

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΑΕΙΙ
ΘΕΜΑ: ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
ΜΕ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΘΕΩΡΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άσκηση αυτή έχει ως σκοπό να δείξει πως μετριοούνται σε ένα πραγματικό σύστημα έννοιες όπως η βηματική απόκριση, ο χρόνος ανόδου, ο χρόνος αποκατάστασης κλπ. οι οποίες έως τώρα ήταν απλά σχήματα στην θεωρία. Επίσης θα γίνει προσεγγιστική μοντελοποίηση του συστήματος δηλαδή βάσει πειραματικών μετρήσεων επί του πραγματικού συστήματος θα δημιουργήσουμε την θεωρητική συνάρτηση μεταφοράς. Τέλος δε θα ελέγξουμε το σύστημα με ανάδραση εξόδου.

Ως υπό έλεγχο σύστημα δίνεται ένας κινητήρας . Ως γνωστό, εάν δώσουμε τάση σε ένα κινητήρα, αυτός γυρίζει συνεχώς με μια περίπου σταθερή ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το φορτίο του.

Άρα ως προς την ταχύτητα του άξονα περιστροφής του ο κινητήρας είναι ένα ευσταθές σύστημα διότι η ταχύτητα με την πάροδο του χρόνου παίρνει μια συγκεκριμένη τιμή. Αντίθετα όμως η θέση του άξονα μεταβάλλεται συνέχεια και επομένως ως προς τη θέση του άξονα το σύστημα είναι ασταθές.

Σκοπός μας σε αυτήν την άσκηση είναι να καταστήσουμε το σύστημα ευσταθές ως προς την θέση του άξονα χρησιμοποιώντας τη θεωρία των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

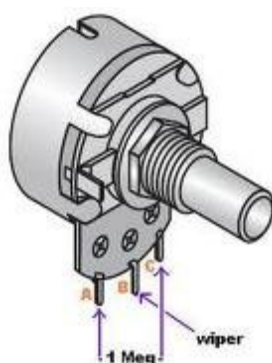
Η πειραματική διάταξη αποτελείται από δύο τμήματα.

Το ένα περιλαμβάνει όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις για το κλείσιμο του βρόχου ανάδρασης ενώ το δεύτερο περιλαμβάνει ένα κινητήρα με τα μετρητικά του συστήματα. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις υλοποιούνται κυρίως με τελεστικούς ενισχυτές.

Το άλλο τμήμα είναι το υπο έλεγχο σύστημα που αποτελείται απο τον κινητήρα το φορτίο του και τα μετρητικά συστήματα των καταστάσεων.

Τα δέ μετρητικά συστήματα είναι μια ταχογεννήτρια για τη μέτρηση της ταχύτητας του άξονα και ένα ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της θέσης του άξονα. Ο δρομέας του ποτενσιόμετρου είναι συνδεδεμένος με τον άξονα του κινητήρα. Επειδή ο κινητήρας περιστρέφεται συνεχώς ο δρομέας δεν έχει τερματισμό δηλαδή μετά τη μια πλήρη περιστροφή του από το ένα άκρο του Α στο άλλο άκρο C μετακινείται πάλι στο αρχικό του σημείο Α.

Εκεί είναι τοποθετημένη και η είσοδος στο σύστημα (SET POINT) που είναι ένας ροοστάτης (ποτενσιόμετρο) με τον οποίο ο χειριστής επιλέγει την επιθυμητή θέση του άξονα του κινητήρα (αυτός χρησιμοποιείται στην περίπτωση που κλείνει ο βρόχος για να δημιουργηθεί το σύστημα αυτομάτου ελέγχου) .



Τα δύο επί μέρους τμήματα επικοινωνούν μεταξύ τους με πλακέ πολυτολικό καλώδιο.

