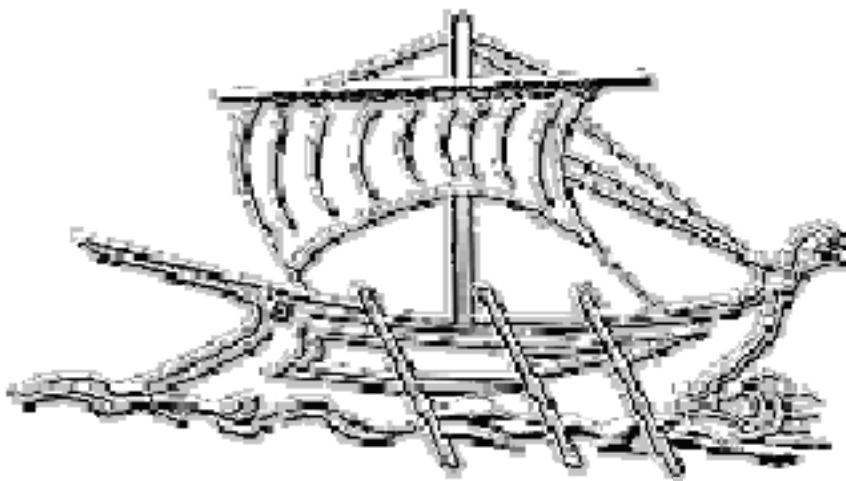


Βιομηχανικοί Ελεγκτές



Σημειώσεις Εργαστηρίου

Έλεγχος Στάθμης Υγρού με P.I.D. Ελεγκτή

Περιεχόμενα

1. Τρόπος Εισαγωγής στο πρόγραμμα εξομοίωσης.
2. Τρόπος λειτουργίας εξομοιωτή.
3. Αναγνώριση ιδιοτήτων εξομοιωτή.
4. Εργαστηριακή άσκηση.

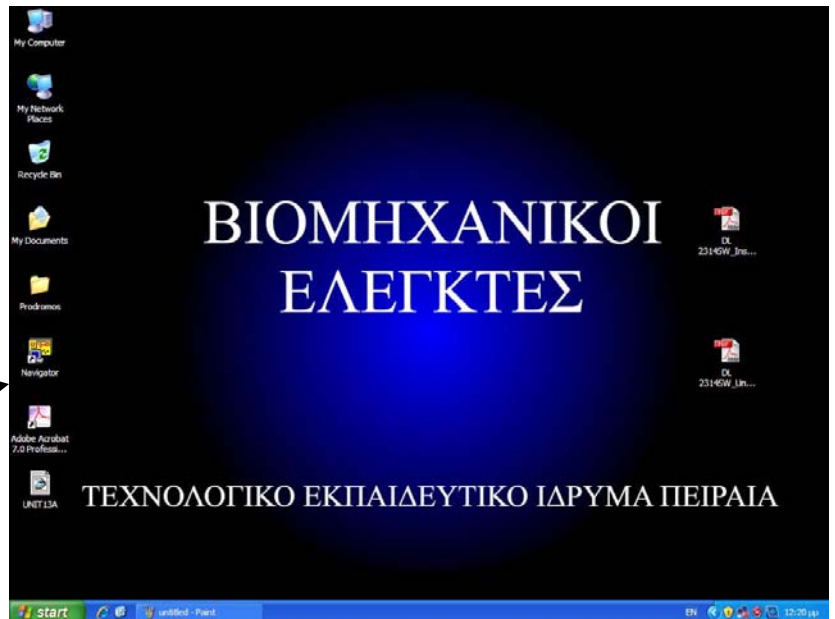
1. Τρόπος εισαγωγής στο πρόγραμμα εξομοίωσης

Βήμα 1^ο

Στην αρχική οθόνη των window (Desktop) ψάχνουμε το εικονίδιο με την ονομασία "Navigator". Double click στο εικονίδιο και ξεκινάει ο εξομοιωτής του έλεγχου στάθμης υγρού.

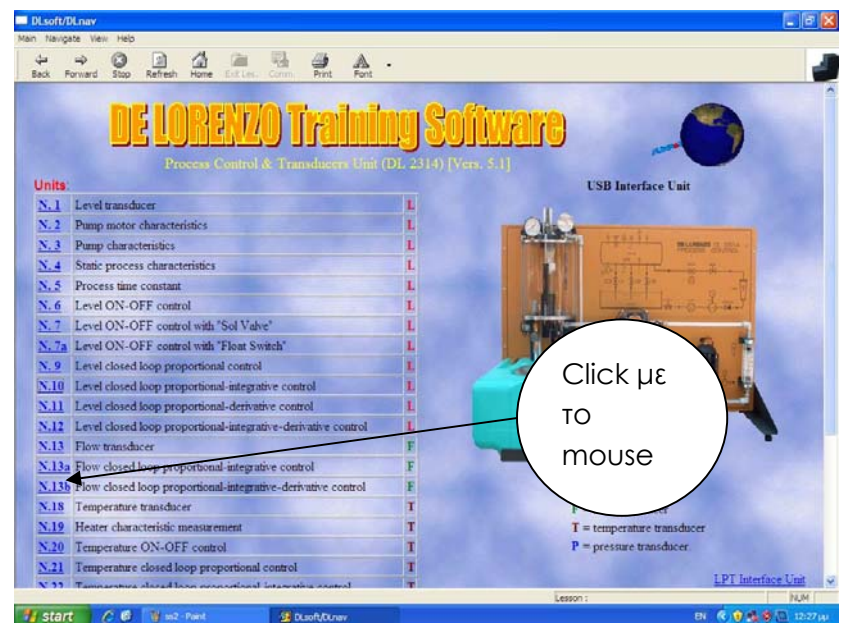
Εικονίδιο που αναζητάμε

"Navigator"



