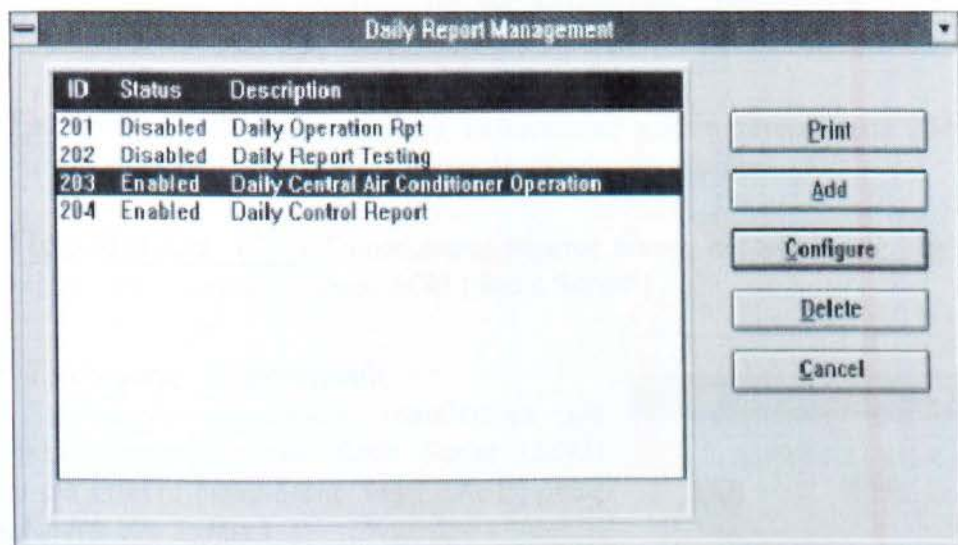


Σχήμα 1.17

### ❖ Φόρμα Σχεδίασης Αναφορών (Report Designer)

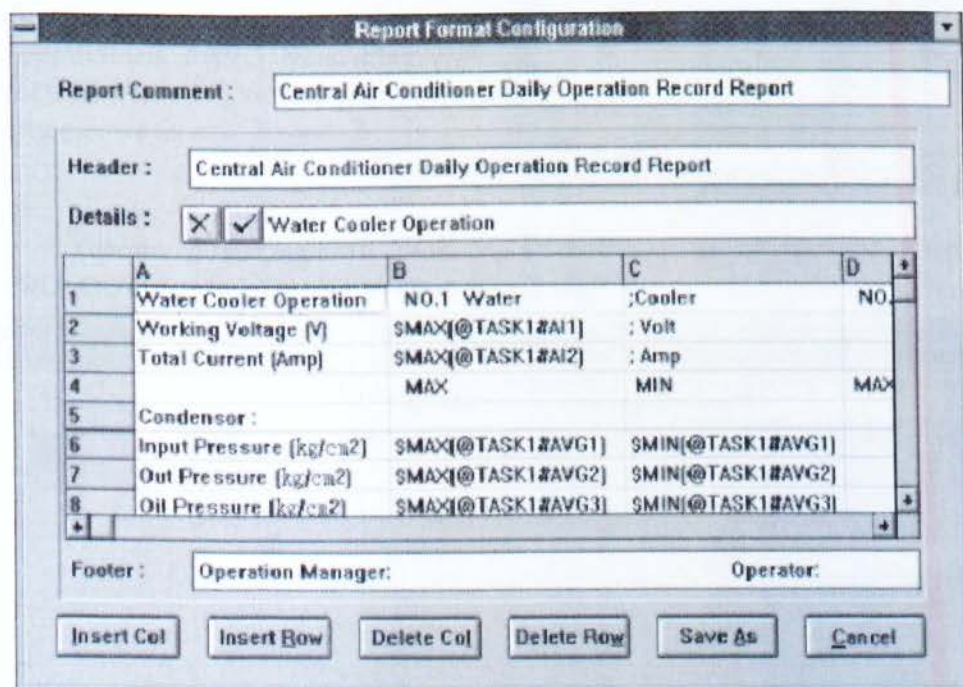
Η τέταρτη φόρμα (Σχεδίασης Αναφορών) δίνει στο VisiDaq το χαρακτήρα του καταγραφικού, αφού μπορεί να σχεδιάσει να εμφανίσει και να τυπώσει αναφορές προγραμματισμένου χρόνου. Επίσης δίνεται η δυνατότητα μιας υποτυπώδους στατιστικής ανάλυσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.18

Ουσιαστικά μας ζητείται να προγραμματίσουμε το χρόνο της αναφοράς ανάμεσα σε αναφορά συγκεκριμένου χρόνου, ημερησία, εβδομαδιαία, μηνιαία ή ετήσια αναφορά.



Σχήμα 1.18

Μετά, για το συγκεκριμένο χρόνο που ορίσαμε πρέπει να ορίσουμε τα δεδομένα που θα καταγράφονται δημιουργώντας μια φόρμα με αυτά. Στη φόρμα αυτή όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.19, έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίζουμε, είτε τις τιμές των TAGs όπως είναι εκείνη την ώρα, ή το μέσο όρο των τιμών ή τη μέγιστη-ελάχιστη τιμή κ.α. Δηλαδή ο report designer μπορεί μόνο να επεξεργάζεται τιμές από TAGs που βρίσκονται σε κάποιον TASK Designer.



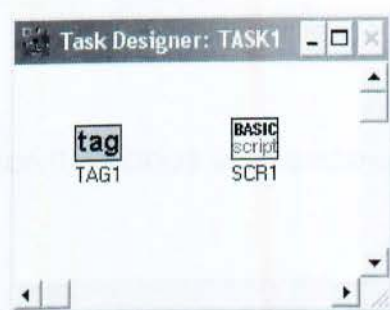
Σχήμα 1.19

## Προγραμματισμός με το λογισμικό VisiDAQ

- ❖ **Σκοπός :** Δημιουργία οθόνης επικοινωνίας χρήστη-αυτοματισμού ( H.M.I = Human Machine Interface ) , μέτρησης αναλογικών σημάτων .
- ❖ **Παράδειγμα 1<sup>ον</sup> :** Προσομοίωση σήματος πίεσης παραμόρφωσης , με χρήση της μονάδας προγραμματισμού SCR1 ( Basic Script ) .