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Το δομικό διάγραμμα του συστήματος ηλεκτρικός κινητήρας συνεχούς ρεύματος – ταχογεννήτρια δίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



Εικόνα 2.Το δομικό διάγραμμα του συστήματος

όπου U είναι η τάση εισόδου, Ω είναι η ταχύτητα περιστροφής της ταχογεννήτριας σε rpm, Θ είναι η θέση – τάση του άξονα του κινητήρα V_{tach} και είναι η τάση στην ταχογεννήτρια.

Σημείωση : Το αρνητικό πρόσημο μπαίνει στην περίπτωση που θετική περιστροφή της ταχογεννήτριας προκαλεί μείωση της τάσης – θέσης.

Όταν ασχολούμαστε με σχεδίαση με τις αρχές των ΣΑΕ πρέπει το υπό έλεγχο σύστημα να τα περιγράψουμε με το δυναμικό του μοντέλο.

Ο προσδιορισμός του Μαθηματικού Μοντέλου μπορεί να γίνει με:

1. Από τους φυσικούς νόμους.
2. Από πειραματικές μετρήσεις.
3. Συνδυασμός των δύο παραπάνω τρόπων.

Όσον αφορά τον κινητήρα προσεγγίζουμε τη συνάρτηση μεταφοράς τάσης-ταχύτητας με τον τύπο

$$\frac{V_{tach}}{U}(s) = \frac{K_m K_T}{T_m s + 1}$$

δηλαδή με μια απλή συνάρτηση μεταφοράς πρώτης τάξης. Η θέση του άξονα είναι το ολοκλήρωμα της ταχύτητας $\frac{k_o}{s}$. Άρα η συνολική συνάρτηση μεταφοράς τάσης εισόδου – θέσης δίνεται από τη σχέση (προσοχή όπως βλέπετε και από το σχήμα πολλαπλασιάζουμε μόνο τα στοιχεία που αποτελούν τον ευθύ κλάδο):

$$\frac{\Theta}{U}(s) = \frac{K_m}{T_m s + 1} * K_\mu * \frac{K_o}{s}$$

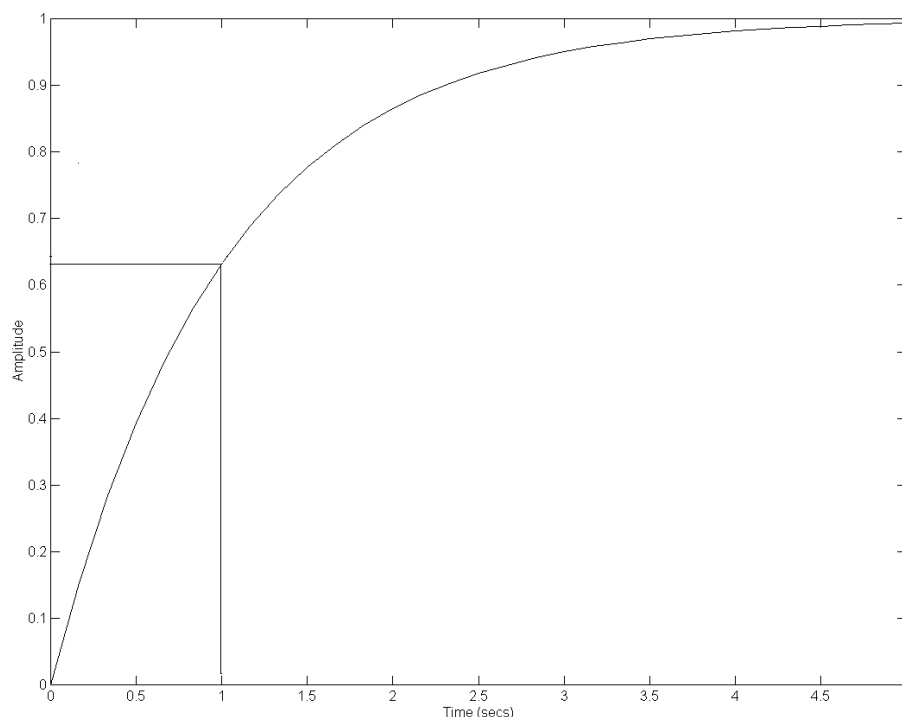
Στο πρώτο στάδιο της εργασίας θα προσδιορίσουμε το γινόμενο $K_m * K_T$, τη σταθερά χρόνου T_m και τη σταθερά του αποσβεστήρα K_μ . Σε δεύτερο στάδιο θα προσδιορίσουμε το γινόμενο $K_m * K_o$ και εν τέλει τα K_m , K_T και K_o .

ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ $K_m \cdot K_T \cdot T_m$, K_m και K_{μ} .

Την έξοδο από το SW1 τη συνδέουμε στο INPUT TO POWER AMPLIFIER . Χρησιμοποιούμε ένα καλώδιο και προσέχουμε να το τοποθετήσουμε στις ακίδες χωρίς να εξασκήσουμε βία. Η έξοδος SW1 είναι μια τάση 10V DC. Άρα με τον διακόπτη SW1 διεγείρουμε το σύστημα με μία βηματική είσοδο 10V DC.

Συνδέουμε τα Probes του παλμογράφου ως εξής: το CH2 στο σημείο TACHO και το CH1 στην έξοδο του SW1 . Ο διακόπτης SW1 είναι γενικά στη νεκρή (μεσαία) θέση.

Μετακινούμε το διακόπτη SW1 στην πάνω θέση (περίπου +10V). Αυτή η μετακίνηση σημαίνει ότι εισάγουμε στο σύστημα μια βηματική είσοδο 10V. Καταγράφουμε και την είσοδο και την έξοδο στον παλμογράφο μνήμης πατώντας το πλήκτρο HOLD



Σχήμα 3

Εάν η απόκριση που αποτυπώνουμε δεν είναι ικανοποιητική (περίπου όπως στο Σχήμα 3) την ακυρώνουμε ξαναπατώντας το πλήκτρο HOLD και κάνουμε νέα προσπάθεια. Επίσης η τάση εισόδου και η τάση εξόδου μπορούν να μετρηθούν με την βοήθεια ενός ψηφιακού βολτομέτρου.

Έστω ότι η ταχογεννήτρια φθάνει στη μόνιμή της κατάσταση μετά από χρόνο T_1 και έχει τάση μόνιμης κατάστασης V_T . Τότε από την καταγραφή της απόκρισης μετράμε την τάση εισόδου πχ 10V και την τάση μόνιμης

κατάστασης V_T . Πχ 1.33V. Η Σ.Μ. $\frac{V_{tacho}}{U}(s) = \frac{K_m K_T}{T_m s + 1}$

στην μόνιμη κατάσταση έχει το $s=0$ και επομένως εκφυλίζεται σε $K_m * K_T$.
Οπότε $K_m * K_T = 1.33/10 = 0,133$

Για τον υπολογισμό του T_m αρκεί να υπολογίσουμε το χρόνο στον οποίο η κυματομορφή φθάνει στο 63,3% της μέγιστης τιμής της. Στο παράδειγμα (Σχήμα 3) εμφανίζεται η απόκριση ενός συστήματος με συνάρτηση μεταφοράς $1/(s+1)$. Σε αυτό το σύστημα συντελεστής του s είναι 1 και στο 1 second η απόκριση έχει φθάσει στο 63,3% της μέγιστης τιμής της. Μετρούμε λοιπόν το μέγιστο της κυματομορφής με τις μετακινούμενες οριζόντιες ευθείες του παλμογράφου και μετά κατεβάζουμε την μία παράλληλα προς τα κάτω ώστε να φθάσει στο 63,3% του μεγίστου. Εντοπίζουμε την τομή της ευθείας με την απόκριση του συστήματος. Αλλάζουμε τις ευθείες και από οριζόντιες τις κάνουμε κατακόρυφες. Μετρούμε τώρα τον χρόνο μέσα στον οποίο έχει φθάσει η απόκριση στο 63,3%. Αυτός ο χρόνος είναι το T_m .