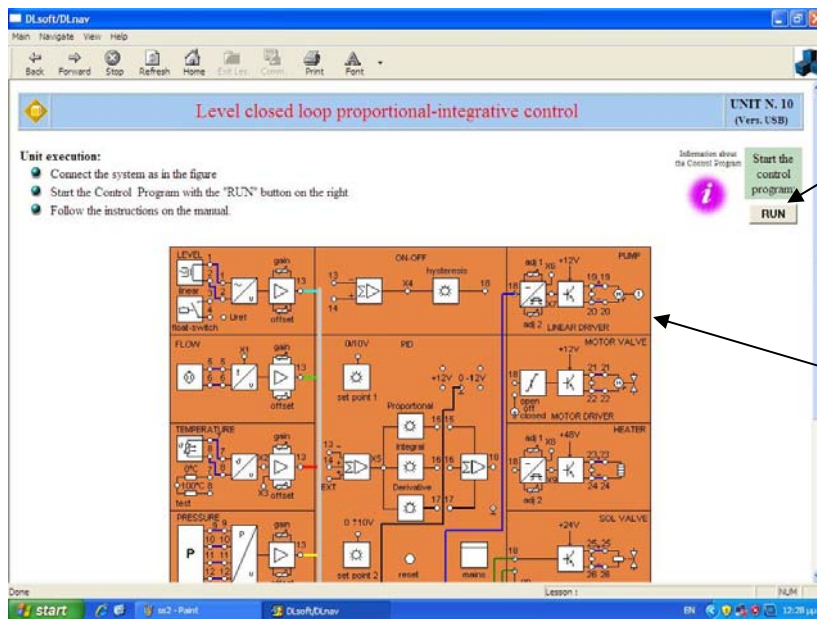
Βήμα 2^ο

Έχοντας ανοίξει την εφαρμογή "Navigator" παρατηρούμε 3 στήλες. Ψάχνουμε για την άσκηση με την οποία θα ασχοληθούμε(στήλη 2) με την ονομασία "**Level Closed Loop Proportional Integrative Control**". Αριστερά του ονόματος παρατηρούμε των κωδικό της άσκησης(Unit) με μπλε υπογραμμισμένα γράμματα(link). Κάνουμε click στο αντιστοιχο Unit που είναι το **N.10** και μεταφερόμαστε στον αντιστοιχο εξομοιωτή της άσκησης.



Βήμα 3^ο

Το link της **N10** μας μεταφέρει στον τρόπο συνδεσμολογίας για την ολοκλήρωση της άσκησης. Έχοντας ολοκληρώσει την συνδεσμολογία σωστά προχωράμε στο επόμενο βήμα της άσκησης, την **εξομοίωση**. Για να περάσουμε στο στάδιο της εξομοίωσης πατάμε το button **“RUN”** που βρίσκεται πάνω δεξιά της συνδεσμολογίας.



Button **“RUN”**

Μας μεταφέρει στην εξομοίωση

Συνδεσμολογία **N10** Άσκησης

2. Τρόπος λειτουργίας εξομοιωτή

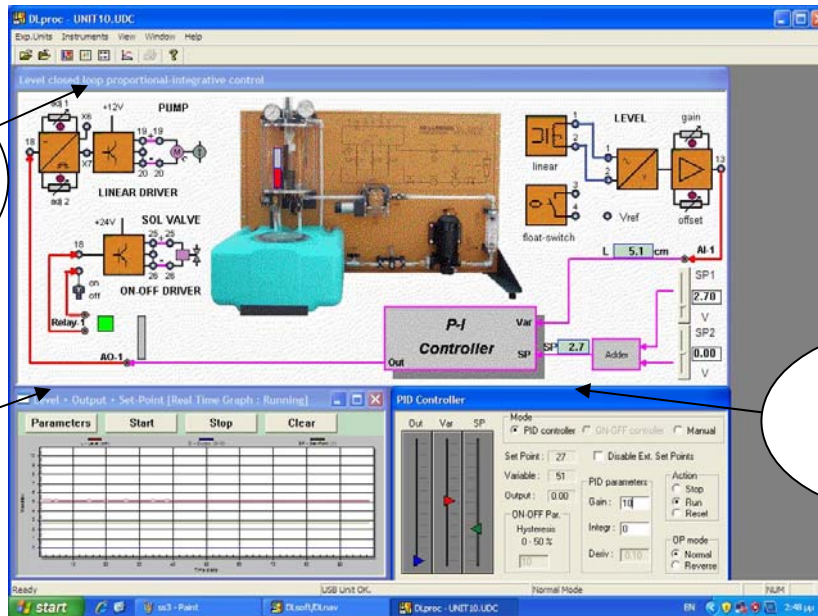
Έχοντας πατήσει το button **“RUN”** στο προηγούμενο παράθυρο περνάμε στην φάση της εξομοίωσης. Το πρόγραμμα εξομοίωσης περιέχει 3 παράθυρα.

- Το 1^ο παράθυρο απεικονίζει πιστά την **συνδεσμολογία** και τον **τρόπο λειτουργίας** της μηχανής σε πραγματικό χρόνο (real time).
- Το 2^ο παράθυρο **αποδίδει γραφικά** τις διάφορες τιμές στις μεταβλητές τις οποίες ορίζουμε εμείς συναρτήση του χρόνου
- Και το 3^ο παράθυρο περιέχει κάποιους **μηχανισμούς τροποποίησης** και **λειτουργίας** της άσκησης.

Απεικόνιση λειτουργίας μηχανής σε πραγματικό χρόνο

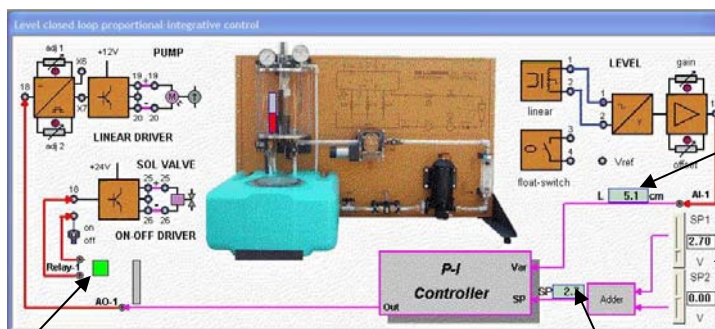
Γράφιμα μεταβλητών συναρτήσης του χρόνου

Τροποποίηση της λειτουργίας της μηχανής



Το παράθυρο **level closed loop proportional-integrative control** περιέχει όλο το hardware κομμάτι της άσκησης σε ένα απλό Image “εικόνα” τον εξομοιωτή.