### ➤ Σχεδίαση Στρατηγικής

Στο φύλλο διεργασιών τοποθετούμε μία ετικέτα προγραμματισμού Basic Script (SCR1) και μία ετικέτα διασύνδεσης Tag ( TAG1 ) όπως φαίνονται στο Σχήμα 1



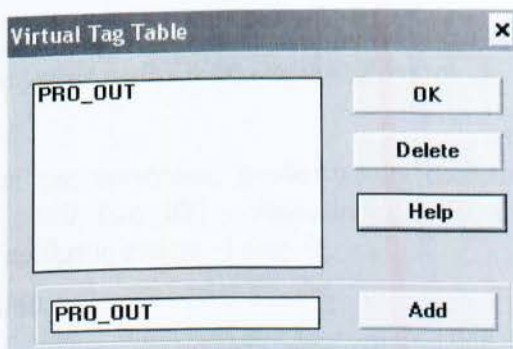
Σχήμα 1

#### ▪ Δημιουργία εικονικής μεταβλητής

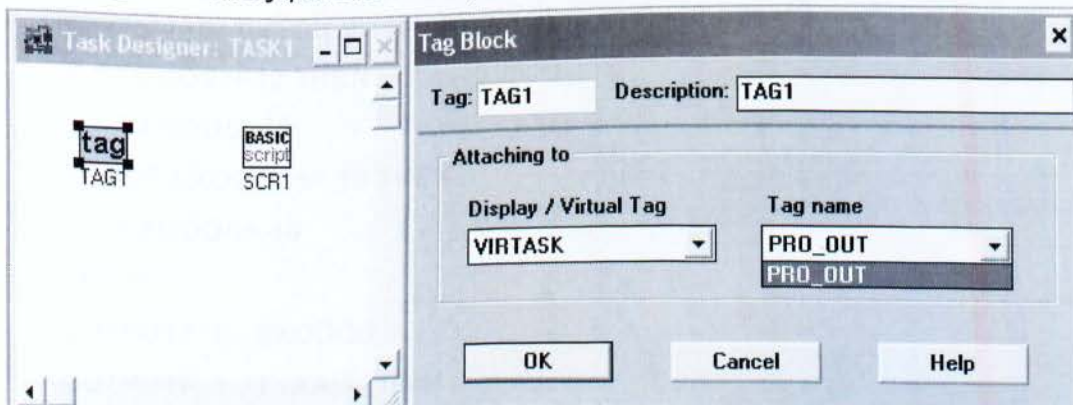
Στο φύλλο του Task Designer ανοίγω το μενού SetUp -> Add/Delete Virtual Tags .

Δημιουργούμε το Virtual Tag -> PRO\_OUT και με Add το προσθέτουμε στον Πίνακα Εικονικών Μεταβλητών ( Virtual Tag Table ) όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 .

Σχήμα 2



Κατόπιν ρυθμίζουμε το TAG1 να διασυνδέεται με το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 3 .



Σχήμα 3

➤ **Ο προγραμματισμός του Basic Script**

Αφού τελειώσουμε με τις ρυθμίσεις των ετικετών , κάνουμε διπλό κλικ στην ετικέτα SCR1 και έτσι ανοίγουμε τον διορθωτή κειμένου της γλώσσας προγραμματισμού Basic . Γράφουμε τον κάτωθι κώδικα στο SCR1 .

**Sub SCR1()**

'Δημιουργώ την μεταβλητή PROHG\_EXODOS τύπου αντικειμένου (TAG )

**DIM PROHG\_EXODOS AS TAG**

'Αποδίδω με την εντολή SET το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT στην μεταβλητή

**SET PROHG\_EXODOS=GETTAG("VIRTASK","PRO\_OUT")**

'Δημιουργώ την μεταβλητή PRO\_EXODOS

**DIM PRO\_EXODOS AS SINGLE**

'Αποδίδω την ιδιότητα TIMH του αντικειμένου PROHG\_EXODOS στην μεταβλητή

**PRO\_EXODOS=PROHG\_EXODOS.VALUE**

'Δημιουργώ μεταβλητές για τους υπολογισμούς

**DIM EXODOS AS SINGLE**

**DIM TYXAIA\_TIMH AS SINGLE**

' Με την εντολή RANTOMIZE , δημιουργώ καινούργιο «σπόρο» στην ψευδογεννήτρια αριθμών άλλως η τυχαία σειρά των παραγόμενων αριθμών θα επαναλαμβάνεται .

**RANDOMIZE**

' Με την εντολή RANDOM , κάνω χρήση της γεννήτριας ψευδοτυχαίων αριθμών δημιουργώντας τυχαίους αριθμούς από το 0 έως 100 . Αφαιρώντας 50 και διαιρώντας με 50 , δημιουργώ τυχαίους αριθμούς από το -1 έως +1

**TYXAIA\_TIMH =(RANDOM(0,100)-50)/50**

' Το άθροισμα της PRO\_EXODOS που αντιπροσωπεύει την τιμή του εικονικού αντικειμένου PRO\_OUT , με την TYXAIA\_TIMH είναι η νέα EXODOS

**EXODOS=PRO\_EXODOS+TYXAIA\_TIMH**

' Περιορίζω την τιμή της μεταβλητής EXODOS από -10 έως +10

**IF EXODOS>=10 THEN**

**EXODOS=10**

**ELSEIF EXODOS<=-10 THEN**

**EXODOS=-10**

**END IF**

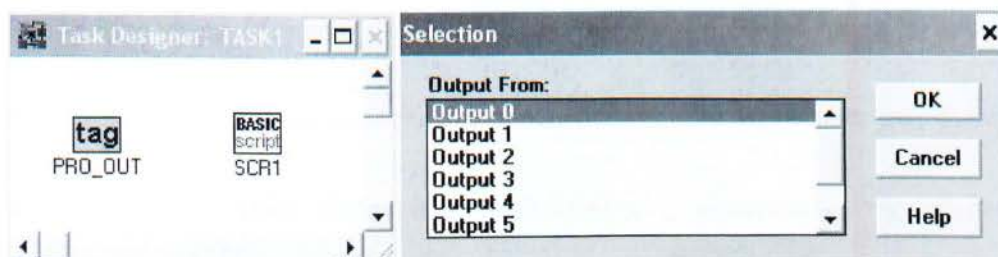
**OUTPUTF 0 , EXODOS**

**OUTPUTF 1 , TYXAIA\_TIMH**

**End Sub**



Η έξοδος 0 του SCR1 ( OutputF 0, EXODOS), συρματώνεται όπως φαίνεται στο Σχήμα 4 με το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT έτσι ώστε να αλλάξει την προηγούμενη τιμή του με την καινούργια που δημιουργήθηκε στο SCR1 .

