

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Διπλωματική Εργασία

**ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΑΝΕΜΙΣΤΗΡΑ Η/Υ ΣΕ
ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

υπό

ΒΑΡΕΛΑ ΓΕΩΡΓΙΟ

ΓΚΡΙΤΖΑΠΗ ΓΕΩΡΓΙΟ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΔΡ. ΕΡΡΙΚΟΣ ΣΤΑΠΟΥΝΤΖΗΣ

Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των απαιτήσεων για την απόκτηση του

Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

ΒΟΛΟΣ 2018

© 2018 Βαρελάς Γεώργιος

© 2018 Γκριτζάπης Γεώργιος

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής Δρ. Ερρίκος Σταπουντζής
(Επιβλέπων) Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Γεώργιος Χαραλάμπους
Επίκουρος καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων
Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Νικόλαος Πελεκάσης
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Ευχαριστίες

Πρωτίστως οφείλουμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή της διπλωματικής μας εργασίας, κ. Ερρίκο Σταπουντζή, για την τιμή που μας έκανε να αναλάβει την επίβλεψη της εργασίας μας, για την βοήθεια και την καθοδήγηση του καθώς και για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε. Ακόμα, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητές κ. Γεώργιο Χαραλάμπους και Νικόλαο Πελεκάση για το ενδιαφέρον που επέδειξαν στην ανάγνωση της εργασίας και για τις πολύτιμες συμβουλές τους. Επιπλέον, ευχαριστούμε πολύ τους συναδέλφους Χ. Φιλοκώστα και Π. Επισκόπου για την βοήθεια και τις συμβουλές τους για την εκπόνηση της εργασίας. Τέλος, θέλουμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που με την στήριξη τους, ψυχολογική και οικονομική, μας βοήθησαν στην ολοκλήρωση της διπλωματικής μας εργασίας.

Βαρελάς Γιώργος

Γκριτζάπης Γιώργος

Περίληψη

Σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της θερμοκρασιακής συμπεριφοράς του ανεμιστήρα ενός Η/Υ κατά την επαναλαμβανόμενη φόρτιση και αποφόρτιση του πυρήνα του. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων έγινε μέσω πειραματικών διαδικασιών ενός αγωγού απαγωγής θερμότητας (heat pipe). Η κατασκευή αποτελεί μια προσομοίωση ενός φορητού Η/Υ χρησιμοποιώντας πυρήνα χαλκού κυλινδρικής γεωμετρίας, έναν αγωγό απαγωγής θερμότητας και στη έξοδο του συστήματος υπήρχαν τοποθετημένα πτερύγια ψήκτρας για την απαγωγή της θερμότητας, μέσω εξαναγκασμένης συναγωγής, με τη βοήθεια ενός ανεμιστήρα. Σε κάθε σειρά πειραμάτων παρείχαμε θερμότητα στον πυρήνα μέσω ενός soldering station μεταβάλλοντας την ισχύ στην εισόδο στο σύστημα, τον χρόνο διέγερσης του συστήματος και τον προσανατολισμό του heat pipe, ενώ ως παράμετρος χρησιμοποιήθηκε και η τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα. Οι μετρήσεις θερμοκρασίας στα πτερύγια του ανεμιστήρα έγιναν με τη βοήθεια ενός θερμοστοιχείου. Τα δεδομένα τα λαμβάναμε σε ψηφιακή μορφή μέσω ενός transmitter και τέλος τα επεξεργαζόμασταν με τη βοήθεια κατάλληλων υπολογιστικών και λογισμικών προγραμμάτων. Στη συνέχεια εκτός από την πειραματική διαδικασία περιγράφεται πως επιτυγχάνεται η συμπύκνωση και η

εξάτμιση του υγρού που χρησιμοποιείται μέσα στον αγωγό θερμότητας. Ακόμα αναφέρονται διάφορα είδη αγωγών heat pipes καθώς και τα είδη υλικών από τα οποία αποτελούνται. Με την επεξεργασία των παραπάνω πειραμάτων και την διεκπεραίωση διαγραμμάτων βγάλαμε χρήσιμα συμπεράσματα για την χρήση των heat pipes.

ABSTRACT

The purpose of this diploma thesis is to study the temperature behavior of a PC's fan during the repeated charging and discharging of its core. The analysis of the results was done through experimental procedures of a heat pipe. The construction is a simulation of a portable computer using a cylindrical geometry copper core, a heat dissipation duct and at the output of the system there were mounted wiper blades for conducting heat through forced convection with the help of a fan. In each set of experiments, we supplied heat to the core through a soldering station by varying the input power, system aging time, and heat pipe orientation, while the fan supply voltage was also used as the parameter. Temperature measurements on fan blades were made using a thermocouple. We received the data in digital form via a transmitter and finally processed them with the help of appropriate computer and software programs. Then, apart from the experimental process, it is described how the condensation and evaporation of the liquid used in the heat conductor is achieved. Still mentioning various types of heat pipes as well as types of materials from the waste are comprised. By processing the above experiments and drawing diagrams, we drew useful conclusions about the use of heat pipes.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	Σελ.13
Κεφάλαιο 2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	17
2.1	Ιστορική αναδρομή.....17
2.2	Αρχή Λειτουργίας των Heat Pipe 19
2.3	Μαθηματικοί τύποι, μοντέλα, περιορισμοί και όρια λειτουργίας.....24
2.3.1	Περιορισμοί λόγω τριχοειδών δυνάμεων..... 24
2.3.2	Περιορισμός λόγω βρασμού.....26
2.3.3	Περιορισμός λόγω δυνάμεων ιξώδους.....27
2.3.4	Περιορισμός υψηλών ταχυτήτων ροής.....29
2.3.5	Περιορισμός λόγω παρασυρμένης ροής.....30
2.4	Αρχές θερμοδυναμικής.....31
2.4.1	Θερμότητα, εσωτερική ενέργεια και ειδική θερμοχωρητικότητα.....31
2.4.2	Αλλαγή φάσης νερού.....33
2.5	Μετάδοση Θερμότητας.....38
2.5.1	Μετάδοση θερμότητας με αγωγή.....38
2.5.2	Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή.....39
2.5.3	Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία.....40
2.6	Γραμμικά συστήματα.....42
2.6.1	Γραμμικά συστήματα 1ης τάξης43

2.6.2	Απόκριση συστημάτων 1ης τάξεως σε βηματική είσοδο.....	44
2.6.3	Απόκριση συστημάτων 1ης τάξεως σε ημιτονοειδή είσοδο.....	48
Κεφάλαιο 3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ.....		51
3.1	Σχεδίαση του μοντέλου προσομοίωσης	51
3.1.1	Επιλογή αγωγού θερμότητας (heat pipe)	52
3.1.2	Κατασκευή πυρήνα επεξεργαστή....	53
3.1.3	Παροχή θερμότητας στον πυρήνα.....	55
3.1.4	Επιλογή συμπυκνωτή.....	57
3.1.5	Ολοκλήρωση πειραματικής διάταξης.....	58
3.2	Όργανα μετρήσεων.....	61
Κεφάλαιο 4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....		65
4.1	Αρχικοποίηση μεταβλητών και διαδικασία λήψης μετρήσεων.....	65
4.2	Μελέτη της απόκρισης της θερμοκρασίας των πτερυγίων ψύξης.....	75
4.2.1	Εισαγωγή και καταγραφή δεδομένων στο σύστημα.....	75
4.2.2	Επεξεργασία δεδομένων.....	81
Κεφάλαιο 5 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....		93
5.1	Πειράματα ψυχρής εκκίνησης (coldstarts).....	93
5.2	Πειράματα μεταβαλλόμενης διέγερσης.....	110
5.3	Υπολογισμός πλάτους απόκρισης θερμοκρασίας.....	121
Κεφάλαιο 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....		138
6.1	Συμπεράσματα.....	138

6.2	Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	140
-----	--------------------------------------	-----

Πίνακας Συμβόλων

u: Ειδική εσωτερική ενέργεια [$\frac{J}{Kg}$]

U: Εσωτερική ενέργεια [J]

Θ: Θερμοκρασία [$^{\circ}C$]

\dot{Q} : Ροή θερμότητας [W]

q: Ειδική θερμότητα [$\frac{J}{Kg}$]

$C_{υλικού}$: Ειδική θερμοχωρητικότητα υλικού [$\frac{J}{Kg*K}$]

C_p : Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση [$\frac{J}{Kg*K}$]

C_v : Ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο [$\frac{J}{Kg*K}$]

x: Απόσταση [m]

A: Εμβαδό επιφάνειας [m^2]

λ: Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας [$\frac{W}{m*K}$ ή $\frac{kcal}{m*h*C}$]

α: Συντελεστής θερμικής διαχυτότητας [$\frac{m^2}{sec}$]

h: Συντελεστής θερμικής συναγωγιμότητας [$\frac{W}{m^2*K}$]

ρ: Πυκνότητα [$\frac{Kg}{m^3}$]

T_{sat} : Θερμοκρασία κορεσμού [$^{\circ}C$]

P_{sat} : Πίεση κορεσμού [$mmHg$ ή atm]

WHL: Λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του νερού [$\frac{KJ}{Kg}$]

α: Συντελεστής θερμικής διαχυτότητας [$\frac{m^2}{sec}$]

h: Συντελεστής θερμικής συναγωγιμότητας [$\frac{W}{m^2 * K}$]

σ: Σταθερά *Stefan-Boltzmann* [$\frac{W}{m^2 * K^4}$]

ε: Ικανότητα εκπομπής επιφάνειας

α: Ικανότητα απορρόφησης επιφάνειας

x(t): Είσοδος σε σύστημα στο πεδίο των χρόνων

y(t): Έξοδος από σύστημα στο πεδίο των χρόνων

T_s: Θερμοκρασία επιφάνειας στερεού κατά τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή [K]

T_∞: Θερμοκρασία μακριά από την επιφάνεια [K]

τ: Χρονική σταθερά συστήματος [sec]

ω: Γωνιακή συχνότητα σήματος [$\frac{rad}{sec}$]

Φ: Φάση σήματος [° ή rad]

ΔP: Διαφορά πίεσης [atm]

L_{eff}: Δραστικό μήκος του *heat pipe* [m]

A_w: Επιφάνεια του φιτιλιού σε τομή κάθετα στο διαμήκη άξονα του *heat pipe* [m²]

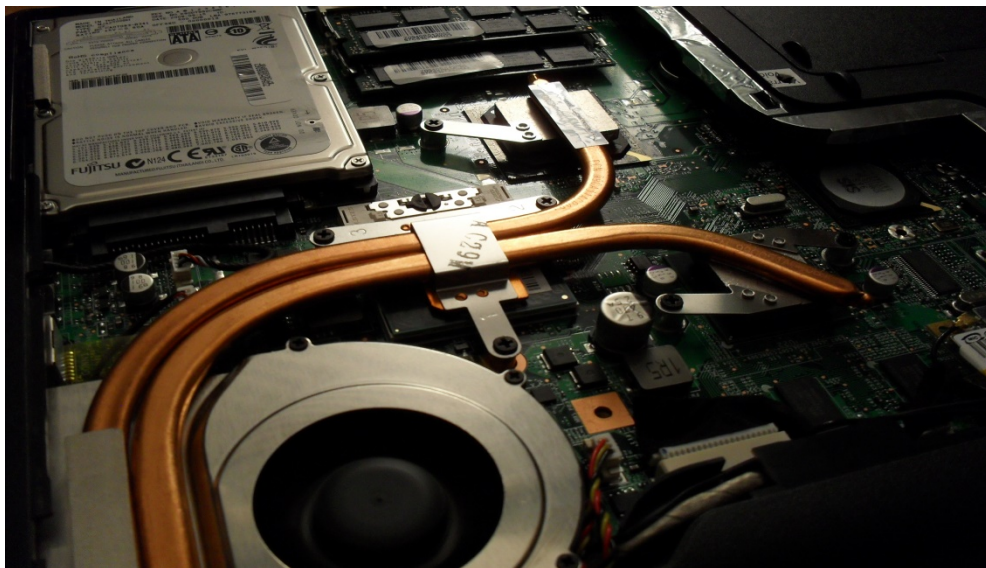
σ: Επιφανειακή τάση [$\frac{N}{m}$]

Κεφάλαιο 1 Εισαγωγή

Στη σημερινή εποχή η εξέλιξη της τεχνολογίας μας έχει προσφέρει προϊόντα τα οποία έχουν γίνει απαραίτητα στην καθημερινή ζωή. Ηλεκτρονικές συσκευές όπως ηλεκτρονικοί υπολογιστές, φορητοί ή σταθεροί, κινητά τηλέφωνα smartphone, tablets κ.α έχουν βελτιώσει πολύ τη ζωή μας. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα των συσκευών, τα οποία περιέχουν ένα μεγάλο αριθμό αντιστάσεων, διαρρέονται συνεχώς από ηλεκτρικό ρεύμα και σαν αποτέλεσμα παράγεται μεγάλη θερμότητα. Αυτή η μεγάλη συγκέντρωση θερμότητας προκαλεί αύξηση της θερμοκρασίας και μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες βλάβες στα εξαρτήματα και στη λειτουργία των συσκευών. Οι απαιτήσεις μας για πιο γρήγορες, μικρότερες σε όγκο και με μεγαλύτερη υπολογιστική ισχύ συσκευές, προκαλούν ακόμα μεγαλύτερη αύξηση στη θερμότητα που παράγεται ανά μονάδα όγκου στις συσκευές. Καθίσταται επομένως επιτακτική η χρήση συστημάτων ψύξης και απαγωγής θερμότητας στις ηλεκτρονικές συσκευές ώστε να διατηρείται η θερμοκρασία σε αποδεκτά επίπεδα για την καλύτερη λειτουργία και ακεραιότητά τους.

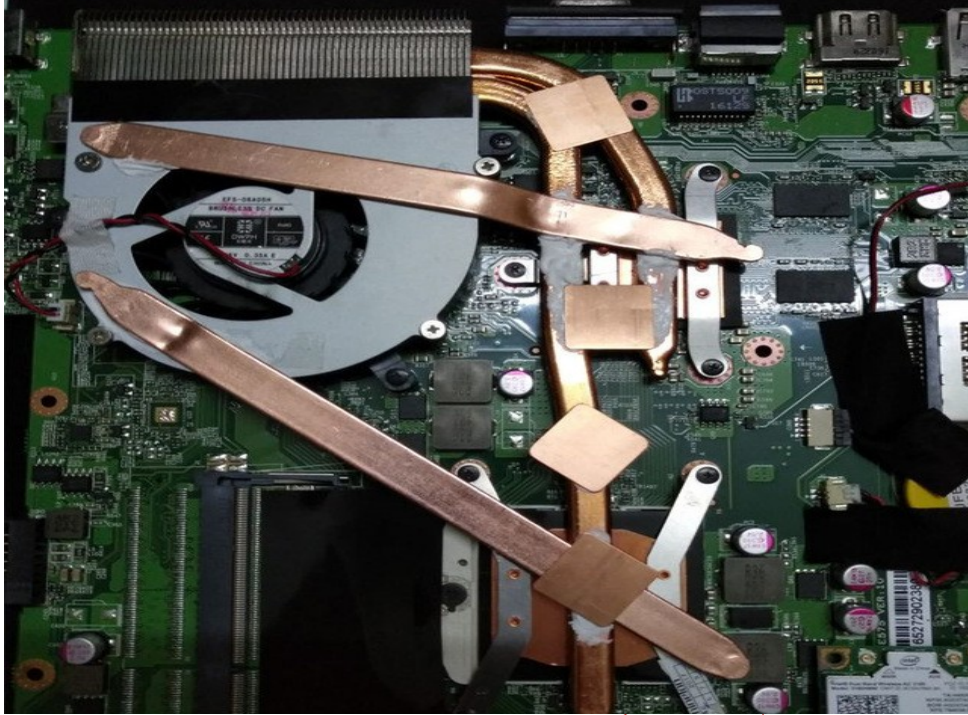
Οι αγωγοί θερμότητας, ή αλλιώς heat pipes δίνουν λύση στο πρόβλημα ελέγχου της θερμοκρασίας των ηλεκτρονικών συσκευών. Συγκεκριμένα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές και laptop χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του '90 έως και σήμερα. Το heat pipe είναι ένα παθητικού τύπου σύστημα μεταφοράς θερμότητας

που συνδυάζει τις αρχές της θερμικής αγωγιμότητας και της αλλαγής φάσης ώστε να μεταφέρει αποτελεσματικά θερμότητα από οποιοδήποτε συμπαγές υλικό σε ένα άλλο με ελάχιστη θερμοκρασιακή διαφορά στα δύο άκρα του. Ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα των heat pipes είναι ότι καταλαμβάνουν πολύ μικρό όγκο σε αντίθεση με άλλων συστημάτων ψύξης ηλεκτρονικών συσκευών. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται εκτεταμένα στην ψύξη laptop, notebook και smartphone, όπου έχουν περιορισμένο χώρο για το σύστημα ψύξης τους. (Εικόνες 1.1, 1.2 & 1.3)



Εικόνα 1.1 Heat pipe στο εσωτερικό ενός laptop

Heat pipe



Εικόνα 1.2 Heat pipe σε notebook

Heat pipe



Εικόνα 1.3 Heat pipe σε smartphone

Heat pipe

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε η απόκριση ενός συστήματος τοπικής θέρμανσης και απαγωγής στον ανεμιστήρα ενός Η/Υ μαζί με το heat pipe και αν ακολουθεί τη συμπεριφορά συστήματος 1^{ης} τάξης όταν το υποβάλλουμε σε μεταβαλλόμενη διέγερση. Επίσης ιδιαίτερη σημασία δίνεται στον προσανατολισμό του heat pipe, στην ισχύ εισόδου και στην τάση τροφοδοσίας του fan.

