

**Σ.Ν.Δ.
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

Μ. Μανώλαρου, Ι.Κ. Χατζηλάου, Κ. Φωστιέρης

**ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΙΣΧΥΟΣ
για μετατροπή μονοφασικής AC τροφοδοσίας σε 3-φασική AC
ρυθμιζόμενης συχνότητας και ενδεικνύμενης τιμής της τάσεως
(αντιστροφέας τύπου MITSUBISHI FR-E520S-0)**

Ιούνιος 2007

[1^η Έκδοση (προσωρινή, ημιτελής) : Μάρτιος 2005]

Ν.ΔΟΚΙΜΟΣ :

ΕΤΟΣ / ΤΜΗΜΑ :

Τετράμηνο / Εκπ. Έτος :

Ημερομηνία Πειράματος :

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΠΕΙΡΑΜΑ

**ΜΕΛΕΤΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΡΟΠΕΑ ΙΣΧΥΟΣ
για μετατροπή μονοφασικής AC τροφοδοσίας σε 3-φασική AC
ρυθμιζόμενης συχνότητας και ενδεικνύμενης τιμής της τάσεως**

(αντιστροφέας τύπου MITSUBISHI FR-E520S-0)

*** Στην προετοιμασία του πειράματος αυτού, έχουν συμμετάσχει οι :**

M. ΜΑΝΩΛΑΡΟΥ
Ι.Κ. ΧΑΤΖΗΛΑΟΥ
Κ. ΦΩΣΤΙΕΡΗΣ

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Ι.Κ.ΧΑΤΖΗΛΑΟΥ, «Ηλεκτρικές Μηχανές», ΣΝΔ 1981.
- [2]. Ι.Κ.ΧΑΤΖΗΛΑΟΥ, «Συμπληρωματικά κεφάλαια στις Ηλεκτρικές Μηχανές - Μέρος Ι», ΣΝΔ 1987.
- [3]. Ι.Κ.ΧΑΤΖΗΛΑΟΥ, Σ. ΠΕΡΡΟΣ, «Μετατροπείς ενέργειας και ΣΑΕ Ηλ. Συστημάτων με Ηλεκτρονικά Ισχύος», ΣΝΔ 2001.
- [4]. MOHAN-UNDELAND-ROBBINS, «Power electronics, Converters, Applications and Design», 1995. (Ελληνική Μετάφραση : Ν.Ι. Μάργαρης, «Ηλεκτρονικά Ισχύος, Μετατροπείς, Εφαρμογές, Σχεδίαση», Εκδόσεις Α. Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1996).
- [5]. Εγχειρίδιο οδηγιών χρήσεως αντιστροφέα MITSUBISHI FR-E520S-0.
- [6]. Εγχειρίδιο Εργαστηρίων ΣΝΔ «Θέματα Εφαρμογών & Εργαστηριακά Πειράματα στη Θ.Κ. Ι», παράγρ. 8.2, Ψηφιακές Μετρήσεις.
- [7]. Εγχειρίδιο Εργαστηρίων ΣΝΔ «Όργανα Μετρήσεων».

ΙΟΥΝΙΟΣ 2007

[1^η Έκδοση (προσωρινή, ημιτελής) : Μάρτιος 2005]

Γενικές Οδηγίες

Κατά την διάρκεια του Πειράματος εκτελέσατε την ενότητα «**VI. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**» και καταχωρήσατε τα αποτελέσματα των μετρήσεων, όσων υπολογισμών είναι απαραίτητο να γίνουν κατά τη διάρκεια του Πειράματος και ότι παρατηρήσεις έχετε στο «ΠΡΟΧΕΙΡΟ» της ενότητας «**VI**». Μετά το εργαστηριακό πείραμα, την ώρα της μελέτης, θα απαντηθούν τα ερωτήματα του ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΝΩΣΕΩΝ και θα γίνει μια σύντομη ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ (ΕΚΘΕΣΗ) του Πειράματος στην ενότητα «**VIII. ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ**».

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- I. ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ
- II. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ
- III. ΟΡΓΑΝΑ/ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ
- IV. ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ
- V. Ο ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ MITSUBISHI FR-E520S
- VI. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
 - 1. ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ
 - 2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ μέσω Παλμογράφου - IEEE 488 - H/Y
 - 3. ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R,L,C
 - 4. ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ
 - 5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ
 - 6. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ/ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ (ΕΜΙ/ΕΜC)
- VII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
- VIII. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ FOURIER
 - A- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ORIGIN 6.1
 - B- ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LABVIEW 7.1
- IX. ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΝΩΣΕΩΝ
- X. ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

I. ΣΚΟΠΟΣ/ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

ΣΚΟΠΟΣ : Επίδειξη, ανάλυση και μελέτη της λειτουργίας μιας διατάξεως ηλεκτρικού μετατροπέα ισχύος, με τον οποίον μια μονοφασική τροφοδοσία Ε.Ρ. μετατρέπεται σε 3-φασική τροφοδοσία με ρυθμιζόμενη συχνότητα και ενδεικνύμενη τιμή της τάσεως.

ΔΟΜΗ : Το Πείραμα γίνεται με τον αντιστροφέα τύπου MITSUBISHI FR-E520S, [ο οποίος τροφοδοτεί διάφορα φορτία, όπως : α) κυκλώματα R,L,C β) επαγωγικό κινητήρα], χρησιμοποιούνται σύγχρονες τεχνικές καταγραφής κυματομορφών μέσω ψηφιακού παλμογράφου με θύρα IEEE 488 και H/Y με κάρτα IEEE 488, οι οποίες αναλύονται στη συνέχεια κατά Fourier και οι βασικές ενότητες είναι :

1. Σύντομη θεωρητική ανάπτυξη της λειτουργίας του αντιστροφέα και των εφαρμογών του.
2. Επίδειξη/Αναγνώριση/Περιγραφή του αντιστροφέα τύπου MITSUBISHI FR-E520S, των παραμέτρων του και του τρόπου σύνδεσης και ρύθμισής του.
3. Ρύθμιση στροφών 3-φασικού επαγωγικού κινητήρα μέσω τροφοδοσίας του (με «οδήγηση») από τον αντιστροφέα.
4. Σύντομη περιγραφή της τεχνικής λήψης των μετρήσεων (καταγραφή και ανάλυση των κυματομορφών τάσεων και ρευμάτων) μέσω Παλμογράφου - IEEE 488 - H/Y
5. Καταγραφή των κυματομορφών τάσεως και ρεύματος στην είσοδο και στην έξοδο του αντιστροφέα σε διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του (εν κενώ, τροφοδοσία κυκλώματος R,L,C, τροφοδοσία του κινητήρα σε διάφορα φορτία και στροφές).
6. Προσδιορισμός των αρμονικών τάσεως και ρεύματος στην είσοδο και έξοδο του αντιστροφέα (ανάλυση Fourier μέσω κατάλληλου λογισμικού).

II. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΡΟΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

- Βασικές αρχές μετρήσεων, μέτρα ασφαλείας και τρόπος εργασίας στο Εργαστήριο.
- Βασικοί νόμοι ηλεκτροτεχνίας περί επιλύσεως κυκλωμάτων.
- Γνώσεις που αποκτήθηκαν από τα προηγούμενα πειράματα.
- Γνώσεις επί θεμάτων Ηλεκτρικών Κινητήρων και Ηλεκτρονικών Ισχύος

III. ΟΡΓΑΝΑ / ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΠΟΥ ΘΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΟΥΝ

- * Τροφοδοτικό μονοφασικής τάσεως E.P. (220 V, 50 Hz)
- * Ηλεκτρικός Μετατροπέας Ισχύος : **Αντιστροφέας τύπου MITSUBISHI FR-E520S**
 - 3-φασικά Ωμικά, Επαγωγικά και Χωρητικά φορτία
 - 3-φασικός Επαγωγικός Κινητήρας [$p = 4$]
 - Ηλεκτροδυναμόμετρο
 - Παλμογράφος HAMEG με θύρα IEEE 488
 - Καταγραφικό Παλμογράφου HAMEG
 - H/Y με κάρτα IEEE 488 και λογισμικό ανάλυσης Fourier.
 - Αισθητήρας (probe) τάσεως
 - Αμπεροτσιμπίδα (Αισθητήρας (probe) ρεύματος) (CHAUVIN ARNOUX E-3)
 - Μετρητή έντασης & πυκνότητας ισχύος H/M πεδίου (CHAUVIN ARNOUX C.A 43)
 - Ηλεκτρονικό Στροφόμετρο
 - Αμπερόμετρα
 - Βολτόμετρα
 - Βαττόμετρα
 - Συνδετικοί αγωγοί
 - Συνδετικός Ιμάντας (κινητήρα/ηλεκτροδυναμόμετρου)

Τεχνικά χαρακτηριστικά οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν

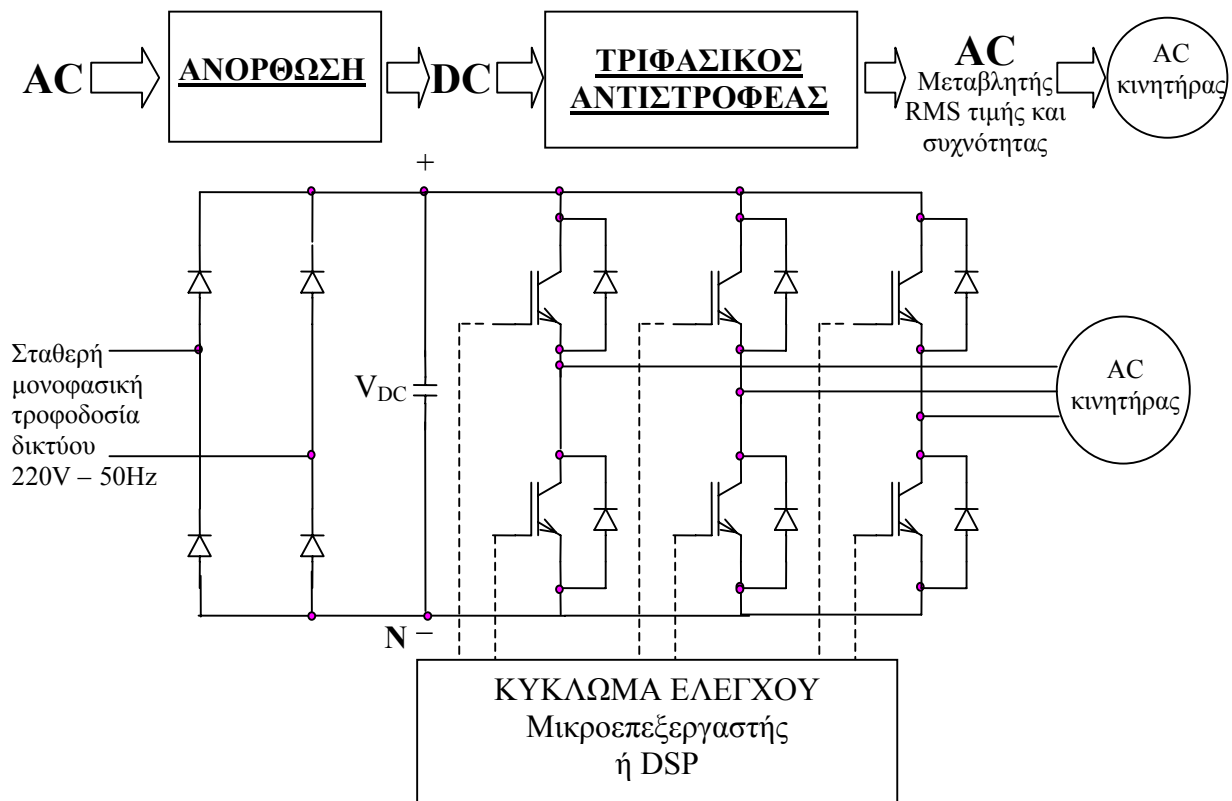
<p align="center">Αμπεροτσιμπίδα (CHAUVIN ARNOUX E-3)</p>	<p>Περιοχή μέτρησης: i)100mV/A 50mA έως 10A ii)10 mV/A 50mA έως 40^A Εύρος ζώνης: DC – 100kHz Μέγιστο σφάλμα ένδειξης: 4%</p>
<p align="center">Βατόμετρα</p>	<p>Περιοχή μέτρησης: Τάση: DC, 1-ph: 12V,24V, 60V,120V, 240V,360V,480V AC, 3-ph: 104V, 208V, 416V Ρεύμα: 1A, 10A Κλάση ακρίβειας Οργάνου: 1 Απόκριση Συχνότητας: DC – 500Hz</p>
<p align="center">Μετρητή έντασης & πυκνότητας ισχύος Η/Μ πεδίου (CHAUVIN ARNOUX C.A 43)</p>	<p>Περιοχή μέτρησης: Ένταση Ηλεκτρικού Πεδίου: 0.1 –199.9 V/m Ένταση Μαγνητικού Πεδίου: 0.1-19.99 A/m Πυκνότητα Ισχύος: 0.1-1999μW/cm² Ζώνη συχνοτήτων 100KHz – 2.5GHz</p>

IV. ΘΕΩΡΙΑ ΤΟΥ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ (INVERTER)

Σε διάφορες εφαρμογές (π.χ. έλεγχος στροφών επαγωγικού κινητήρα) διατίθεται μονοφασική πηγή Ε.Ρ., αλλά χρειαζόμαστε 3-φασική τροφοδοσία Ε.Ρ. και μάλιστα με ρυθμιζόμενη τάση V και συχνότητα f .

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ένας ηλεκτρικού μετατροπέα ισχύος, ο οποίος να τροφοδοτείται από μία μονοφασική τάση (π.χ. 220V) και στην έξοδο του να παρέχει μία εναλλασσόμενη τάση μεταβλητής RMS τιμής και συχνότητας.

