

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

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η άσκηση αυτή έχει ως σκοπό να δείξει πώς μετριοούνται σε ένα πραγματικό σύστημα έννοιες όπως η βηματική απόκριση, ο χρόνος ανόδου, ο χρόνος αποκατάστασης κλπ. οι οποίες έως τώρα ήταν απλά σχήματα στη θεωρία. Επίσης θα γίνει προσεγγιστική μοντελοποίηση του συστήματος, δηλαδή βάσει πειραματικών μετρήσεων επί του πραγματικού συστήματος θα δημιουργήσουμε τη θεωρητική συνάρτηση μεταφοράς.

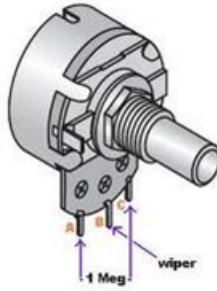
Ως υπό έλεγχο σύστημα δίνεται ένας κινητήρας. Ως γνωστόν, εάν δώσουμε τάση σε έναν κινητήρα, αυτός γυρίζει συνεχώς με μια περίπου σταθερή ταχύτητα η οποία εξαρτάται από το φορτίο του.

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 επόμενα εργαστήρια θα 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. Τα δε 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.



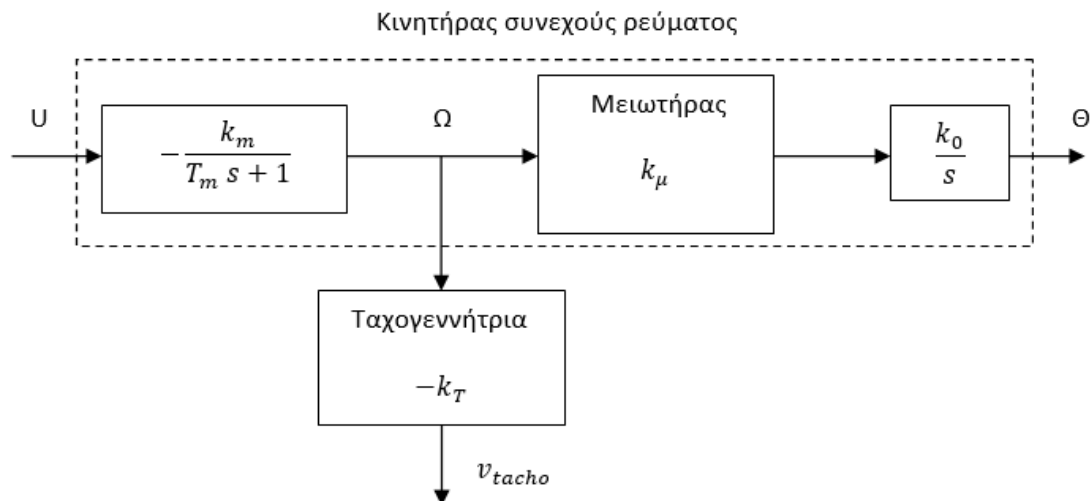
Εικόνα 1. Ποτενσιόμετρο για τη μέτρηση της θέσης του άξονα

Τα δύο επιμέρους τμήματα επικοινωνούν μεταξύ τους με πλακέ πολυπολικό καλώδιο. Η είσοδος στο σύστημα (SET POINT) 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 με αναλογικό έλεγχο).

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

(Μοντελοποίηση)

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 και v_{tacho} είναι η τάση στην ταχογεννήτρια.

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

Στόχος: Μέσω πειραμάτων να εκτιμήσετε τις παραμέτρους $k_m, k_T, k_0, k_\mu, T_m$.