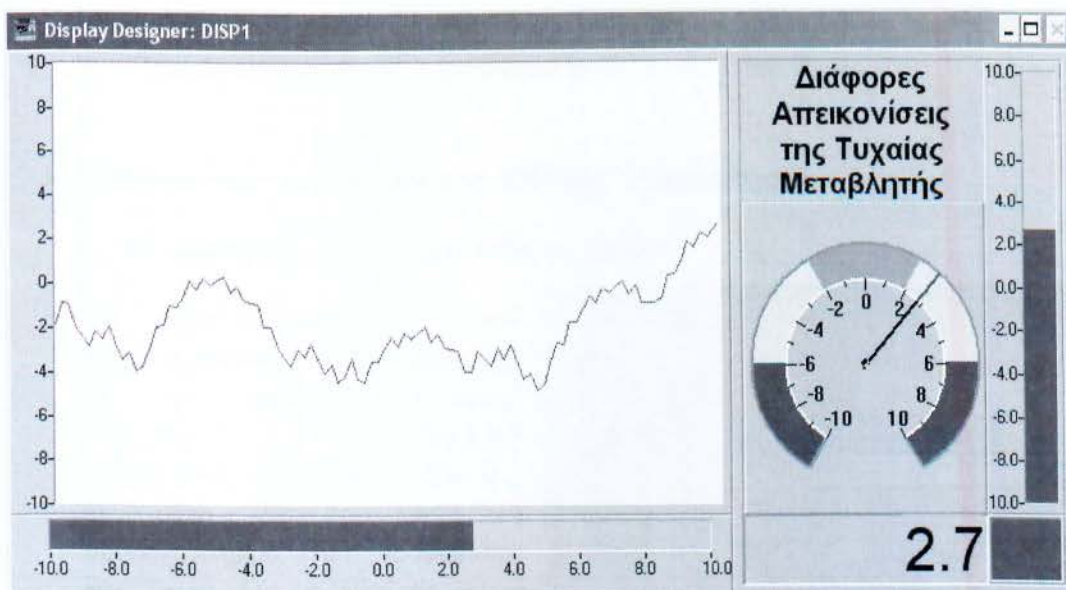


Σχήμα 4

Εξάγουμε στην έξοδο 1 του SCR1 την τιμή της τυχαίας μεταβλητής για να την απεικονίσουμε στην οθόνη παρουσίασης ( OutputF 1 , ΤΥΧΑΙΑ\_ΤΙΜΗ ) .

### ➤ Οθόνη Παρουσίασης

Με τον σχεδιαστή παρουσίασης ( Display Designer ) δημιουργούμε την παρακάτω οθόνη παρουσίασης του σχήματος 5.



Σχήμα 5

Χρησιμοποιήστε τα εργαλεία από την Εργαλειοθήκη Παρουσίασης ( Display Toolbox ) που αναφέρονται πιο κάτω , τοποθετήστε τα στην οθόνη παρουσίασης , επιλέξτε με διπλό κλικ και ρυθμίστε το κάθε ένα από αυτά σύμφωνα με τα παρακάτω δεδομένα :

### ➤ Εργαλεία Απεικόνισης

1. Οριζόντιο γράφημα μπάρας που καταγράφει την πίεση της παραμόρφωσης από 0 ~ 10 mm .
2. Κάθετο γράφημα μπάρας που καταγράφει την πίεση της παραμόρφωσης από 0 ~ 10 mm .
3. Αναλογικό όργανο καταγραφής της παραμόρφωσης από 0 ~ 10 mm χωρισμένο με 5 τομείς .
4. Αριθμητική οθόνη δεδομένων υποδιαστολής , καταγραφής της πίεσης παραμόρφωσης .
5. Ενδεικτική λυχνία που ανάβει όταν η στιγμιαία πίεση παραμόρφωσης , αυξηθεί πάνω από + 1
6. Οθόνη καταγραφής δέσμης Y-T , με άξονα χρόνου X από 0~500 msec και άξονα τιμών Ψ από -10 ~ 10 , όπου να παρακολουθείται :
  - την στιγμιαία πίεση παραμόρφωσης
  - την τιμή της μεταβλητής ΤΥΧΑΙΑ\_ΤΙΜΗ

### ➤ Εργαλεία Σχεδίασης

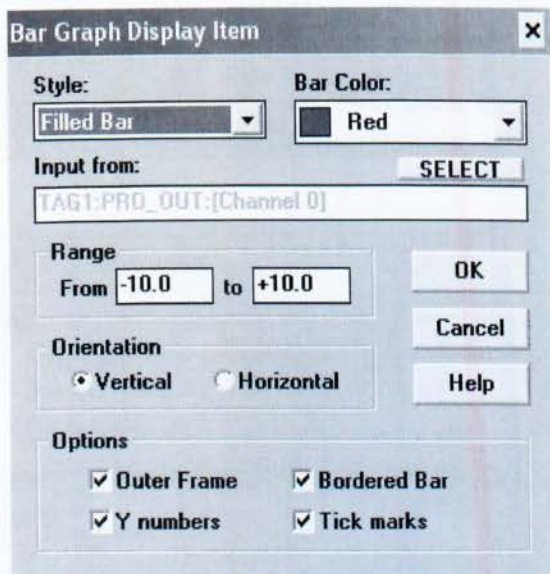
7. Τέσσερις ετικέτες κειμένου ( Labels ) σε κατακόρυφη διάταξη , για δημιουργία κειμένου επεξήγησης .
8. Πλαίσιο ομαδοποίησης των στοιχείων 2 , 3 , 4 , 5 και 7 .