Στο δικό μας βέβαια σύστημα δεν έχουμε συνάρτηση μεταφοράς $1/(s+1)$ άρα εδώ εάν το μέγιστο είναι πχ. 1.33V τότε $1.33 * 63.3\% = 0.841V$.

Υπολογισμός του K_T

Η παράμετρος K_T αντιστοιχεί στο λόγο της τάσης της ταχογεννήτριας προς την αντίστοιχη ταχύτητα του άξονα του κινητήρα (όχι του άξονα εξόδου!) σε rpm. Η ταχύτητα του άξονα του κινητήρα σε rpm υπολογίζεται από τη σχέση

rpm άξονα εξόδου

k_μ

Η μέτρηση γίνεται στη μόνιμη κατάσταση.

Υπολογισμός k_μ

Η παράμετρος K_μ αντιστοιχεί στο λόγο της γωνίας στροφής του "άξονα εξόδου" προς τη γωνία στροφής του άξονα του κινητήρα. Στρέφοντας με το χέρι το δισκόφρενο που φέρει ο άξονας του κινητήρα, παρατηρούμε πόσο περιστρέφεται ο "άξονας εξόδου" σε μια πλήρη περιστροφή του άξονα του κινητήρα. Τυπική τιμή $K_\mu = 1/30$ έως $1/32$

ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ K_m , K_T και K_o

Στο λειτουργικό διάγραμμα του ολοκληρωτή είσοδος είναι η ταχύτητα ($x_1 = \omega$) και έξοδος η θέση του άξονα εξόδου ($x_2 = \Theta$). Άρα η συνάρτηση μεταφοράς

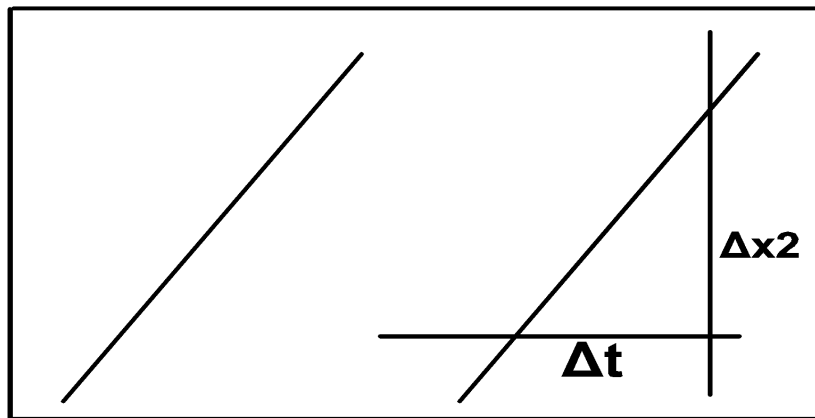
$$\frac{\Theta}{\Omega}(s) = K_\mu * \frac{K_o}{s}$$

$$s x_2 = K_\mu K_o x_1$$

$$\dot{x}_2 = K_\mu K_o x_1$$

$$\frac{\Delta x_2}{\Delta t} = K_\mu K_o \omega$$

Για τον υπολογισμό θέτουμε τον κινητήρα σε κίνηση και παρακολουθούμε τη θέση του στον παλμογράφο (MOTOR POSITION INVERTED). Η θέση του εμφανίζεται ως μια πριονωτή κυματομορφή λόγω της υπερπήδησης του δρομέα του ποτενσιόμετρου από την άκρη της περιστροφής του πάλι στο αρχικό του σημείο. Πατώντας το HOLD μετράμε το Δx_2 (μεταβολή της θέσης σε Volt) και τον αντίστοιχο χρόνο που χρειάζεται για να επέλθει αυτή η μεταβολή Δt .