Πάνω στον εξομοιωτή έχουμε 2 μεταβολόμενους από εξωτερική παράμετρο (χρήστη) δείκτες των **SP1** και τον **SP2** όπου αναλόγως με την τιμή τους αθροίζονται και το αποτέλεσμα τους αποτελεί τον **SP** δηλαδή την επιθυμητή τιμή της στάθμης υγρού. Το αποτέλεσμα του αθροίσματος απεικονίζεται στο box **SP** καθώς και η τιμή της στάθμης του υγρού σε πραγματικό χρόνο στο box **L** μετρούμενη σε **cm**.



Στάθμη υγρού σε πραγματικό χρόνο

SP1 και SP2 δείκτες

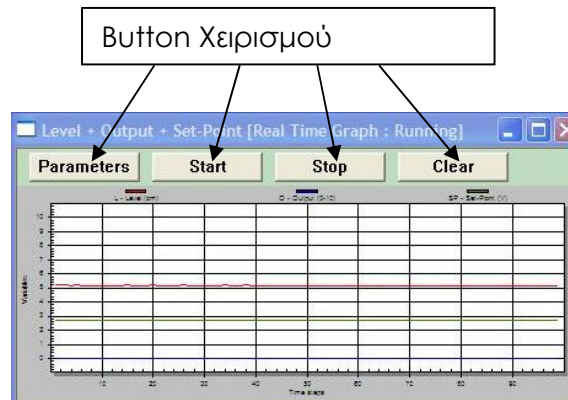
Relay
1

Απόδοση αθροίσματος SP1 και SP2 “επιθυμητή

3. Αναγνώριση ιδιοτήτων εξομοιωτή.

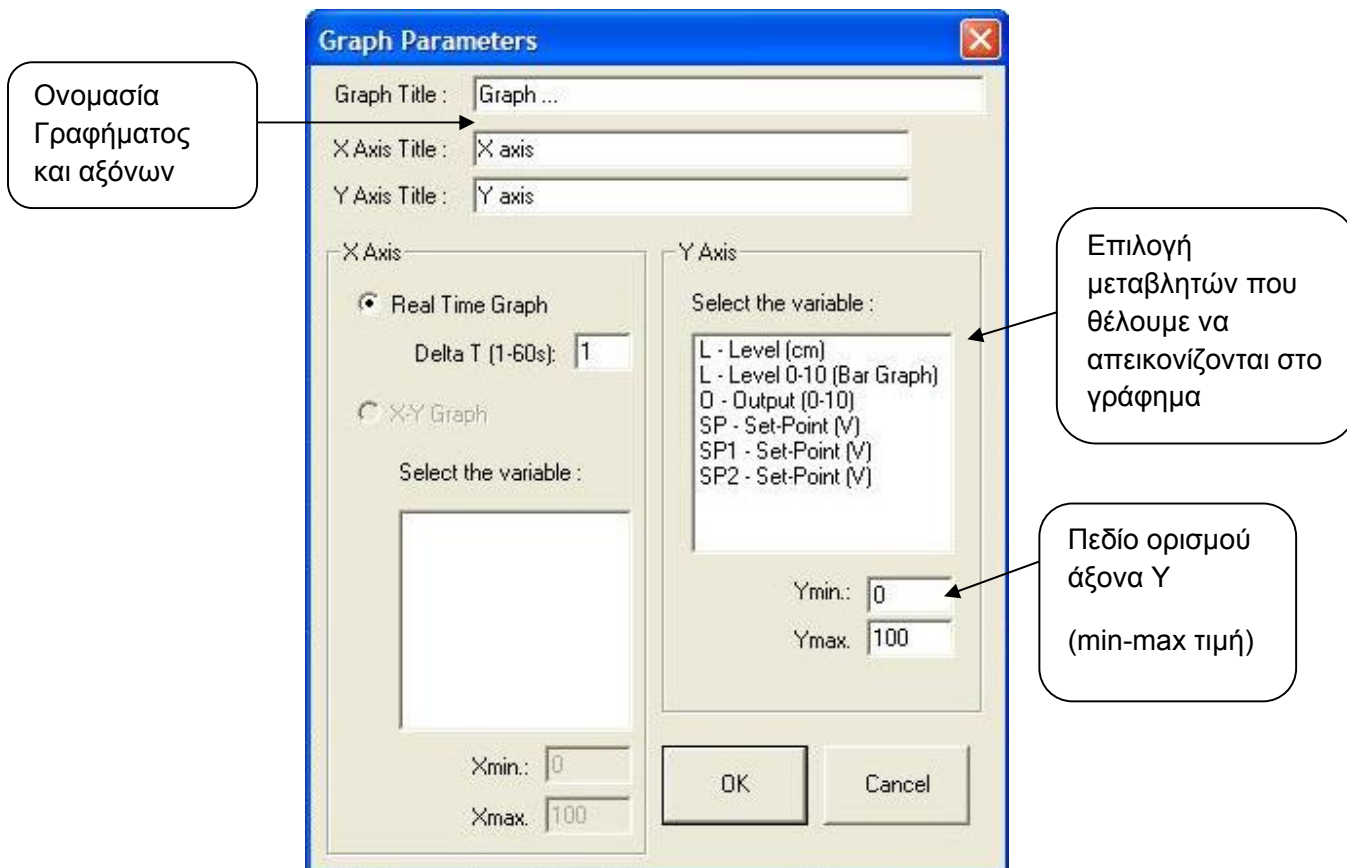
Το παράθυρο όπου απεικονίζεται το **γράφημα των επιθυμητών μεταβλητών** σε πραγματικό χρόνο περιέχει **4 buttons**.

- **Parameters** μεσο του οποίου ρυθμίζουμε κλίμακες **αξόνων, μεταβλητές απεικόνισης, ονομασία αξόνων και αποθήκευση** του γραφήματος σε μορφή εικόνας.
- **Start** εκκίνηση **καταγραφής** σε πραγματικό χρόνο των μεταβλητών που έχουμε ορίσει **συναρτήση του χρόνου**.
- **Stop** πάγωμα (*freeze*) της καταγραφής των μεταβλητών στο γράφημα.
- **Clear** διαγραφή κάθε καταχώρησης-γραφικής απεικόνισης στο γράφημα.