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

Ο προσδιορισμός του Μαθηματικού Μοντέλου μπορεί να γίνει:

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

Όσον αφορά τον κινητήρα, προσεγγίζουμε τη συνάρτηση μεταφοράς τάσης εισόδου – τάσης ταχογεννήτριας με τον τύπο:

$$\frac{V_{TACHO}}{U}(s) = \frac{k_m k_T}{T_m s + 1}$$

δηλαδή με μια απλή συνάρτηση μεταφοράς πρώτης τάξης. Η θέση του άξονα του κινητήρα είναι το ολοκλήρωμα της ταχύτητάς του:

$$\frac{k_0}{s}$$

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):

$$\frac{\Theta}{U}(s) = \frac{k_m}{T_m s + 1} \cdot k_\mu \cdot \frac{k_0}{s}$$

Στο πρώτο στάδιο της εργασίας θα προσδιορίσουμε το γινόμενο $k_m \cdot k_T$, τη σταθερά χρόνου T_m και τη σταθερά του αποσβεστήρα k_μ . Σε δεύτερο στάδιο θα προσδιορίσουμε το γινόμενο $k_\mu \cdot k_0$ και εν τέλει τα k_m, k_T και k_0 .

ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ $k_m \cdot k_T$, T_m και k_μ

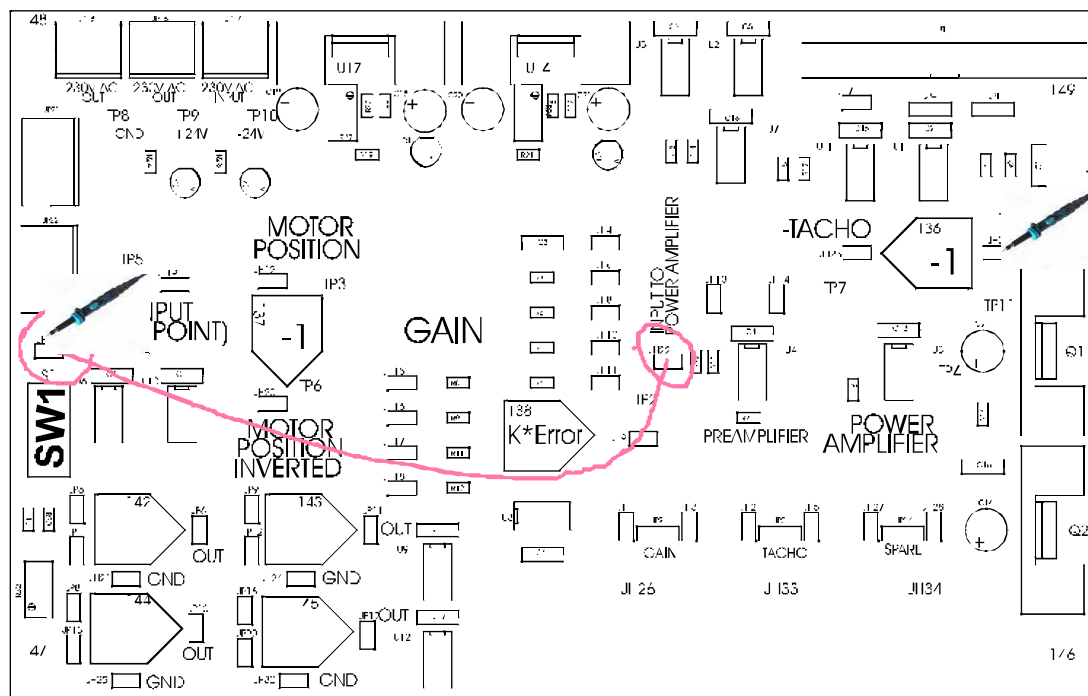
Την έξοδο από το SW1 τη συνδέουμε στο INPUT TO POWER AMPLIFIER (Εικόνα 3). Χρησιμοποιούμε το μακρύ μαύρο καλώδιο και προσέχουμε να το τοποθετήσουμε στις δύο ακίδες χωρίς να εξασκήσουμε βία. Η έξοδος SW1 είναι μια τάση 10V DC. Άρα με τον διακόπτη SW1 διεγείρουμε το σύστημα με μία βηματική είσοδο 10V DC.