### ➤ Ρύθμιση των εργαλείων της Οθόνης Παρουσίασης

- Το γράφημα οριζόντιας και κάθετης μπάρας

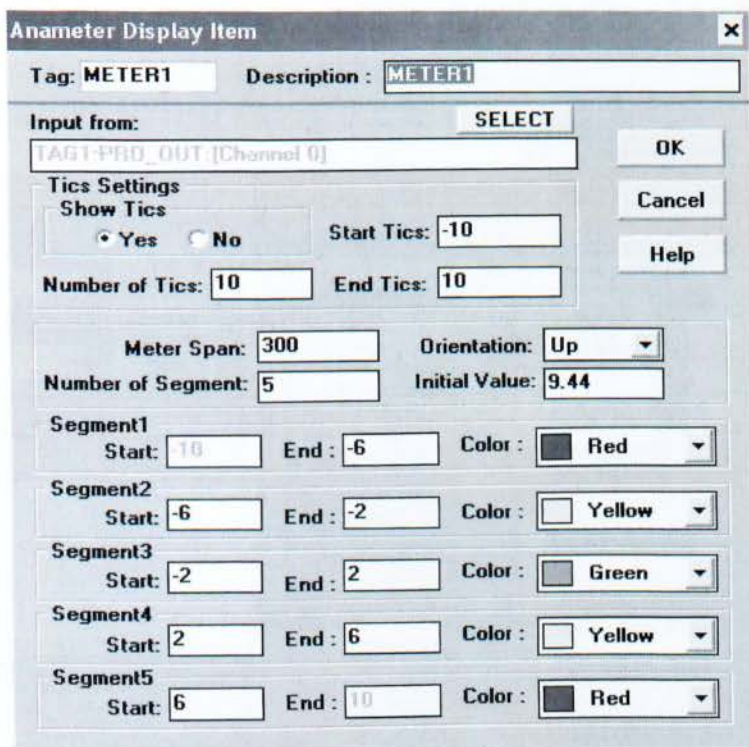
Το γράφημα οριζόντιας και κάθετης μπάρας , έχουν είσοδο από το το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT ( Virtual Tag ) και ρυθμίζονται όπως στο Σχήμα 6 , με μόνη διαφοροποίηση τον προσανατολισμό του γραφήματος που στην μία περίπτωση είναι οριζόντιος και στην άλλη κάθετος αντίστοιχα .

Σχήμα 6



▪ Αναλογικό όργανο ( METER1 )

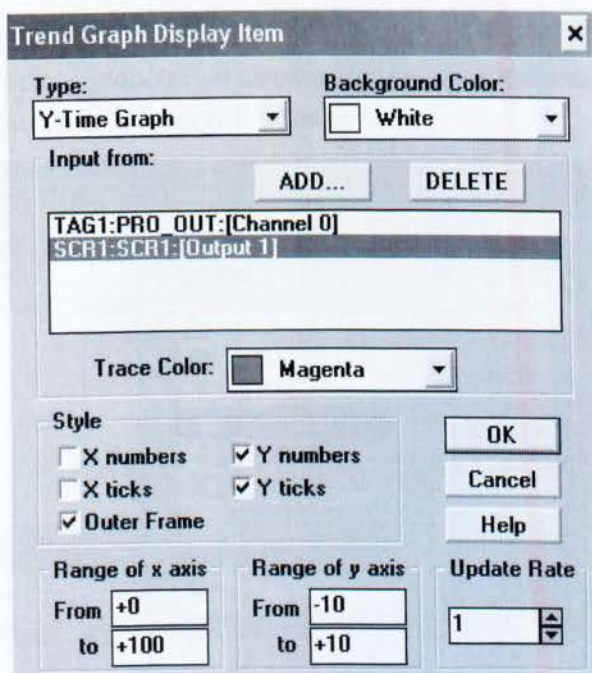
Το αναλογικό όργανο METER1 έχει είσοδο από το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT ( Virtual Tag ) που βρίσκεται στο Task1 και ρυθμίζεται όπως στο παρακάτω Σχήμα 7 .



Σχήμα 7

▪ Η οθόνη καταγραφής ( Y-Time Graph )

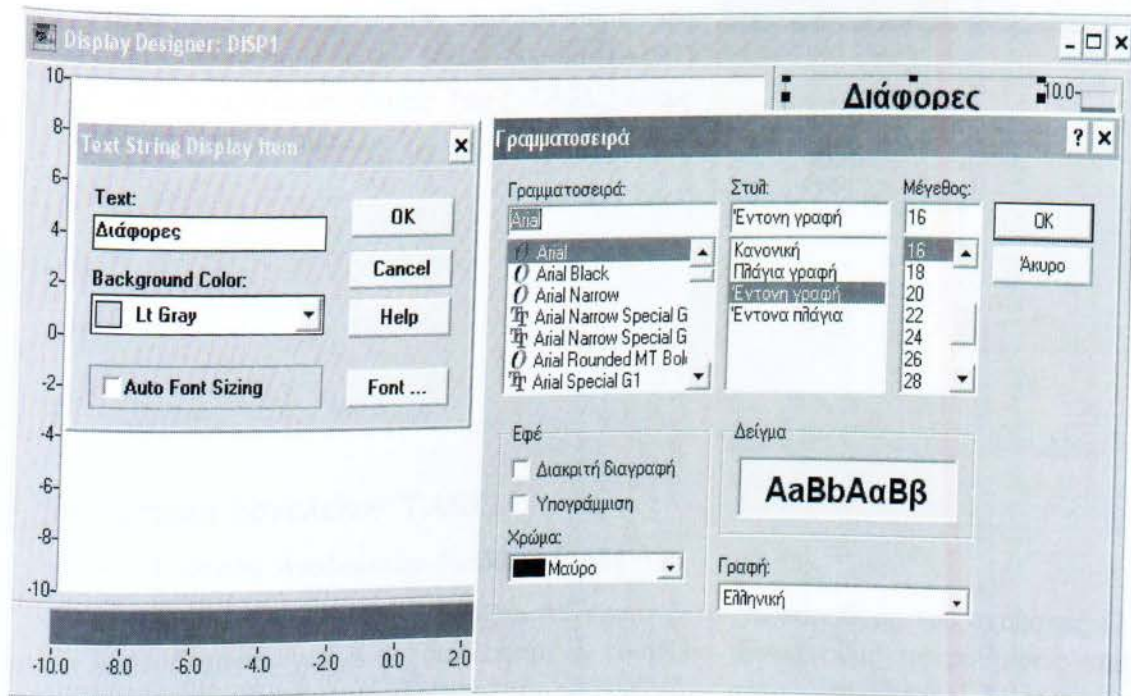
Η αναλογική οθόνη καταγραφής έχει ως εισόδους το εικονικό αντικείμενο PRO\_OUT ( κόκκινο ) , καθώς και την έξοδο 1 του SCR1 ( ματζέντα ) όπου εξάγεται η τιμή της μεταβλητής ΤΥΧΑΙΑ\_ΤΙΜΗ και ρυθμίζεται όπως στο Σχήμα 8.