Κεφάλαιο 2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αρχικά μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των heat pipes. Περιγράφονται στη συνέχεια οι θεμελιώδεις αρχές της θερμοδυναμικής και της μετάδοσης θερμότητας, καθώς και η αρχή λειτουργίας των αγωγών θερμότητας και οι περιορισμοί κατά τη λειτουργία τους. Τέλος αναλύονται οι εξισώσεις και οι βασικοί νόμοι που περιγράφουν τα συστήματα 1^{ης} τάξης κατά την επιβαλλόμενη διέγερσή τους.

2.1 Ιστορική αναδρομή

Ο R.S Gaugler (1994) ήταν ο πρώτος που είχε την ιδέα να αναπτύξει ένα σύγχρονο μοντέλο heat pipe καθώς εργαζόταν στην εταιρία General Motors. Η πατέντα του περιελάμβανε για πρώτη φορά έναν ελαφριάς κατασκευής αγωγό θερμότητας, με χρήση φιλτιλιού για την επιστροφή της υγρής φάσης, με σκοπό να χρησιμοποιηθεί σε ψυκτικές εφαρμογές. Ενώ είχε ετοιμάσει όλες τις προετοιμασίες δεν το τελειοποίησε ποτέ.

Η ιδέα των heat pipes επανήλθε στην επιφάνεια από τον L.Trefethen το 1962, όταν στο εργαστήριο Los Alamos National Laboratory ανέπτυξε αγωγούς θερμότητας που εσωτερικά ήταν τριχοειδείς. Ένα χρόνο αργότερα ο T.Wyatt καθώς εργαζόταν

στην εργασία του για τον έλεγχο της θερμοκρασίας σε δορυφόρους, την κατοχύρωσε ως πατέντα (US PATEND No 3152774 A).

Αυτή η ιδέα έμεινε στην άκρη μέχρι το 1964 όπου ο Grover την έφερε ξανά στην επιφάνεια δημοσιεύοντας τα αποτελέσματα ανεξάρτητης μελέτης του στα εργαστήρια του Los Alamos Scientific Laboratories, όπου και για πρώτη φορά γίνεται χρήση του όρου "Heat Pipe". Για αυτό τον λόγο ο Grover θεωρείται ο εφευρέτης και ο 'Πατέρας' των heat pipe.

Την πατέντα του Grover την χρησιμοποίησε η NASA σε διαστημικές εφαρμογές λόγω των πλεονεκτημάτων και τις αξιοπιστίας των heat pipe. Το 1967 μια ομάδα μηχανικών από το Los Alamos Scientific Laboratory πραγματοποίησαν την πρώτη δοκιμή των heat pipes σε διαστημική πτήση ενός δορυφόρου. Η δοκιμή αυτή είχε μεγάλη επιτυχία στη θερμική εξισορρόπηση του δορυφόρου. Μέχρι και σήμερα λοιπόν η πλειοψηφία των διαστημικών οχημάτων χρησιμοποιούν heat pipes.

Το 1966 αναπτύχθηκε το πρώτο κρυογενικό *heat pipe* από το *Haskin Air Force Flight Dynamic Laboratory* στην αεροπορική βάση *Wright-Peterson*.

Σε δημοσιεύσεις των *Feldman*, *Eastman* και *Katzoff* το 1967 και 1968 γίνεται αναφορά στη χρήση και εφαρμογή των αγωγών θερμότητας σε συστήματα ψύξης κινητήρων και ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.

Το ίδιο έτος (1968) το *RCA* ανέπτυξε ένα *heat pipe* για την ψύξη τρανζίστορ πομπών αεροσκαφών.

Το 1969 εισήχθη για πρώτη φορά το περιστροφικό *heat pipe* για χρήση σε ψύξη πτερυγίων αεριοστροβίλων

Ο Peterson το 1994 συμπέρανε ότι οι αγωγοί θερμότητας εμφανίζουν εξαιρετικά μικρή θερμική αντίσταση και ότι προσφέρουν γεωμετρική ευελιξία κατά το σχεδιασμό.

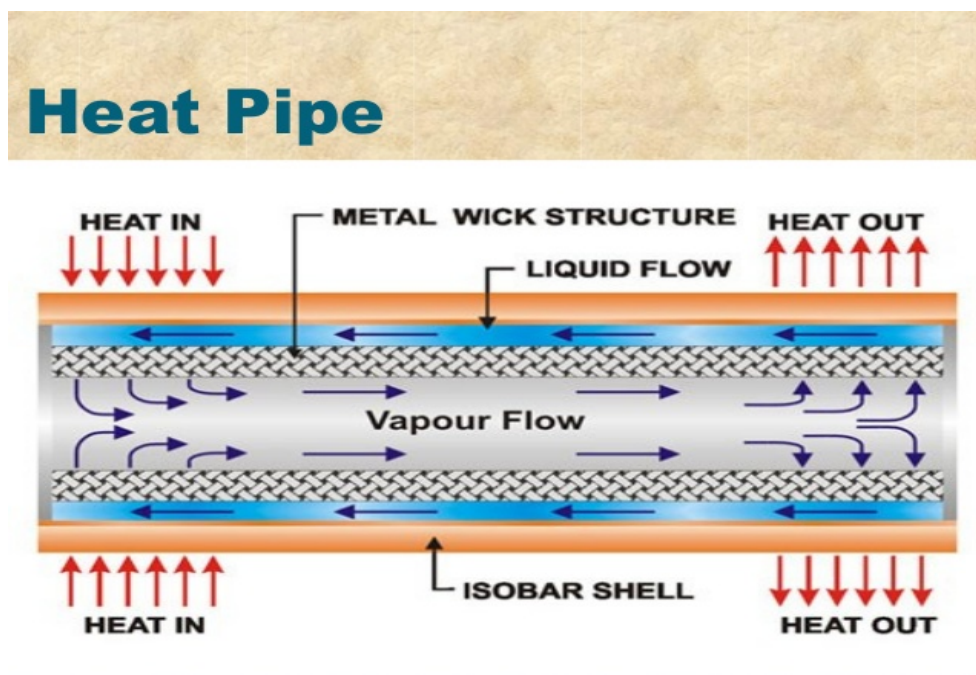
Ένα χρόνο αργότερα ο A. Faghri σε εργασία του παρουσίασε ορισμένα πλεονεκτήματα των αγωγών θερμότητας όπως ότι εμφανίζουν υψηλή θερμική αγωγιμότητα και ιδιότητες εξομάλυνσης της ισχύος (power flattening). Παρατηρήθηκε επίσης ότι η θερμοκρασία στον συμπτυκνωτή παραμένει σταθερή όταν στον εξαερωτήρα εφαρμοζόταν χρονικά μεταβαλλόμενη θερμοροή.

Το 2014 οι Ferizah και Kassem μελετώντας την επίδραση διαφόρων nanofluids στη θερμική αντίσταση των αγωγών θερμότητας, όταν αυτά χρησιμοποιούνται ως εργαζόμενα ρευστά, βρήκαν ότι, όσο αυξάνονταν η θερμική αγωγιμότητα και η συγκέντρωση των μικροσωματιδίων, τόσο αυξανόταν και η θερμική αγωγιμότητα συνολικά του ρευστού με συνέπεια τη μείωση της θερμικής αντίστασης του αγωγού.

2.2 Αρχή λειτουργίας των Heat Pipes

Τα heat pipes είναι συσκευές που μπορούν να μεταφέρουν την θερμότητα σε μεγάλες αποστάσεις με μικρή θερμοκρασιακή κλίση. Επειδή δεν χρειάζεται κατανάλωση ενέργειας για την λειτουργία τους, χαρακτηρίζονται παθητικές συσκευές. Τα heat pipes είναι στην ουσία ένας λεπτός σφραγισμένος σωλήνας που εσωτερικά περιέχει το εργαζόμενο μέσο (ρευστό) και φέρει επένδυση από φυτίλι (wick).

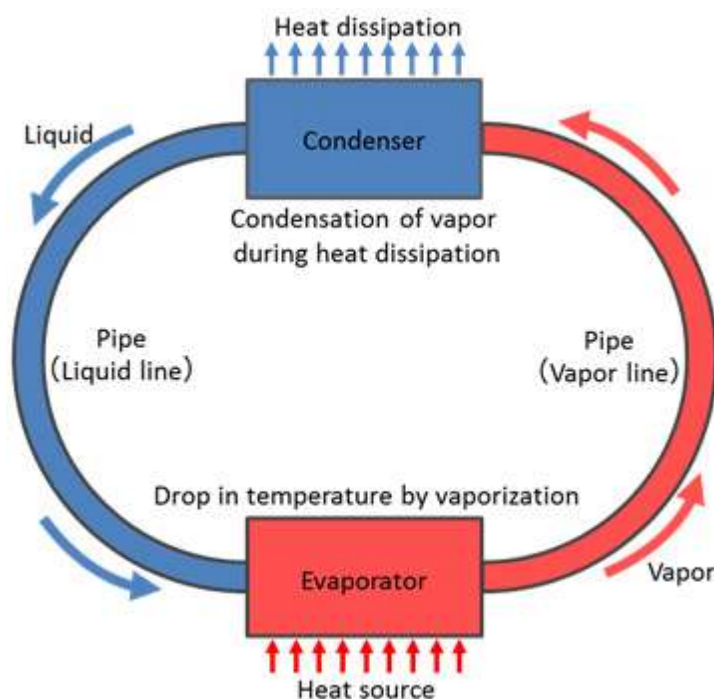
Το αριστερό άκρο (βλ. Εικόνα 2.1) ονομάζεται εξαερωτήρας και βρίσκεται κολλημένο στο εξάρτημα που θέλουμε να ψυχθεί. Καθώς η θερμότητα εισέρχεται στο heat pipe μια μικρή ποσότητα του εργαζόμενου μέσου, το οποίο είναι σε υγρή μορφή μέσα στο φιτίλι, εξατμίζεται και σαν αποτέλεσμα αυξάνεται λίγο η πίεση τοπικά της αέριας κατάστασης .



Εικόνα 2.1 Η εσωτερική αρχιτεκτονική δομή του αγωγού θερμότητας

Το δεξί άκρο ονομάζεται συμπυκνωτής ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από τον εξαερωτήρα. Στον συμπυκνωτή η αέρια φάση αποβάλλει την θερμότητα που παρέλαβε και υγροποιείται. Η χαμηλότερη θερμοκρασία του συμπυκνωτή οφείλεται στο ότι είναι προσκολλημένος στα περύγια ψύξης. Τα περύγια μέσω εξαναγκασμένης συναγωγής μεταφέρουν την θερμότητα που αποβλήθηκε από την μετατροπή της αέριας σε υγρή φάση εκτός του αγωγού.

Ο κύκλος ολοκληρώνεται όταν η υγρή φάση απορροφάται από το φιτίλι και λόγω των τριχοειδών δυνάμεων κινείται περιφερειακά προς τον εξαερωτήρα. Το κεντρικό τμήμα του αγωγού ονομάζεται αδιαβατικό γιατί εκεί έχουμε δύο αντίθετα κινούμενες φάσεις χωρίς σημαντική ανταλλαγή θερμότητας μεταξύ τους, αλλά ούτε και με το περιβάλλον.(Εικόνα 2.2)

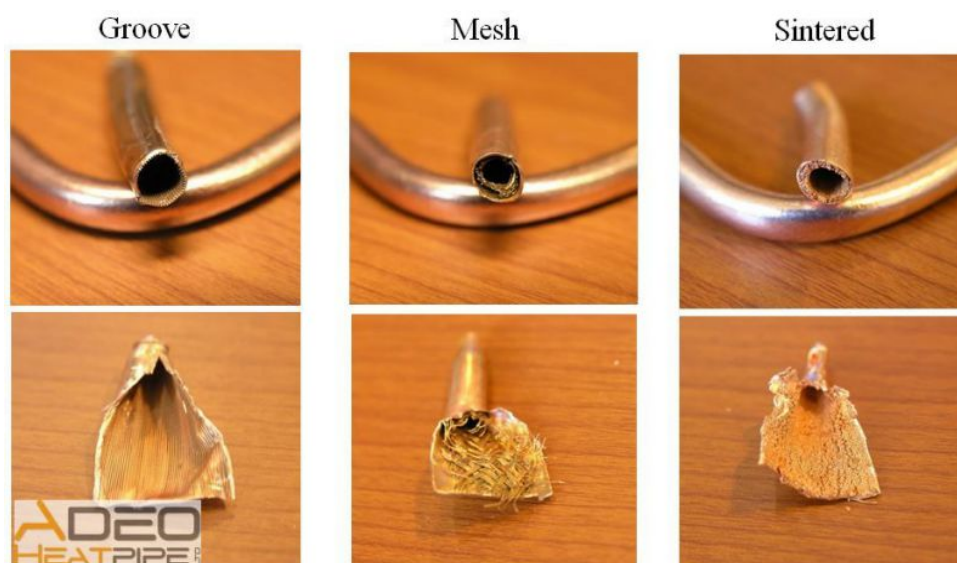


Εικόνα 2.2 Ο κύκλος λειτουργίας heat pipe σε ηλεκτρονική συσκευή

Το εσωτερικό των αγωγών και συγκεκριμένα η δομή του φιτιλιού έχει ιδιαίτερη σημασία. Ο κύριος ρόλος του φιτιλιού είναι να δημιουργεί την τριχοειδή πίεση που χρειάζεται έτσι ώστε να κινείται η υγρή φάση από το συμπυκνωτή στον εξαερωτήρα. Το φιτίλι αποτελείται από πορώδη υλικά όπως χαλκό, νικέλιο, ατσάλι ή αλουμίνιο με διάφορες τιμές διαμέτρου των πόρων. Ακόμα είναι αναγκαίο να διανέμει την υγρή φάση στον εξαερωτήρα ομοιόμορφα για να μπορεί να

παραλαμβάνει την θερμότητα . Οι 3 πιο συχνοί τύποι φυτιλιού που συναντάμε στη βιομηχανία φαίνονται στην (Εικόνα 2.3) και είναι οι εξής:

- το αυλακωτό φυτίλι (grooved wick),
- το φυτίλι από πλέγμα (screen mesh wick)
- το συσσωματωμένο φυτίλι (metal sintered powder wick)



Εικόνα 2.3 Οι πιο διαδεδομένες δομές φυτιλιού που χρησιμοποιούνται στα *heat pipes*

Το αυλακωτό φυτίλι χρησιμοποιείται κυρίως σε αγωγούς χαμηλής ποιότητας, λόγω των μικρών τριχοειδών δυνάμεων που δημιουργεί, σε οριζόντια η κατακόρυφη κατεύθυνση.

Το φυτίλι από πλέγμα έχει χαμηλή διαπερατότητα , λόγω του μικρού μεγέθους πόρου του και δημιουργεί υψηλές τριχοειδές δυνάμεις.

Το συσσωματωμένο φυτίλι παρουσιάζει μεταβλητά χαρακτηριστικά κατά τη μεταφορά θερμότητας και η αποτελεσματικότητά του εξαρτάται από τον αριθμό των στρωμάτων και πλεγμάτων που χρησιμοποιούνται.

Μέσα στον αγωγό πρέπει η υγρή και η αέρια φάση να είναι ισόποσες σε όλη τη διάρκεια λειτουργίας του. Είναι λοιπόν πολύ σημαντική η επιλογή κατάλληλου εργαζόμενου μέσου και της ακριβής ποσότητάς του μέσα στον αγωγό. Έτσι, για το κάθε εργαζόμενο μέσο υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασιών κάτω από το οποίο το εργαζόμενο μέσο είναι πολύ κρύο και δε μπορεί να μετατραπεί σε αέριο και πάνω από το οποίο το εργαζόμενο μέσο βρίσκεται σε πολύ υψηλή θερμοκρασία κι έτσι παραμένει μόνιμα στην αέρια κατάσταση. Για αυτό για το κάθε εργαζόμενο μέσο δημιουργούνται πίνακες, όπως φαίνεται και παρακάτω (Πίνακας 2.1) με τα επιτρεπόμενα εύρη θερμοκρασίας λειτουργίας του *heat pipe* τα οποία συνήθως δίνονται από τον κατασκευαστή.