Για όλες σχεδόν τις συνδέσεις χρησιμοποιούνται καλώδια με δύο ακροδέκτες. Στην περίπτωση όμως που συνδέουμε τον τελεστικό ενισχυτή που είναι ο αθροιστικός κόμβος στην είσοδο του συστήματος αυτομάτου ελέγχου τότε χρησιμοποιείται καλώδιο με τρεις ακροδέκτες. Αυτή η σύνδεση ισχύει μόνο για την περίπτωση αναλογικού ελέγχου.

Συνδέουμε τα Probes του παλμογράφου ως εξής: το CH1 στο σημείο TACHO και το CH2 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. Εάν

η απόκριση που αποτυπώνουμε δεν είναι ικανοποιητική (περίπου όπως στην Εικόνα 4) 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.

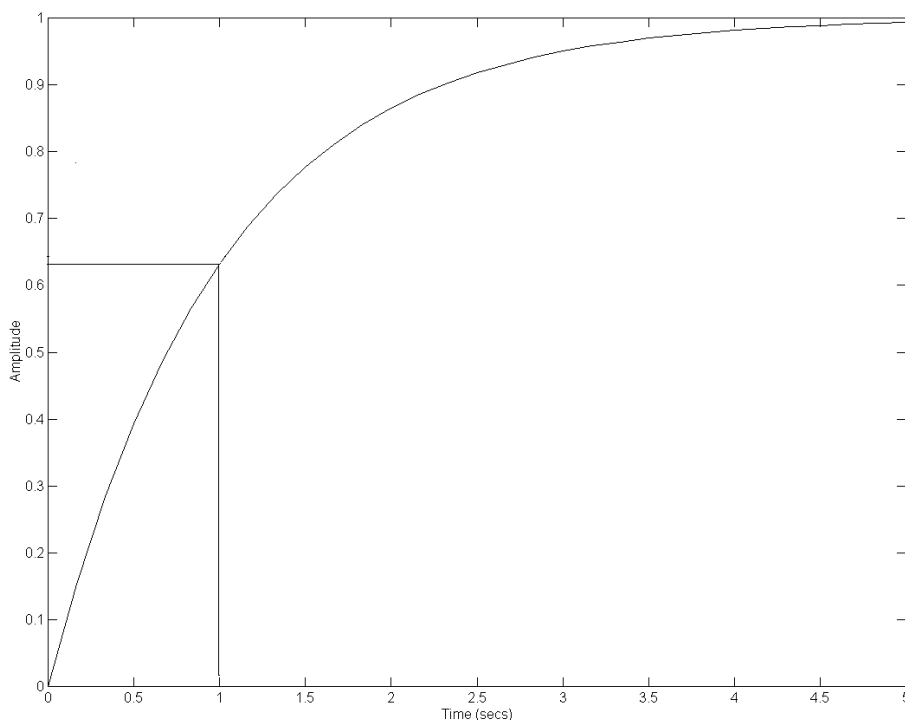


Εικόνα 3

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 (π.χ. 10.1V) και την τάση μόνιμης κατάστασης V_T (π.χ. 9V). Για τη συνάρτηση μεταφοράς $\frac{k_m k_T}{T_m s + 1}$ στη μόνιμη κατάσταση ισχύει $s=0$ και επομένως εκφυλίζεται σε $k_m k_T$, οπότε $k_m k_T = \frac{9}{10.1}$.

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 (Εικόνα 4) εμφανίζεται η απόκριση ενός συστήματος με συνάρτηση μεταφοράς $\frac{1}{s+1}$. Σε αυτό το σύστημα ο 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. Τη μία ευθεία την τοποθετούμε στην κάτω πλευρά της κυματομορφής που είναι και το μηδέν της τάσης. Δηλαδή στον οριζόντιο άξονα x του σχήματος της εικόνας 4. Τη δεύτερη ευθεία την τοποθετούμε πάνω στη μέγιστη τιμή της απόκρισης, δηλαδή στη νοητή ευθεία που ξεκινάει οριζόντια από το $y=1$ στο σχήμα της εικόνας 4. Φυσικά στη δική σας απόκριση αυτή η μέγιστη τιμή θα αντιστοιχεί σε κάποια άλλη τιμή τάσης. Η απόσταση της πάνω από την κάτω ευθεία σε τάση εμφανίζεται

συνέχεια μέσα στην οθόνη του παλμογράφου. Έστω λοιπόν ότι η μέγιστη αυτή τιμή είναι 9V.