Σχήμα 8

## ▪ Οι ετικέτες κειμένου ( Labels )

Οι ετικέτες κειμένου , με τις οποίες γίνονται γενικές επεξηγήσεις ή αποτελούν ετικέτες των καταγραφικών οργάνων ή των χειριστηρίων της οθόνης ρυθμίζονται όπως στο κάτωθι σχήμα 1.10 και η γραμματοσειρά του κειμένου ρυθμίζεται όπως στο σχήμα 1.11

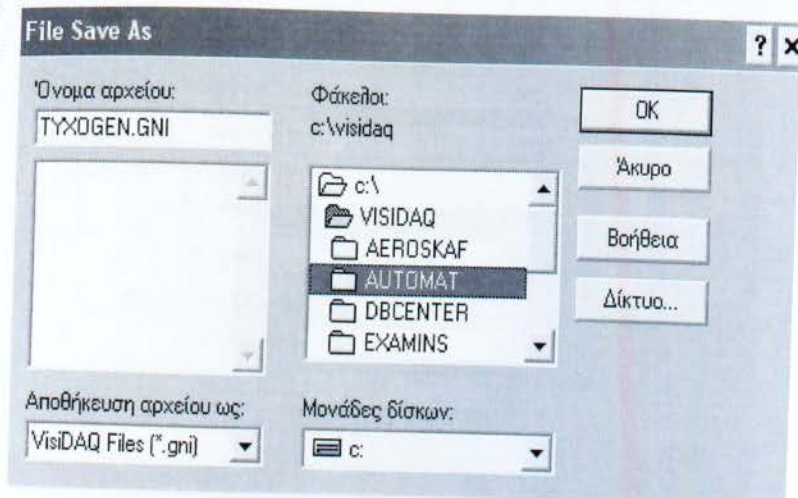


Σχήμα 9

## ❖ Αποθήκευση / εκτέλεση στρατηγικής

Αφού κάνετε τις ανάλογες ρυθμίσεις , μπορείτε να αποθηκεύσετε την στρατηγική σας με αλφαριθμητικό όνομα που αποτελείται από 1 μέχρι 8 χαρακτήρες .

Στην περίπτωση των ασκήσεων που φτιάχνετε στο εργαστήριο , αποθηκεύστε την στρατηγική με τον κωδικό σας και με την κατάληξη .GNI όπως φαίνεται στο Σχήμα 10 .



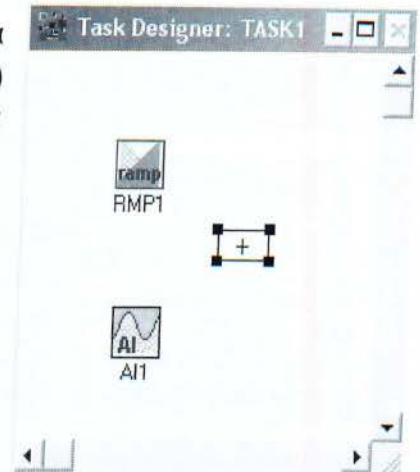
Σχήμα 10

- ❖ **Παράδειγμα 2<sup>ον</sup>** : Προσομοίωση σήματος πίεσης παραμόρφωσης , με χρήση της αναλογικής μονάδας ( AI1 ) και της μονάδας βαθμωτών τιμών ( RMP1 ).

### ➤ Σχεδίαση Στρατηγικής

Στο φύλλο διεργασιών τοποθετούμε μία ετικέτα προγραμματισμού Basic Script ( SCR1 ) και μία ετικέτα διασύνδεσης Tag ( TAG1 ) όπως φαίνονται στο Σχήμα 11