Heat Pipe Working Fluid	Operating Temperature Range (°C)	Heat Pipe Shell Material
Low Temperature or Cryogenic Heat Pipe Working Fluids		
Carbon Dioxide	-50 to 30	Aluminum, Stainless Steel, Titanium
Helium	-271 to -269	Stainless Steel, Titanium
Hydrogen	-260 to -230	Stainless Steel
Methane	-180 to -100	Stainless Steel
Neon	-240 to -230	Stainless Steel
Nitrogen	-200 to -160	Stainless Steel
Oxygen	-210 to -130	Aluminum, Titanium
Mid Range Heat Pipe Working Fluids		
Acetone	-48 to 125	Aluminum, Stainless Steel
Ammonia	-75 to 125	Aluminum, Stainless Steel
Ethane	-150 to 25	Aluminum
Methanol	-75 to 120	Copper, Stainless Steel
Methylamine	-90 to 125	Aluminum
Pentane	-125 to 125	Aluminum, Stainless Steel
Propylene	-150 to 60	Aluminum, Stainless Steel
Water	1 to 325	Copper, Monel, Nickel, Titanium
High Temperature Heat Pipe Fluids		
Cesium	350 to 925	Stainless Steel, Inconel, Haynes
NaK	425 to 825	Stainless Steel, Inconel, Haynes
Potassium	400 to 1,025	Stainless Steel, Inconel, Haynes
Sodium	500 to 1,225	Stainless Steel, Inconel, Haynes
Lithium	925 to 1,825	Tungsten, Niobium
Silver	1,625 to 2,025	Tungsten, Molybdenum

Πίνακας 2.1 Επιτρεπόμενα εύρη θερμοκρασίας του heat pipe για διάφορα εργαζόμενα μέσα

2.3 Μαθηματικοί τύποι, μοντέλα, περιορισμοί και όρια λειτουργίας.

2.3.1 Περιορισμοί λόγω τριχοειδών δυνάμεων(Capillary Limitation)

Στα heat pipes πρέπει η μέγιστη τριχοειδής πίεση $(\Delta P_c)_{max}$ θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα όλων των πτώσεων πίεσης μέσα στο *heat pipe*, έτσι ώστε η υγρή φάση να επιστρέφει στον εξαερωτήρα. Δηλαδή:

$$(\Delta P_c)_{max} \geq \Delta p_{tot} \quad (2.1)$$

$$\Delta P_{tot} = \Delta P_v + \Delta P_l + \Delta p_g \quad (2.2)$$

όπου Δp_v η πτώση πίεσης κατά την κίνηση της αέριας φάσης από τον εξαερωτήρα στον συμπυκνωτή, Δp_l η πτώση πίεσης κατά την κίνηση του υγρού από τον εξαερωτήρα και Δp_g η πτώση πίεσης λόγω βαρύτητας. Η Δp_g μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδέν.

Η πτώση της πίεσης στην υγρή φάση μπορεί να υπολογισθεί από την εμπειρική σχέση:

$$\Delta P_l = \frac{\mu_l L_{eff} Q}{\rho_l K A_w h_{fg}} \quad (2.3)$$

όπου μ_l το ιξώδες του ρευστού, L_{eff} το δραστικό μήκος του *heat pipe*, ρ_l η πυκνότητα του ρευστού, K η διαπερατότητα του φιλτιού, A_w η επιφάνεια του φιλτιού σε τομή και h_{fg} η θερμότητα εξαέρωσης του υγρού.

Η πτώση πίεσης λόγω τριβής στην αέρια φάση μπορεί να υπολογιστεί από την ακόλουθη σχέση:

$$\Delta P_v = \frac{16 \mu_v L_{eff} Q}{2 \left(\frac{D_v}{2} \right)^2 A_v \rho_v h_{fg}} \quad (2.4)$$

όπου μ_v το ιξώδες της αέριας φάσης, L_{eff} το δραστικό μήκος του *heat pipe*, ρ_v η πυκνότητα του αερίου, D_v το μήκος της αέριας φάσης, A_v η επιφάνεια της διατομής της αέριας φάσης και h_{fg} η θερμότητα υγροποίησης του αερίου (που είναι ίδια με τη θερμότητα εξαέρωσης και ίση με την λανθάνουσα θερμότητα).

Η μέγιστη τριχοειδής πίεση που αναπτύσσεται μέσα στο φιλί μπορεί να δοθεί από την εξίσωση *Laplace – Young* κι αυτή είναι:

$$\Delta P_c = \frac{2\sigma}{r_{eff}} \cdot \cos\theta \quad (2.5)$$

όπου θ είναι η γωνία επαφής μεταξύ υγρού και της δομής του φιλιλίου (είναι ένα μέτρο της απορροφητικότητας του υγρού στη δομή του φιλιλίου και στην ιδανική περίπτωση $\theta=0^\circ$), r_{eff} η δραστική ακτίνα των πόρων στο φιλίλι και σ η επιφανειακή τάση του υγρού.

Για τα περισσότερα *heat pipes* λαμβάνοντας μόνο αυτό τον περιορισμό η μέγιστη μεταφορά θερμότητας λόγω τριχοειδούς πίεσης δίδεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_c = \frac{\sigma_l \rho_l h_{fg}}{\mu_l} \cdot \frac{K A_w}{L_{eff}} \cdot \left(\frac{2}{r_{eff}} - \frac{\rho_l g L_{eff} \sin\varphi}{\sigma} \right) \quad (2.6)$$

όπου K η διαπερατότητα του φιλιλίου σε m^2 , A_w η επιφάνεια του φιλιλίου σε διατομή σε m^2 , ρ_l η πυκνότητα της υγρής φάσης σε $\frac{Kg}{m^3}$, μ_l το ιξώδες του ρευστού σε $\frac{N*s}{m^2}$, r_{eff} η δραστική ακτίνα των πόρων στο φιλίλι σε m , σ η επιφανειακή τάση του υγρού σε $\frac{N}{m^2}$ και φ η γωνία που σχηματίζει ο άξονας του *heat pipe* με την οριζόντια διεύθυνση.

2.3.2 Περιορισμός λόγω βρασμού (Boiling Limitation)

Θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν το όριο βρασμού, γιατί οι υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν την έναρξη βρασμού της υγρής φάσης στο φιλίλι. Ο

βρασμός δημιουργεί φυσαλίδες αερίου μέσα στο φιτίλι οι οποίες εμποδίζουν την κίνηση της υγρής φάσης στον εξαερωτήρα. Είναι δυνατόν σε ακραίες συνθήκες να μετατραπεί όλη η υγρή φάση σε αέρια στεγνώνοντας το φιτίλι.

Η μεταφορά θερμότητας κι η αλλαγή της λόγω της εμφάνισης του φαινομένου θα δίδεται από τη σχέση 2.7:

$$\dot{Q}_b = \frac{4\pi \cdot l_{eff} \cdot \lambda_{eff} \cdot T_v \cdot \sigma_l}{l_v \cdot \rho_v \cdot \ln \frac{r_i}{r_v}} \cdot \left(\frac{1}{r_n} - \frac{1}{r_{eff}} \right) \quad (2.7)$$

όπου λ_{eff} η δραστική θερμική αγωγιμότητα του φιτιλιού και του εργαζόμενου

μέσου σε $\frac{W}{m \cdot K}$, T_v η θερμοκρασία κορεσμού της αέριας φάσης σε K ,

r_i η εσωτερική ακτίνα του σωληνωτού σε m , r_v η ακτίνα του πυρήνα της αέριας φάσης σε m και r_n η ακτίνα πυρήνωσης σε m .

2.3.3 Περιορισμός λόγω δυνάμεων ιξώδους (*Viscous Limitation*)

Ο περιορισμός αυτός εμφανίζεται συνήθως σε χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, γιατί η πίεση κορεσμού της αέριας κατάστασης μπορεί να είναι της ίδιας τάξης μεγέθους με την πτώση πίεσης που απαιτείται για να κινηθεί η αέρια φάση. Η

πίεση μπορεί να εξισορροπείται από αντίθετες δυνάμεις ιξώδους του αερίου. Αυτή η κατάσταση δημιουργεί ανεπαρκή κλίμακα πίεσης για την μεταφορά της αέριας φάσης. Αυτό το όριο κάποιες φορές αναφέρεται κι ως *όριο ιξώδους (viscous limit)*, εμφανίζεται σε θερμοκρασίες κοντά στο όριο τήξης του εργαζόμενου μέσου ή σε πολύ μακριά *heat pipes* και η μέγιστη θερμότητα μεταφοράς λόγω αυτού του ορίου δίδεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_v = \frac{\pi \cdot r_v^4 \cdot l_v \rho_v P_v}{12 \cdot \mu_v l_{eff}} \quad (2.8)$$

όπου r_v η ακτίνα της διατομής της αέριας φάσης σε m , l_v η λανθάνουσα

θερμότητα εξαέρωσης σε $\frac{J}{Kg}$, μ_v το ιξώδες του αερίου στον εξαερωτήρα σε

$\frac{N \cdot s}{m^2}$, l_{eff} το δραστικό μήκος του *heat pipe* σε m , P_v και ρ_v η πίεση σε

Pa και η πυκνότητα σε $\frac{Kg}{m^3}$ της αέριας φάσης στον εξαερωτήρα.

2.3.4 Περιορισμός υψηλών ταχυτήτων ροής (*Sonic Limitation*)

Ο περιορισμός αυτός εμφανίζεται σε χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες ατμών όπου η ροή μάζας στο *heat pipe* μπορεί να φτάσει σε πολύ υψηλές ταχύτητες δημιουργώντας φαινόμενα συμπιεστής ροής λόγω αδράνειας και διακοπτόμενη ροή (*choked flow*). Είναι ένα σπάνιο φαινόμενο και εμφανίζεται κυρίως σε εργαζόμενα μέσα υγρών μετάλλων και σε *heat pipes* με πολύ μικρές διατομές της αέριας φάσης, ενώ δεν απαντάται στις συνήθεις εφαρμογές ψύξης ηλεκτρονικών συστημάτων. Σε αυτή την περίπτωση, το όριο μεταφοράς θερμότητα λόγω της εμφάνισης του φαινομένου θα δίδεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_s = 0,474 \cdot A_v l_v \sqrt{\rho_v P_v} \quad (2.9)$$

όπου A_v η επιφάνεια της διατομής της αέριας φάσης σε m^2 , P_v και ρ_v η πίεση σε Pa και η πυκνότητα σε $\frac{Kg}{m^3}$ της αέριας φάσης στην έξοδο του εξαερωτήρα.

2.3.5 Περιορισμός λόγω παρασυρμένης ροής (*Entrainment Limitation*)

Η ροή της αέριας και υγρής φάσης σε ένα *heat pipe* έχουν πάντα αντίθετες κατευθύνσεις. Ο περιορισμός αυτός αναφέρεται στην οριακή περίπτωση όπου οι αναπτυσσόμενες διατμητικές δυνάμεις λόγω της αντίθετης ροής των δύο φάσεων είναι τόσο μεγάλες που μπορεί να προκαλέσουν παράσυρση της υγρής φάσης προς την αντίθετη κατεύθυνση. Τότε είναι δυνατή η δημιουργία κι η εισαγωγή σταγονιδίων στην αέρια φάση τα οποία θα κινούνται προς τον συμπυκνωτή αντίθετα στην κανονική φορά της υγρής φάσης. Αποτέλεσμα είναι η ιδιαίτερα μεγάλη μείωση της ικανότητας μεταφοράς θερμότητας από το *heat pipe* η οποία θα δίδεται από τη σχέση:

$$\dot{Q}_e = A_v \cdot l_v \cdot \sqrt{\frac{\rho_v \cdot \sigma_l}{2 \cdot r_{c,ave}}} \quad (2.10)$$

όπου σ_l η επιφανειακή τάση σε $\frac{N}{m^2}$ και $r_{c,ave}$ η μέση τριχοειδής ακτίνα του φτιλιού σε m . Σε πολλές εφαρμογές $r_{c,ave}$ και r_{reff} είναι το ίδιο.

2.4 Αρχές Θερμοδυναμικής

2.4.1 Θερμότητα, εσωτερική ενέργεια και ειδική

θερμοχωρητικότητα

Η θερμότητα είναι μορφή ενέργειας που αφορά μακροσκοπικά αντικείμενα, επί της ουσίας όμως πρόκειται για την κινητική ενέργεια (μεταφοράς και περιστροφής) και την ενέργεια ταλάντωσης των μορίων, ατόμων ή ιόντων ενός σώματος η οποία αποθηκεύεται και μεταφέρεται με φορείς στη μικροκοσμική κλίμακα. Η κινητική ενέργεια αφορά κυρίως τα ρευστά. Επίσης η θερμότητα αποθηκεύεται με τη διέγερση των δεσμευμένων ηλεκτρονίων σε υψηλότερες ενεργειακές στάθμες. Έτσι έχουμε τη μεταφορά της θερμότητας και με ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται καθώς τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στη μη διεγερμένη τους κατάσταση.

Σύμφωνα με τον δεύτερο νόμο της θερμοδυναμικής, η θερμότητα τείνει να ρέει αυθόρμητα από θερμότερα σώματα προς ψυχρότερα, ενώ οι ροές της μπορούν να μετατραπούν μερικώς σε ωφέλιμο έργο μέσω μιας θερμικής μηχανής.

Ακόμα ορίζεται η ειδική θερμότητα (q) ως :

$$q = \frac{Q}{m} \frac{J}{Kg} \quad (2.11)$$

και εκφράζει το ποσό θερμότητας που συναλλάσει με το περιβάλλον του η μονάδα μάζας του υλικού που βρίσκεται εντός του θερμοδυναμικού συστήματος.

Εσωτερική ενέργεια ονομάζεται το συνολικό άθροισμα της κινητικής και δυναμικής των δομικών στοιχείων ενός σώματος ως προς το κέντρο μάζας του σώματος και αν αυτό απομονωθεί από όλες τις εξωτερικές δυνάμεις. Συμβολίζεται με U .

Η εσωτερική ενέργεια είναι το άθροισμα της συνολικής δυναμικής ενέργειας των πεδίων που δημιουργούν τα εσωτερικά του στοιχεία και της συνολικής κινητικής ενέργειάς τους. Η συνολική κινητική ενέργεια είναι κατά κανόνα θετική. Η συνολική δυναμική ενέργεια είναι αρνητική, γιατί συγκρατεί τα δομικά στοιχεία, άρα οφείλεται σε ελκτικές δυνάμεις.

Η εσωτερική ενέργεια χαρακτηρίζει την εσωτερική συνοχή του σώματος. Όταν είναι αρνητική σημαίνει ότι χρειάζεται προσφορά ενέργειας για τη διάσπαση του σώματος στα δομικά συστατικά του, ενώ όταν είναι θετική σημαίνει ότι θα διασπαστεί αυθόρμητα. Όταν είναι μηδέν η κατάσταση είναι οριακή και ασταθής, αφού με την παραμικρή προσφορά ενέργειας το σώμα μπορεί να διαλυθεί.

Η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας γίνεται με προσφορά ενέργειας από το περιβάλλον. Αυτό μπορεί να συμβεί με κρούση, με ηχητικά κύματα, με αύξηση της θερμοκρασίας ή ακτινοβολήση, με χημικές αντιδράσεις, με ηλεκτρικό ρεύμα. Η μείωση της κινητικής ενέργειας γίνεται με αποβολή ενέργειας στο περιβάλλον. Αυτό γίνεται με κρούση, με αποβολή θερμότητας, με χημική αντίδραση, με ακτινοβολήση.

Ως ειδική θερμοχωρητικότητα ορίζεται το ποσό της θερμότητας που πρέπει να προσφερθεί στη μονάδα μάζας ενός υλικού σώματος προκειμένου η θερμοκρασία να αυξηθεί κατά $1K$. Τα αέρια έχουν δυο ειδικές θερμοχωρητικότητες ανάλογα με το πως ψύχονται ή θερμαίνονται (υπό σταθερό όγκο ή σταθερή πίεση), ενώ τα υγρά και τα στερεά έχουν μία, η οποία δεν εξαρτάται από τις συνθήκες που βρίσκεται το υλικό.