Εικόνα 4

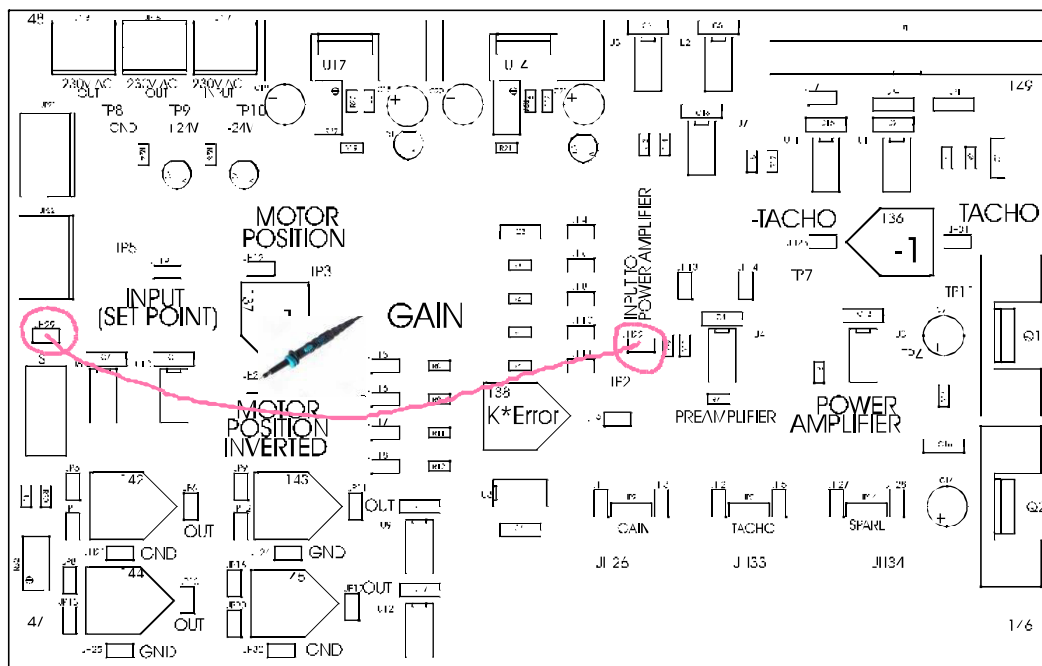
Υπολογίζουμε $9 \cdot 63.3\% = 5.7 \text{ V}$ και μετά μετακινούμε την πάνω ευθεία παράλληλα προς τα κάτω ώστε να φθάσει στο 5.7 V . Εντοπίζουμε την τομή της ευθείας με την απόκριση του συστήματος. Αλλάζουμε τις ευθείες μέτρησης και από οριζόντιες τις κάνουμε κατακόρυφες. Τη μία κατακόρυφη τοποθετούμε στον άξονα γ και την άλλη έτσι ώστε να περνάει από το σημείο της σταθεράς χρόνου. Μετρούμε τώρα το χρόνο της απόστασής τους. Αυτός ο χρόνος είναι το T_m , δηλαδή η σταθερά χρόνου του συστήματος. Τυπικές τιμές $T_m \approx 0.45 - 0.55 \text{ sec}$.

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 $k_\mu \approx \frac{1}{30}$.