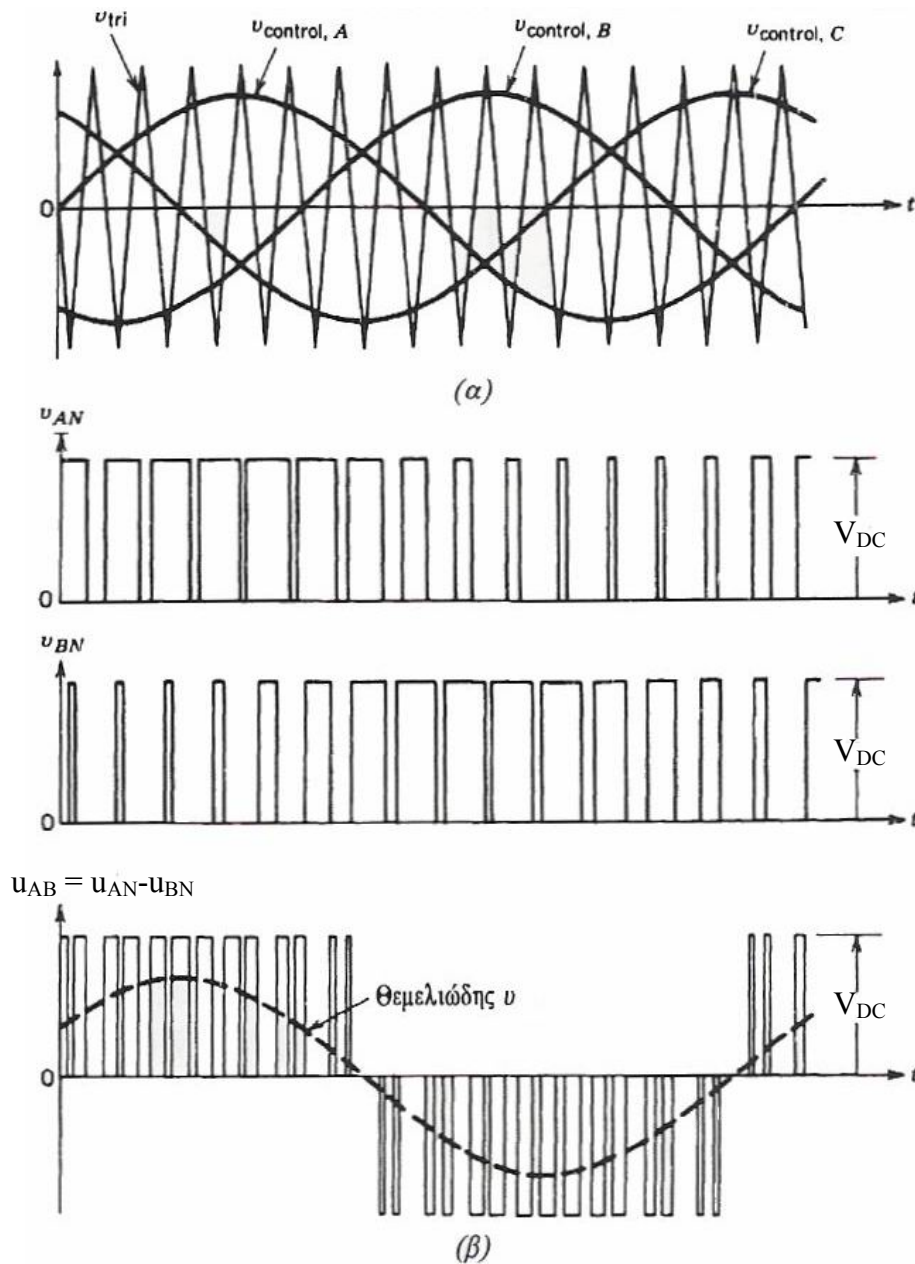
Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται μία τέτοια διάταξη.



Σχήμα 1. Διάταξη ηλεκτρονικών ισχύος για τη μετατροπή μονοφασικής τροφοδοσίας Ε.Ρ. σε 3-φασική με ρυθμιζόμενη τάση και συχνότητα (π.χ. για τον έλεγχο κινητήρα εναλλασσομένου ρεύματος)

Στην παραπάνω διάταξη, η εναλλασσόμενη τάση δικτύου γίνεται συνεχής (AC → DC) μέσω ανορθωτικής διάταξης (rectifier) και στη συνέχεια μέσω του “τριφασικού αντιστροφέα” (inverter) γίνεται πάλι εναλλασσόμενη (DC → AC) αλλά αυτή τη φορά μεταβλητής RMS τιμής και συχνότητας. Η τάση αυτή εφαρμόζεται στον κινητήρα.

Ο τριφασικός αντιστροφέας χρησιμοποιεί τη τεχνική της “Διαμόρφωσης Εύρους Παλμών” και συγκεκριμένα την τεχνική της ημιτονοειδούς διαμόρφωσης του εύρους των παλμών (SPWM, Sinusoidal Pulse Width Modulation). Για την επίτευξη συμμετρικών τριφασικών τάσεων εξόδου σ’ ένα τριφασικό αντιστροφέα με διαμόρφωση SPWM, συγκρίνεται η ίδια τριγωνική κυματομορφή τάσης με τρεις ημιτονοειδείς τάσεις ελέγχου, οι οποίες έχουν 120° διαφορά φάσης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2 (βλ. [3], [4]).



Σχήμα 2. α) Τρόπος παραγωγής παλμών έναυσης ημιαγωγικών στοιχείων μέσω της τεχνικής SPWM (Sinusoidal Pulse Width Modulation)
 β) Τάση εξόδου u_{AB}
 (Σχήμα από τη βιβλιογραφία [4])

Οι αντιστροφείς (inverter) PWM απαιτούν στοιχεία ισχύος υψηλής διακοπτικής συχνότητας (ταχύτεροι διακόπτες), όπως τα GTOs, τα IGBTs ή τρανζίστορ ισχύος (βλ. [3]). Το άνοιγμα και το κλείσιμο των ημιαγωγικών διακοπών γίνεται μέσω παλμών έναυσης, που παράγονται από έναν προγραμματιζόμενο μικροεπεξεργαστή ή ενός “Ψηφιακού Επεξεργαστή Σήματος” (Digital Signal Processor, DSP).

Έτσι π.χ. η ρύθμιση της ταχύτητας ενός εναλλασσόμενου κινητήρα μπορεί να επιτευχθεί μέσω ελέγχου της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του. Εάν μεταβληθεί η ενδεικνύμενη τιμή (RMS) της τάσης του κινητήρα, τότε μεταβάλλεται η ταχύτητά του (οι στροφές του).

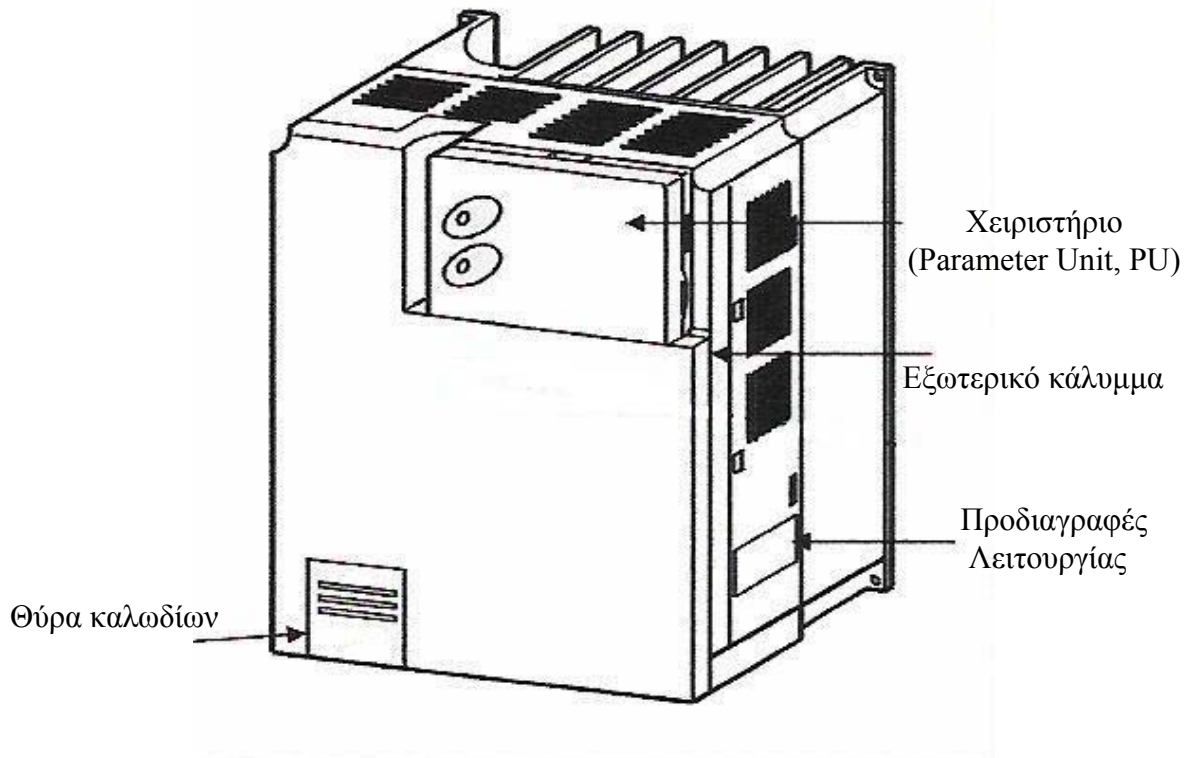
Επίσης, αν μεταβληθεί η συχνότητα της τάσης του, μεταβάλλεται πάλι η ταχύτητά του. Ο καλύτερος τρόπος ελέγχου ενός εναλλασσόμενου κινητήρα είναι η ταυτόχρονη μεταβολή τόσο της RMS τιμής της τάσης τροφοδοσίας όσο και της συχνότητας τροφοδοσίας, έτσι ώστε ο λόγος $[V / f]$, να παραμένει σταθερός. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή ροπή στο κινητήρα, να παραμένει σταθερή σε την όλη περιοχή ρύθμισης των στροφών (βλ. [1]).

Επομένως, μέσω ψηφιακών επεξεργαστών και χρησιμοποιώντας το κατάλληλο λογισμικό (software), μπορούμε να πετύχουμε διάφορους αλγόριθμους ρύθμισης της τάσης εξόδου του αντιστροφέα (π.χ. $V/f = \text{σταθερό}$) και κατά συνέπεια να έχουμε τη δυνατότητα ελέγχου διαφόρων παραμέτρων του κινητήρα (π.χ. ταχύτητα, ροπή, ρεύμα).

V. Ο ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑΣ MITSUBISHI FR-E520S

1. ΓΕΝΙΚΑ

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο αντιστροφέας Mitsubishi FR-E520S. Είναι σχεδιασμένος για να παρέχει διάφορες ρυθμίσεις σε τριφασικούς κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (E.P.), είτε με τη χρήση χειριστηρίου, είτε με εξωτερικές συνδέσεις, είτε μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή.



Σχήμα 3. Ο αντιστροφέας (Mitsubishi, FR-E520S)

Στον Πίνακα 1 παρουσιάζονται οι προδιαγραφές λειτουργίας του συγκεκριμένου αντιστροφέα.

Κατασκευαστής	MITSUBISHI
Model No	FR-E520-0.4K-EC
Τάση Εισόδου (V_{AC} – 50/60Hz) Μονοφασική	200-240V
Ονομαστική Τάση Εξόδου (V_{AC}) 3-φασική	200-240V
Συχνότητα εξόδου	0,2-400Hz
Μέγιστη Ισχύς HP	0,4kW
Μέγιστο ρεύμα εισόδου	6,6A
Μέγιστο ρεύμα εξόδου	2,5A

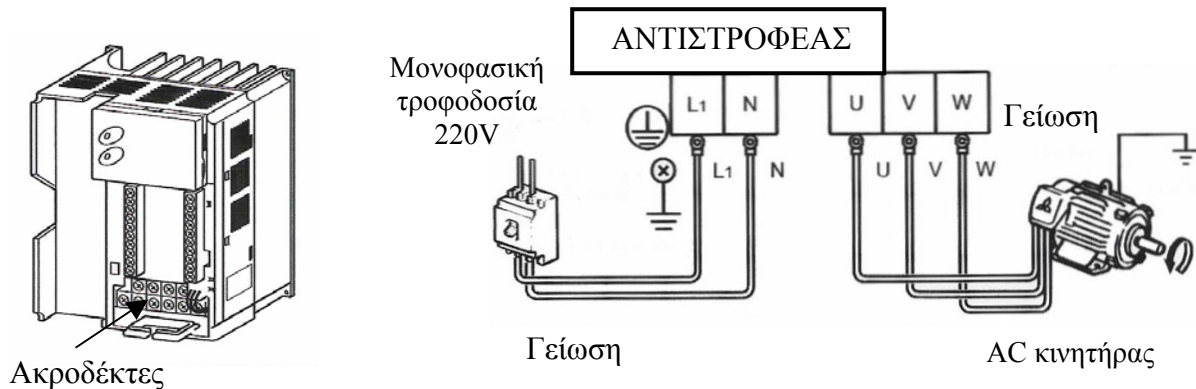
Πίνακας 1. Προδιαγραφές λειτουργίας αντιστροφέα Mitsubishi FR-E520S

2. ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ

Η συνδεσμολογία του αντιστροφέα φαίνεται στο Πίνακα 2 και στο Σχήμα 4.

Ακροδέκτες	Σύνδεση
Τροφοδοσία εισόδου	L1, N
3-φ γραμμή εξόδου για τη τροφοδοσία κινητήρα E.P.	U, V, W

Πίνακας 2. Συνδεσμολογία αντιστροφέα

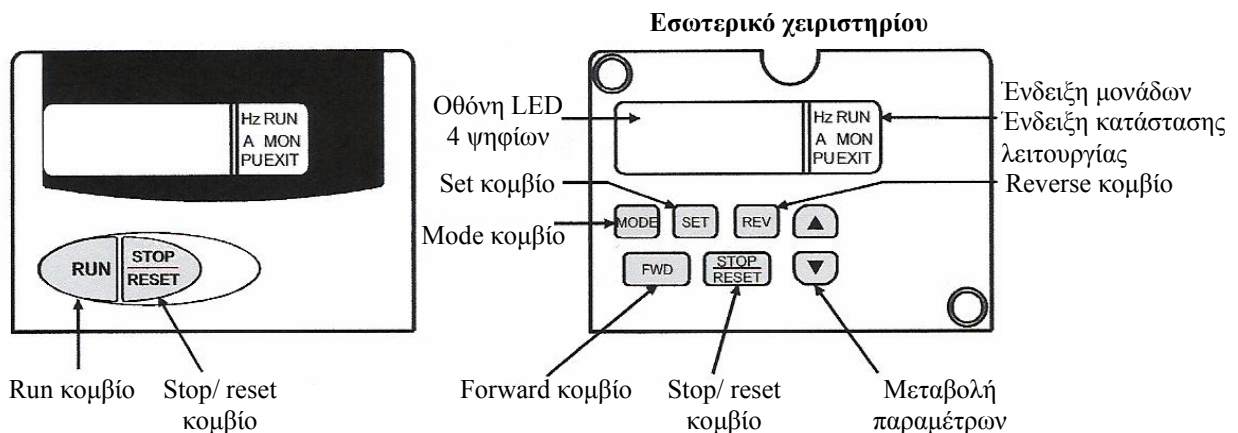


Σχήμα 4. Σύνδεση κινητήρα και μονοφασική γραμμή τροφοδοσίας AC.