Για ορισμένη μάζα (m) ορίζεται η ειδική εσωτερική ενέργεια (u) ως το πηλίκο της ολικής εσωτερικής ενέργειας προς τη μάζα του, δηλαδή :

$$u = \frac{U}{m} \quad \left[\frac{J}{Kg} \right] \quad (2.12)$$

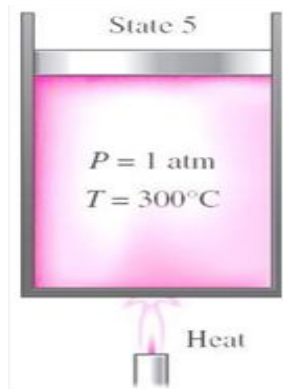
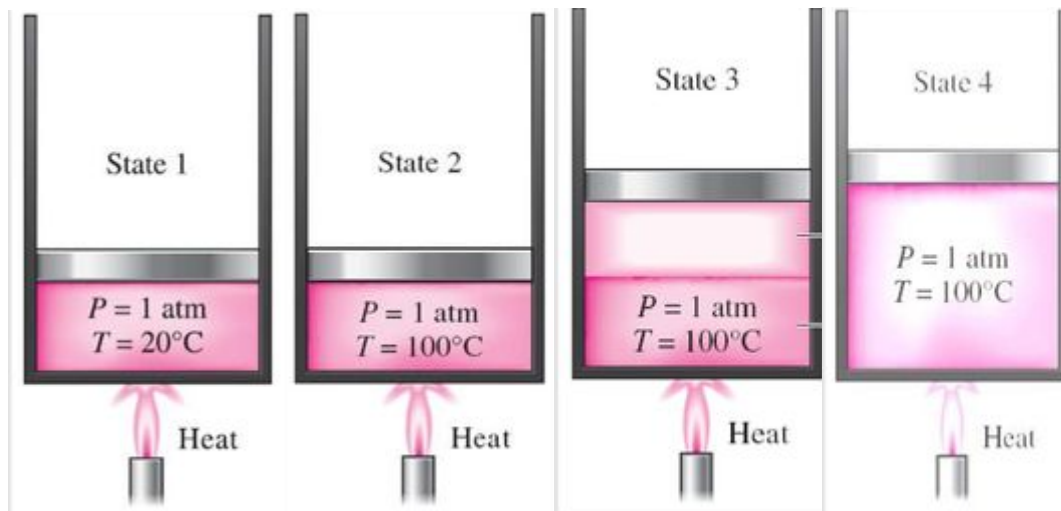
2.4.2 Αλλαγή φάσης νερού

Καθαρή ουσία χαρακτηρίζεται η ουσία που διατηρεί την χημική της σύσταση σταθερή σε όλη της την έκταση. Το νερό αποτελεί μια καθαρή ουσία και είναι το εργαζόμενο μέσω της παρούσας εργασίας. Οι καταστάσεις υγρής και αέριας φάσης του νερού είναι οι εξής:

- Συμπιεσμένο ή υπόψυκτο νερό
- Κορεσμένο νερό
- Μίγμα κορεσμένου νερού και ατμού
- Κορεσμένος ατμός
- Υπέρθερμος ατμός

Η θερμοκρασία και η πίεση στην οποία μια καθαρή ουσία αλλάζει φάση από υγρή σε αέρια ή αντίστροφα, κάτω από ορισμένη πίεση, ονομάζεται θερμοκρασία κορεσμού T_{sat} και P_{sat} αντίστοιχα.

Στη (Εικόνα 2.4) απεικονίζεται η διεργασία αλλαγής φάσης νερού σε κορεσμένο ατμό στις αναγραφόμενες θερμοκρασίες και πιέσεις. Η διαδικασία περιλαμβάνει 5 καταστάσεις που περιγράφονται στη συνέχεια.



Εικόνα 2.4: Διεργασία αλλαγής φάσης νερού

Κατάσταση 1: Σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 20 0C το νερό βρίσκεται στην υγρή φάση (συμπιεσμένο υγρό)

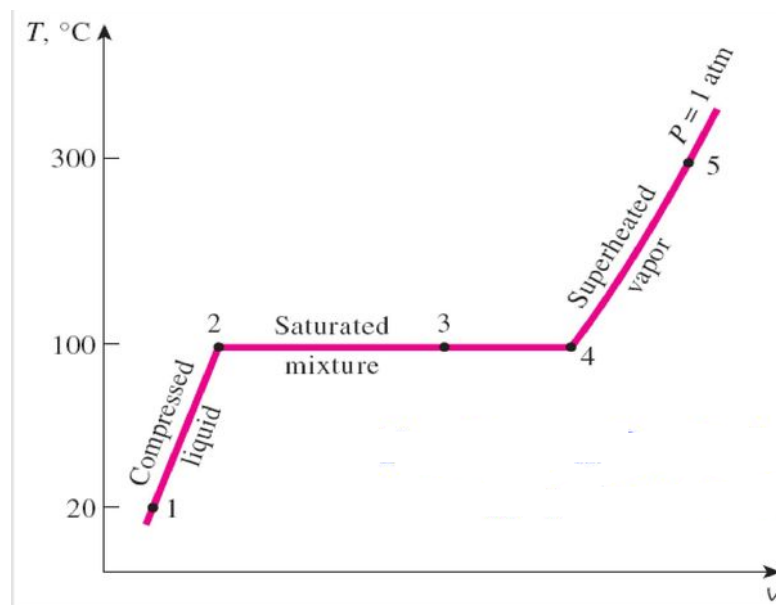
Κατάσταση 2: Σε πίεση 1 atm και θερμοκρασία 1000C το νερό είναι έτοιμο να εξατμιστεί (κορεσμένο υγρό)

Κατάσταση 3: Καθώς μεταφέρεται περισσότερη θερμότητα, ένα μέρος του κορεσμένου υγρού εξατμίζεται (κορεσμένο μίγμα υγρού και ατμού)

Κατάσταση 4: Σε πίεση 1 atm η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 1000C, μέχρι να εξατμιστεί και η τελευταία σταγόνα υγρού (κορεσμένος ατμός)

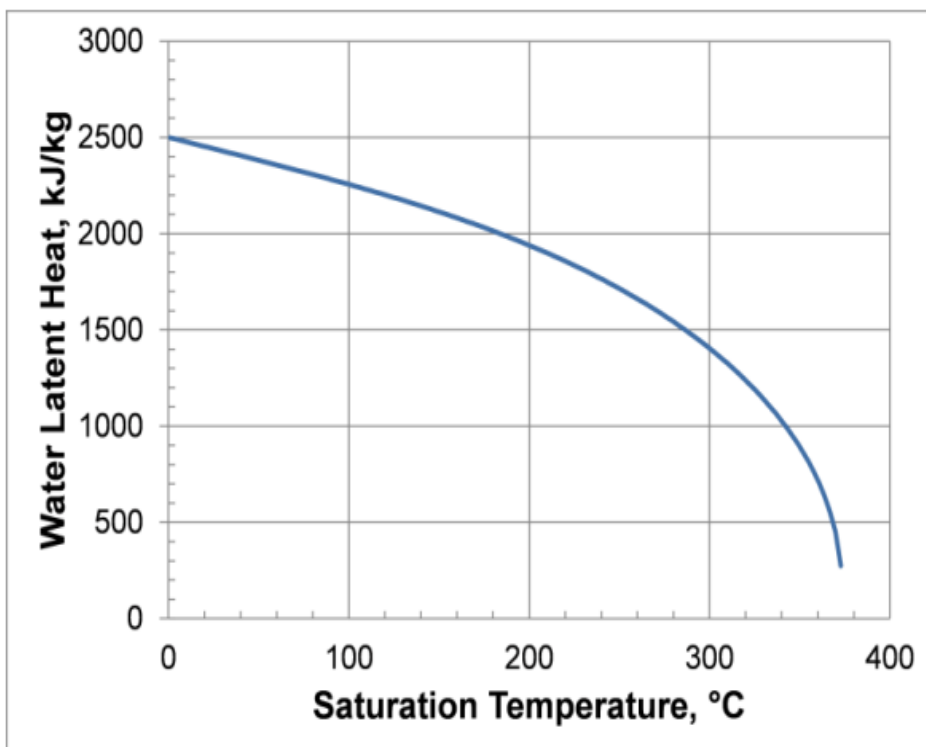
Κατάσταση 5: Καθώς συνεχίζεται η μεταφορά θερμότητας προς τον ατμό, η θερμοκρασία του αρχίζει να αυξάνεται (υπέρθερμος ατμός)

Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.1) αποτυπώνεται η διεργασία θέρμανσης νερού υπό σταθερή πίεση:



Σχήμα 2.1 Διάγραμμα T-V για τη διεργασία θέρμανσης νερού υπό σταθερή πίεση

Λανθάνουσα θερμότητα (L) αλλαγής φάσης υπό σταθερή πίεση είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να αλλάξει η φάση 1gr ουσίας. Συνεπώς λανθάνουσα θερμότητα ατμοποίησης του νερού, είναι η θερμότητα που απαιτείται για την ατμοποίηση 1gr νερού, σε θερμοκρασία κορεσμού T_{sat} . Στο παρακάτω διάγραμμα (Σχήμα 2.2) απεικονίζονται οι τιμές της λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης του νερού Water Latent Heat σε σχέση με τη θερμοκρασία κορεσμού T_{sat} . Στο συγκεκριμένο σχήμα, στο εύρος τιμών θερμοκρασίας που μας ενδιαφέρει [0°C - 100°C]



Σχήμα 2.2 Λανθάνουσα θερμότητα νερού σε σχέση με τη θερμοκρασία κορεσμού T_{sat}

2.5 Μετάδοση Θερμότητας

Η θερμότητα μπορεί να μεταφερθεί μέσω αγωγής, συναγωγής και ακτινοβολίας. Η μεταφορά γίνεται με έναν από τους παραπάνω τρόπους ή με συνδυασμό είτε όλων είτε μερικών. Για να πραγματοποιηθεί μετάδοση θερμότητας απαιτείται θερμοκρασιακή διαφορά και η ενέργεια μεταφέρεται από το μέσο με την υψηλότερη θερμοκρασία προς αυτό με την χαμηλότερη.

2.5.1 Μετάδοση θερμότητας με αγωγή

Σύμφωνα με τον Νόμο του Fourier, η μεταφορά θερμότητας με αγωγή εκφράζει τη ροή θερμότητας Q από ένα σώμα στο άλλο μέσω επαφής και είναι ανάλογη με τη διαφορά θερμοκρασίας τους. Ειδικότερα ισχύει:

$$Q = \lambda A \Delta T / \Delta x \quad (2.13)$$

Όπου λ ονομάζεται η θερμική αγωγιμότητα του θερμαινόμενου υλικού και εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιούμε προς μελέτη, A είναι η επιφάνεια επαφής και Δx το πάχος του υλικού.

2.5.2 Μετάδοση θερμότητας με συναγωγή

Στα υγρά και τα αέρια η θερμότητα διαδίδεται με μεταφορά. Κατά την μεταφορά αυτή, ποσότητες υγρού ή αερίου θερμαίνονται και μεταφέρονται σε ψυχρότερη περιοχή, όπου και προκαλούν την θέρμανσή της. Μπορεί να υπάρξει διάδοση μεταξύ στερεού και υγρού ή αερίου σώματος. Ο ρυθμός συναγωγής περιγράφεται από το νόμο του Newton και δίνεται από τη σχέση:

$$Q_{conv} = h * A * \Delta T \quad , \text{όπου} \quad (2.14)$$

- h ο συντελεστής μεταφοράς ο οποίος εξαρτάται από το ρευστό και από την ταχύτητα του
- A η επιφάνεια με την οποία το ρευστό βρίσκεται σε επαφή
- ΔT η διαφορά θερμοκρασιών ρευστού και επιφάνειας

Η μεταφορά (ή συναγωγή) διακρίνεται σε Ελεύθερη (Free Convection) και Εξαναγκασμένη (Forced Convection).

- Όταν το ρευστό βρίσκεται σε ηρεμία έχουμε ελεύθερη μεταφορά και η κίνηση του είναι αποτέλεσμα ανωστικών δυνάμεων που δημιουργούνται λόγω διαφοράς πυκνότητας η οποία οφείλεται στην αύξηση ή τη μείωση της θερμοκρασίας του.
- Όταν το ρευστό αναγκάζεται να ρέει πάνω από μια επιφάνεια με τη βοήθεια εξωτερικών μέσων(ανεμιστήρας, αντλία), έχουμε εξαναγκασμένη μεταφορά. Στην εξαναγκασμένη μεταφορά έχουμε μεγαλύτερο ρυθμό μετάδοσης θερμότητας από ότι στην ελεύθερη μεταφορά λόγω αύξησης του συντελεστή μετάδοσης θερμότητας h .

2.5.3 Μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία

Για την μετάδοση της θερμότητας με αγωγή ή με μεταφορά χρειάζεται η παρουσία της ύλης (στερεά, υγρά ή αέρια). Η θερμότητα όμως διαδίδεται και στο κενό. Γνωστό παράδειγμα στη φύση είναι η θέρμανση της Γης από τον ήλιο, όπου δεν υπάρχει μέσο διάδοσης.

Ο τρόπος αυτός διάδοσης της θερμότητας λέγεται διάδοση με ακτινοβολία. Η θερμική ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο με ηλεκτρομαγνητικά κύματα (όμοια με τα φωτεινά), απορροφάται από τα διάφορα σώματα και τα θερμαίνει.

Η μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία θεωρείται συνήθως αμελητέα σε χαμηλές θερμοκρασίες και έτσι δεν λαμβάνεται υπόψιν. Για μέταλλα, π.χ. δεν συνυπολογίζεται για θερμοκρασίες χαμηλότερες της θερμοκρασίας ερυθροποίησης του μετάλλου.

Ο μέγιστος ρυθμός ακτινοβολίας που μπορεί να εκπέμπει μια επιφάνεια σε απόλυτη θερμοκρασία T_s δίνεται από τον Νόμο *Stefan-Boltzmann*:

$$Q_{emit,max} = \sigma * A * T_s^4 \quad (2.15)$$

όπου σ η σταθερά *Stefan-Boltzmann* σε $(\frac{W}{m^2 * K^4})$, A η επιφάνεια της οποίας επιτυγχάνεται η ακτινοβολία θερμότητας σε m^2 .

Μέλαν σώμα ονομάζεται η ιδανική εκείνη επιφάνεια που εκπέμπει ακτινοβολία με τον μέγιστο δυνατό ρυθμό. Η ακτινοβολία που εκπέμπουν όλες οι πραγματικές επιφάνειες είναι μικρότερη από εκείνη του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία κι εκφράζεται ως:

$$Q_{emit} = \epsilon * Q_{emit,max} \quad (2.16)$$

όπου ϵ ο συντελεστής εκπομπής επιφάνειας

Ο ρυθμός με τον οποίο μια επιφάνεια απορροφάει ακτινοβολία είναι:

$$Q_{absorbed} = \alpha * Q_{incident} \quad (2.17)$$

όπου $Q_{incident}$ η προσπίπτουσα στην επιφάνεια θερμική ακτινοβολία και α η ικανότητα απορρόφησης μιας επιφάνειας με τιμές μεταξύ 0 και 1. Για το μέλαν σώμα ισχύει $\alpha=1$, δηλαδή απορροφάει ολόκληρη την ακτινοβολία που πέφτει σε αυτό.

Η **θερμική ισχύς** που ακτινοβολείται συχνά εκφράζεται σε μορφή αντίστοιχη με αυτή που μεταδίδεται με συναγωγή δηλαδή:

$$q_{rad} = h_{rad} * A * \Delta T \quad \text{όπου } h_{rad} \text{ ο συντελεστής μετάδοσης}$$

(2.18)

θερμότητας με ακτινοβολία.

2.6 Γραμμικά συστήματα

Η γενική εξίσωση που περιγράφει ένα γραμμικό σύστημα είναι της μορφής:

$$a_n \frac{d^n y}{dt^n} + a_{n-1} \frac{d^{n-1} y}{dt^{n-1}} + \dots + a_0 y = x(t) \quad (2.19)$$

Όπου a_n, \dots, a_0 σταθερές ή συναρτήσεις του χρόνου t .

Παρατηρούμε ότι και τα 2 μέλη της σχέσης (2.19) είναι γραμμικές διαφορικές εξισώσεις. Ο τρόπος επίλυσης των διαφορικών εξισώσεων σε ορισμένες περιπτώσεις είναι πολύπλοκος και χρονοβόρος. Εφαρμόζοντας λοιπόν τον μετασχηματισμό Laplace μετατρέπουμε το σύστημα από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας. Με αυτόν τον τρόπο οι διαφορικές εξισώσεις γίνονται αλγεβρικές, και ο

τρόπος επίλυσής τους είναι αρκετά πιο απλός και σύντομος. Έπειτα εφαρμόζοντας τον αντίστροφο του μετασχηματισμού Laplace μετατρέπουμε την αλγεβρική λύση στο πεδίο του χρόνου, όπου είναι και η αρχική λύση που ψάχναμε.

Στη συγκεκριμένη διπλωματική αναλύουμε τα γραμμικά συστήματα 1^{ης} τάξεως, την απόκρισή τους για βηματική και ημιτονοειδή είσοδο, καθώς και τη χρήση του μετασχηματισμού Laplace για την επίλυσή τους.

2.6.1 Γραμμικά συστήματα 1^{ης} τάξης

Η μη ομογενής γραμμική διαφορική εξίσωση στο πεδίο του χρόνου που περιγράφει ένα σύστημα 1^{ης} τάξεως στη γενική περίπτωση θα έχει την μορφή:

$$a_1 \frac{dy}{dt} + a_0 y = x(t) \quad (2.20)$$

Όπου $y(t)$ είναι η απόκριση-έξοδος του συστήματος και $x(t)$ η είσοδος σε αυτό.