Αφού υπολογίσουμε την κλίση μετακινούμε τις κατακόρυφες μετρητικές ευθείες στα άκρα της τριγωνικής κυματομορφής. Μετράμε πάλι το Δt . Έτσι έχουμε την περίοδο $T_{\text{εξόδου}}$ μίας πλήρους περιστροφής του άξονα εξόδου. Υπολογίζουμε πόσες πλήρεις περιστροφές κάνει ο άξονας εξόδου σε ένα λεπτό, δηλαδή την ταχύτητά του σε rpm. Οι στροφές στην έξοδο του συστήματος είναι, όπως ήδη υπολογίσαμε, μειωμένες

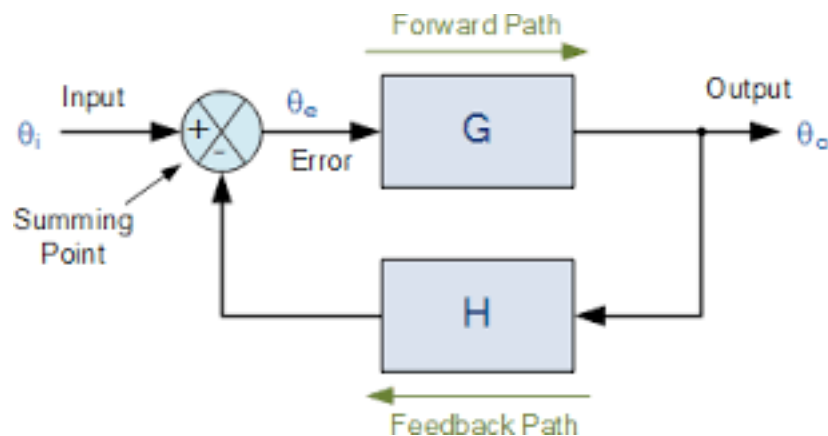
κατά $\frac{1}{K_\mu} = 30$ φορές. Άρα, $\omega = 30 * \omega_{\text{εξόδου}}$. Γνωρίζοντας το ω μπορούμε να υπολογίσουμε πλέον την τιμή του K_o

Όπως βλέπουμε από το block διάγραμμα ισχύει η σχέση: $V_{tacho} = K_T \cdot \omega$

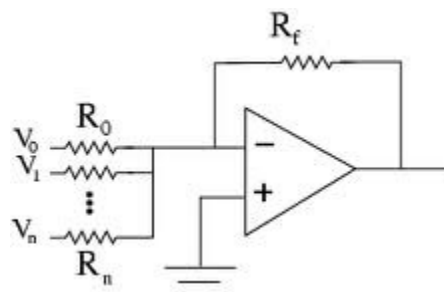
Το V_{tacho} έχει ήδη μετρηθεί στη μόνιμη κατάσταση από το προηγούμενο πείραμα, το ω προκύπτει από αυτό το πείραμα και έτσι υπολογίζεται το K_T (Τυπικές τιμές $k_T \approx 0.002 - 0.005$). Γνωρίζοντας το K_T και το γινόμενο $k_m \cdot K_T$ υπολογίζουμε και την τιμή του k_m (Τυπικές τιμές $k_m \approx 170 - 270$)

ΠΕΙΡΑΜΑ 1

ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ



Εισάγουμε τις παραμέτρους από το μοντέλο του πειραματικού συστήματος στο Matlab και κλείνουμε το βρόχο με μοναδιαία αρνητική ανάδραση. Παρατηρούμε την απόκριση του κλειστού βρόχου σε βηματική είσοδο. Μετά υλοποιούμε την μοναδιαία αρνητική ανάδραση στην πειραματική διάταξη. Ο αθροιστικός κόμβος αποτελείται από έναν αθροιστικό τελεστικό ενισχυτή.