Για τη προστασία της διάταξης, ο αντιστροφέας συνδέεται στην τροφοδοσία μέσω ενός μαγνητικού διακόπτη (magnetic conductor) και μίας ασφάλειας (no fuse breaker), και ο μαγνητικός διακόπτης χρησιμοποιείται για το άνοιγμα και το κλείσιμο του αντιστροφέα.





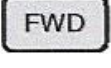


3. ΧΕΙΡΙΣΤΗΡΙΟ

Με το χειριστήριο (FR-PA02-02), είναι δυνατή η καθοδήγηση της λειτουργίας του κινητήρα, η μεταβολή της συχνότητας λειτουργίας, η μεταβολή όλων των παραμέτρων του αντιστροφέα (βλ. §4) και η ένδειξη τυχόν σφαλμάτων στην λειτουργία του. Το χειριστήριο παρουσιάζεται στο Σχήμα 5.



Σχήμα 5. Χειριστήριο αντιστροφέα (FR-PA02-02)

Στο Πίνακα 3 παρουσιάζεται η λειτουργία των κομβίων του χειριστηρίου και στον Πίνακα 4 επεξηγούνται οι ενδείξεις που εμφανίζονται στην οθόνη.

Κομβίο	Λειτουργία
	Χρησιμοποιείται για την έναρξη της περιστροφής του κινητήρα
	Επιλέγεται η λειτουργία (operation mode) ή η “μεταβολή των παραμέτρων” (setting mode)
	Χρησιμοποιείται για τη ρύθμιση της συχνότητας και τη “μεταβολή των παραμέτρων”
	<ul style="list-style-type: none"> • Μειώνει / αυξάνει τη συχνότητα κατά τη λειτουργία του αντιστροφέα • Μεταβάλλει τις τιμές των παραμέτρων στο “setting mode”
	Χρησιμοποιείται για να δώσει εντολή στον αντιστροφέα να στραφεί προς μία κατεύθυνση (forward).
	Χρησιμοποιείται για να δώσει εντολή στο κινητήρα να στραφεί κατά την αντίστροφη φορά (reverse).
	<ul style="list-style-type: none"> • Χρησιμοποιείται για τη διακοπή της περιστροφής του κινητήρα • Χρησιμοποιείται για να επαναφέρει τον κινητήρα στην αρχική του κατάσταση, όταν αυτός σταματήσει από την ενεργοποίηση κάποιας προστατευτικής λειτουργίας (π.χ. σε περίπτωση βραχυκυκλώματος)

Πίνακας 3. Λειτουργία κομβίων χειριστηρίου

Ένδειξη οθόνης	Επεξήγηση
Hz	Ανάβει όταν στην οθόνη εμφανίζεται η τιμή της συχνότητας
A	Ανάβει όταν στην οθόνη εμφανίζεται η τιμή του ρεύματος
RUN	Ανάβει όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί. Ανάβει κατά τη forward περιστροφή και αναβοσβήνει στην περιστροφή με αντίθετη κατεύθυνση (reverse).
MON	Ανάβει όταν χρησιμοποιείται η οθόνη
PU	Ανάβει όταν χρησιμοποιείται το τηλεχειριστήριο
EXT	Ανάβει όταν ο αντιστροφέας λειτουργεί με εξωτερικές συνδέσεις

Πίνακας 4. Επεξήγηση ενδείξεων οθόνης

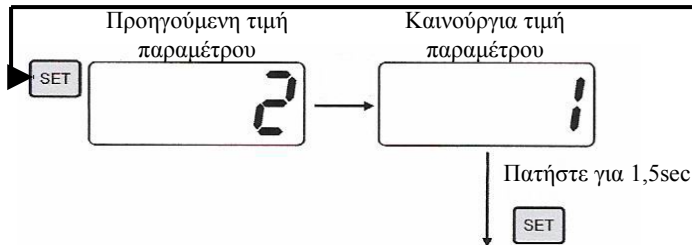
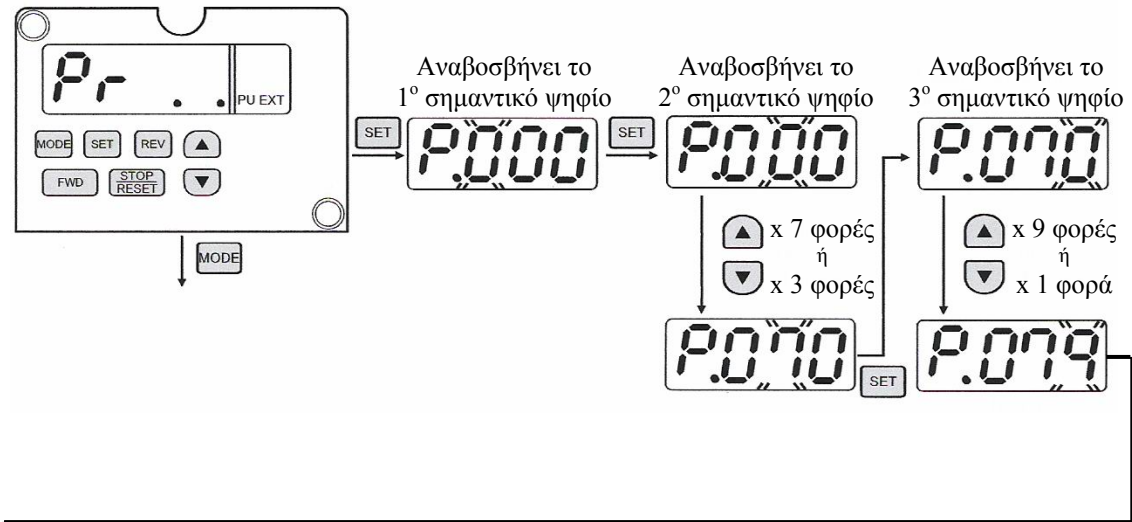
4. ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Η λειτουργία του κινητήρα μπορεί να ελεγχθεί και να προσδιοριστεί επακριβώς με την βοήθεια των 100 περίπου παραμέτρων του αντιστροφέα. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών μπορούν να μεταβληθούν μέσω του χειριστηρίου που είναι ενσωματωμένο στον αντιστροφέα.

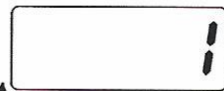
Παράδειγμα μεταβολής παραμέτρου

Μεταβολή παραμέτρου Pr.79 “επιλογή τρόπου λειτουργίας” από τη τιμή “2” (εξωτερική λειτουργία, external operation mode), στην τιμή “1” (λειτουργία με το χειριστήριο, PU operation mode).

Επιλέγουμε την παράμετρο που θέλουμε να μεταβάλλουμε (No 79), ακολουθώντας τη παρακάτω διαδικασία:



Αποθηκεύεται η νέα τιμή



Όταν εμφανιστεί η ένδειξη **Err** :

- Ο κινητήρας βρίσκεται σε λειτουργία. Σταματήστε το κινητήρα πατώντας το **STOP/RESET** κομβίο.
- Η τιμή που δώσατε στην παράμετρο δεν περιλαμβάνεται στις επιτρεπόμενες τιμές.

Οι δύο ενδείξεις αναβοσβήνουν

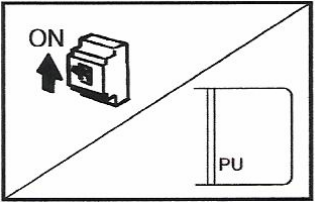


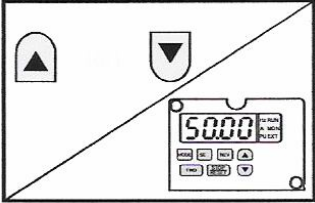
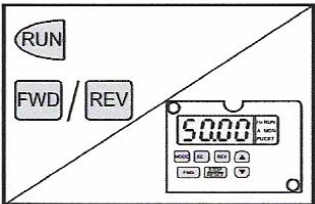
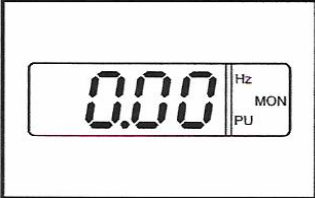


Αν δεν αναβοσβήνει η τιμή “1” και το **P.79**, αλλά εμφανίζεται η ένδειξη **P.80**, δεν πιάσατε το κομβίο **SET** για 1,5sec, για την αποθήκευση της νέας τιμής.

Αν συμβαίνει αυτό, η ρύθμιση πρέπει να ξαναγίνει από την αρχή.

5. ΕΚΚΙΝΗΣΗ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΕΑ

Στο Πίνακα 5 παρουσιάζεται αναλυτικά η διαδικασία εκκίνησης του αντιστροφέα.

Βήμα	Περιγραφή	Εικόνα
1	Άνοιγμα του διακόπτη. Η ένδειξη [PU] ανάβει.	
2	Ρύθμιση συχνότητας λειτουργίας: Ρυθμίστε τη συχνότητα στα 50Hz. 1) Πιέστε το κουμπί MODE μέχρι να εμφανιστεί στην οθόνη η ένδειξη Hz. 2) Αλλάξτε τη τιμή πιέζοντας τα κουμπιά  /  , και αποθηκεύστε τη νέα τιμή πατώντας το κουμπί SET .	
3	Έναρξη περιστροφής Πιέστε το κουμπί RUN ή τα κουμπιά FWD / REV . Η ένδειξη [RUN] ανάβει κατά την δεξιόστροφη περιστροφή και αναβοσβήνει κατά την ανάστροφη περιστροφή.	
4	Σταμάτημα Πιέστε το STOP RESET κομβίο. Ο κινητήρας επιβραδύνεται και σταματάει. Η ένδειξη [RUN] σβήνει.	

Πίνακας 5. Εκκίνηση αντιστροφέα

6. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζονται οι σημαντικότερες παράμετροι του αντιστροφέα. Το σύνολο των παραμέτρων υπάρχουν στο εγχειρίδιο λειτουργίας του συγκεκριμένου αντιστροφέα. (βλ. [5])

ΠΑΡ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΕΠΙΤΡΕΠ ΤΙΜΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
0	Ενίσχυση ροπής (torque boost)	0-30%	Ενίσχυση της ροπής (δηλαδή της τάσης εξόδου) στη περιοχή χαμηλών συχνοτήτων, για βελτίωση της επιτάχυνσης
1 2	Μέγιστη συχνότητα (maximum frequency) Ελάχιστη συχνότητα (minimum frequency)	0-120Hz	Ψαλιδισμός του ανώτερου και κατώτερου ορίου των συχνοτήτων εξόδου. Προσοχή: Αν η τιμή της παρ.2 είναι μεγαλύτερη ή ίση της παρ.13 (starting frequency), η αρχική συχνότητα εξόδου θα είναι η προκαθορισμένη συχνότητα (starting freq.), αν δοθεί εντολή εκκίνησης FWD.
3 19	Ονομαστική συχνότητα (base frequency) Ονομαστική τάση κινητήρα (base frequency voltage)	0-400Hz 0-1000V 9999,8888	Ονομαστική συχνότητα (αν δεν είναι 50Hz) και ονομαστική τάση κινητήρα. Η PWM έξοδος μεταβάλλεται για μέγιστη απόδοση. <ul style="list-style-type: none"> Εάν “παρ.19=9999”, τότε: μέγιστη τάση εξόδου = τάση τροφοδοσίας Εάν “παρ.19=8888”, τότε: μέγιστη τάση εξόδου = 95% της τάση τροφοδοσίας
7 8 20	Χρόνος επιτάχυνσης (acceleration time) Χρόνος επιβράδυνσης (deceleration time) Συχνότητα αναφοράς (acc/dec. reference frequency)	0-3600s	Η παρ.7 δίνει το χρόνο επιτάχυνσης, μέσα στον οποίο η συχνότητα αυξανόμενη γραμμικά από τα 0Hz φτάνει τη συχνότητα αναφοράς της παρ.20. Όμοια για το χρόνο επιβράδυνσης (παρ.8). Το «0» ως χρόνος επιτάχυνσης / επιβράδυνσης αντιστοιχεί σε 0,04sec.
13	Συχνότητα εκκίνησης (starting frequency)	0,01-60Hz	Η παρ.13 καθορίζει την συχνότητα στην οποία αρχίζει να λειτουργεί ο κινητήρας
14	Επιλογή V/f χαρακτηριστικής (load pattern selection)	0-3	Επιλογή της V/f χαρακτηριστικής ανάλογα με το φορτίο και τη ροπή που εμφανίζει <ul style="list-style-type: none"> “0” για φορτία σταθερής ροπής “1” για φορτία μεταβλητής ροπής (π.χ αντλίες, ανεμιστήρες) “2,3” για κατακόρυφα φορτία (ενίσχυση στο ανέβασμα ή το κατέβασμα)
72	Συχνότητα φέροντος σήματος PWM (PWM frequency selection)	0-15	Η παρ.72 μεταβάλλει τη συχνότητα του φέροντος σήματος στην PWM. Οι ενδείξεις είναι σε kHz. Η τιμή “0” αντιστοιχεί σε συχνότητα 0,7kHz και η τιμή “15” αντιστοιχεί σε συχνότητα 14,5kHz.