Διαιρώντας με το a_0 την εξίσωση (2.20) παίρνουμε:

$$\tau \frac{dy}{dt} + y = kx(t) \quad (2.21)$$

όπου $\tau = \frac{\alpha_1}{\alpha_0}$ ονομάζεται χρονική σταθερά (*time constant*) του συστήματος και $k =$

$\frac{1}{\alpha_0}$ το κέρδος (*gain*) του συστήματος.

Εφαρμόζοντας τον μετασχηματισμό *Laplace* στην παραπάνω εξίσωση μπορούμε να υπολογίσουμε την συνάρτηση μεταφοράς για ένα σύστημα 1^{ης} τάξεως στη γενική της μορφή^[4]:

$$\tau s Y(s) + Y(s) = k X(s) \quad (2.22)$$

και με αναδιάταξη των όρων προκύπτει η συνάρτηση μεταφοράς ως εξής:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{X(s)} = \frac{k}{\tau s + 1} \quad (2.23)$$

Γνωρίζοντας λοιπόν την είσοδο $x(t)$ σε ένα σύστημα 1^{ης} τάξης και χρησιμοποιώντας τον μετασχηματισμό Laplace, υπολογίζεται το $X(s)$, $Y(s)$ και στη συνέχεια με τον αντίστροφο του μετασχηματισμού Laplace υπολογίζεται στο πεδίο του χρόνου η απόκριση-έξοδος του συστήματος $y(t)$.

2.6.2 Απόκριση συστημάτων 1^{ης} τάξεως σε βηματική είσοδο

Η βηματική είσοδος με τιμή A , η οποία εφαρμόζεται τη χρονική στιγμή $t=0$ στο σύστημα, στο πεδίο του χρόνου περιγράφεται από την συνάρτηση:

$$x(t) = \begin{cases} 0, & t < 0 \\ A, & t > 0 \end{cases} \quad (2.24)$$

Η έκφραση του μετασχηματισμού *Laplace* για την είσοδο στο πεδίο των συχνοτήτων θα είναι:

$$X(s) = \frac{A}{s} \quad (2.25)$$

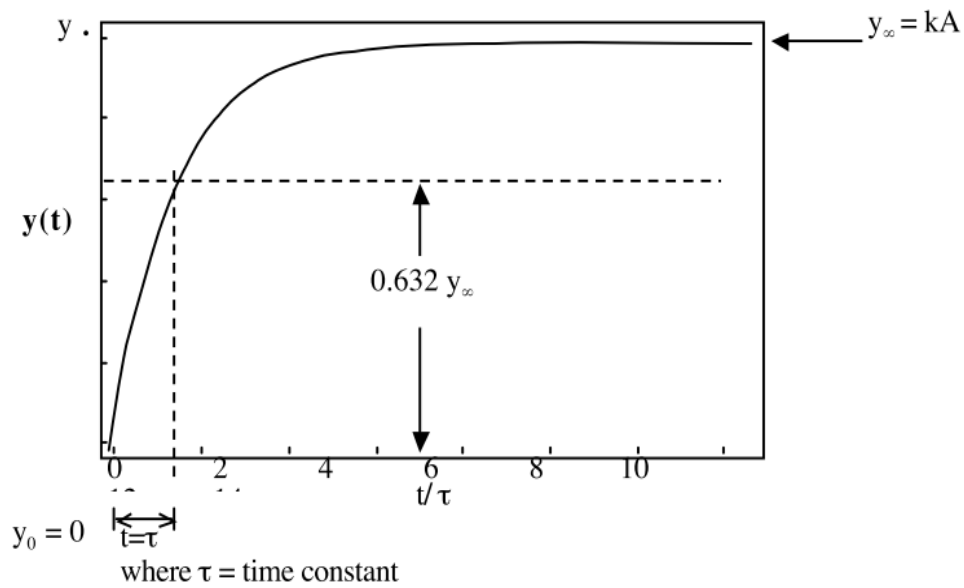
Με τη χρήση των σχέσεων (2.23) και (2.25) μπορούμε να υπολογίσουμε την απόκριση του συστήματος στο πεδίο των συχνοτήτων η οποία θα δίδεται από τη σχέση:

$$Y(s) = G(s) X(s) = \frac{k}{\tau s + 1} \cdot \frac{A}{s} \quad (2.26)$$

Εφαρμόζοντας τον αντίστροφο μετασχηματισμό *Laplace* για τη σχέση (2.26) προκύπτει η απόκριση του συστήματος στο πεδίο των χρόνων από τη στιγμή $t=0$ κι έπειτα (και θεωρώντας $y(0)=0$) η οποία θα δίδεται από τη σχέση:

$$y(t) = Ak(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (2.27)$$

Παρατηρείται ότι το σύστημα 1^{ης} τάξης παρουσιάζει εκθετική αύξηση με το χρόνο όπως φαίνεται στην παρακάτω γραφική παράσταση: (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.3 Σύστημα 1^{ης} τάξης σε βηματική είσοδο A

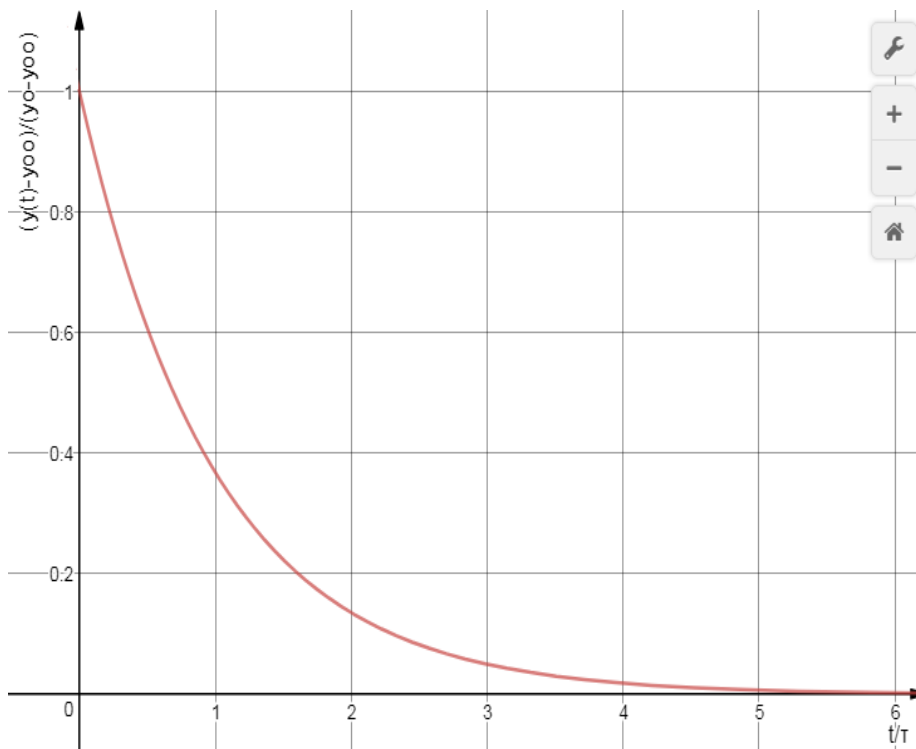
Σύμφωνα με τη σχέση (2.27) παρατηρούμε και γραφικά ότι για $t=0$ τότε $y(0)=0$ και για $t \rightarrow \infty$ προκύπτει $y_{\infty}=kA$

Μια διαφορετική προσέγγιση του συστήματος 1^{ης} τάξης είναι η μετατροπή της εκθετικής του αύξησης σε εκθετική μείωση. Σε αυτή τη μέθοδο υπολογίζεται η διαφορά $(y(t)-y_{\infty})$, το πόσο απέχει δηλαδή το σύστημα κάθε φορά από την τιμή της ισορροπίας του και διαιρώντας αυτή την τιμή με την ολική διαφορά της αρχικής απόκρισης του συστήματος με την τιμή αυτού στη νέα κατάσταση ισορροπίας μετά τη βηματική είσοδο (y_0-y_{∞}) , όπως περιγράφεται στην παρακάτω σχέση:

(2.28)

$$\frac{y(t) - y^\infty}{y_0 - y^\infty} = e^{-\frac{t}{\tau}}$$

Η γραφική παράσταση λοιπόν του όρου $\frac{y(t) - y^\infty}{y_0 - y^\infty}$ σε συνάρτηση με το χρόνο, είναι μια συνάρτηση εκθετικής μείωσης, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 2.4 Το διάγραμμα του $\frac{y(t) - y^\infty}{y_0 - y^\infty}$ σε συνάρτηση με τον χρόνο

Παρατηρείται ότι και με τους 2 τρόπους προσέγγισης ενός συστήματος 1^{ης} τάξης που χρησιμοποιήσαμε η γνώση της χρονικής σταθεράς τ έχει μεγάλη σημασία

για την εύρεση του χρόνου που απαιτείται ώστε ένα σύστημα 1^{ης} τάξεως να φτάσει στη νέα τιμή εξόδου y_{∞} σε σταθερή κατάσταση μετά από βηματική είσοδο σε αυτό.

2.6.3 Απόκριση συστημάτων 1^{ης} τάξεως σε ημιτονοειδή είσοδο

Η χρήση ημιτονοειδούς συνάρτησης εισόδου χρησιμοποιείται για την μελέτη συστημάτων 1^{ης} τάξης υπό συνεχή μεταβαλλόμενη είσοδο, κρατώντας σταθερά τα χαρακτηριστικά σήματα διέγερσης. Η ημιτονοειδής συνάρτηση διέγερσης έχει τη μορφή:

$$x(t) = A\sin(\omega t) \quad (2.29)$$

όπου A το πλάτος του σήματος διέγερσης και ω η συχνότητα του σήματος διέγερσης.

Χρησιμοποιώντας μετασχηματισμό Laplace στην (2.29), προκύπτει η διέγερση στο πεδίο της συχνότητας.

$$X(s) = \frac{A\omega}{s^2 + \omega^2} \quad (2.30)$$

Χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (2.26) και (2.41) προκύπτει η απόκριση του συστήματος στο πεδίο των συχνοτήτων:

$$Y(s) = G(s)X(s) = \frac{k}{\tau s + 1} \frac{A\omega}{s^2 + \omega^2} = \frac{Ak}{\tau} \frac{\omega}{(s^2 + \omega^2)(s + \frac{1}{\tau})} \quad (2.31)$$

Με τη χρήση του αντίστροφου μετασχηματισμού Laplace στην σχέση (2.31) και με τις κατάλληλες πράξεις, παίρνουμε την τελική μορφή της απόκρισης του συστήματος:

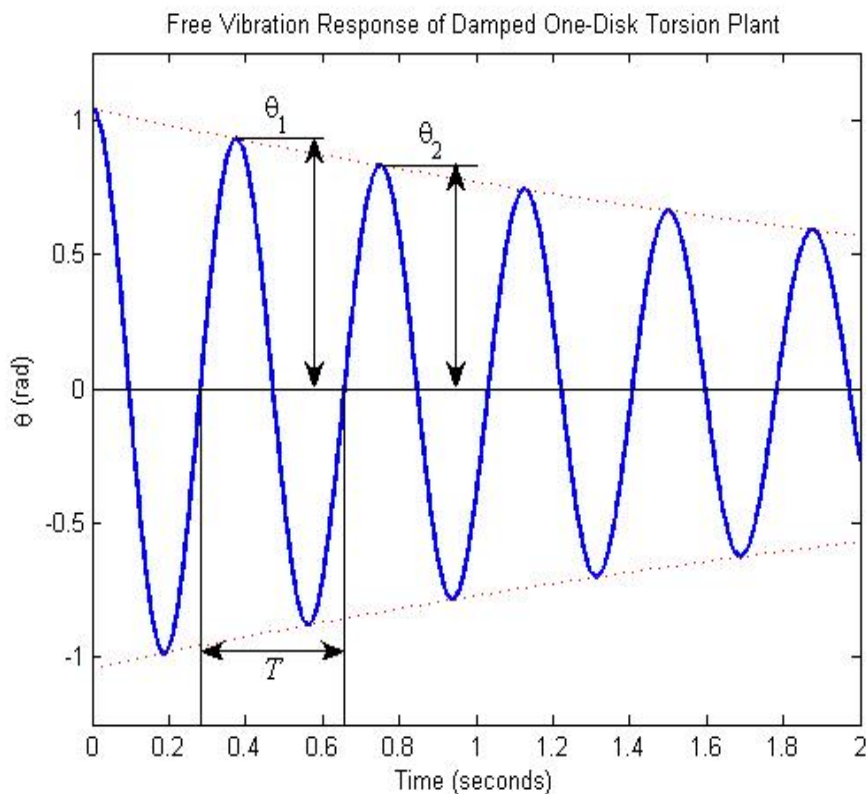
$$y(t) = \frac{Ak\tau\omega e^{-\frac{t}{\tau}}}{\tau^2\omega^2 + 1} + \frac{Ak}{\sqrt{(\tau^2\omega^2 + 1)}} \sin(\omega t + \Phi) \quad (2.32)$$

$$\text{όπου } \Phi = \tan^{-1}(-\omega\tau) \quad (2.33)$$

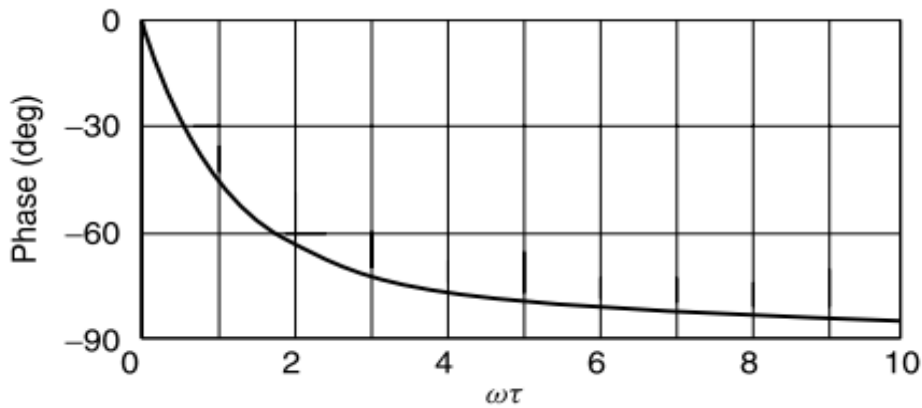
Η απόκριση του συστήματος όπως φαίνεται στην εξίσωση (2.43) αποτελείται από 2 όρους. Ο πρώτος όρος υπάρχει για μικρό χρονικό διάστημα και συνεχώς μειώνεται πλησιάζοντας την τιμή μηδέν. Όταν μηδενιστεί ο μεταβατικός όρος η απόκριση του συστήματος καθορίζεται αποκλειστικά από τον δεύτερο όρο με εύρος

$\frac{Ak}{\sqrt{(\tau^2\omega^2 + 1)}}$, συχνότητα ω και διαφορά φάσης σε σχέση με το σήμα εισόδου ίση με Φ . Όπως φαίνεται και στο διάγραμμα (2.5) προκειμένου το σύστημα 1^{ης} τάξης να αποκριθεί στο ημιτονοειδές σήμα εισόδου θα πρέπει πρώτα ο μεταβατικός όρος να εξαλειφθεί και αν παραμείνει ο σταθερός ημιτονοειδής όρος. Στο διάγραμμα (2.5) φαίνεται η διαφορά φάσης των σημάτων εισόδου και εξόδου όσο αυξάνεται το $\omega\tau$.

Αυτό βέβαια βγαίνει σαν αποτέλεσμα και από τη σχέση (2.44) $\Phi = \tan^{-1}(-\omega\tau)$ όπου είναι εμφανής η εξάρτηση της φάσης της απόκρισης από τα ω και τ .



Σχήμα 2.5 Απόκριση συστήματος κατά ημιτονοειδή είσοδο



Σχήμα 2.6. Εξάρτηση της φάσης της απόκρισης

Κεφάλαιο 3 Πειραματική διάταξη

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται διεξοδικά η πειραματική διάταξη και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Αρχικά αναλύονται τα κριτήρια σχεδίασης και οι διάφοροι περιορισμοί που επιλέχθηκαν έτσι ώστε το πείραμα μας να προσομοιάζει όσο το δυνατόν περισσότερο πραγματικές συνθήκες λειτουργίας. Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής του μοντέλου προσομοίωσης, οι συσκευές μετρήσεων, η συνδεσμολογία τους και οι υποστηρικτικές διατάξεις.

3.1 Σχεδίαση του μοντέλου προσομοίωσης

Για τις μετρήσεις του πειράματος σχεδιάσαμε μια διάταξη που θα προσομοίωνε τη διαδικασία ψύξης του επεξεργαστή ενός Η/Υ με τη βοήθεια ενός αγωγού θερμότητας (*heat pipe*), σε κλίμακα 1:1, μαζί με έναν ανεμιστήρα (*fan*).