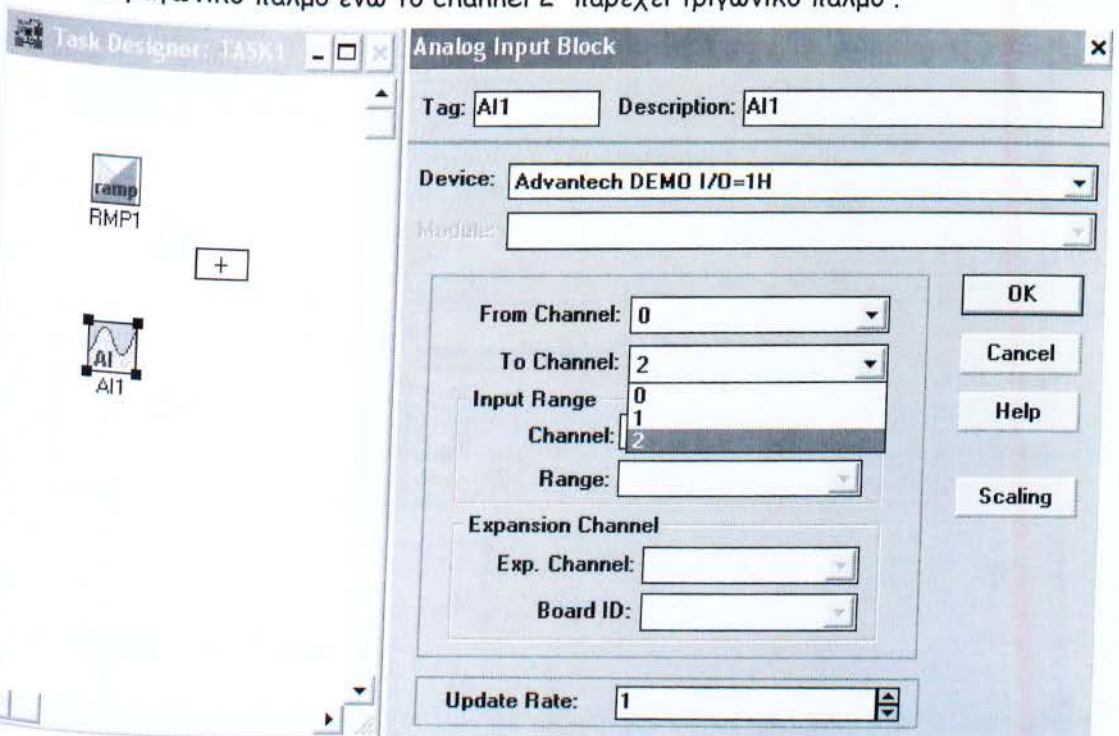
Σχήμα 11



### ➤ Ρύθμιση Εργαλείων TASK1

- Η μονάδα Αναλογικών Εισόδων ( AI1 )

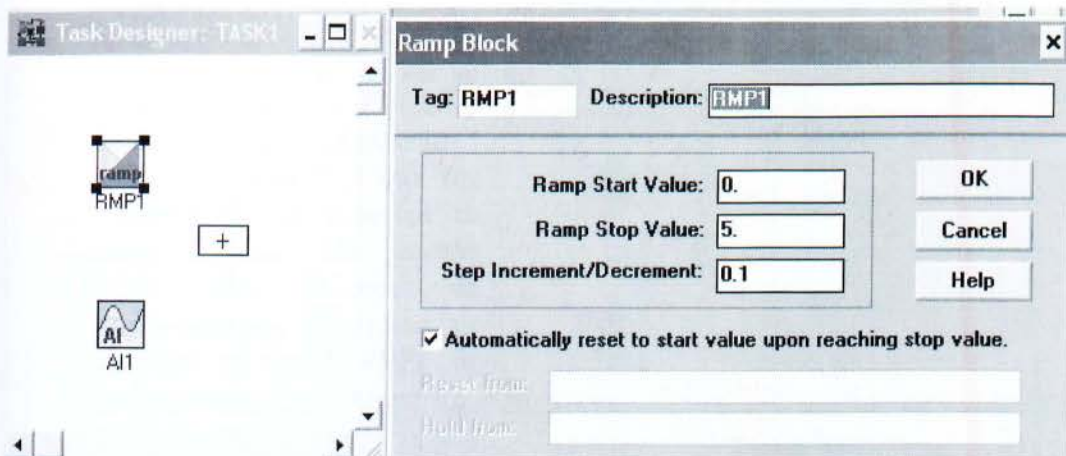
Κάνοντας διπλό κλικ στο εικονίδιο AI εμφανίζεται το παράθυρο του σχήματος 12 όπου διαμορφώνουμε το συγκεκριμένο εικονίδιο. Επιλέγουμε τις ρυθμίσεις του σχήματος. Το channel 0 παρέχει ημιτονοειδές σήμα , το channel 1 παρέχει τετραγωνικό παλμό ενώ το channel 2 παρέχει τριγωνικό παλμό .



Σχήμα 12

▪ Η μονάδα Παραγωγής Βαθμωτών Τιμών ( RMP1 )

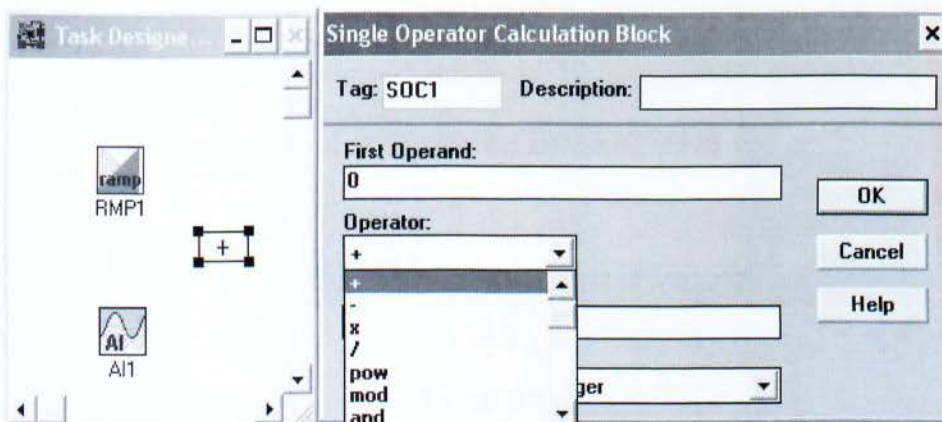
Με την μονάδα αυτή παράγουμε τιμές που αυξάνονται ή μειώνονται βηματικά ( Step ) μεταξύ δύο προεπιλεγμένων ορίων . Η μονάδα έχει την δυνατότητα αυτόματης εσωτερικής επαναφοράς της τιμής ή εξωτερικά με σήμα από άλλη μονάδα και ρυθμίζεται όπως στο Σχήμα 13 .



Σχήμα 13

▪ Μονάδα Απλού Τελεστή Υπολογισμών ( SOC1 )

Με την μονάδα αυτή μπορούμε να επιλέξουμε το είδος ( Operator ) της αλγεβρικής ή λογικής πράξης , μεταξύ δύο συντελεστών ( Operands ) . και ρυθμίζεται όπως στο Σχήμα 14 .