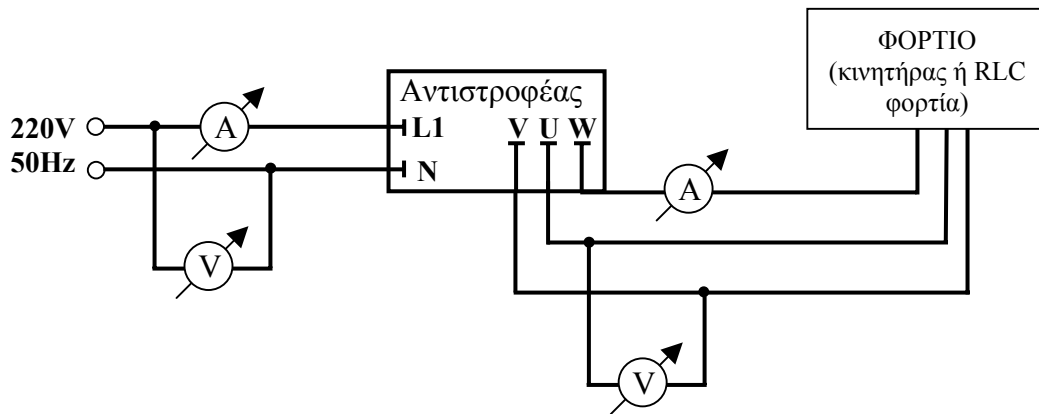
Πίνακας 6. Βασικές παράμετροι αντιστροφέα (συνεχίζεται)

ΠΑΡ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ	ΕΠΙΤΡΕΠ ΤΙΜΕΣ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
9	Ρελέ θερμικής προστασίας (electronic thermal overload relay)	0-500A	Χρησιμοποιείται για τη θερμική προστασία του κινητήρα με εισαγωγή της ονομαστικής έντασης ρεύματος πλήρους φορτίου. Λαμβάνεται υπόψη η μειωμένη ψύξη του κινητήρα στις χαμηλές συχνότητες.
10	Συχνότητα ενεργοποίησης πέδησης (DC injection braking frequency)	0-120Hz	Ρύθμιση της δυναμικής πέδησης με έκχυση DC ρεύματος. Εισάγεται η συχνότητα ενεργοποίησης της πέδησης, ο χρόνος πέδησης και η τάση πέδησης.
11	Χρόνος πέδησης (DC injection braking time)	0-10s	
12	Τάση πέδησης (DC injection braking voltage)	0-30%	
18	Ανώτερο όριο συχνότητας για λειτουργία σε υψηλές ταχύτητες (upper limit frequency for high speed operation)	120-400Hz	Ρύθμιση της ανώτατης επιτρεπτής συχνότητας, εάν ο κινητήρας πρόκειται να λειτουργήσει σε συχνότητες μεγαλύτερες από 120Hz.
29	Χαρακτηριστική επιτάχυνσης (selection of acceleration/ deceleration pattern)	0-2	Διαφοροποίηση της επιτάχυνσης, ανάλογα με την εφαρμογή. (για περισσότερες πληροφορίες ανατρέξτε στο εγχειρίδιο λειτουργίας)

VI. ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΡΥΘΜΙΣΕΩΝ ΚΑΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

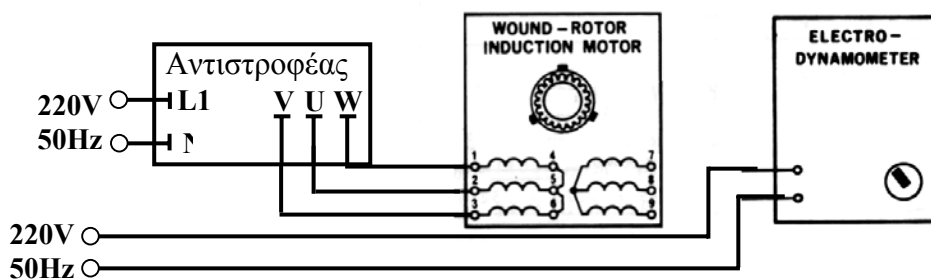
1. ΓΕΝΙΚΗ ΣΥΝΔΕΣΜΟΛΟΓΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στο σχήμα 6 παρουσιάζεται η γενική συνδεσμολογία του αντιστροφέα με την τροφοδοσία και το φορτίο. Η έξοδος του κυκλώματος οδήγησης (αντιστροφέα, V,U,W) συνδέεται στην είσοδο του τριφασικού κινητήρα, και η είσοδος του κυκλώματος οδήγησης (L1,N) συνδέεται με μονοφασική παροχή 220V, 50Hz. Στην είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος οδήγησης συνδέονται από ένα αμπερόμετρο και ένα βολτόμετρο.



Σχήμα 6. Συνδεσμολογία μέτρησης τάσεως και ρεύματος στη είσοδο και στην έξοδο του κυκλώματος οδήγησης.

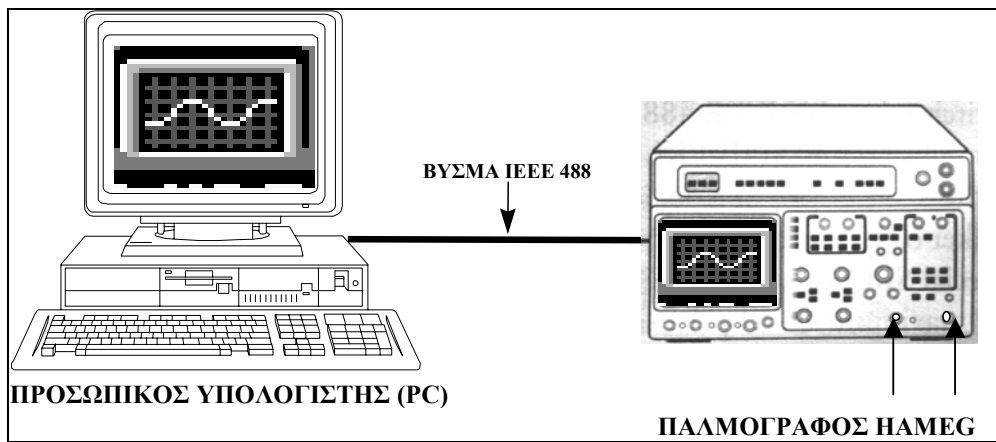
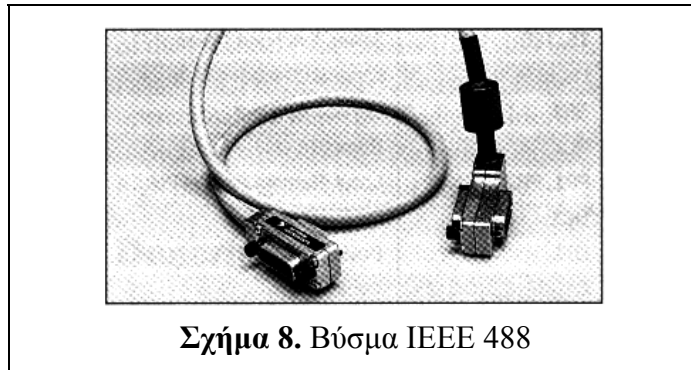
Στην περίπτωση που ο αντιστροφέας χρησιμοποιείται για τον έλεγχο κινητήρα, η συνδεσμολογία παρουσιάζεται στο Σχήμα 7. Ο τριφασικός επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα (wound rotor machine), συνδέεται με ένα ηλεκτροδυναμόμετρο και το τύλιγμα του στάτη του κινητήρα έχει συνδεσμολογία αστέρα.



Σχήμα 7. Συνδεσμολογία τριφασικού επαγωγικού κινητήρα βραχυκυκλωμένου δρομέα με τον αντιστροφέα.

2. ΤΕΧΝΙΚΗ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ μέσω Παλμογράφου - IEEE 488 - H/Y

Η σύνδεση του παλμογράφου HAMEG με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή γίνεται μέσω ενός καλωδίου IEEE 488 (Σχήμα 8). Η διάταξη που χρησιμοποιείται για την καταγραφή των κυματομορφών παρουσιάζεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9. Συνδεσμολογία λήψης μετρήσεων παλμογράφου- ηλεκτρονικού υπολογιστή

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- 1) Συνδέουμε το probe του παλμογράφου στο κύκλωμα για την καταγραφή της τάσης ή του ρεύματος.
- 2) Εκκινούμε τον κινητήρα μέσω του μετατροπέα.
- 3) Ρυθμίζουμε τις κλίμακες στον παλμογράφο και το triggering για την καλύτερη απεικόνιση μίας περιόδου του σήματος.
- 4) Πιέζουμε το κομβίο “stor” του παλμογράφου για το πάγωμα της εικόνας, και στη συνέχεια το κομβίο “hold” για την προσωρινή αποθήκευση του σήματος. Το σήμα είναι τώρα έτοιμο για να μεταφερθεί στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Καταγράφουμε τις ενδείξεις του παλμογράφου (θέσεις κομβίων ευαισθησίας(Volts/div)).
- 5) Ανοίγουμε τον υπολογιστή, στο directory C:/HAMEG (πληκτρολογώντας την εντολή cd HAMEG).
- 6) Αποθηκεύουμε τα δεδομένα μας με την εντολή: kiki1 onoma.doc. Το πρόγραμμα αυτό αποθηκεύει 4096 σημεία της κυματομορφής.
- 7) Αν επιθυμούμε την αποθήκευση των δεδομένων σε δισκέτα χρησιμοποιούμε την εντολή: copy onoma.doc a:
- 8) Στη συνέχεια είναι δυνατή η επεξεργασία και η ανάλυση της κυματομορφής (πχ FFT) μέσω κατάλληλου λογισμικού (π.χ Matlab, Labview, Origin κ.α.)
- 9) Με τον ίδιο τρόπο καταγράφουμε όλες τις κυματομορφές.

Πρέπει να σημειωθεί ότι η γείωση του υπολογιστή δημιουργεί προβλήματα στη λειτουργία του συστήματος και για αυτό το λόγο, όταν χρησιμοποιείται probe τάσεως το

βύσμα IEEE 488 συνδέεται μετά από το βήμα 4 και όχι από την αρχή του πειράματος. Συγκεκριμένα αφού αποθηκευτεί η κυματομορφή στον παλμογράφο, σταματάμε τον μετατροπέα, κλείνουμε την τροφοδοσία του, αφαιρούμε το probe τάσεως και στη συνέχεια συνδέουμε τον βύσμα IEEE 488 στο πίσω μέρος του παλμογράφου και συνεχίζουμε στο βήμα 5.

3. ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ R,L,C.

Να γίνει η συνδεσμολογία του Σχήματος 6, με συμμετρικό φορτίο RLC. Για διάφορες τιμές του φορτίου καταγράψτε στον Πίνακα 7 τις ενδείξεις των οργάνων μέτρησης (η συχνότητα εισόδου είναι η σταθερή συχνότητα $f_{in} = 50$ [Hz] της μονάδας τροφοδοσίας).

Συνδεσμολογία φορτίου	Ρεύμα εισόδου I_{in} (A)	Τάση εισόδου V_{in} (V)	Ισχύς εισόδου P_{in} (W)	Τάση εξόδου V_o (V)	Συχν. εξόδου f_o (Hz)	Ρεύμα εξόδου I_o (A)	Ισχύς Εξόδου P_o (W)

Πίνακας 7. Μετρήσεις ρεύματος, τάσης και ισχύος στην είσοδο και στην έξοδο του αντιστροφέα για διάφορες τιμές φορτίου RLC.

4. ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

4.1 Ρύθμιση (Μεταβολή) των στροφών κινητήρα με φορτίο σταθερής (αντι)ροπής

Να γίνει η συνδεσμολογία του Σχήματος 7, όπου στην έξοδο του αντιστροφέα συνδέεται ένας τριφασικός επαγωγικός κινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα.

Μέσω του πληκτρολογίου θέσατε τη τιμή της παραμέτρου 14 ίση με 0 (φορτία σταθερής ροπής). Στην περίπτωση αυτή αναμένουμε να διατηρείται σταθερός ο λόγος της τάσης λειτουργίας ως προς τη συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα (V/f =σταθερός). Ξεκινήστε τον κινητήρα. Μεταβάλλοντας τη συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα μέσω του πληκτρολογίου καταγράψτε τη τάση λειτουργίας του και συμπληρώστε το Πίνακα 8 και σχεδιάστε τις καμπύλες $V=f(f)$, $n(f)$ για τα δυο διαφορετικά φορτία.

ΦΟΡΤΙΟ (Nm)	Συχνότητα f (Hz)	Τάση λειτουργίας V (V)	$\frac{V}{f} \left(\frac{V}{Hz} \right)$	Στροφές κινητήρα n (RPM)
0				
0.3				

Πίνακας 8. Μετρήσεις συχνότητας, τάσης και στροφών λειτουργίας κινητήρα.

V [V]					n [rpm]

f [Hz]

Σχήμα 10.α. Καμπύλες τάσης λειτουργίας και στροφών σε συνάρτηση με τη συχνότητα (V=f(f)) (n=f(f)).