3.1.1 Επιλογή αγωγού θερμότητας(heat pipe)

Ο αγωγός (*heat pipe*) που χρησιμοποιήθηκε για την απαγωγή της θερμότητας του πυρήνα από χαλκό είναι της εταιρείας *Forcecon*, με τα εξής χαρακτηριστικά όπως διαγράφονται στον πίνακα (Σχήμα 3.1)

Μήκος	212 mm
Πλάτος	7.6mm
Πάχος	3.4mm
Διάμετρος(πριν τη συμπίεση)	6mm
Υλικό κατασκευής	Χαλκός
Αδιαβατικό μήκος	110mm
Μήκος συμπυκνωτή	72mm
Μήκος εξατμιστή	30mm
Πάχος περιβλήματος	0.5mm
Λειτουργικό υγρό	Νερό

Δομή φυτιλιού	Συσσωματωμένη σκόνη (sintered powder)
Πάχος φυτιλιού	0.5mm

Σχήμα 3.1 Χαρακτηριστικά του αγωγού θερμότητας

3.1.2 Κατασκευή πυρήνα επεξεργαστή

Για επεξεργαστή επιλέξαμε να χρησιμοποιήσουμε ένα κυλινδρικό τεμάχιο διαμέτρου 50 mm και ύψους 42 mm. Επίσης έπρεπε να επιλέξουμε υλικό με μεγάλη θερμική αγωγιμότητα, αλλά και διαχυτότητα, ικανό να φθάσει σχετικά γρήγορα στη μόνιμη κατάσταση χωρίς διακυμάνσεις στη θερμοκρασία του. Αποφασίστηκε λοιπόν να χρησιμοποιηθεί ο χαλκός, του οποίου τα χαρακτηριστικά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. (Σχήμα 3.2). Εξετάστηκαν και άλλα υλικά όπως το διαμάντι, ο άργυρος κ.α. αλλά ήταν οικονομικά ασύμφορα.

Θερμική αγωγιμότητα	401 W/mK
Διάμετρος	50mm

Ύψος	42mm
------	------

Σχήμα 3.2 Χαρακτηριστικά χαλκού

Για τη σταθεροποίηση του πυρήνα, κρίθηκε απαραίτητη η διάνοιξη τεσσάρων οπών διαμέτρου 5 mm καθ' όλο το ύψος του πυρήνα, μιας επιπλέον οπής διαμέτρου 4 mm σε βάθος 19 mm στο κέντρο του δοκιμίου και στη συνέχεια μια διεύρυνση 11 mm σε βάθος 16 mm προκειμένου να τοποθετηθεί κατάλληλα ο ακροδέκτης του *soldering iron* για την παροχή θερμότητας. (Εικόνα 3.1)



Εικόνα 3.1 Ο κύλινδρος από χαλκό και οι 5 οπές που δημιουργήσαμε

Προκειμένου να αποφευχθεί το φαινόμενο της αύξησης της θερμικής αντίστασης στη διεπιφάνεια πυρήνα- εξερωτήρα λόγω της ανάπτυξης υψηλών ποσών θερμότητας και τιμών θερμοκρασίας, χρησιμοποιήθηκε θερμοαγώγιμη πάστα της εταιρείας *Deep Cool* (Εικόνα 3.2), με τις παρακάτω ιδιότητες (Σχήμα 3.4)



Εικόνα 3.2 Θερμικά αγωγή πάστα

Τύπος	Z3
Εύρος θερμοκρασίας	(-50) - 300°C
Θερμική αγωγιμότητα	1.134 W/mK

Σχήμα 3.3 Ιδιότητες της θερμικής αγωγής πάστας

3.1.3 Παροχή θερμότητας στον πυρήνα

Η επιθυμητή θέρμανση στο χάλκινο δοκίμιο του πυρήνα επετεύχθη με τη χρήση του *soldering station* της εταιρείας *Parkside*, τύπου *PLS 48 CI* (Εικόνα 3.3), με τα χαρακτηριστικά του να αναγράφονται στον παρακάτω πίνακα. (Σχήμα 3.4)



Εικόνα 3.3 Soldering station

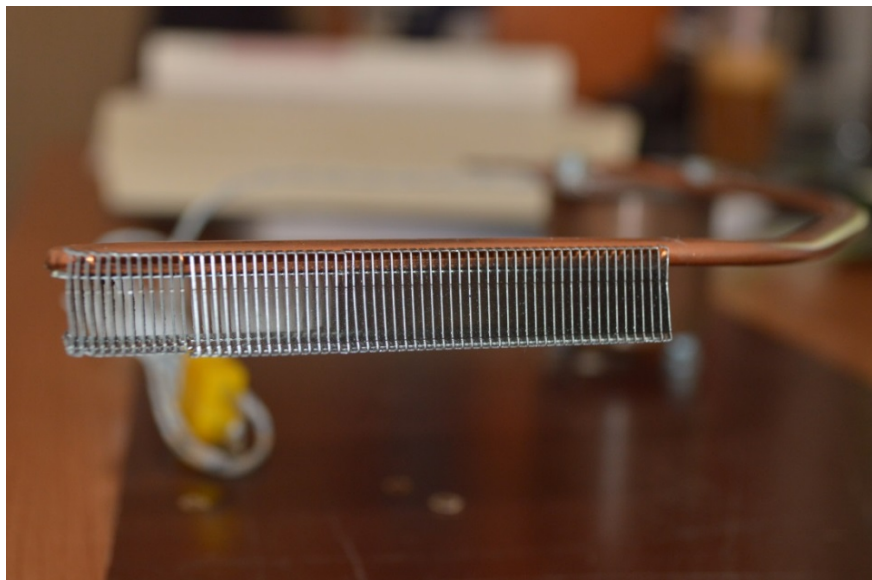
Τύπος	PLS 48 C1
Τάση	230 V
Συχνότητα	50 Hz
Ονομαστική ισχύς	48Watt
Εύρος θερμοκρασιών	0 - 500°C

Σχήμα 3.4 Χαρακτηριστικά soldering station

Να επισημανθεί επίσης ότι η συγκεκριμένη τιμή ισχύος αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος εισόδου δεδομένων για τους περισσότερους Η/Υ και επομένως αποτελεί μια πολύ καλή επιλογή για χρήση στο πείραμά μας.

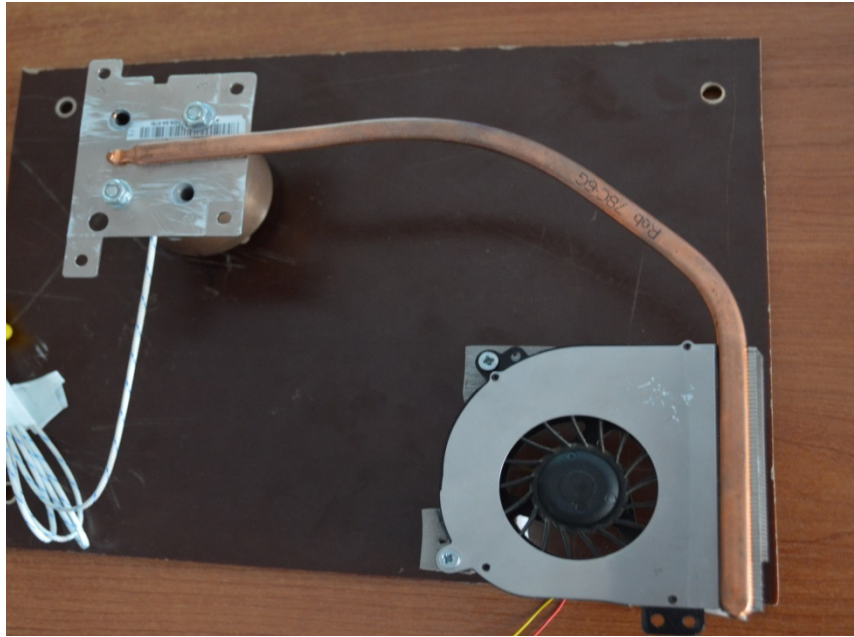
3.1.4 Επιλογή συμπυκνωτή

Το τμήμα του συμπυκνωτή φέρει 62 πτερύγια ψύξης από αλουμίνιο, ορθογωνικής διατομής, τα οποία βρίσκονται στην έξοδο του αέρα από τον ανεμιστήρα κι αποβάλλουν τη θερμότητα μέσω εξαναγκασμένης συναγωγής. (Εικόνα 3.4)



Εικόνα 3.4 Πτερύγια ψύξης στο τμήμα του συμπυκνωτή

Ο ανεμιστήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου φουσητήρα (*Blower*) ακτινικής ροής, της εταιρείας *Forcecon*, τύπου *F6J0-CW* και συνεργάζεται με ηλεκτροκινητήρα (*Brushless Motor*) συνεχούς τάσεως $5V$ και εντάσεως $0,5A$. (Εικόνα 3.5)



Εικόνα 3.5 Η εγκατάσταση του ανεμιστήρα στο κάτω δεξιά

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.4 όλα τα παραπάνω στοιχεία εδράζονται σε δύο επιφάνειες διαστάσεων $280\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ πάχους 2 mm από βακελίτη, εκατέρωθεν του οποίου τοποθετήθηκε στη συνέχεια στρώμα υαλοβάμβακα πάχους 50 mm για μονωτική προστασία. Η όλη διάταξη εσωκλείεται με δύο τεμάχια από *sea plywood* διαστάσεων $280\text{ mm} \times 200\text{ mm}$ και πάχους 7 mm .

3.1.5 Ολοκλήρωση της πειραματικής διάταξης

Η ολοκλήρωση της συσκευής προσομοίωσης περιλαμβάνει επιπρόσθετα τη διάνοιξη των απαραίτητων οπών για τις διάφορες κοχλιοσυνδέσεις, όπως επίσης και τη τοποθέτηση ενός διακόπτη για τον έλεγχο της λειτουργίας του ανεμιστήρα κι ενός ταχυσυνδέσμου για να εξασφαλιστεί η παροχή συνεχούς ηλεκτρικής ισχύος στον ηλεκτροκινητήρα του ανεμιστήρα. (Εικόνα 3.6). Επίσης, στο εσωτερικό ολόκληρης της πειραματικής διάταξης τοποθετήθηκε στρώμα υαλοβάμβακα πάχους 50 mm για θερμική μονωτική προστασία της συσκευής σε σχέση με το εξωτερικό περιβάλλον

και νάilon ταινία για τη συγκράτηση του υαλοβάμβακα όπως φαίνεται και στην (εικόνα 3.7)



Εικόνα 3.6 Τοποθέτηση διακόπτη On/Off του ανεμιστήρα



Εικόνα 3.7 Η τελική εικόνα της πειραματικής διάταξης προσομοίωσης

Τέλος τοποθετήσαμε το θερμοστοιχείο στα πτερύγια ψύξης του ανεμιστήρα όπου μετράμε την θερμοκρασία και αποτελεί το θέμα αυτής της διπλωματικής. Επειδή δεν ήταν εφικτό να καλύψουμε όλη την επιφάνεια των πτερυγίων με το θερμοστοιχείο, αποφασίσαμε να το τοποθετήσουμε στην μέση, θεωρώντας ότι η θεοκρασία κατανέμεται ισόποσα σε όλη του την επιφάνεια. (Εικόνα 3.8)



Εικόνα 3.8 Το θερμοστοιχείο στα πτερύγια ψύξης του ανεμιστήρα

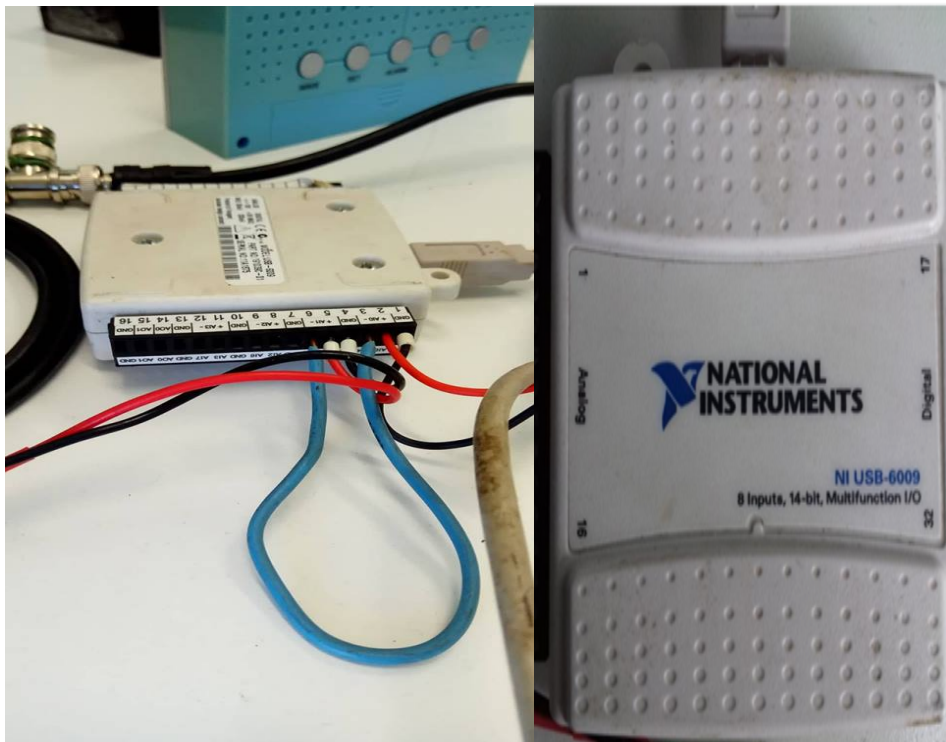
3.2 Όργανα μετρήσεων

Αρχικά ήταν απαραίτητη η μέτρηση κάθε στιγμή της θερμοκρασίας των πτερυγίων ψύξης του ανεμιστήρα. Για τη συγκεκριμένη μέτρηση χρησιμοποιήθηκε θερμοστοιχείο σε συνδυασμό με το *transmitter* της εταιρίας *Jumo*.(Εικόνα 3.9)

Προκειμένου να πάρουμε της μετρήσεις της θερμοκρασίας σε ψηφιακή μορφή μέσω υπολογιστή, χρησιμοποιήθηκε ο μετατροπέας σήματος της εταιρίας *National Instruments*.(Εικόνα 3.10)



Εικόνα 3.9 Transmitter Jumo(αριστερά) και το τροφοδοτικό της
Telemecanique(δεξιά)



Εικόνα 3.10 Ο μετατροπέας σήματος της εταιρείας *National Instruments*

Όλα τα δεδομένα από τις μετρήσεις που παίρναμε στον Η/Υ τα επεξεργαζόμασταν με το ειδικό υπολογιστικό λογισμικό LABVIEW. Χρησιμοποιήθηκε μια τροποποιημένη συσκευή στην οποία ήταν τοποθετημένος

διακόπτης On/Off με δύο καλωδιώσεις για να προσομοιάσουμε την εισαγωγή δεδομένων στο σύστημα με τη συνεχόμενη εναλλαγή της θερμοκρασίας του πυρήνα.

(Εικόνα 3.11)



Εικόνα 3.11 Η Συσκευή μετατροπής σήματος-προσομοίωσης της εναλλαγής θερμότητας στον πυρήνα

Τα μαύρα καλώδια αντιστοιχούν στην θέρμανση του πυρήνα και τα κόκκινα στην ψύξη του. Κάθε φορά στέλνονται κατάλληλα σήματα στον Η/Υ ώστε να αναγνωρίζει την εκάστοτε κατάσταση λειτουργίας. Το σύστημα μπορεί να βρίσκεται στις εξής καταστάσεις:

- Θέρμανση πυρήνα
- Εισαγωγή δεδομένων
- Ισχύς στο σύστημα
- Soldering iron On
- Αναγνώριση σήματος στον Η/Υ
- Ψύξη πυρήνα
- Παύση εισαγωγής δεδομένων
- Soldering iron Off

Κεφάλαιο 4 Πειραματική Μεθοδολογία

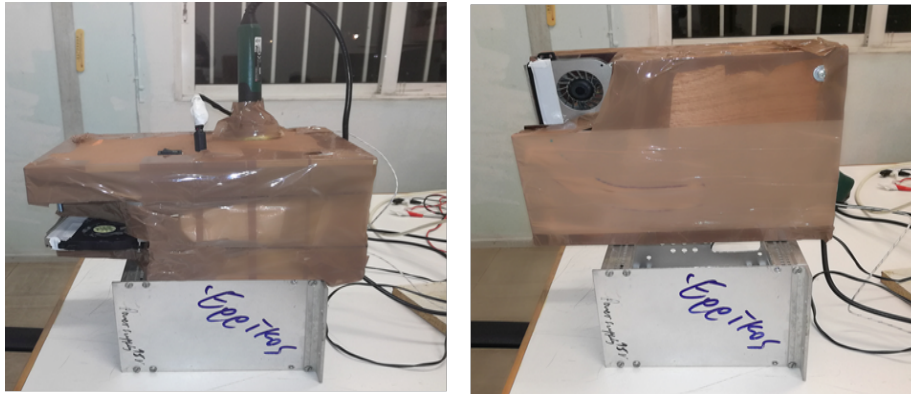
Στο παρόν κεφάλαιο γίνεται αναλυτική παρουσίαση των πειραματικών μεθόδων και τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας στα πτερύγια ψύξης του ανεμιστήρα. Στην αρχή γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία και στις συνθήκες κάτω από τις οποίες υλοποιήθηκαν τα πειράματα. Μετά την ανάλυση των τιμών της θερμοκρασίας, για τα διάφορα σενάρια διέγερσης του συστήματος, εξετάζεται και το είδος της απόκρισής του. Τέλος, μελετάται η ψυκτική απόδοση του heat pipe με βάση τον προσανατολισμό της πειραματικής διάταξης (vertical – horizontal).