Οι αντιστάσεις $R_0 - R_n$ είναι των $100K\Omega$ αλλά η αντίσταση R_f επιλέγεται από διάφορες ελεύθερες αντιστάσεις που έχουν τιμές $100K\Omega$ $1M\Omega$ κλπ,

Στην πειραματική διάταξη στον Error Amplifier δηλαδή στην είσοδο του τελεστικού ενισχυτή ($k \cdot \text{Error GAIN}$) και σε μία από τις αντιστάσεις άθροισης $R_0 - R_n$ των $100K$ συνδέουμε το θ_i (INPUT – SET POINT). Η σύνδεση αυτή γίνεται

με καλώδιο δύο ακροδεκτών. Επίσης συνδέω το $-θ_0$ στα 100K. Και η σύνδεση αυτή γίνεται με καλώδιο δύο ακροδεκτών. Τέλος βραχυκυκλώνω την έξοδο του τελεστικού ενισχυτή με τα 100K της ανάδρασης ώστε η ενίσχυση να γίνει 1 και ταυτόχρονα την έξοδο του τελεστικού την οδηγούμε στο INPUT POWER AMPLIFIER. Η σύνδεση αυτή γίνεται με καλώδιο τριών ακροδεκτών.

Μετακινούμε το μακρύ μαύρο καλώδιο από την προηγούμενη θέση του και ενώνουμε το INPUT SET POINT με μία από τις αντιστάσεις του GAIN. Επίσης με το μικρό πράσινο καλώδιο συνδέουμε το MOTOR POSITION INVERTED πάλι με μία από τις αντιστάσεις του GAIN.

Εάν το μοντέλο είναι σωστό τότε η γραφική απεικόνιση στο Matlab πρέπει να μοιάζει πολύ με τον πειραματική απεικόνιση στον παλμογράφο με μνήμη.

Παρατηρούμε ότι ο άξονας φθάνει στη μόνιμη κατάσταση μετά από κάποιες ταλαντώσεις. Μετρήστε το χρόνο αποκατάστασης και την υπερύψωση. Στην πειραματική διάταξη είσοδος είναι η θέση του ποτενσιόμετρου εισόδου.

ΠΕΙΡΑΜΑ 2

ΕΛΕΓΧΟΣ ΘΕΣΗΣ ΜΕ ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΑΝΑΔΡΑΣΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.

Οι δύο καταστάσεις που θα χρησιμοποιηθούν είναι η ταχύτητα (x_1) και η θέση (x_2). Η x_1 επί k_1 αφαιρείται από την είσοδο και η x_2 επί k_2 επίσης αφαιρείται από την είσοδο. Επειδή ως k_1 και k_2 θα χρησιμοποιηθούν δύο ποτενσιόμετρα σημαίνει ότι οι συντελεστές k_1 και k_2 μεταβάλλονται από 0 έως 1. Εάν θέλουμε να δουλέψουμε με αυτόν τον περιορισμό δεν έχουμε μεγάλη ευχέρεια στις προδιαγραφές της σχεδίασης. Για να αποφύγουμε τον περιορισμό της έλλειψης ενίσχυσης στα k_1 και k_2 τοποθετούμε μια ενίσχυση $\times 10$ στον ευθύ κλάδο επιλέγοντας σαν αντίσταση ανάδρασης στον τελεστικό ενισχυτή (error amplifier) την αντίσταση του 1M. Άρα $1M/100K=10$.

Απαίτηση για να αρχίσουμε τη σχεδίαση είναι το σύστημα να μην παρουσιάζει υπερύψωση ($\zeta=1$).

Επιλύστε τη νέα συνάρτηση μεταφοράς με Γ.Α.Κ. και ενίσχυση 10 στον ευθύ κλάδο. Υπολογίστε τα k_1 , k_2 με $\zeta=1$. Πειραματιστείτε με τα k_1 , k_2 διότι το ένα από αυτά πρέπει να επιλεγεί αυθαίρετα.

Η επίλυση γίνεται με χαρτί και μολύβι ο πειραματισμός γίνεται με τη βοήθεια του Matlab.

Επιβεβαιώστε τα ανωτέρω αποτελέσματα στην πειραματική διάταξη.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ ΜΝΗΜΗΣ HM407

A) Τα VOLTS/DIV και το TIME/DIV αλλάζουν με τα περιστρεφόμενα πλήκτρα αλλά η τιμή που έχουν εμφανίζεται μέσα στην οθόνη. Επιλέγουμε 2V/div και για τα δύο κανάλια.