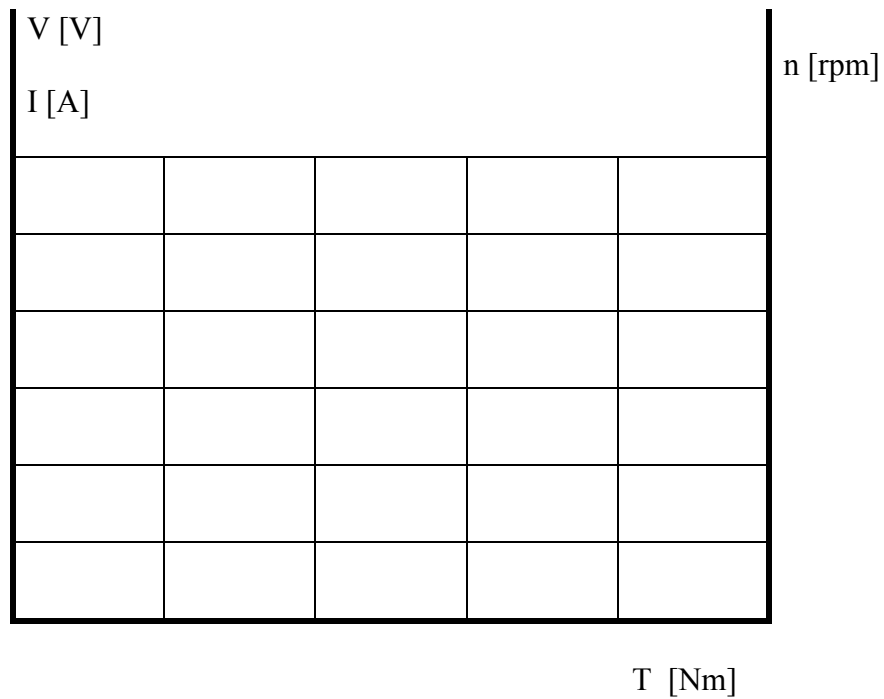
4.2 Ρύθμιση (Μεταβολή) των στροφών κινητήρα με φορτία με διάφορες τιμές (αντι)ροπής

Ρυθμίστε τη συχνότητα του κινητήρα στα 50Hz. Εκκινήστε το κινητήρα και μεταβάλλοντας το φορτίο του, καταγράψτε τις τιμές τάσης και ρεύματος του κινητήρα και συμπληρώστε το Πίνακα 9. Σταματήστε το κινητήρα.

Θέσατε τη Συχνότητα στα 40 Hz και επαναλάβετε τις προηγούμενες μετρήσεις. Παραστήσατε τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε κατάλληλα διαγράμματα.

Συχνότητα f (Hz)	ΦΟΡΤΙΟ (Nm)	Τάση λειτουργίας V (V)	Ρεύμα κινητήρα I(A)	Στροφές κινητήρα n (RPM)
50	0			
	0,1			
	0,2			
	0,3			
	0,4			
40	0			
	0,1			
	0,2			
	0,3			
	0,4			

Πίνακας 9. Μετρήσεις τάσεως, ρεύματος και στροφών κινητήρα για διάφορες συχνότητες και φορτία.



Σχήμα 10.β. Γραφική παράσταση μετρήσεων για συχνότητα 50 [Hz]

V [V]				n [rpm]
I [A]				

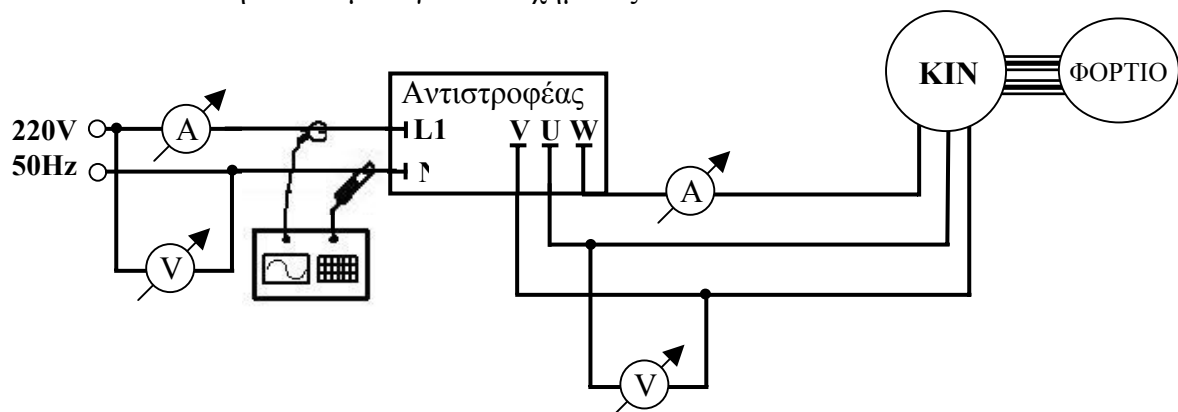
T [Nm]

Σχήμα 10.γ. Γραφική παράσταση μετρήσεων για συχνότητα 40 [Hz]

5. ΚΑΤΑΓΡΑΦΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΡΕΥΜΑΤΩΝ ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

5.1. Στην είσοδο του αντιστροφέα.

Εκτελέσατε τη συνδεσμολογία του Σχήματος 11.



Σχήμα 11. Συνδεσμολογία καταγραφής κυματομορφών στην είσοδο του αντιστροφέα.

Με τη βοήθεια του παλμογράφου HAMEG και ενός H/Y, καταγράψτε και παρατηρήστε τις κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα για διάφορα φορτία.

Με κατάλληλο λογισμικό αναλύστε κατά Fourier τις παραπάνω κυματομορφές και προσδιορίστε το συντελεστή «Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης» (THD : Total Harmonic Distortion, π.χ. για τάση :

$$THD(\%) = \frac{1}{V_1} \cdot \sqrt{\sum_{n=2,3,4,\dots} V_n^2} \cdot 100,$$

όπου V_1 το πλάτος της θεμελιώδους συχνότητας (50Hz)

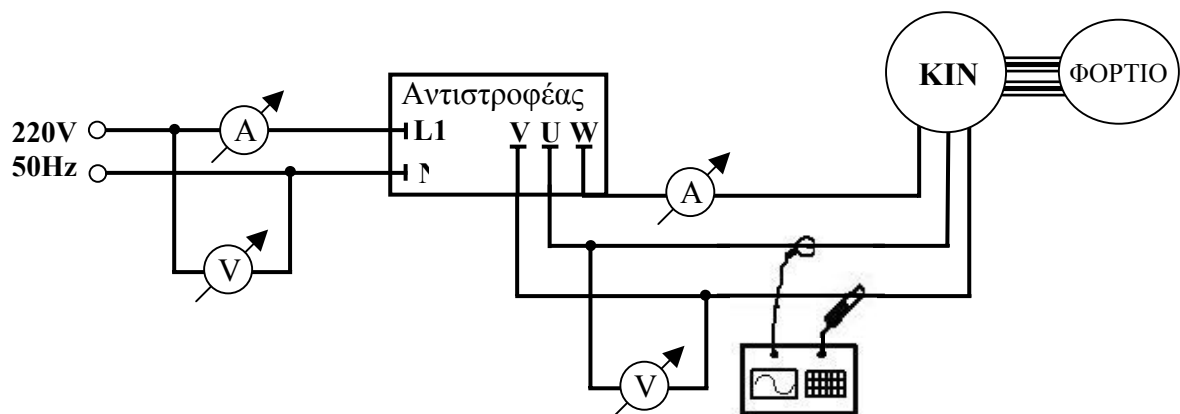
V_n το πλάτος της n-τάξεως αρμονικής

Προκειμένου στις διάφορες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις να διατηρείται η αρμονική παραμόρφωση σε αποδεκτό επίπεδο, έχουν καθιερωθεί διάφορα εθνικά και διεθνή standards. Σύμφωνα με τη STANAG 1008 (Edition 8) στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις των πλοίων του NATO τα ανώτατα επιτρεπόμενα όρια της ολικής αρμονικής παραμόρφωσης μίας της τάσεως τροφοδοσίας είναι $THD \leq 5\%$.

(..... Διαγράμματα Κυματομορφών και Φασμάτων Fourier)

5.2. Στην έξοδο του αντιστροφέα.

Εκτελέσατε τη συνδεσμολογία του Σχήματος 12.



Σχήμα 12. Συνδεσμολογία καταγραφής κυματομορφών στην έξοδο του αντιστροφέα.

Με τη βοήθεια του παλμογράφου HAMEG και ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, παρατηρήστε και καταγράψτε τις αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα για διάφορα φορτία και για διάφορες τιμές της παραμέτρου 72. Παρατηρήστε ότι όσο αυξάνει η τιμή της παραμέτρου 72, δηλ όσο αυξάνεται η συχνότητα του φέροντος σήματος στη τεχνική PWM, η τάση εξόδου και το ρεύμα εξόδου προσεγγίζουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την ημιτονοειδή μορφή. Οι αρμονικές και στις δύο κυματομορφές είναι μεγαλύτερης τάξης.

Με κατάλληλο λογισμικό αναλύστε κατά Fourier τις παραπάνω κυματομορφές και προσδιορίστε το συντελεστή «Ολικής Αρμονικής Παραμόρφωσης».

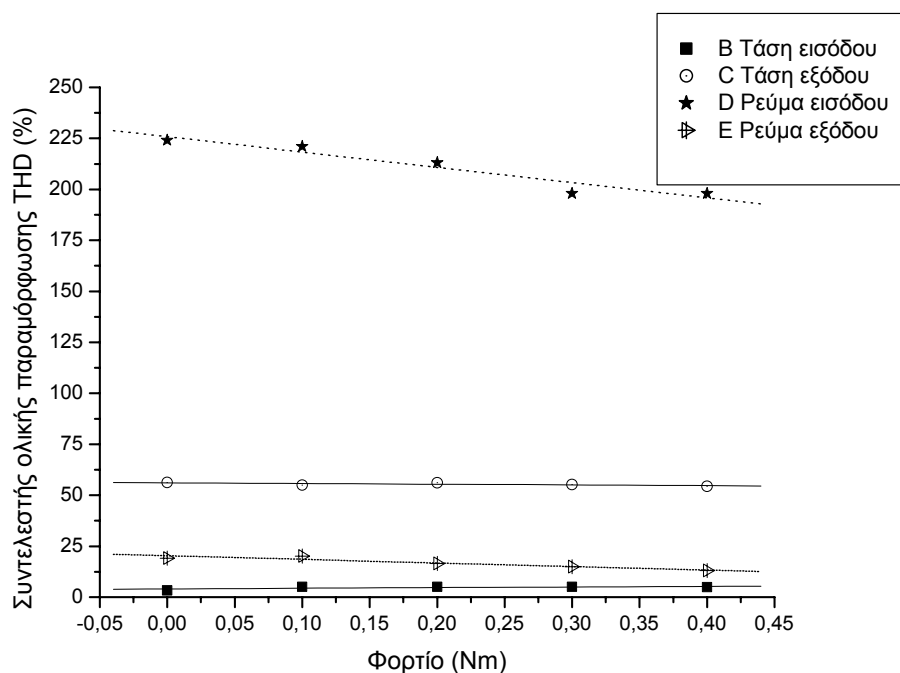
(..... Διαγράμματα Κυματομορφών και Φασμάτων Fourier)

Στα Σχήματα στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ φαίνονται μερικά παραδείγματα αποτελεσμάτων μετρήσεων. Τα φάσματα υπολογίζονται μέχρι τη συχνότητα Nyquist, δηλ. για αριθμό αρμονικών ίσο με το μισό της δειγματοληψίας (4096/2 αρμονικές)

Στο Πίνακα 10 παρουσιάζεται ο συντελεστής ολικής παραμόρφωσης (THD (%)) των τάσεων εισόδου και εξόδου και των ρευμάτων εισόδου και εξόδου του αντιστροφέα για διάφορες τιμές φορτίου. Οι μετρήσεις αυτές παρουσιάζονται γραφικά στο Σχήμα 13.

Φορτίο (Nm)	THD (%)			
	Τάση εισόδου	Τάση εξόδου	Ρεύμα εισόδου	Ρεύμα εξόδου
0	3,35	56,3	224	19,2
0,1	5,10	54,9	221	20,2
0,2	5,07	56,1	213	16,6
0,3	5,05	55,3	198	14,9
0,4	4,89	54,4	198	13,1

Πίνακας 10. Συντελεστής ολικής παραμόρφωσης (THD (%)) για διάφορες τιμές φορτίου.



Σχήμα 13. Συντελεστής ολικής παραμόρφωσης (THD (%)), για διάφορες τιμές φορτίου των τάσεων και των ρευμάτων εισόδου και εξόδου του αντιστροφέα.

6. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ / ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ (EMI/EMC)

Ένα σημαντικό πρόβλημα που εμφανίζεται στα ηλεκτρονικά ισχύος είναι η ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση (EMI) και ηλεκτρομαγνητική συμβατότητα (EMC) .

Με την συσκευή CHAUVIN ARNOUX C.A 43, που διαθέτει το εργαστήριο, είναι δυνατή η μέτρηση της έντασης και της πυκνότητας ισχύος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ο μετατροπέας κατά τη διάρκεια λειτουργίας του.

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

- Γυρίζουμε το διακόπτη του οργάνου στην θέση $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ για τη μέτρηση της πυκνότητας ισχύος του Ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.
- Φέρνουμε την κεραία της συσκευής κοντά στον αντιστροφέα.
- Πατάμε το πλήκτρο “peak” και καταγράφουμε την ένδειξη του οργάνου.

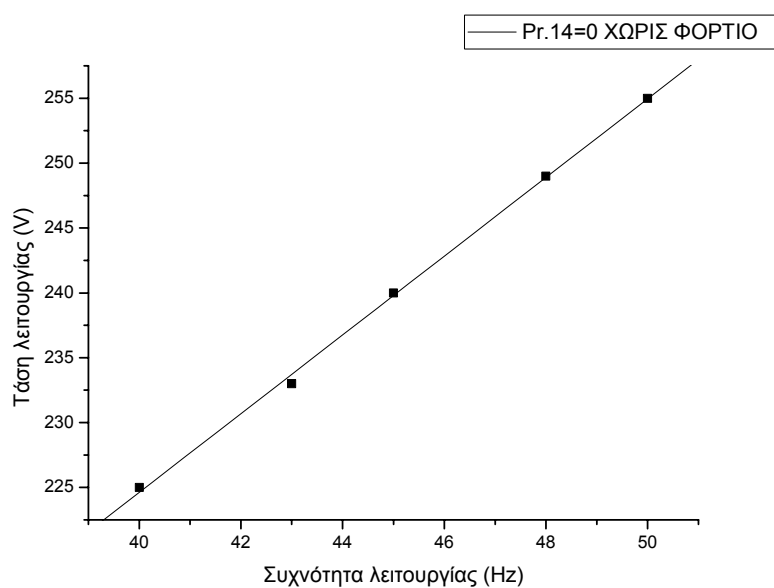
Η επίδραση αυτού του πεδίου είναι εμφανής στο ηλεκτρονικό στροφόμετρο που χρησιμοποιείται στο πείραμα. Συγκεκριμένα για να μπορέσει να σταθεροποιηθεί η τιμή του στροφομέτρου και να μην επηρεάζεται από το ισχυρό Η/Μ, που δημιουργεί ο αντιστροφέας κατά τη λειτουργία του, πρέπει να χρησιμοποιηθεί γείωση. Αφαιρώντας τη γείωση από το κύκλωμα του στροφόμετρου παρατηρούμε συνεχείς διαφοροποιήσεις στην ένδειξη του στροφομέτρου, ενώ στην πραγματικότητα οι στροφές του κινητήρα παραμένουν σταθερές.