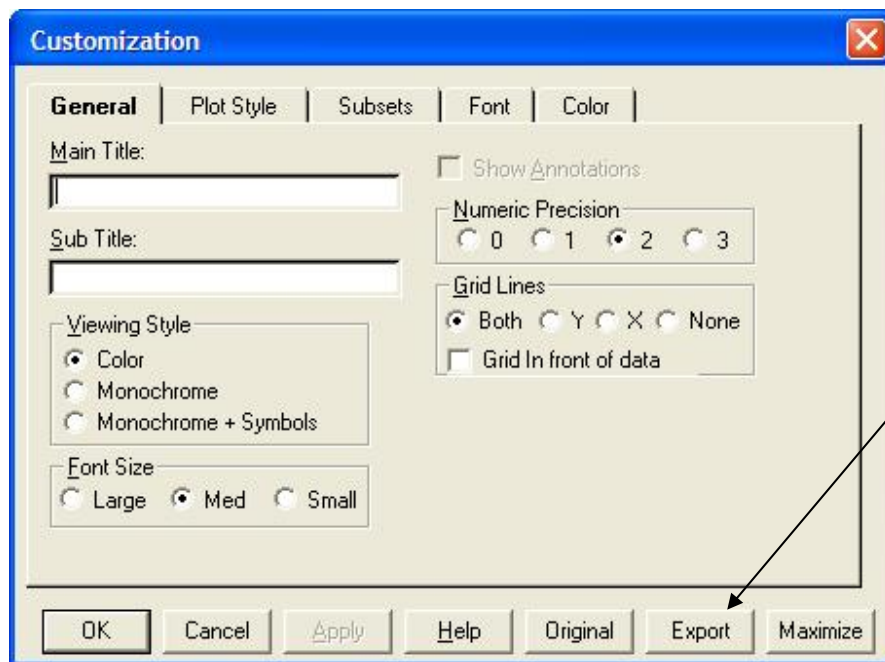
Στο **button Parameters** διακρίνονται πολλές ιδιότητες χρήσιμες για την ολοκλήρωση της άσκησης καθώς το γράφημα αποτελεί λύση σε πολλές ερωτήσεις της άσκησης. Στο παράθυρο **Graph parameters** έχουμε:

- την **μετονομασία** του γραφήματος καθώς και την ονομασία των αξόνων **X και Y** ανάλογος με την μεταβλητή που του ορίζουμε.
- στο "select the variable" με **click ενεργοποιούμε-απενεργοποιούμε** την μεταβλητή που θέλουμε να καταγραφεί στο γράφημα. Μπορούν να απεικονιστούν περισσότερες από μια μεταβλητές.
- Καθώς και τον **ορισμό** του πεδίου τιμών στον άξονα των **Y** ανάλογα ποια σημεία στην γραφική παράσταση μας βολεύουν. Όπου **min** ορίζουμε την **ελάχιστη** τιμή που μπορεί να αναγραφεί και **max** την **μέγιστη**.



Αφού τελιώσουμε με τις παραμέτρους του γραφήματος ενεργοποιούμε τον **emulator** και πατώντας το button **“Start”** αρχίζουν να απεικινίζονται στο γραφήμα οι τιμές των μεταβλητών κατά την διάρκεια του πειράματος **σε πραγματικό χρόνο**. Σε ορισμένες ασκήσεις θα χρειαστεί να παγώσουμε το γράφημα (με το button **“Stop”**) ώστε να επεξεργαστούμε τα δεδομένα μέχρι εκείνη τη στιγμή και πολλές φορές θα χρειαστεί να εκτυπωθεί ώστε να πάρουμε εφαιπτομένες, γωνίες και να εφαρμόσουμε μαθηματικές ιδιότητες για την επίλυση κάποιων ασκήσεων. Για την εκτύπωση του γραφήματος θα χρειαστεί να το εξαγωγήμε (**export**) από το πρόγραμμα σε μορφή **αρχείου εικόνας** ώστε μετά να μπορούμε να το εκτυπώσουμε εύκολα.

Με double click πάνω στο γράφημα αναρτήσεται το παρακάτω παράθυρο:



Button
εξαγωγής
γραφήματος σε
εικόνα

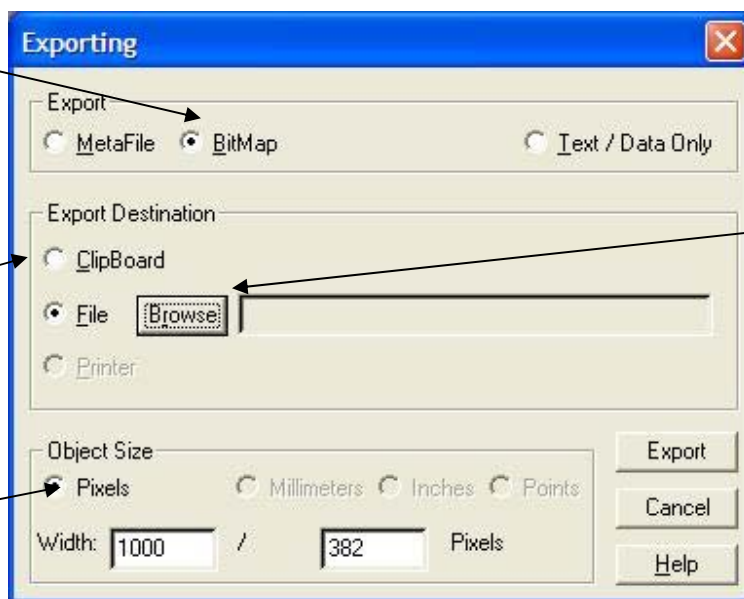
Πατώντας το button “**Export**” μεταφερόμαστε σε ένα άλλο παράθυρο όπου γίνονται κάποιες απαραίτητες και σημαντικές ρυθμίσεις στις ιδιότητες του αρχείου που θα δημιουργηθεί.