4.1 Αρχικοποίηση μεταβλητών και διαδικασία λήψης μετρήσεων

Οι μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν χωρίστηκαν σε 2 κατηγορίες ανάλογα με τον προσανατολισμό του μοντέλου προσομοίωσης. Οι κατηγορίες αυτές ήταν η οριζόντια (Horizontal) και η κάθετη (Vertical). Στην οριζόντια θέση, ο εξαερωτήρας και ο συμπυκνωτής βρίσκονταν στο ίδιο ύψος, ενώ στη κατακόρυφη, ο συμπυκνωτής

του αγωγού θερμότητας λειτουργούσε σε υψηλότερη θέση από τον εξαερωτήρα.

(Εικόνα 4.1)

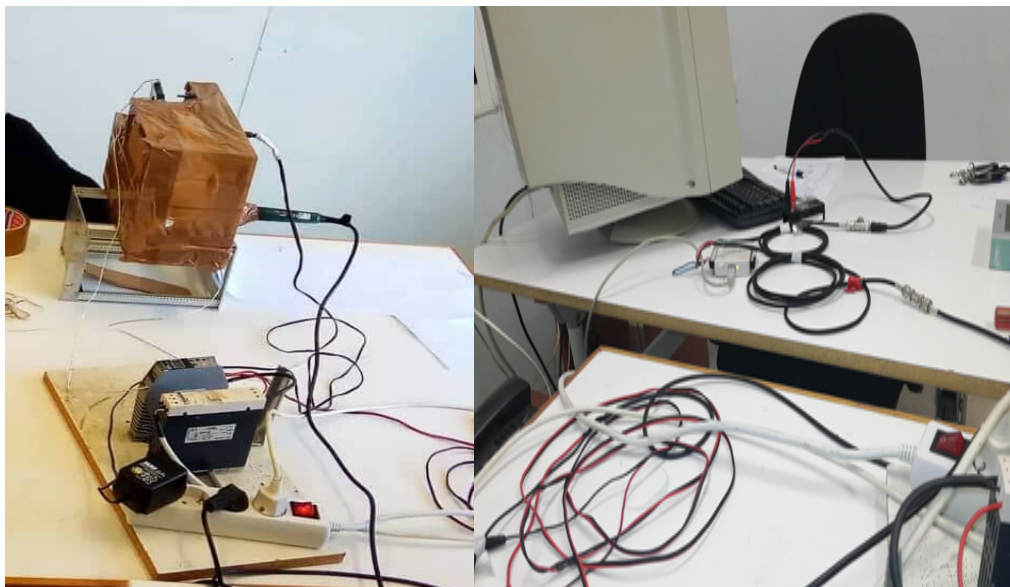


Εικόνα 4.1 Προσανατολισμός πειραματικής διάταξης :Horizontal position(Αριστερά)-Vertical position (Δεξιά)

Για τη μέτρηση των τιμών θερμοκρασίας στον ανεμιστήρα του ήταν αναγκαία η χρήση του *soldering station* και κατάλληλου θερμοστοιχείου. Ο ακροδέκτης του *soldering iron* τοποθετήθηκε καταλλήλως στο κάτω μέρος του χάλκινου δοκιμίου του πυρήνα κι αυτός του θερμοστοιχείου στο κέντρο των πτερυγίων του fan.

Όπως προαναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο το *soldering station* αποτελείται από ένα περιστρεφόμενο διακόπτη-ροστάτη ο οποίος ρυθμίζει κάθε φορά την ισχύ εξόδου και από το *soldering iron* που αποτελεί την ισχύ εισόδου στο σύστημα. Στη παρούσα διπλωματική τα πειράματα διεξήχθησαν με 2 διαφορετικές τιμές ισχύος 24W και 48W

Το θερμοστοιχείο καταγράφει τις τιμές θερμοκρασίας κάθε χρονική στιγμή και τις μετατρέπει σε ηλεκτρικό δυναμικό. Το *transmitter Jumo* με το οποίο είναι συνδεδεμένο το θερμοστοιχείο, μετατρέπει αυτό το δυναμικό σε ένδειξη θερμοκρασιών στην οθόνη του. Το *transmitter* είναι με τη σειρά του συνδεδεμένο με τον μετατροπέα σήματος της *National Instruments* ο οποίος μεταφέρει τις ενδείξεις αυτές σε ψηφιακή μορφή στον Η/Υ μέσω του πρώτου καναλιού (*channel 0*) για περαιτέρω επεξεργασία από το λογισμικό *LABVIEW*, όπως διακρίνεται στη παρακάτω εικόνα. (Εικόνα 4.2)



Εικόνα 4.2 Διάταξη θερμοστοιχείου-transmitter-μετατροπέας σήματος (Αριστερά)
Διασύνδεση transmitter – μετατροπέα – LABVIEW με τον Η/Υ (Δεξιά)

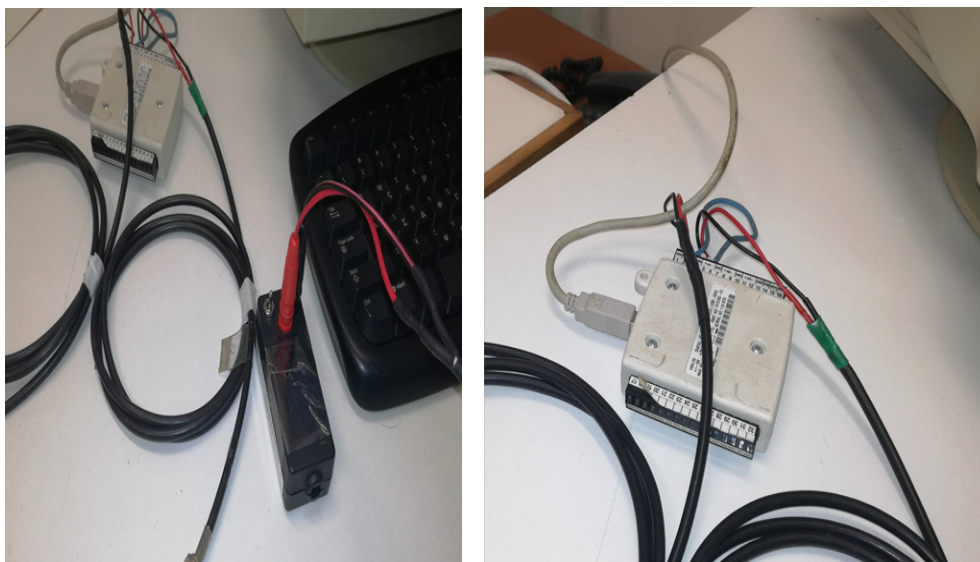
Ο ανεμιστήρας είναι τοποθετημένος στη πλευρά του συμπυκνωτή του *heat pipe* αμέσως μετά τα πτερύγια ψύξης. Για τη λειτουργία του χρησιμοποιείται ένας μετασχηματιστής-ανορθωτής που παρέχει συνεχή τάση, δίνοντας επίσης τη δυνατότητα εναλλαγής της τάσης τροφοδοσίας. (Εικόνα 4.3). Αυτό επιτρέπει τη λειτουργία του ανεμιστήρα σε διάφορες ταχύτητες και κατά επέκταση τη μεταβολή του ρυθμού απαγωγής θερμότητας από τα πτερύγια του συμπυκνωτή του *heat pipe*. Στη παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές τιμές τάσης τροφοδοσίας $1,5V$ και $6V$.



Εικόνα 4.3 Ο μετασχηματιστής- ανορθωτής τάσης του ανεμιστήρα.

Ο διακόπτης που χρησιμοποιήθηκε ήταν και αυτός συνδεδεμένος στον μετατροπέα σήματος της μέσω δεύτερου καναλιού (*channel 1*) και χρησιμοποιείται στη μετατροπή της πληροφορίας της παρουσίας ή μη ισχύος εισόδου στο σύστημα σε ψηφιακό σήμα στο λογισμικό *LABVIEW* (Εικόνα 4.4). Ο διακόπτης διαθέτει δύο

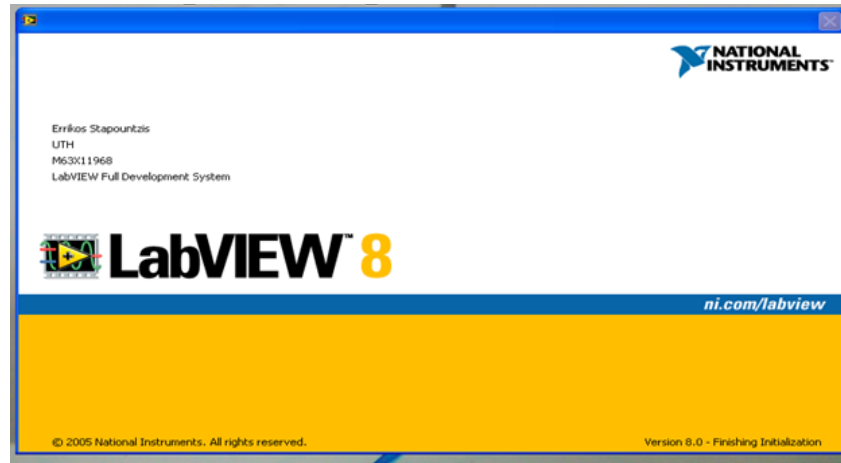
θέσεις λειτουργίας, *On* (Εισαγωγή ισχύος στο σύστημα) και *Off* (Μη εισαγωγή ισχύος στο σύστημα), η επιλογή των οποίων γίνεται χειροκίνητα ανάλογα με το αν το *soldering iron* θερμαίνει ή όχι τον πυρήνα.



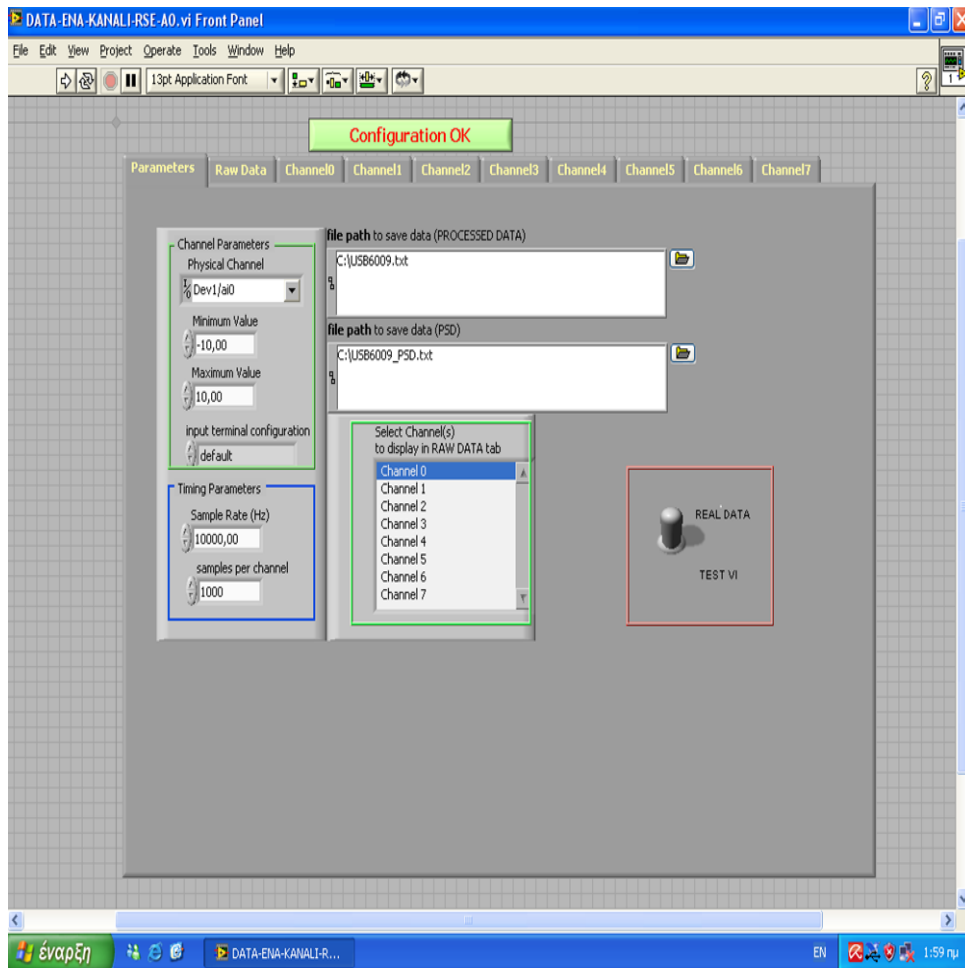
Εικόνα 4.4 Αριστερά: Η διασύνδεση του αυτοσχέδιου διακόπτη *On/Off* στον μετατροπέα της *National Instruments* & Δεξιά: Τα δύο κανάλια του μετατροπέα (*Channels 0 & 1*) που καταλήγουν στο πρόγραμμα *LABVIEW* του Η/Υ

Το λογισμικό πρόγραμμα *LABVIEW* που χρησιμοποιήθηκε (Εικόνα 4.5) καταγράφει μετρήσεις δεδομένων με τη βοήθεια αισθητήρων. Οι αισθητήρες συνδέονται στο *hardware* τμήμα του προγράμματος το οποίο είναι ο μετατροπέας σήματος της *National Instruments*. Στο *LABVIEW* επιλέγουμε τον αριθμό των καναλιών, το εύρος τιμών της δειγματοληψίας, την συχνότητα και ο αριθμός δειγμάτων για κάθε κανάλι. Επίσης επιλέγεται το όνομα και η θέση που θα

αποθηκευτεί το αρχείο με τα δεδομένα(file path to save data).Οι τιμές των παραμέτρων που επιλέχθηκαν φαίνονται στη παρακάτω εικόνα (Εικόνα 4.6).



Εικόνα 4.5 Έναρξη του προγράμματος επεξεργασίας δεδομένων *LABVIEW*

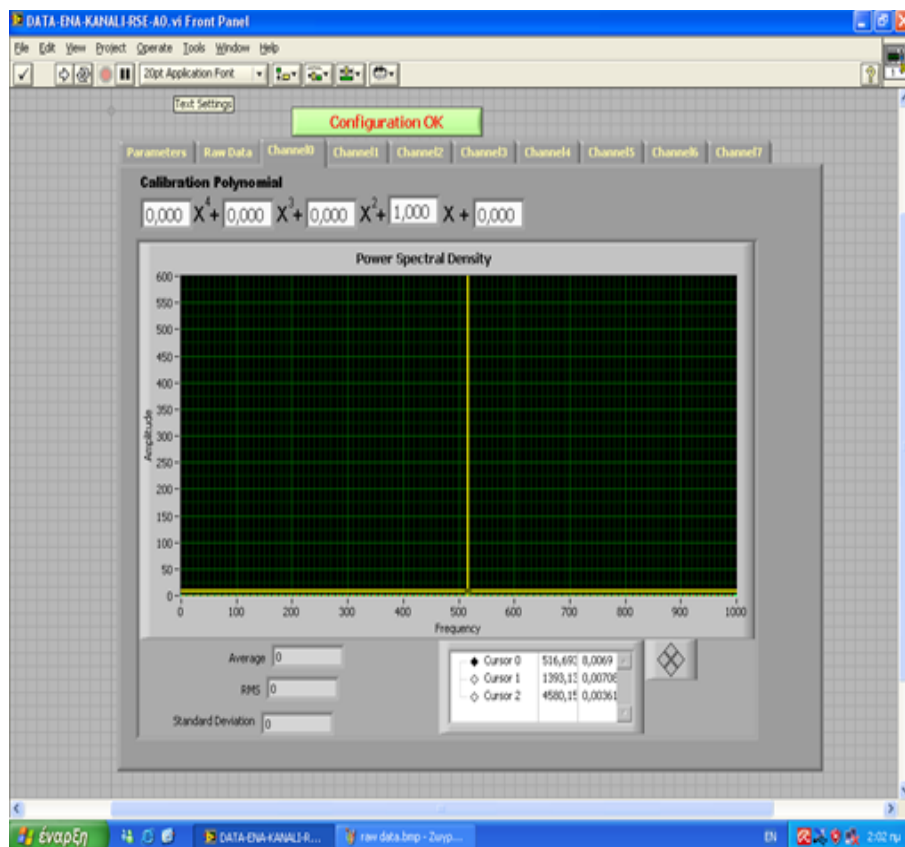


Εικόνα 4.6 Φύλλο εργασίας του LABVIEW και οι τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν

Σε κάθε πείραμα ο αριθμός δειγμάτων άλλαξε για να είναι επαρκής για την ανάλυση του κάθε φαινομένου. Επιλέξαμε 50 Hz γιατί προσφέρει μεγάλη ευκρίνεια και ακρίβεια στην κατανομή των τιμών. Τα παράθυρα *Channel Parameters* και *Select Channel(s) to display in RAW DATA tab* ήταν ίδια για όλα τα πειράματα.