VII. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ: ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στη συνέχεια δίνονται ενδεικτικά μερικά χαρακτηριστικά αποτελέσματα μετρήσεων του πειράματος.

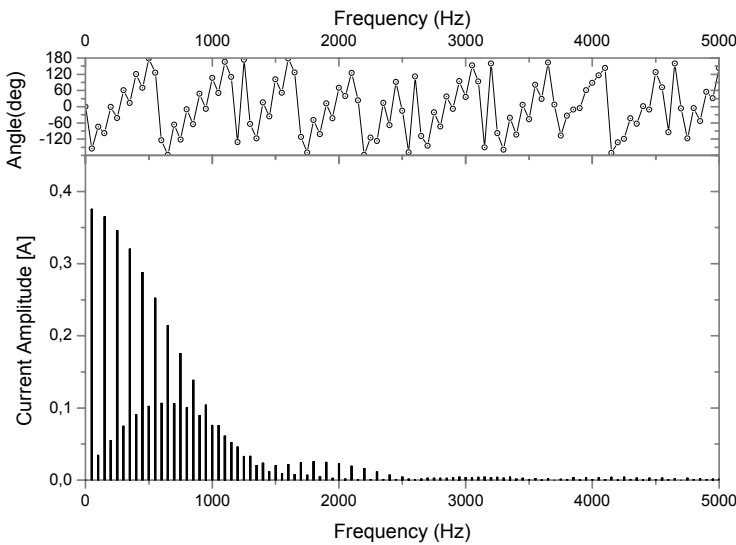
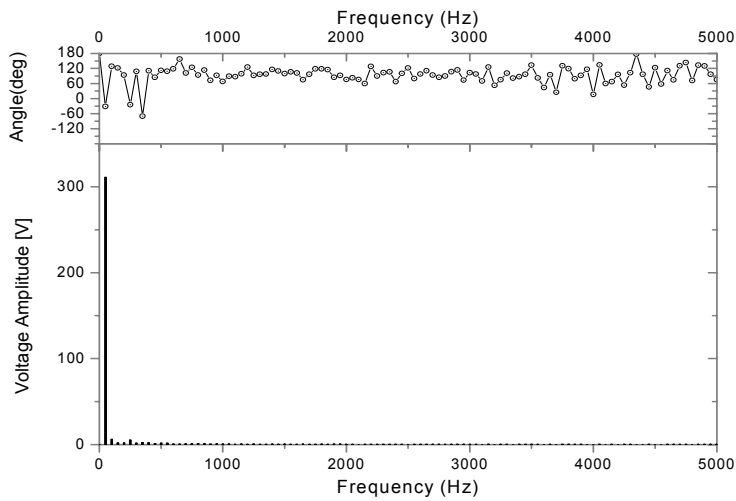
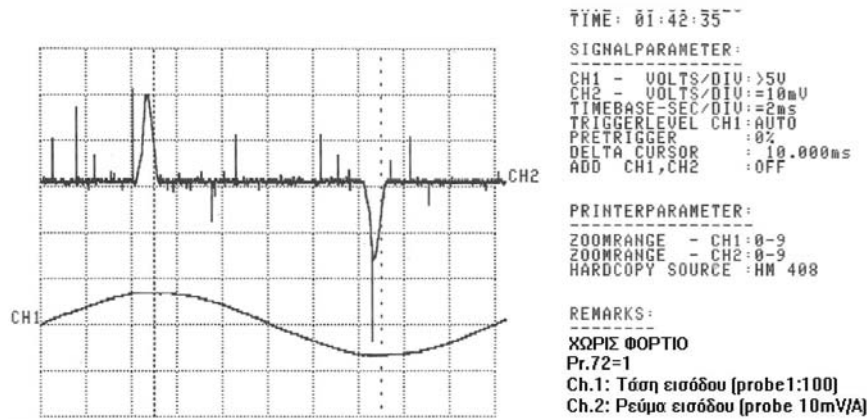
[Α] Συσχέτιση τάσεως και συχνότητας εξόδου.

Στο παρακάτω σχήμα (Σχήμα 8α) παρουσιάζεται η πειραματική συσχέτιση της τάσης και συχνότητας εξόδου του μετατροπέα, με την τιμή της παραμέτρου 14 (Πίνακας 6) ίση με 0. Παρατηρείται, ότι ο λόγος της τάσης λειτουργίας ως προς τη συχνότητα (V/f), που εκφράζεται από την κλίση της καμπύλης $V(f)$ παραμένει σταθερός.



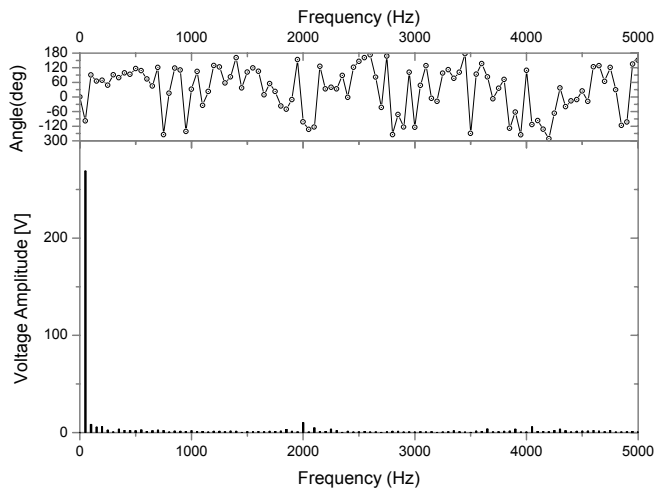
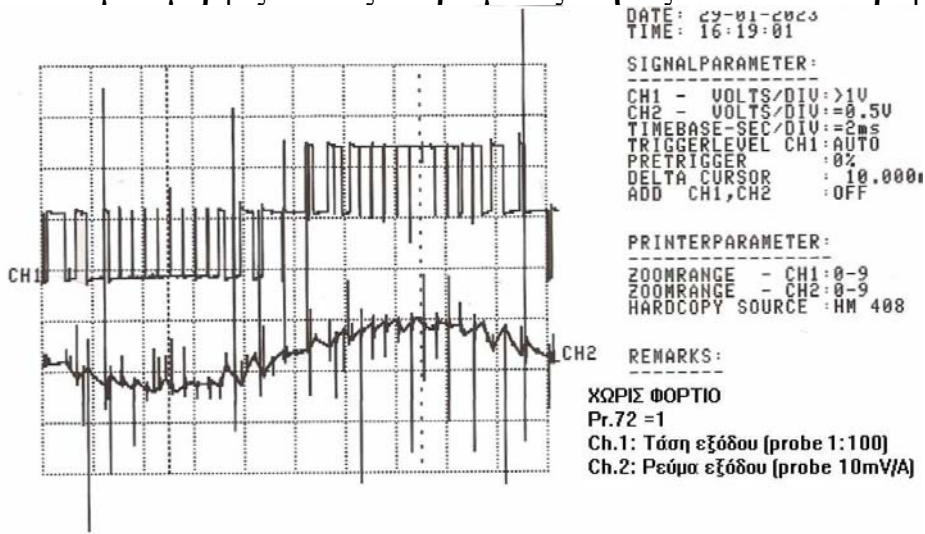
Σχήμα 8α. Συσχέτιση τάσης και συχνότητας εξόδου του μετατροπέα κατά την «εν κενώ» λειτουργία (χωρίς φορτίο).

[B] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :
Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα

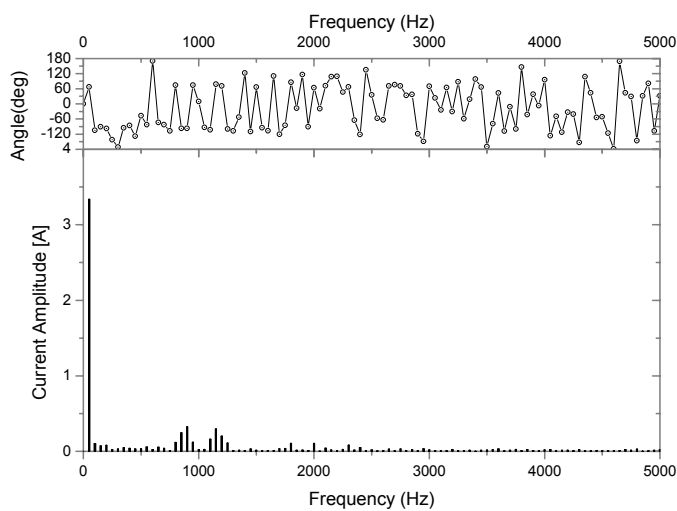


Σχήμα 11α. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα, χωρίς φορτίο και συχνότητα φέροντος σήματος 1kHz.

[Γ] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :
Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα



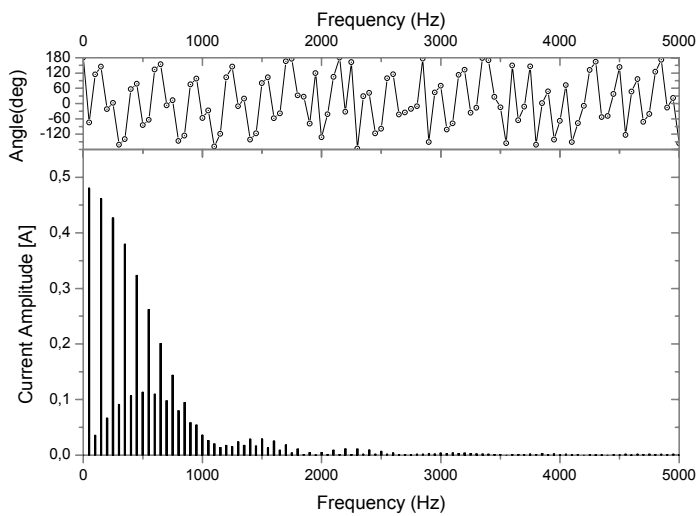
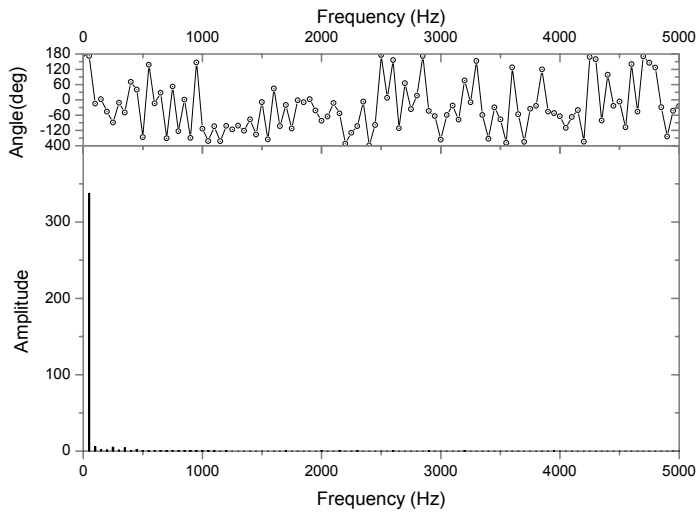
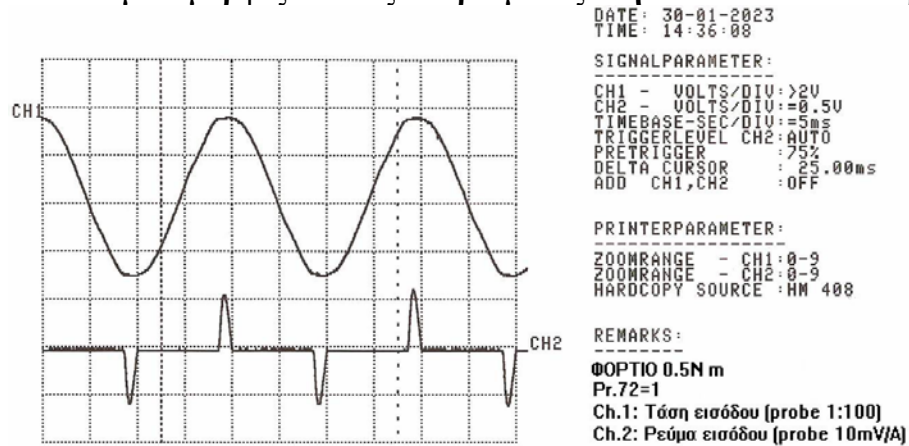
THD=56,3%