- **Export** στο πλαίσιο αυτό ορίζουμε τι αρχείο θέλουμε να δημιουργήσουμε. Η επιλογή είναι μεταξύ ***.mtf**, ***.bmp** και ***.txt**. Το **metafile** και το **bitmap** αποτελούν *Image* αρχεία ενώ το **txt** αρχεία κειμενογράφου και συμβόλων. Πιο εξοικιωμένοι είμαστε με τα ***.bmp**(*Bitmap*) αρχεία οπότε και τα επιλέγουμε σαν μορφή εξόδου του αρχείου μας.
- Στο **Export Destination** πλαίσιο ορίζουμε τον τρόπο στον οποίο θα αποθηκεύσουμε/εξαγάγουμε το γράφημα. Έχουμε την επιλογή **clipboard** όπου το *image* αποθηκεύεται στην μνήμη του υπολογιστή, την επιλογή **File** όπου στο αντίστοιχο **Browse Directory** μπορούμε να κάνουμε την αποθήκευση του σαν αρχείο πάντα παίρνοντας υπόψη και τις παραπάνω ρυθμίσεις που έχουμε ορίσει και τέλος η επιλογή **Printer** όπου η έξοδος του γραφήματος γίνεται υπομορφή σελίδας εκτυπωμένης στον αντίστοιχο *printer* που έχουμε στην διάθεση μας.
- **Object Size** προσδιορίζουμε το μέγεθος σε διαστάσεις που θέλουμε το αντίστοιχο γράφημα και σε τι μονάδες το ορίζουμε.

Μορφή αρχείου αποθήκευσης (επιλογή BitMap συνησταται)

Επιλογή τρόπου εξαγωγής

Μέγεθος αποθήκευσης εικόνας



“Browse”
Επιλογή σημείου αποθήκευσης στον δίσκο

4.Εργαστηριακή άσκηση.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω δίδεται η εξής άσκηση:

1. Υπολογίστε τις μονάδες κέρδους του ρυθμιστή:

Ο ετοιμος ρυθμιστής που διατίθεται στο πακετό *rcu* δεν αναφέρει μονάδες κέρδους. Εφαρμόστε έναν αναλογικό ρυθμιστή (όρος *P* μόνο, όχι *I* ούτε *D*). Τοποθετήστε το κέρδος "Gain" και την επιθυμητή τιμή εξόδου *SP1* σε αυθαίρετες τιμές (π.χ. Gain=5 και *SP1*=6.5Volt) και καταγράψτε την εξέλιξη της παροχής και της τάσης εξόδου (γραφικά). Στη γραφική απεικόνιση επιλέξτε ένα τυχαίο χρονικό σημείο και υπολογίστε:

- Το σφάλμα ($e=L-SP1$) σε μονάδα της επιλογής σας π.χ. cm
- Την αντιστοιχη τιμή της εξόδου(ο) σε μονάδα της επιλογής σας π.χ. %Μεγιστης Τάσης
- Τη σταθερά μετατροπής *A* μεταξύ τιμών κέρδους Gain που θέσατε και τιμών κέρδους που αντιστοιχούν στις δικές σας μονάδες. Εφόσον χρησιμοποιήσατε ρυθμιστή, θα πρέπει η είσοδος να είναι ευθέως ανάλογη προς το σφάλμα, δηλαδή $A(G)=u$

2. Εντοπίστε πειραματικά την κρίσιμη ζώνη:

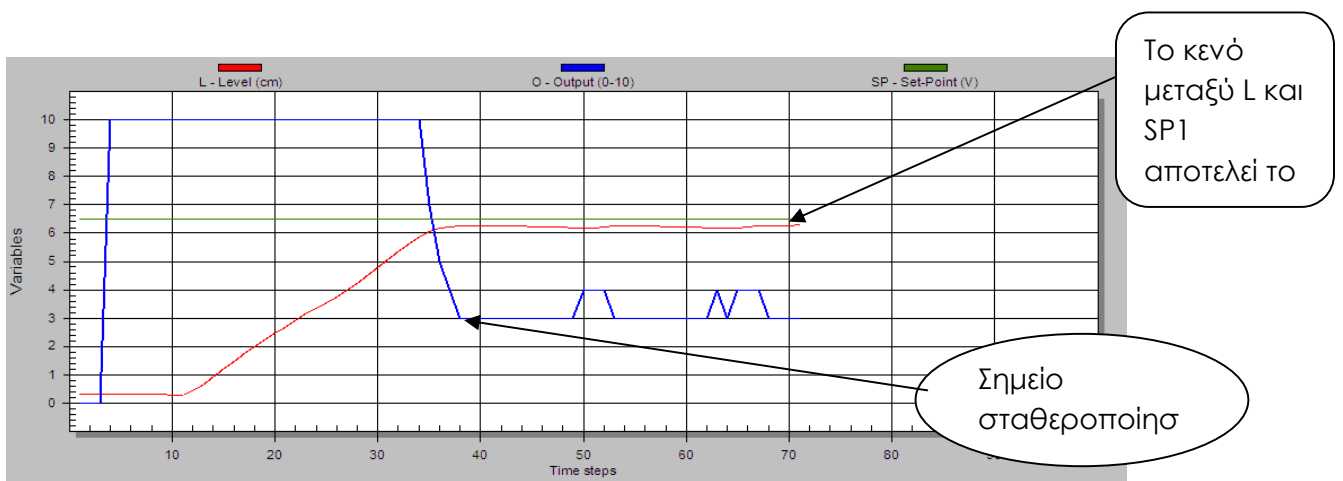
Εφαρμόστε έναν αναλογικό ρυθμιστή (όρος *P*, όχι *I* ούτε *D*). Αυξήστε σταδιακά το κέρδος του ρυθμιστή εως ότου επιτύχετε μόνιμη ταλάντωση της εξόδου (σταθερο εύρος). Σημειώστε το κέρδος του ρυθμιστή K_1 και τη συχνότητα ταλάντωσης T_1 . Υπολογίστε το αντιστοιχο κέρδος ανοιχτού βρόγχου της διεργασίας K_0 και την αντίστοιχη γωνιακή ω_0 .