B) Για να παγώσουμε την κυματομορφή στην οθόνη πατάμε στιγμιαία το πλήκτρο HOLD. Πατώντας πάλι το HOLD συνεχίζεται κανονικά η λειτουργία του παλμογράφου.

Γ) Η κατακόρυφη απόσταση δύο σημείων ΔV (σε Volts) πάνω στην οθόνη του παλμογράφου μπορεί να μετρηθεί μετακινώντας τις δύο παράλληλες ευθείες.

Δ) Για να επιλεχτεί η λειτουργία ΔV πιέζουμε συνεχώς το CHI/II (κάτω από την οθόνη) για αρκετή ώρα. Για να έχουμε ΔV1 (δηλαδή για το CH1) ή ΔV2 (δηλαδή για το CH2) πιέζουμε το ίδιο κουμπί CHI/II αλλά για λίγη ώρα. Για να καταργήσουμε το ΔV πατάμε πάλι συνεχώς το CHI/II.

Ε) Για μέτρηση χρόνου Δt πατάμε το κουμπί ΔV Δt (κάτω από την οθόνη) για αρκετή ώρα.

Ζ) Για την μετακίνηση των γραμμών που ορίζουν το ΔV ή το Δt χρησιμοποιούμε τον συρόμενο διακόπτη CURSOR. Το ποιά γραμμή μετακινείται επιλέγεται με μικρή στιγμιαία πίεση στο I/II. Εάν πατήσουμε ταυτόχρονα τα I/II και CHI/II τότε μετακινούνται παράλληλα και οι δύο γραμμές. Εάν ξαναπατήσουμε ταυτόχρονα τα I/II και CHI/II επανερχόμαστε στην προηγούμενη κατάσταση.

ΟΔΗΓΙΕΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΑΛΜΟΓΡΑΦΟ ΜΝΗΜΗΣ HM507

A) Τα VOLTS/DIV και το TIME/DIV αλλάζουν με τα περιστρεφόμενα πλήκτρα αλλά η τιμή που έχουν εμφανίζεται μέσα στην οθόνη. Επιλέγουμε 2V/div και για τα δύο κανάλια.

B) Για να παγώσουμε την κυματομορφή στην οθόνη πατάμε στιγμιαία το πλήκτρο HOLD. Πατώντας πάλι το HOLD συνεχίζεται κανονικά η λειτουργία του παλμογράφου.

Γ) Η κατακόρυφη απόσταση δύο σημείων ΔV (σε Volts) πάνω στην οθόνη του παλμογράφου μπορεί να μετρηθεί μετακινώντας τις δύο παράλληλες ευθείες.

Δ) Για να επιλεχτεί η λειτουργία ΔV πιέζουμε το πλήκτρο MEASURE (κάτω από την οθόνη) . Τότε εμφανίζεται στην οθόνη ένας πίνακας και τότε με πλήκτρο SOURCE (που μετακινεί την επιλογή μας προς τα επάνω) ή με το πλήκτρο UNIT (που μετακινεί την επιλογή μας προς τα επάνω) διαλεγουμε ΔV και πατάμε Set δηλαδή το MAIN MENU. Το SELECT στιγμιαία μετακινεί τις δύο παράλληλες γραμμές ταυτόχρονα και με νέα στιγμιαία πίεση αποσυνδέονται. Με παρατεταμένη πίεση του SELECT οι γραμμές εξαφανίζονται.

Ε) Για μέτρηση χρόνου Δt πατάμε το κουμπί πιέζουμε το πλήκτρο MEASURE (κάτω από την οθόνη) και επιλέγουμε Δt και κατα λοιπά είναι ακριβώς το βήμα Δ.

Ζ) Για την μετακίνηση των γραμμών που ορίζουν το ΔV ή το Δt χρησιμοποιούμε το πλήκτρο CURSOR POS. Το ποιά γραμμή μετακινείται επιλέγεται από τα κουμπιά Y-POS/CURS.I και Y-POS/CURS.II