THD=19,2%

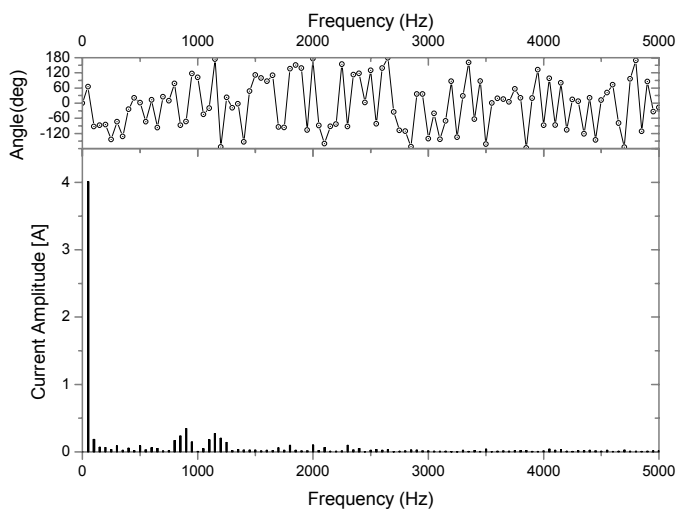
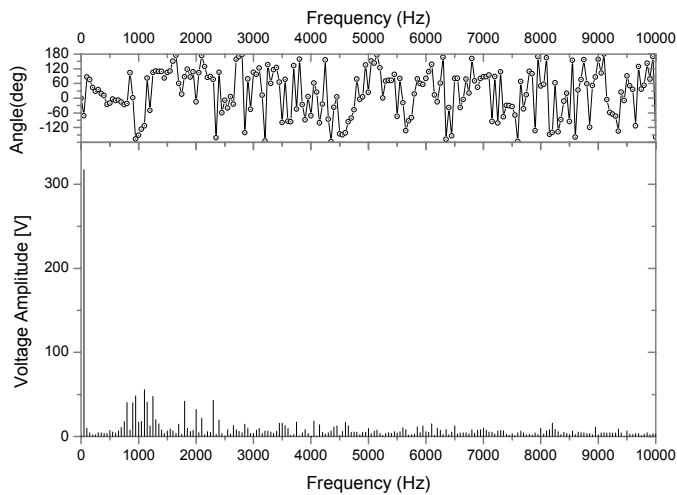
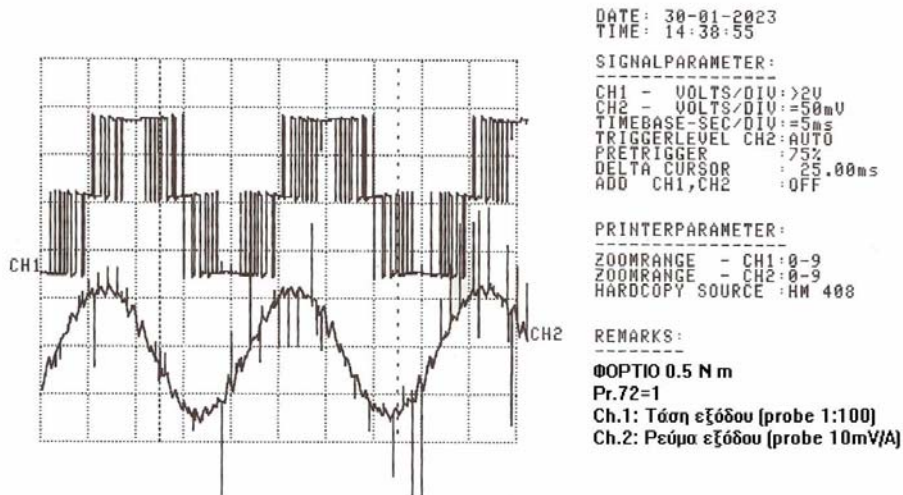
Σχήμα 11β. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα, χωρίς φορτίο και συχνότητα φέροντος σήματος 1kHz.

[Δ] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :
Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα



Σχήμα 11γ. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα, με φορτίο 0.5Nm και συχνότητα φέροντος σήματος 1kHz.

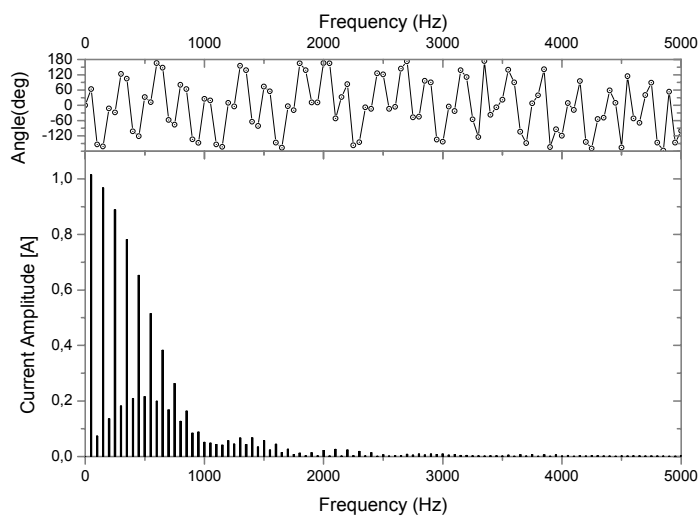
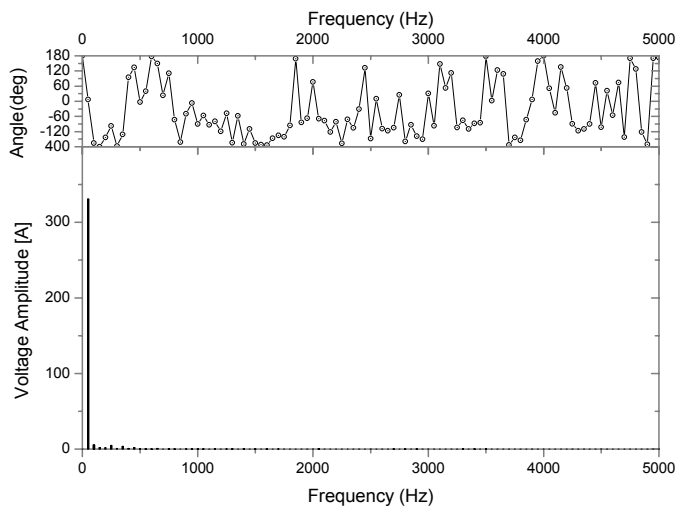
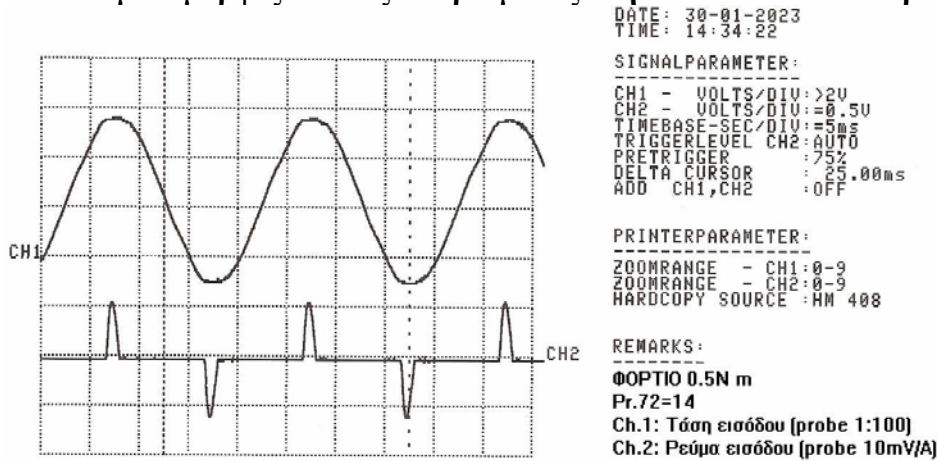
[E] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :
Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα



Σχήμα 11δ. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα, με φορτίο 0.5Nm και συχνότητα φέροντος σήματος 1kHz.

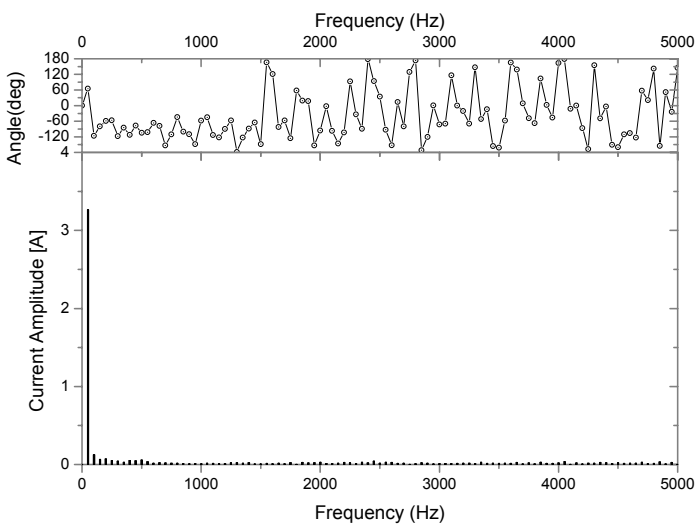
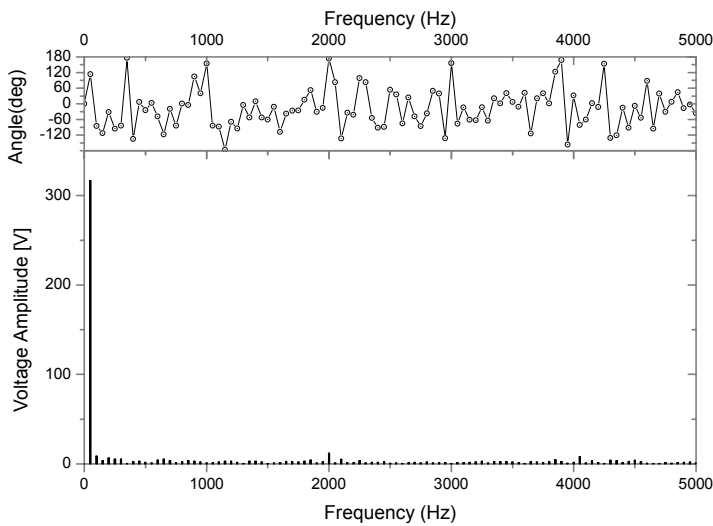
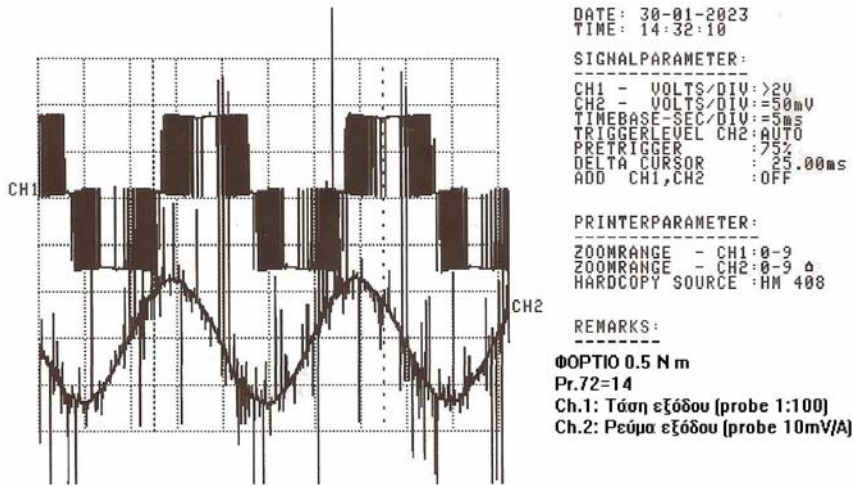
[ΣΤ] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :

Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα



Σχήμα 11ε. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην είσοδο του αντιστροφέα, με φορτίο 0.5Nm και συχνότητα φέροντος σήματος 14kHz..

[Z] ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ ΕΠΑΓΩΓΙΚΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ :
Κυματομορφές τάσεως και ρεύματος στην έξοδο του αντιστροφέα



Σχήμα 11στ. Κυματομορφές και Αρμονικές τάσεως και ρεύματος στην **έξοδο** του αντιστροφέα, με φορτίο 0.5Nm και συχνότητα φέροντος σήματος 14kHz.

VIII. ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΑΛΥΣΗ FOURIER

A - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ORIGIN 6.1

Για την ανάλυση Fourier των παραδειγμάτων του ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΟΣ χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα ORIGIN 6.1.

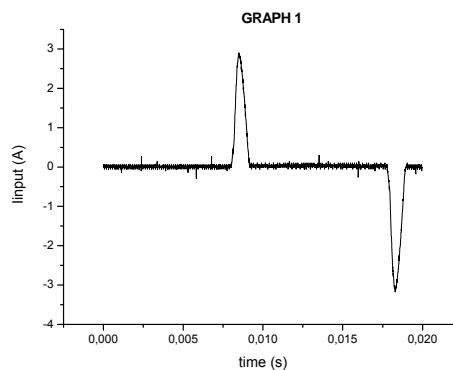
Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής:

α) Αρχικά λαμβάνονται οι μετρήσεις από τον παλμογράφο μέσω του βύσματος IEEE488, με τον τρόπο που περιγράφεται στις σελίδες 15,16. Το αρχείο που λαμβάνεται με την παραπάνω διαδικασία είναι σε μορφή .txt και περιλαμβάνει 4096 σημεία για κάθε κυματομορφή. Οι μετρήσεις αυτές αντιγράφονται στο πρόγραμμα ORIGIN (στήλη C(Y)).(παράθυρο Data1) Στα δεδομένα αυτά δεν έχουν συνυπολογιστεί ακόμη, ρυθμίσεις που έχουν γίνει στον παλμογράφο και στα probe που χρησιμοποιήθηκαν (θέσεις κομβίων ευαισθησίας, Volts/div κλπ). Οι παραπάνω ρυθμίσεις ενσωματώνονται στα δεδομένα μας με τις κατάλληλες μαθηματικές πράξεις [οι οποίες μπορούν να γίνουν, επιλέγοντας την στήλη και την εντολή Column/ Set Column Values] και έτσι προκύπτει μία νέα στήλη (Column / Add New Column, στήλη D(Y)). Με την εντολή Plot / Scatter απεικονίζεται η κυματομορφή σε ένα νέο παράθυρο (Παράθυρο Graph1).