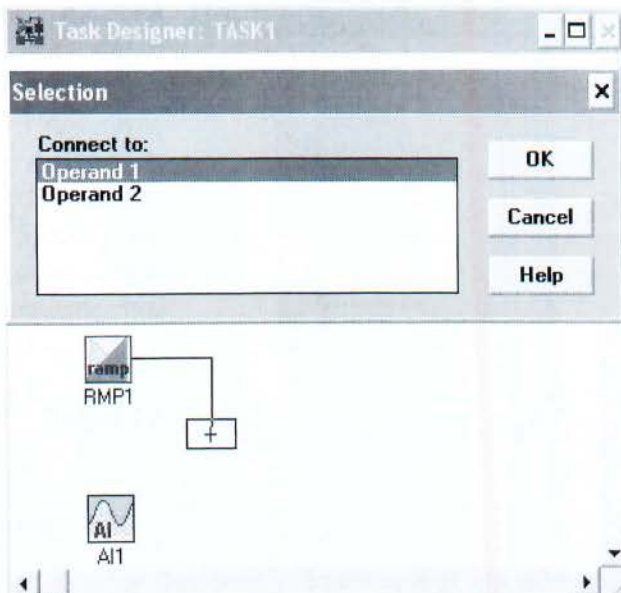
Σχήμα 14

➤ Συρμάτωση Μονάδων

Για την σύνδεση μεταξύ των μονάδων , επιλέγουμε από την Εργαλειοθήκη Διεργασιών με δεξιά κλικ το εργαλείο του αγωγού σύνδεσης .

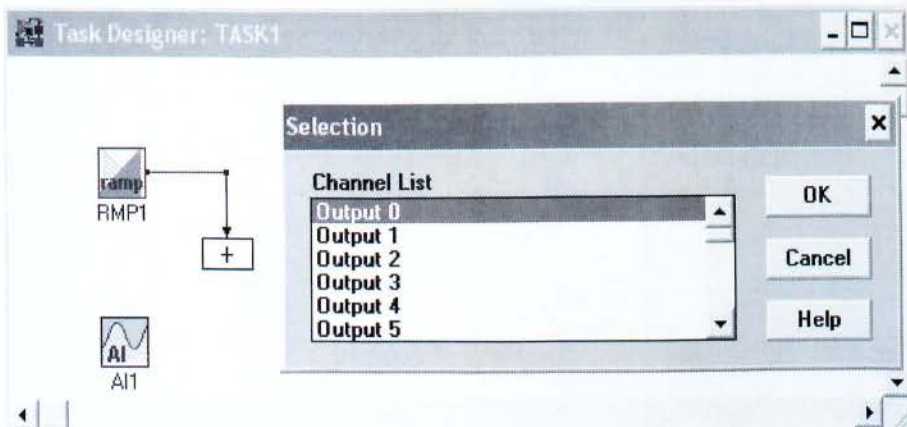
Μόλις σύρουμε το ποντίκι πάνω στο Φύλλο Διεργασιών , ο δείκτης του βέλους αλλάζει σε μία κουβαρίστρα σύρματος . Καθώς η κουβαρίστρα σύρματος ξετυλίγεται , μπορούμε με δεξί κλικ να 'λυγίσουμε ' το σύρμα και να μορφοποιήσουμε τον οδηγό σύνδεσης όπως στο Σχήμα 15 .

Επιλέγουμε με δεξί κλικ την μονάδα RMP1 και σέρνουμε το εργαλείο προς την μονάδα SOC1 που θέλουμε να συνδέσουμε και επιλέγουμε το σήμα από την μονάδα RMP1 να είναι η είσοδος 1 ( Operand 1 ) .



Σχήμα 15

Για να συνδέσουμε την μονάδα Αναλογικών Εισόδων ( AI1 ) , με την μονάδα Υπολογισμών Απλού Τελεστή ( SOC1 ) , σύρουμε την κουβαρίστρα σύρματος και επιλέγουμε με δεξί κλικ την μονάδα AI1 , οπότε ανοίγει η οθόνη Επιλογής Εξόδου ( Selection ) , για να επιλέξουμε την έξοδο της μονάδας που θα συνδέσουμε , όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχήμα 16 .

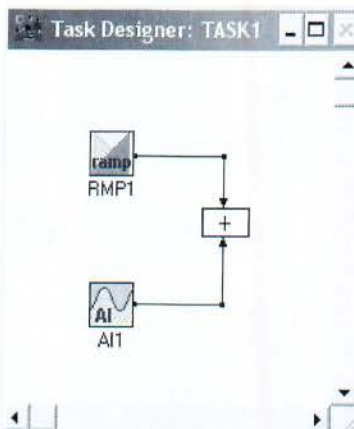


Σχήμα 16

Επιλέγουμε την έξοδο 0 ( Output 0 ) και σύρουμε την κουβαρίστρα σύρματος πάνω στην μονάδα Υπολογισμών Απλού Τελεστή ( SOC1 ) , όπου επιλέγουμε το σήμα από την μονάδα AI1 να είναι η είσοδος 2 ( Operand 2 ) .

Όταν τελειώσουμε τις ρυθμίσεις , η τελική εικόνα της στρατηγικής μας στο Φύλλο Διεργασιών φαίνεται όπως στο Σχήμα 17 .

Το σήμα της μονάδας Παραγωγής Βαθμωτών Τιμών ( RMP1 ) και της Αναλογικής μονάδας Εισόδων προστίθενται στην μονάδα Υπολογισμών Απλού Τελεστή ( SOC1 ) και παράγουν ένα αναλογικό σήμα που προσομοιώνει την πίεση παραμόρφωσης που δέχεται ένα εξάρτημα .