ΠΡΟΣΟΧΗ: σχεδόν όλα τα μεγέθη που μετράτε ή υπολογίζετε έχουν φυσικές διαστάσεις (δεν είναι καθαροί αριθμοί). Επομένως συνοδεύετε όλους τους υπολογιστές και τα υπολογιζόμενα μεγέθη από τις αντίστοιχες μονάδες. Υπολογίστε τα κρίσιμα μεγέθη για αυτήν τη συνάρτηση μεταφοράς, δηλαδή το κέρδος ανοιχτού βρόγχου K_c και την γωνιακή συχνότητα ω_c , όταν $ZG(j\omega)=-180deg$.

Άσκηση 1

Ρυθμίζοντας το **Gain** από τιμές (7 έως 12) και στο **Set Point 1** στην τιμή 6,5 (χρησιμοποιούμε μόνο P το I και D να είναι 0) από αρχική κατάσταση ($L=0$) ξεκινάμε να δουλεύουμε τον εξομοιωτή. Έχουμε ανοίξει παράλληλα και το γράφημα κάνοντας και τις απαραίτητες ρυθμίσεις (τιμές αξονα Y που πρέπει να εμφανίζονται στο γράφημα καθώς και ποιές μεταβλητές) και ταυτόχρονα με την εκκίνηση του emulator πατάμε και το button start του γραφήματος ώστε να έχουμε καταγραφή σε πραγματικό χρόνο τις τιμές των μεταβλητών που ζητάμε (SP1-L-Output).

Έχοντας καλήσει ένα αρκετό χρονικό διάστημα σε καταγραφή τιμών (πλήρες γραφήμα) πατάμε το button stop και αποθηκεύουμε το γράφημα στον υπολογιστή μας (export).



Συναρτήση του γραφήματος μετά από χρονικό διάστημα 36 sec το γράφημα σταθεροποιείται (για να έχουμε πάντα σφάλμα από 7 έως 12 Gain προτείνεται να είναι ανοιχτή η γκρι στρόφιχα) από την στιγμή της σταθεροποίησης παίρνουμε τις τιμές που μας ζητά η άσκηση.

- Σφάλμα είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής από την επιθυμητή (στο γράφημα το σφάλμα παρατηρείται σαν την απόσταση που έχει κενό η πράσινη από την κόκκινη γραμμή). $e = 6,2 - 6,5 = 0,3 \text{ cm}$ (μονάδα μετρήσης cm καθότι μετράμε στάθμη)
- Η τιμή της εξόδου (Output) κατά την σταθεροποίηση του συστήματος είναι στο 30% της μέγιστης τιμής της. Από την μέθοδο των τριών θα έχουμε

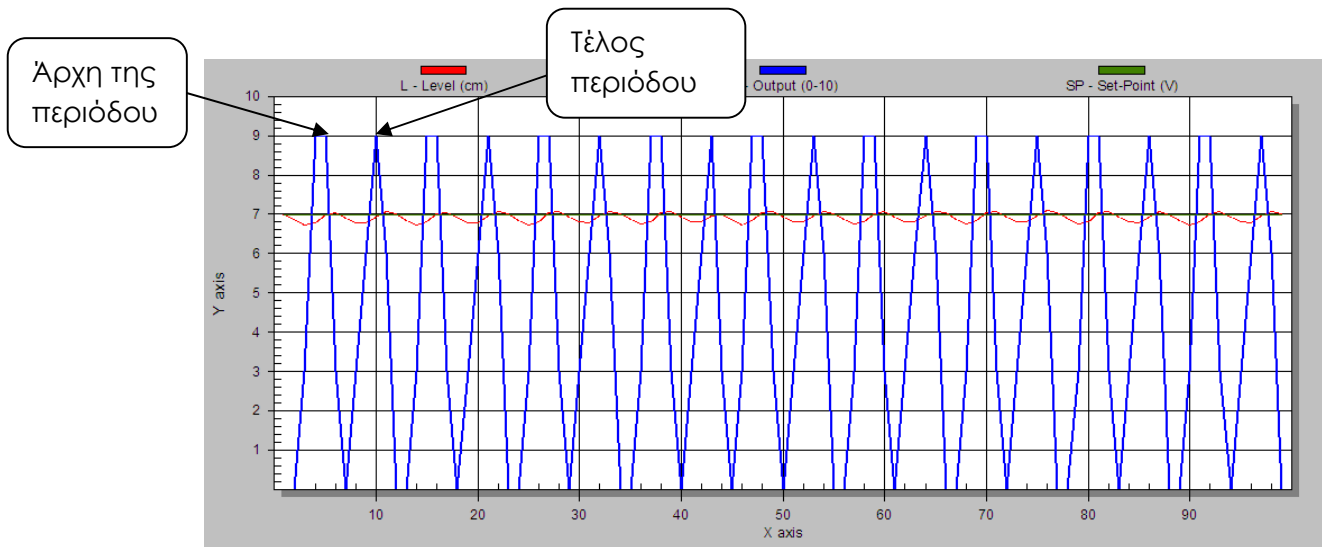
Σε 10 Volt	αντιστοιχεί	100%
Σε x;	αντιστοιχεί	30%

$$x = (30 \cdot 10) / 100 \Leftrightarrow x = 3 \text{ Volt}$$

- $A = SP1 / (Gain \cdot e) = 6,5 / (10 \cdot 0,3) \text{ cm} = 6,5 / 3 = 2,16 \text{ cm}$

Άσκηση 2

Με Gain 10 20 30 αυξάνουμε σταδιακά το κέρδος και πετυχένουμε την παρακάτω γραφική (Για την σωστή λειτουργία-ταλάντωση το Relay 1 πρέπει να είναι χρώματος κόκκινο-η αλλαγή χρώματος γίνεται με ένα απλό click στο τετράγωνο button Relay 1 του εξομοιωτή). Μας ενδιαφέρει κυριώς να είναι φανερή η ταλάντωση σε αυτό ώστε να μπορούμε να υπολογίσουμε την περίοδο της. Στο συγκεκριμένο γράφημα εντοπίζουμε την αρχή της περιόδου στα 5 sec και το τέλος της στα 10 sec αρά μιλάμε για ταλάντωση με περίοδο 5sec.