ΕΥΡΕΣΗ ΤΩΝ k_m, k_T και k_0

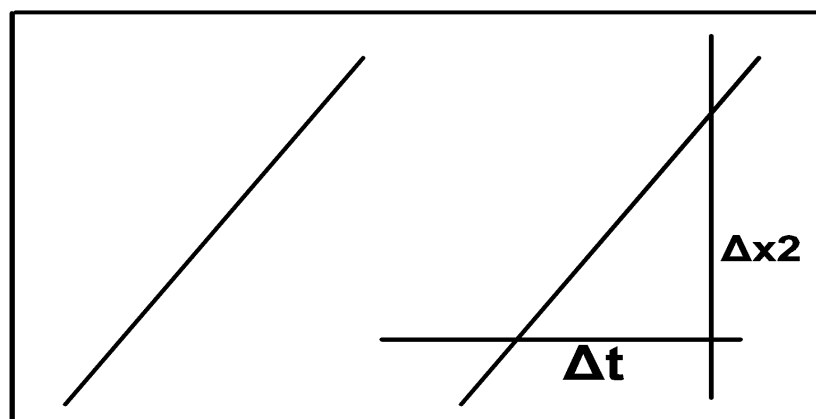
Στο λειτουργικό διάγραμμα του ολοκληρωτή είσοδος είναι η ταχύτητα της ταχογεννήτριας ($x_1 = \omega$) και έξοδος είναι η θέση του άξονα εξόδου ($x_2 = \theta$). Άρα η συνάρτηση μεταφοράς είναι :

$$\frac{\Theta}{\Omega}(s) = k_\mu \cdot \frac{k_0}{s} \rightarrow s x_2 = k_\mu k_0 x_1 \rightarrow \dot{x}_2 = k_\mu k_0 x_1 \rightarrow \frac{\Delta x_2}{\Delta t} = k_\mu k_0 \omega$$



Εικόνα 5

Για τον υπολογισμό θέτουμε τον κινητήρα σε κίνηση και παρακολουθούμε τη θέση του στον παλμογράφο (MOTOR POSITION INVERTED) (Εικόνα 5). Η θέση του εμφανίζεται ως μια πριονωτή κυματομορφή (Εικόνα 6) 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 .



Εικόνα 6

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, $\omega = 30 \cdot \omega_{\text{εξόδου}}$.

Γνωρίζοντας το ω μπορούμε να υπολογίσουμε πλέον την τιμή του k_0 (Τυπικές τιμές $k_0 \approx 0.15 - 0.25$).

Όπως βλέπουμε από το block διάγραμμα ισχύει η σχέση:

$$v_{tach} = k_T \cdot \omega$$

Το v_{tach} 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 $k_m k_T$ υπολογίζουμε και την τιμή του k_m (Τυπικές τιμές $k_m \approx 170 - 270$).

Παράδειγμα μέτρησης $V_{ref_arduino}$ και V_{7805}

Μέσω του Matlab χρησιμοποιώντας τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} x1 &= 3 * V_{ref_arduino} * position / 1023; \\ x2 &= 2 * (2 * velocity * V_{ref_arduino} / 1023 - V_{7805}); \end{aligned}$$

Διαβάζουμε τις τιμές που αντιστοιχούν στις δύο καταστάσεις με τον κινητήρα σματημένο. Οι τιμές που ακολουθούν είναι τυχαίες:

```
>> velocity = analogRead(a,3)
```

```
>> 561
```

```
>> position = analogRead(a,5)
```

```
>> 447
```

Μετράμε με πολύμετρο την τάση στο pin Motor Position πχ 6.56V

$$6.56 = \frac{3 * V_{ref_arduino}}{1024} * 447 \Rightarrow V_{ref_arduino} = \frac{6.56 * 1024}{3 * 447} = 5.009 \approx 5$$

και για το V7805

$$0 = 2 * \left(\frac{2 * 561 * 5}{1024} - V_{7805} \right) \Rightarrow V_{7805} = \frac{2 * 561 * 5}{1024} = 5.478$$

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 ποια 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 τις επόμενες λειτουργίες πρέπει να έχουν εμφανισθεί στην οθόνη δύο παράλληλες οριζόντιες ή κατακόρυφες ευθείες αποτελούμενες από κουκκίδες. Εάν δεν υπάρχουν πατάμε παρατεταμένα το SELECT έως ότου εμφανισθούν. 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) διαλέγουμε 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 κατά 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