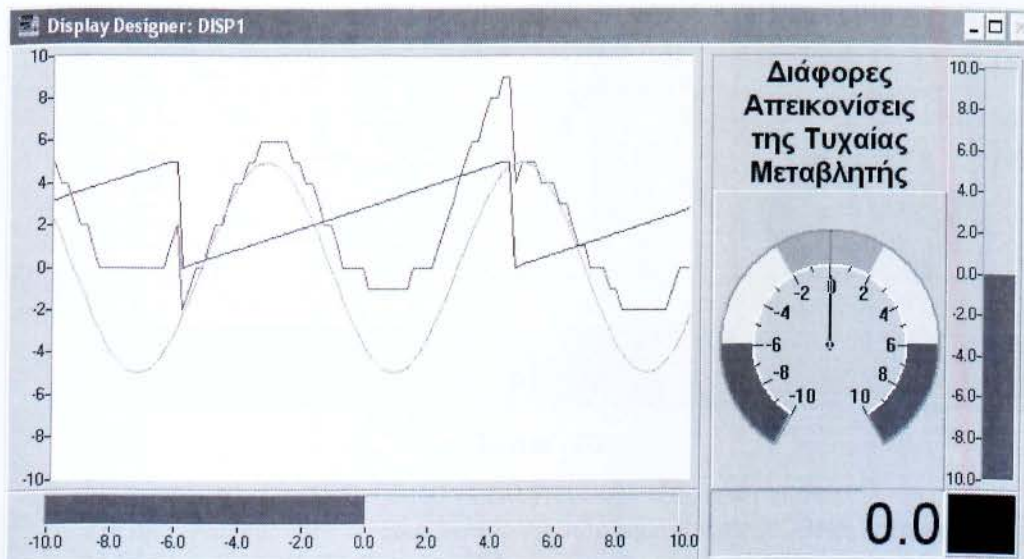


Σχήμα 17

### ➤ Σχεδίαση Οθόνης Παρουσίασης

Με τον σχεδιαστή παρουσίασης ( Display Designer ) δημιουργούμε την οθόνη παρουσίασης του σχήματος 18 .

Χρησιμοποιούμε και ρυθμίζουμε τα εργαλεία της Οθόνης Παρουσίασης όπως ακριβώς περιγράφεται στο Παράδειγμα 1 , με την διαφορά ότι εδώ απεικονίζουμε στην Οθόνη Καταγραφής τα σήματα από τις μονάδες AI1 , SOC1 και RMP1 , τα δε υπόλοιπα όργανα καταγραφής παίρνουν είσοδο από την μονάδα SOC1 που προσομοιώνει την πίεση παραμόρφωσης .



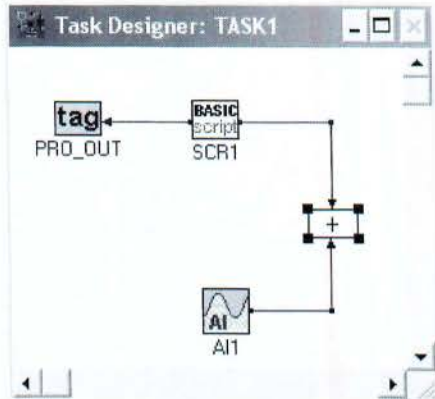
Σχήμα 18



### ❖ Άσκηση για το σπίτι :

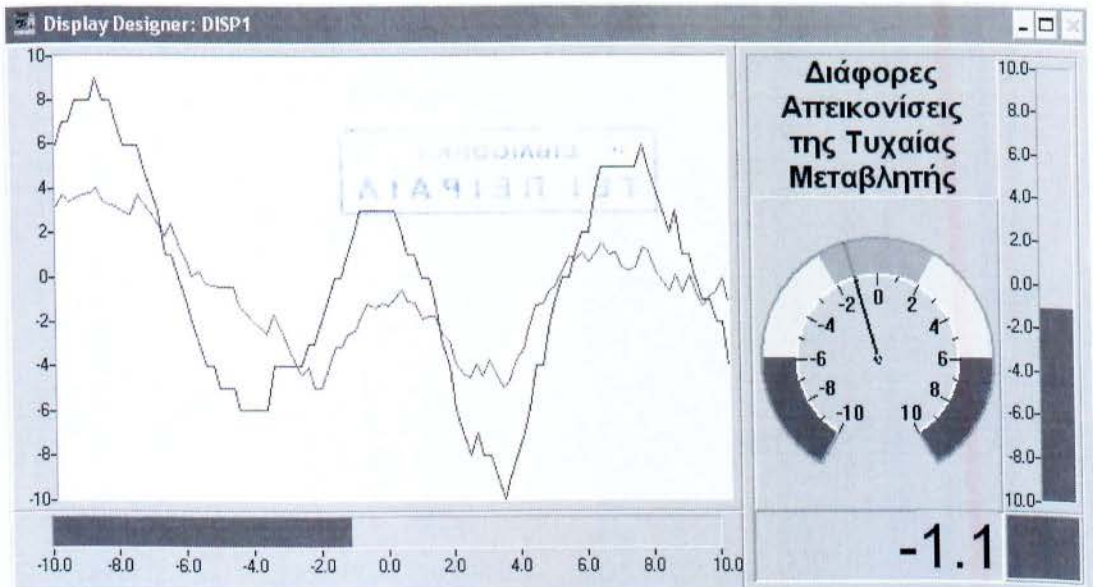
Η πίεση παραμόρφωσης της λαμαρίνας ενός πρότυπου οχήματος που ελέγχεται σε μία αεροσύραγγα , είναι μία παράμετρος ποιότητας , την οποία θέλουμε να μετράμε .

1. Να χρησιμοποιήσετε την μονάδα προγραμματισμού Basic ( SCR1 ) , του παραδείγματος 1 και να δημιουργήσετε την στρατηγική όπως στο Σχήμα 19 .
2. Να παραδώσετε δισκέτα στην οποία να έχετε δημιουργήσει την 'στρατηγική' που να εκτελεί τον παραπάνω έλεγχο ποιότητας και θα έχει σαν όνομα τον κωδικό σας .



Σχήμα 19

3. Να σχεδιάσετε την Οθόνη Παρουσίασης όπως στο παρακάτω Σχήμα 20 , στην οποία να απεικονίζεται η έξοδος από την μονάδα SOC1 και η εικονική μεταβλητή PRO\_OUT , σε όλα δε τα όργανα καταγραφής η είσοδος να είναι από την μονάδα SOC1 που προσομοιώνει την πίεση παραμόρφωσης .



Σχήμα 20

4. Να παραδώσετε φυλλάδιο όπου να απαντάτε στα εξής ερωτήματα :
  - α) Ποια είναι και γιατί τα όρια μεταβολής των σημάτων στην Οθόνη Καταγραφής
  - β) Εξάγετε στην έξοδο 2 του SCR1 το σήμα της προηγούμενης τιμής της εξόδου PRO\_OUT , με την εντολή ( OutputF 2, PRO\_EXODOS) .
  - γ) Απεικονίστε το σήμα αυτό στην Οθόνη Καταγραφής και παρατηρήστε την χρονική του διαφορά από το σήμα PRO\_OUT .
  - δ) Υπολογίσετε και εξηγήστε την χρονική διαφορά των δύο σημάτων .