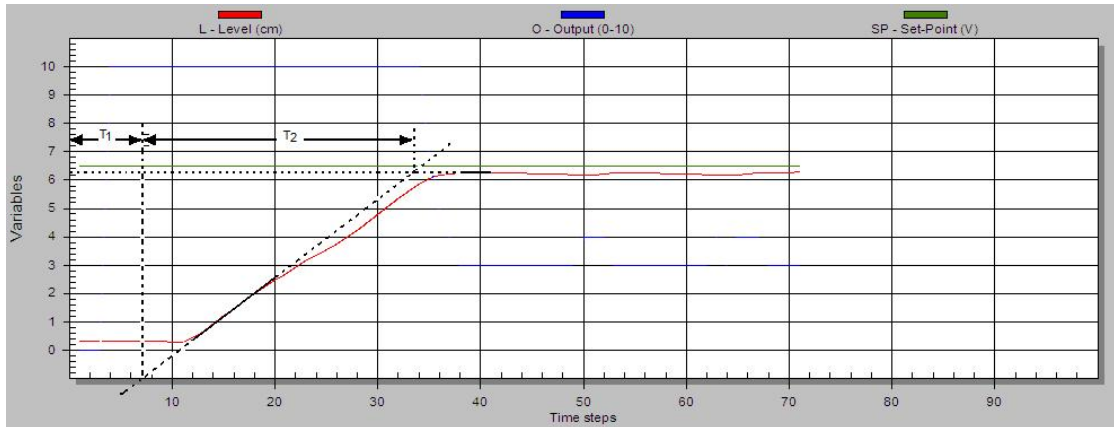
Το κέρδος του ρυθμιστή K είναι 30 με περίοδο $T_0=5\text{sec}$ άρα η συχνότητα της ταλάντωσης θα είναι $f=1/T_0=1/5=0,2\text{Hz}$

Το κέρδος στον ανοιχτό βρόγχο θα είναι το ίδιο $k=30$

Και η γωνιακή συχνότητα θα είναι $\omega_0=(2\pi)/T=(2*3,14)/5=1,256\text{rad/sec}$

Κατασκευή εξίσωσης του συστήματος με την μέθοδο Ziegler-Nichols

Στο διάγραμμα(Χρονικής απόκρισης) φερνουμε την εφαπτομένη



- Αρχικά θα υποθέσουμε μοντέλο προσομοίωσης 1^{ου} βαθμού με καθυστέρηση της μορφής

$$G(s)=(K/(1+sT_2))e^{-sT_1} \Leftrightarrow G(s)=(6,3/(1+27s))e^{-7s}$$

Οι τιμές K, T_1, T_2 προέρχονται απο την γραφική παράσταση της χρονικής απόκρισης.

Επομένως με προσομοίωση μοντέλου 1^{ου} βαθμού και για συνάρτηση μεταφοράς του PID έχουμε $D(s)=K_c(1+1/T_i s+T_d s)$

Οι παράμετροι του ελεγκτή P.I.D. υπολογίζονται απο τον πίνακα 1.1.

	K_c	T_i	T_d
PID	$1,2/ST_1$	$2T_1$	$0,5T_1$
PI	$0,9/ST_1$	$2T_1$	
P	$1/ST_1$		

Όπου $S=K/T_2$

Υπολογίζουμε τις τιμές των K_c και $T_i \Leftrightarrow K_c = 0,9/S7 \Leftrightarrow K_c=0,9/(7*6,3/27) \Leftrightarrow K_c=0,55$