	C[Y]	D[Y]
1	-0,01651	-1,65136
2	-0,01651	-1,65136
3	-0,01651	-1,65136
4	-0,01651	-1,65136
5	-0,01651	-1,65136
6	-0,01651	-1,65136
7	-0,01651	-1,65136
8	0,02349	2,34864
9	0,06349	6,34864
10	-0,01651	-1,65136
11	0,06349	6,34864
12	0,02349	2,34864
13	-0,01651	-1,65136
14	-0,01651	-1,65136
15	-0,05651	-5,65136
16	0,02349	2,34864
17	0,02349	2,34864

Original Dataset: 4096
Actual Dataset: 4096

Παράθυρο Data 1



Graph1

β) Για να πραγματοποιηθεί η ανάλυση FOURIER επιλέγεται η στήλη με τα δεδομένα [D(Y)] και στη συνέχεια επιλέγεται η εντολή Analysis/FFT. Στο παράθυρο που εμφανίζεται μπορούν να επιλεγούν οι επόμενες λειτουργίες :

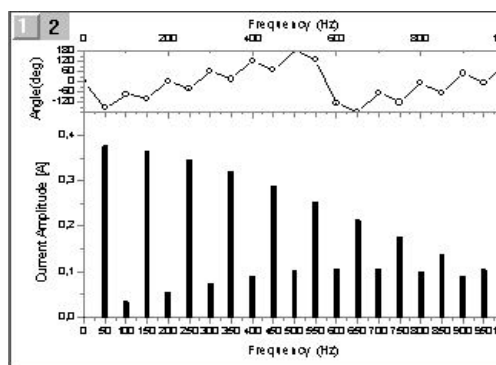
FORWARD	Παράγει τον μετασχηματισμό FOURIER.
BACKWARD	Παράγει τον αντίστροφο μετασχηματισμό FOURIER του επιλεγμένου FFT παραθύρου, δηλ. μετατρέπει τη πληροφορία από το πεδίο των συχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου
AMPLITUDE	Απεικονίζεται το φάσμα πλάτους και το φάσμα γωνίας.
POWER	Απεικονίζεται το φάσμα ισχύος και το φάσμα γωνίας.
SAMPLING INTERVAL	Εισάγεται το βήμα της δειγματοληψίας

WINDOW METHOD: 1.RECTANGULAR 2.WELCH 3.HANNING 4.HAMMING 5.BLACKMAN	ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΑΡΑΘΥΡΟΥ : Επιλογή φίλτρου που θα εφαρμοστεί.
NORMALIZE AMPLITUDE	Πραγματοποιείται “κανονικοποίηση” στο διάγραμμα πλάτους.
SHIFT RESULTS	Αν δεν επιλεγεί η συγκεκριμένη εντολή τα φάσματα του μετασχηματισμού παρουσιάζονται μόνο με θετικές τιμές συχνοτήτων. Στο διάγραμμα φάσεως οι τιμές κυμαίνονται από 0 έως 360°. Αν επιλεγεί η εντολή, παρουσιάζονται τα φάσματα στις θετικές και αρνητικές συχνότητες. Οι τιμές στο διάγραμμα φάσεως κυμαίνονται από -180° έως +180°.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα έχουν επιλεγεί οι παρακάτω εντολές :

Operation/FFT : Forward, SPECTRUM/ Amplitude, Settings : Sampling Interval :20m(sec)/4096, Window Method : Rectangular.

Τα αποτελέσματα εμφανίζονται σε δύο παράθυρα, γραφικά (παράθυρο FFTPlot1) και αριθμητικά (Παράθυρο FFT1), όπως φαίνεται και στο σχήμα που ακολουθεί.



	Freq[X]	Real[Y]	Imag[Y]	r[Y]	Phi[Y]	Power[Y]
1	0	1,4375E-7	0	1,4375E-7	0	5,04494E-18
2	50	-0,34078	-0,15834	0,37576	-155,07901	3,44724E-5
3	100	0,00917	-0,03298	0,03423	-74,46837	2,86088E-7
4	150	-0,04855	-0,3616	0,36485	-97,64776	3,24986E-5
5	200	0,05467	-0,00123	0,05469	-1,29371	7,30152E-7
6	250	0,25839	-0,22969	0,34572	-41,63406	2,91804E-5
7	300	0,03576	0,06548	0,07461	61,36133	1,35911E-6
8	350	0,31076	0,07738	0,32025	13,98287	2,50394E-5
9	400	-0,04609	0,07815	0,09073	120,53112	2,00953E-6
10	450	0,09942	0,26977	0,28751	69,7684	2,01806E-5
11	500	-0,10202	0,0025	0,10205	178,59448	2,54238E-6
12	550	-0,14774	0,20449	0,25227	125,84731	1,55373E-5
13	600	-0,05928	-0,08836	0,1064	-123,85439	2,76407E-6

Freq(X) Real(Y) Imag(Y) r(Y) Phi Power

Παράθυρο FFTPlot1

Παράθυρο FFT1

Η λίστα με τα παράθυρα που έχουμε δημιουργήσει εμφανίζεται στο κάτω μέρος της οθόνης με τη μορφή :

Name	Type	View	Size	Modified
Data1	Worksheet	Maximized	126KB	17/3/2005 12:27
FFT1	Worksheet	Normal	248KB	17/3/2005 12:28
FFTPlot1	Graph	Normal	92KB	17/3/2005 12:28
Graph1	Graph	Normal	6KB	17/3/2005 12:10

γ) Για να πραγματοποιήσουμε ανάστροφη (reverse) ανάλυση FOURIER, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα της FFT ανάλυσης που προηγήθηκε εργαζόμαστε ως εξής: Από τα δεδομένα του FFT επιλέγουμε τις τρεις πρώτες στήλες (Freq(X), Real(Y), Imag(Y)).

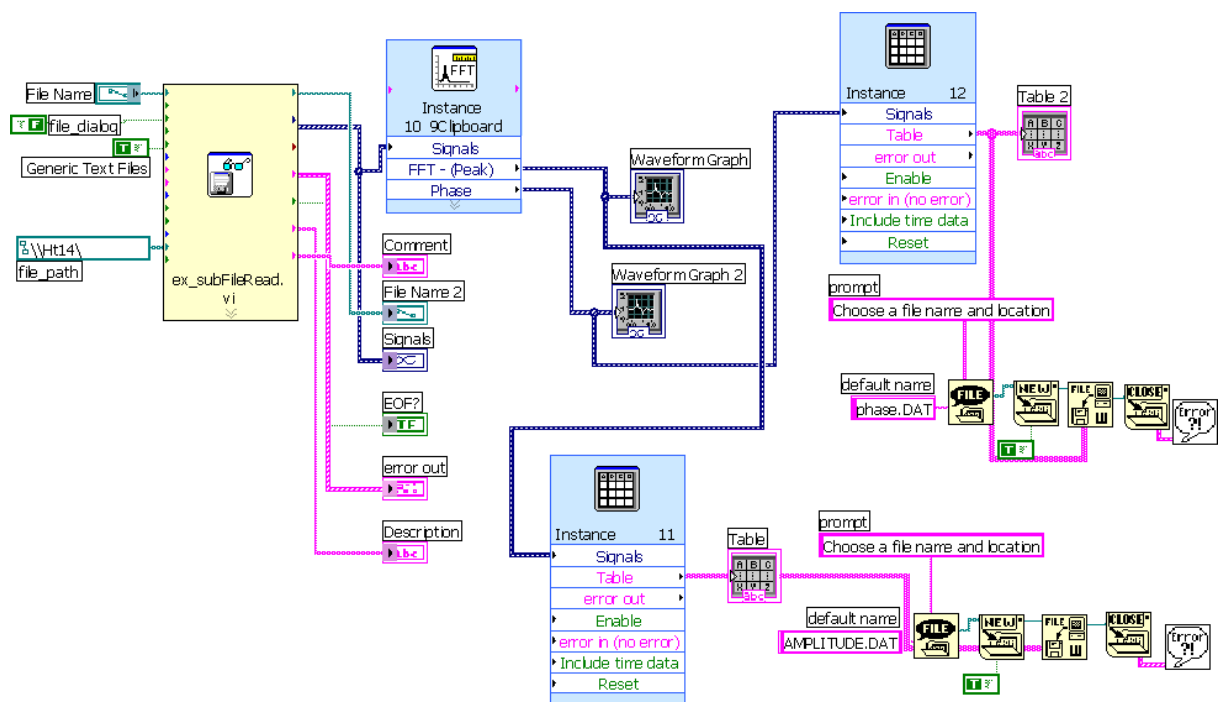
Επιλέγουμε την εντολή Analysis/FFT. Στο παράθυρο που εμφανίζεται επιλέγουμε: Operation/FFT : Backward, SPECTRUM/ Amplitude, Settings : Window Method : Rectangular, Exponential Phase Factor:-1. Με τις παραπάνω επιλογές, θα εμφανιστεί σε ένα καινούργιο παράθυρο η αρχική κυματομορφή, όπως αυτή αναπαράχθηκε με την ανάστροφη (reverse) ανάλυση Fourier. Τα αποτελέσματα της αντίστροφης ανάλυσης Fourier είναι σωστά, μόνο αν κατά την αρχική FFT ανάλυση δεν ήταν επιλεγμένες οι συνθήκες Normalize Amplitude και Shift Results.

B - ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ LABVIEW 7.1

Η ανάλυση FOURIER θα μπορούσε να γίνει εναλλακτικά με τη χρήση του προγράμματος LABVIEW 7.1. Το πρόγραμμα αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την απευθείας λήψη των πειραματικών δεδομένων από το κύκλωμα του πειράματος, αλλά στη συγκεκριμένη περίπτωση θα χρησιμοποιηθεί μόνο για την επεξεργασία των αποτελεσμάτων.

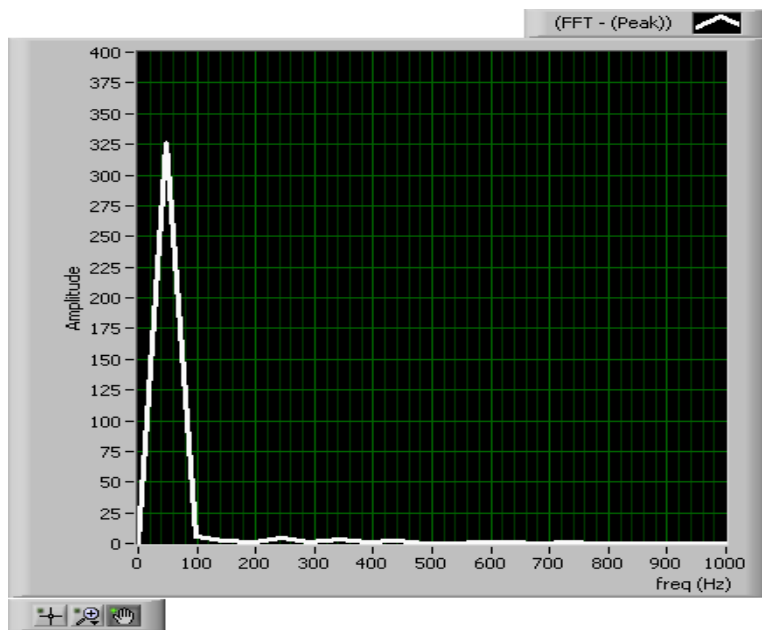
α) Για να γίνει η ανάλυση FOURIER με τη χρήση του LABVIEW ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Με τη βοήθεια των εργαλείων του **Function Palette** του προγράμματος «προγραμματίζουμε» δημιουργώντας στο παράθυρο **Block Diagram** το παρακάτω σχεδιάγραμμα, που αποτελεί και το «πρόγραμμα», για την ανάλυση των δεδομένων.



Όπως παρουσιάζεται και στο σχεδιάγραμμα, το πρόγραμμα LABVIEW αρχικά διαβάζει τα δεδομένα μέσα από το directory που έχουμε δηλώσει. Τα δεδομένα δίνονται σε αρχείο της μορφής .txt. Στη συνέχεια το πρόγραμμα πραγματοποιεί την ανάλυση FOURIER.

Τα αποτελέσματα μπορούν να παρουσιαστούν σε διαγράμματα φασμάτων πλάτους και γωνιών (Waveform Graphs) και σε πίνακες (Tables). Όλα τα αποτελέσματα εμφανίζονται στο παράθυρο **Front Panel** του προγράμματος και αποθηκεύονται σε δύο αρχεία με ονομασίες amplitude.dat και phase.dat. Ένα παράδειγμα παρουσιάζεται παρακάτω.



Table

0,053862
326,170274
5,631531
1,772894
1,336767
4,952814
1,118535
3,664526
0,683778
1,830572
0,189259
0,485199
0,561393

Φάσμα πλάτους

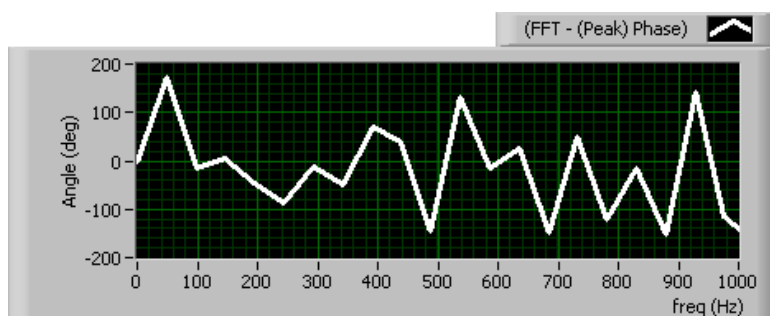


Table 2

0,000000
172,602844
-14,879741
5,394804
-46,261638
-88,620313
-10,970798
-50,353096
68,866353
39,586608
-144,926852
130,846594
-16,592618
25,201120

Φάσμα γωνίας

β) Για να γίνει η ανάστροφη (reverse) ανάλυση FOURIER, πρέπει να δημιουργηθεί ένα άλλο κατάλληλο σχεδιάγραμμα («πρόγραμμα»).

Π Ρ Ο Χ Ε Ι Ρ Ο (χώρος για σημειώσεις κατά τη διάρκεια του Πειράματος)

IX. ΕΛΕΓΧΟΣ ΓΝΩΣΕΩΝ

(Τα ερωτήματα να απαντηθούν μετά το Πείραμα, κατά τη διάρκεια της Μελέτης)

1. Περιγράψτε με συντομία την αρχή λειτουργίας της διάταξης που χρησιμοποιείται στο πείραμα για τη μετατροπή μονοφασικής τροφοδοσίας Ε.Ρ. σε 3-φασική με ρυθμιζόμενη τάση και συχνότητα.
 2. Τι επιτυγχάνεται όταν ο λόγος τάσης τροφοδοσίας προς συχνότητα τροφοδοσίας ενός επαγωγικού κινητήρα παραμένει σταθερός ;
 3. Αναπτύξτε με συντομία τις επιπτώσεις που μπορεί να έχει η χρήση ενός ηλεκτρικού μετατροπέα ισχύος :
α - στο ηλ. δίκτυο από το οποίο τροφοδοτείται,
β – σε ηλεκτρονικές συσκευές που είναι εγκατεστημένες σε μικρή σχετικά απόσταση.
-
-

X. ΕΚΘΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ

α) Σύντομες απαντήσεις στα Ερωτήματα «ΕΛΕΓΧΟΥ ΓΝΩΣΕΩΝ»

β) Σύντομη Παρουσίαση του Πειράματος - Σχόλια

(Παρατηρήσεις ΚΑΘΗΓΗΤΗ) :