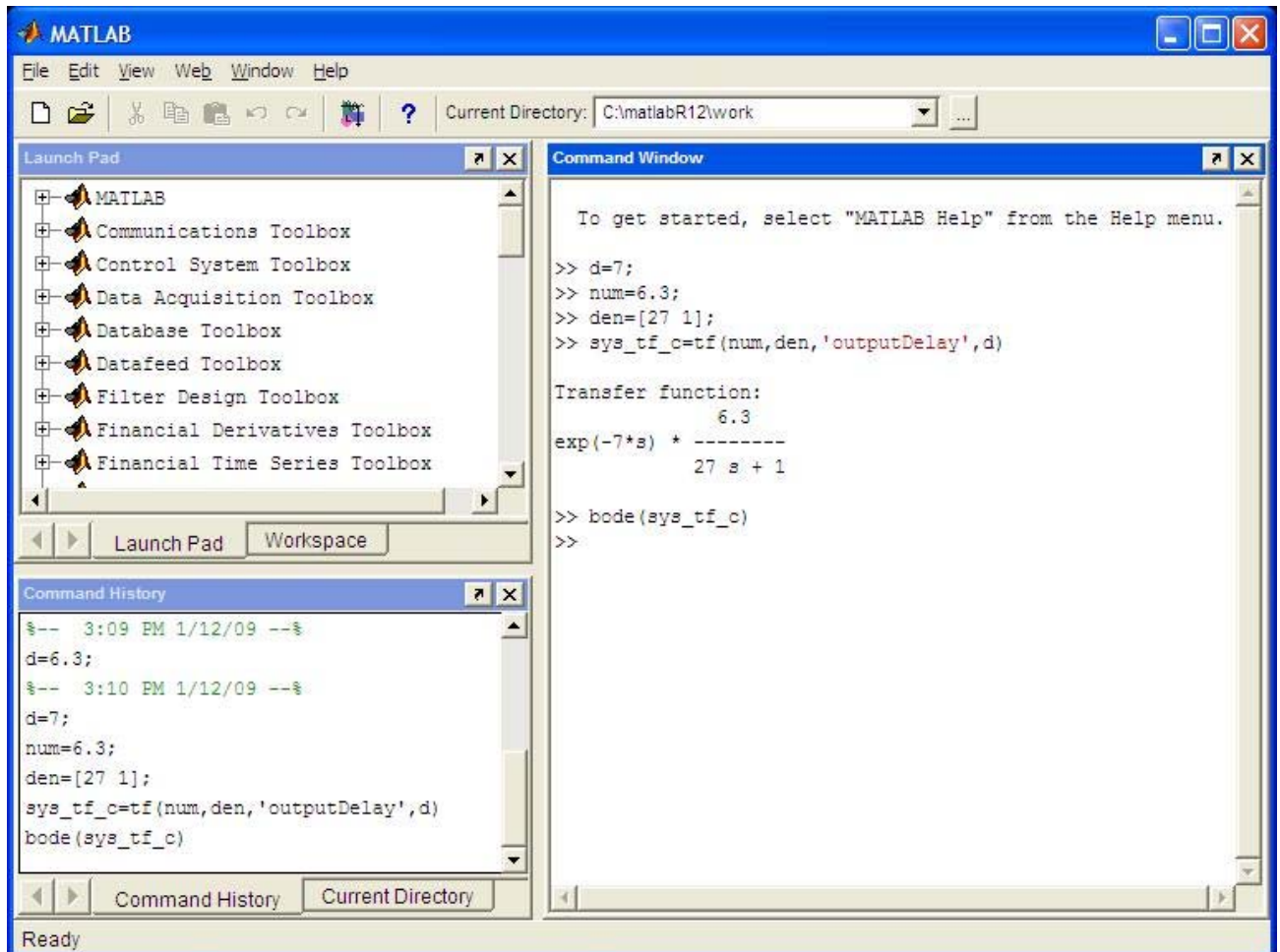
και $T_i=2T_1 \Leftrightarrow T_i=14$

$D(s)=0,55(1+1/14s) \Leftrightarrow D(s)=(0,55*14s+0,55)/14s \Leftrightarrow D(s)=(7,7s+0,55)/14s$

- Σαν γνωστό μοντέλο διεργασίας τώρα από την εξίσωση $D(s)$ θα δημιουργήσουμε τα Διαγράμματα Bode.

Για την διευκόλυνση μας κάνουμε χρήση του προγράμματος MatLab. Έχουμε από το διαγράμμα χρονικής απόκρισης την σχέση $G(s)=(6,3/(1+27s))e^{-7s}$

Ανοίγουμε το matLab και κάνοντας χρήση της εντολής `bode('function')` (βλ.Βιβλίο Εισαγωγή στη σχεδίαση συστημάτων ελέγχου με το MatLab, σελ 174)



The screenshot shows the MATLAB interface with the Command Window open. The Command Window contains the following code and output:

```
To get started, select "MATLAB Help" from the Help menu.

>> d=7;
>> num=6.3;
>> den=[27 1];
>> sys_tf_c=tf(num,den,'outputDelay',d)

Transfer function:
      6.3
exp(-7*s) * -----
             27 s + 1

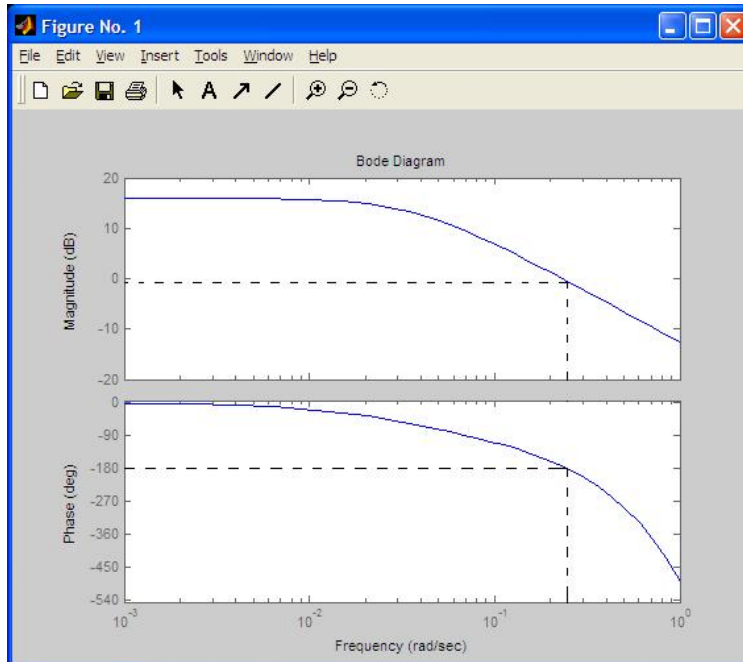
>> bode(sys_tf_c)
>>
```

The Command History window shows the following commands:

```
3:09 PM 1/12/09 --%
d=6.3;
3:10 PM 1/12/09 --%
d=7;
num=6.3;
den=[27 1];
sys_tf_c=tf(num,den,'outputDelay',d)
bode(sys_tf_c)
```

ΠΡΟΣΟΧΗ πάντα να ελέγχεται αν το Transfer function αντικατοπτρίζει σωστά την εξίσωση της οποίας ζητάμε το Bode διάγραμμα.

Κατα την εκτέλεση της εντολής $bode(sys_tf_c)$ προκύπτει το ανάλογο Bode διάγραμμα.



Απο τα bode διαγράμματα βρίσκουμε την κρίσιμη περίοδο και το κρίσιμο κέρδος που αντιστοιχούν σε φάση -180° . Στο υπάρχον bode το $K_{kp}=1/A \Leftrightarrow K_{kp}=1/1$ (0db=1 πρέπει να αποδώσουμε την τιμή του A σε ακεραίο) και $T_0=2\pi/\omega_0 \Leftrightarrow T_0=2\pi/0,14 \Leftrightarrow T_0=44,85$. Έχοντας αυτές τις δυο τιμές μπορούμε να συμπληρώσουμε τον πίνακα στην σελίδα 20 του βιβλίου της θεωρίας.

PID	$K_p=0,6 K_{kp}=0,6$	$K_c=0,6 K_{kp}=0,6$
	$K_i=2K_p/T_0=0,026$	$T_i=0,5 T_0=T_0/2=22,425$
	$K_d \geq 0,125 K_p T_0$	$T_d=0,125 T_0=T_0/8=5,6$
PI	$K_p=0,45 K_{kp}=0,45$	$K_c=0,45 K_{kp}=0,45$
	$K_i \leq 1,2 K_p/T_0$	$T_i=0,83 T_0=T_0/1,2=37,375$
P	$K_p=0,5 K_{kp}=0,5$	