Για όλες τις διατάξεις στο *Calibration Polynomial* των καρτελών *Channel0* και *Channel1* επιλέχθηκε η τιμή $1,000X$ και μηδενίστηκαν οι συντελεστές των υπόλοιπων μεταβλητών X καθώς κι η σταθερά της παράστασης. Η επιλογή του

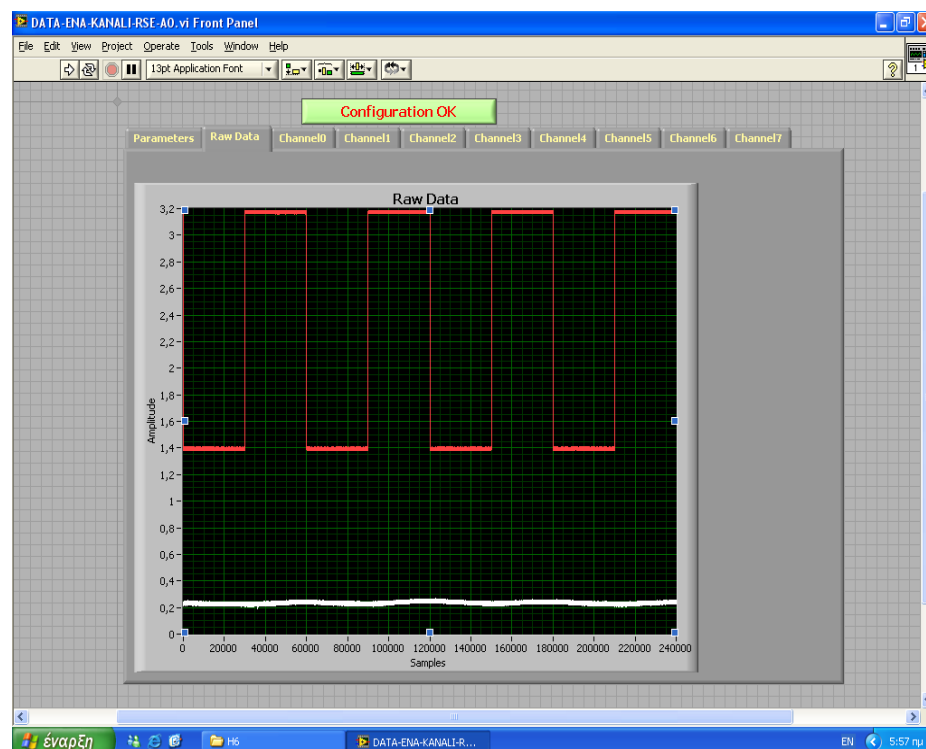
συντελεστή **1,000** για τον όρο X έχει ως αποτέλεσμα το *LABVIEW* να προβάλλει τις μετρούμενες τιμές στα αποτελέσματα ακριβώς όπως αυτές διαβάζονται από το πρόγραμμα χωρίς καμία επιπλέον επεξεργασία (Εικόνα 4.7).



Εικόνα 4.7 Επιλογή της μεταβλητής X στα channels 0 & 1

Στην καρτέλα *Raw Data* προβάλλονται σε σύστημα συντεταγμένων οι τιμές θερμοκρασίας (*Channel0*) και οι τιμές της θέσης του διακόπτη *On/Off* (*Channel1*) μετά το τέλος της κάθε δειγματοληψίας. Το διάγραμμα της θερμοκρασίας του πυρήνα αναπαριστάται με λευκό χρώμα, ενώ η θέση του διακόπτη με κόκκινο. Στον

κατακόρυφο άξονα αναγράφονται οι μετρούμενες τιμές και στον οριζόντιο ο αριθμός των δειγμάτων (Εικόνα 4.8).



Εικόνα 4.8 Διάγραμμα Raw Data στο LABVIEW

Η μέτρηση και τη καταγραφή των τιμών ξεκινάει επιλέγοντας τα εικονίδια **Run** και **Configuration OK**. Η λήψη τιμών σταματάει όταν παρέλθει το πλήθος των

δειγμάτων που έχουν εισαχθεί στο παράθυρο *Timing Parameters*. Όλα τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε στήλες σε αρχείο της μορφής *.txt* στους φακέλους που έχουν προεπιλεγεί από τον χρήστη του προγράμματος *LABVIEW*.

Για να είναι εύκολη η περιγραφή των συνθηκών του κάθε πειράματος επιλέξαμε ένα κώδικα ονομασίας στον οποίο αναγράφονται:

- Η ισχύς εισόδου στον πυρήνα του επεξεργαστή(**24W/48W**)
- Ο προσανατολισμός της διάταξης[Vertical (V) / Horizontal (H)]
- Η τάση τροφοδοσίας του *fan*(**1-5= 1,5 Volt/ 6Volt**)
- Ο χρόνος εναλλαγής της ισχύος εισόδου
(**2Min/5Min/10Min/15Min/20Min/30Min**)

Ακολουθεί ένα παράδειγμα όπου φαίνονται σχηματικά όλα τα προαναφερόμενα. (Σχήμα 4.1)

48W V1-5 20M

Σχήμα 4.1 Πρωτόκολλο ονομασίας των σεναρίων διέγερσης των πειραμάτων

4.2 Μελέτη της απόκρισης της θερμοκρασίας των πτερύγιων ψύξης

4.2.1 Εισαγωγή και καταγραφή δεδομένων στο σύστημα

Για να μελετηθεί η απόκριση της θερμοκρασίας του fan ως προς το πλάτος και τη φάση της έγινε μοντελοποίηση και επεξεργασία των τιμών που λάβαμε από το *LABVIEW* για διεξαγωγή συμπερασμάτων. Η σειρά πειραμάτων περιλάμβανε 4 διαφορετικά πρωτόκολλα δειγματοληψιών:

- ❖ [24WH6] Μέγιστη ισχύς εισόδου 24 Watt - Οριζόντιος προσανατολισμός - Τάση τροφοδοσίας ανεμιστήρα 6 Volts
- ❖ [24WH1,5] Μέγιστη ισχύς εισόδου 24 Watt-Οριζόντιος προσανατολισμός - Τάση τροφοδοσίας ανεμιστήρα 1,5Volts
- ❖ [V6] Μέγιστη ισχύς εισόδου 48 Watt- Κατακόρυφος προσανατολισμός - Τάση τροφοδοσίας ανεμιστήρα 6Volts
- ❖ [V1,5] Μέγιστη ισχύς εισόδου 48 Watt- Κατακόρυφος προσανατολισμός - Τάση τροφοδοσίας ανεμιστήρα 1,5Volts

Για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις μελετήθηκε η μετάβαση του συστήματος σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας. Η θέρμανση του συστήματος ξεκινούσε από θερμοκρασία δωματίου θέτοντας σε λειτουργία τόσο το *soldering iron* όσο και τον ανεμιστήρα. Ύστερα από συγκεκριμένο χρόνο, η θερμοκρασία του fan λάμβανε σταθερή τιμή, το σύστημα είχε έρθει σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας και η θέρμανση πλέον διακοπτόταν. Τα πειράματα ονομάστηκαν *COLDSTART* και παραθέτουμε όλα τα σενάρια *COLDSTART* που έλαβαν χώρα. (Σχήμα 4.1)

ΠΕΙΡΑΜΑ	Αριθμός Δειγμάτων	Συνολική διάρκεια πειράματος (min)	Θερμοκρασία Δωματίου(° C)
48WV6COLDSTART 1	120000	40	18,1
48WV6COLDSTART 2	120000	40	17,6
48WV1-5COLDSTART1	120000	40	17,7
48WV1-5COLDSTART2	120000	40	17
24WH6COLDSTART 1	180000	60	18,8
24WH6COLDSTART 2	180000	60	16,8
24WH1-5COLDSTART	180000	60	20,4

Σχήμα 4.1 Τα σενάρια COLDSTART που πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια των πειραμάτων

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των παραπάνω πειραμάτων COLDSTART παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. (Σχήμα 4.2)

1	Επιλογή προσανατολισμού	Horizontal
2	Επιλογή θέσης διακόπτη για τάση λειτουργίας fan	6V
3	Επιλογή θέσης ροοστάτη soldering station	24W
4	Επιλογή διακόπτη fan	ON
5	Επιλογή διακόπτη soldering station και αυτοσχέδιου διακόπτη	ON
6	Έναρξη εγγραφής μετρήσεων στο LABVIEW/ Καταγραφή χρόνου θερμοκρασίας	-
7	Αναμονή για μετάβαση σε κατάσταση ισορροπίας	-

8	Κατάσταση ισορροπίας/ Τερματισμός εγγραφής στο LABVIEW/ Αποθήκευση δεδομένων	-
9	Επιλογή διακόπτη soldering station & αυτοσχέδιου διακόπτη	OFF
10	Επιλογή διακόπτη fan	OFF
11	Επανάληψη βημάτων 1 έως 11 για κάθε σενάριο COLDSTART	-

Σχήμα 4.2 Αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στα σενάρια COLDSTART

Στη συνέχεια μελετήθηκε η απόκριση του συστήματος κατά την διακοπόμενη φόρτισή του.

Η έναρξη αυτής της φόρτισης λάμβανε χώρα κάθε φορά από τη κατάσταση θερμικής ισορροπίας. Ο αυτοσχέδιος διακόπτης και το soldering iron τίθονταν σε λειτουργία και απενεργοποιούνταν ταυτόχρονα για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Τα διαστήματα που επιλέχτηκαν στην παρούσα διπλωματική ήταν: **2M**, **5M**, **10M**, **15M**, **20M** και **30M** με σκοπό να προσομοιωθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η αυξομείωση της ισχύος λειτουργίας ενός επεξεργαστή H/Y. Τα σενάρια αυτών των πειραμάτων φαίνονται στους παρακάτω πίνακες (Σχήμα 4.3, 4,4 4,5, 4,6)

START from:	VOLTAGE of FAN(Volts) & POSITION	DURATION of HEAT ON/OFF (minutes)	NUMBER of SAMPLES	MIN TOTAL DURATION of EXPERIMENT(minutes)	FILE NAME	ROOM TEMPERA TURE(° C)
WARM	6	2	120000	40	24WH62M	18,9

state	Horizontal					
WARM state	6 Horizontal	10	240000	80	24WH610M	21,1
WARM state	6 Horizontal	20	360000	120	24WH620M	19,2
WARM state	6 Horizontal	30	360000	120	24WH630M	17,6

Σχήμα 4.3 Σειρά πειραμάτων σε οριζόντιο προσανατολισμό και τάση τροφοδοσίας fan 6Volt

START from:	VOLTAGE of FAN(Volts) & POSITION	DURATION of HEAT ON/OFF (minutes)	NUMBER of SAMPLES	MIN TOTAL DURATION of EXPERIMENT(minutes)	FILE NAME	ROOM TEMPERATURE(° C)
WARM state	W 1,5 Horizontal	2	120000	40	4WH1-52M	218,9
WARM state	W 1,5 Horizontal	10	240000	80	4WH1-510M	2 17,6
WARM state	W 1,5 Horizontal	20	360000	120	4WH1-520M	2 19,6

WAR M state	W 1,5 Horizontal	30	360000	120	4WH1- 530M	2	19,9

Σχήμα 4.4 Σειρά πειραμάτων σε οριζόντιο προσανατολισμό και τάση τροφοδοσίας fan 1,5Volt

WAR M state	W 1,5 Vertical	2	120000	40	48WV1-52M		16,5
WAR M state	W 1,5 Vertical	5	120000	40	48WV1-55M		19,7
WAR M state	W 1,5 Vertical	10	240000	80	48WV1-510M		22,3
WAR M state	W 1,5 Vertical	15	360000	120	48WV1-515M		18,6
WAR M state	W 1,5 Vertical	20	360000	120	48WV1-520M		17,6
WAR M state	W 1,5 Vertical	30	360000	120	48WV1-530M		18

Σχήμα 4.5 Σειρά πειραμάτων σε κατακόρυφο προσανατολισμό και τάση τροφοδοσίας fan 1,5Volt

START from:	VOLTAGE of FAN(Volts) & POSITION	DURATION of HEAT ON/OFF (minutes)	NUMBER of SAMPLES	MI N TOTAL DURATION of EXPERIMENT(minutes)	FILE NAME	ROOM TEMPERATURE(° C)
WARM state	W Vertical	6 2	120000	40	8WV62M	18,1
WARM state	W Vertical	6 5	120000	40	8WV65M	17,7
WARM state	W Vertical	6 10	240000	80	8WV610M	19,5
WARM state	W Vertical	6 15	360000	12 0	8WV615M	17,6
WARM state	W Vertical	6 20	360000	12 0	8WV620M	19,3
WARM state	W Vertical	6 30	360000	12 0	8WV630M	18,6

Σχήμα 4.6 Σειρά πειραμάτων σε κατακόρυφο προσανατολισμό και τάση τροφοδοσίας fan 6Volt

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των παραπάνω πειραμάτων διακοπτόμενης ισχύος παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα. (Σχήμα 4.7)

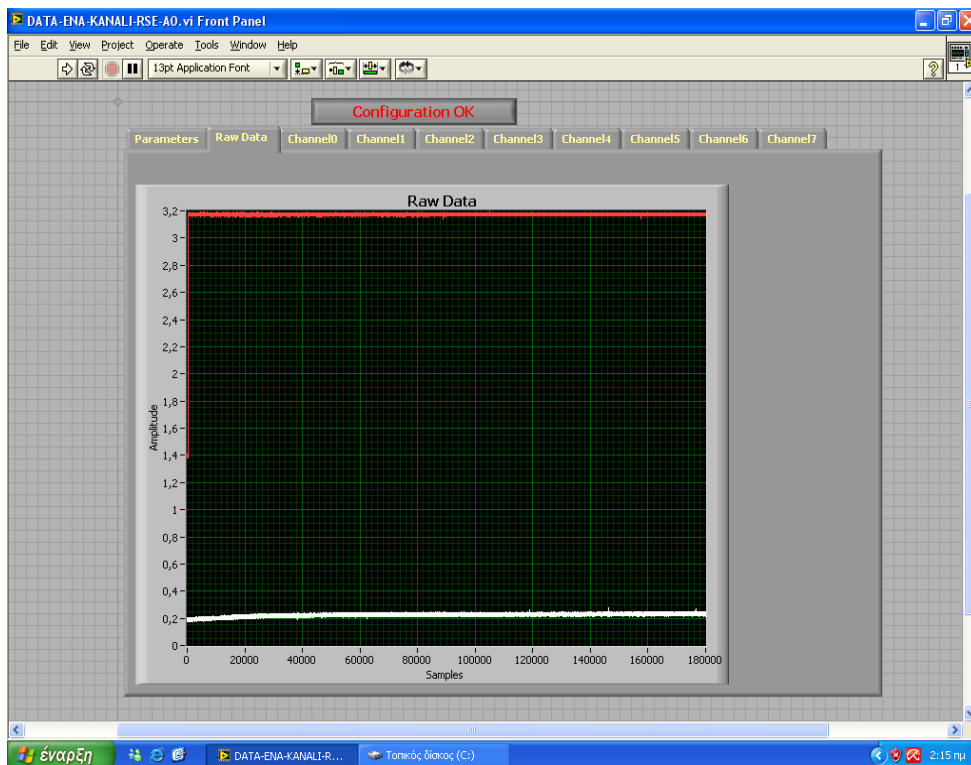
1	Επιλογή προσανατολισμού	Horizontal
2	Επιλογή θέσης	6V

	διακόπτη για τάση λειτουργίας fan	
3	Επιλογή θέσης ροοστάτη soldering station	24W
4	Επιλογή διακόπτη fan	ON
5	Επιλογή διακόπτη soldering station και αυτοσχέδιου διακόπτη	ON
6	Αναμονή μετάβασης συστήματος σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας	-
7	Θερμική ισορροπία	-
8	Έναρξη καταγραφής μετρήσεων – χρόνου θερμοκρασίας στο LABVIEW	-
9	Χρόνος αναμονής	2M
10	Επιλογή διακόπτη soldering iron & αυτοσχέδιου διακόπτη	OFF
11	Χρόνος αναμονής	2M
12	Επιλογή διακόπτη soldering iron & αυτοσχέδιου διακόπτη	ON
13	Επανάληψη Βημάτων 9 έως 12 ώσπου να τερματίσει	-
14	Τερματισμός καταγραφής και αποθήκευση δεδομένων	-
15	Επανάληψη βημάτων 5 έως 14 για κάθε σενάριο του πίνακα 4.3	-
16	Επανάληψη βημάτων 1 έως 15 για καθένα από τους πίνακες 4.4, 4,5, 4,6	-

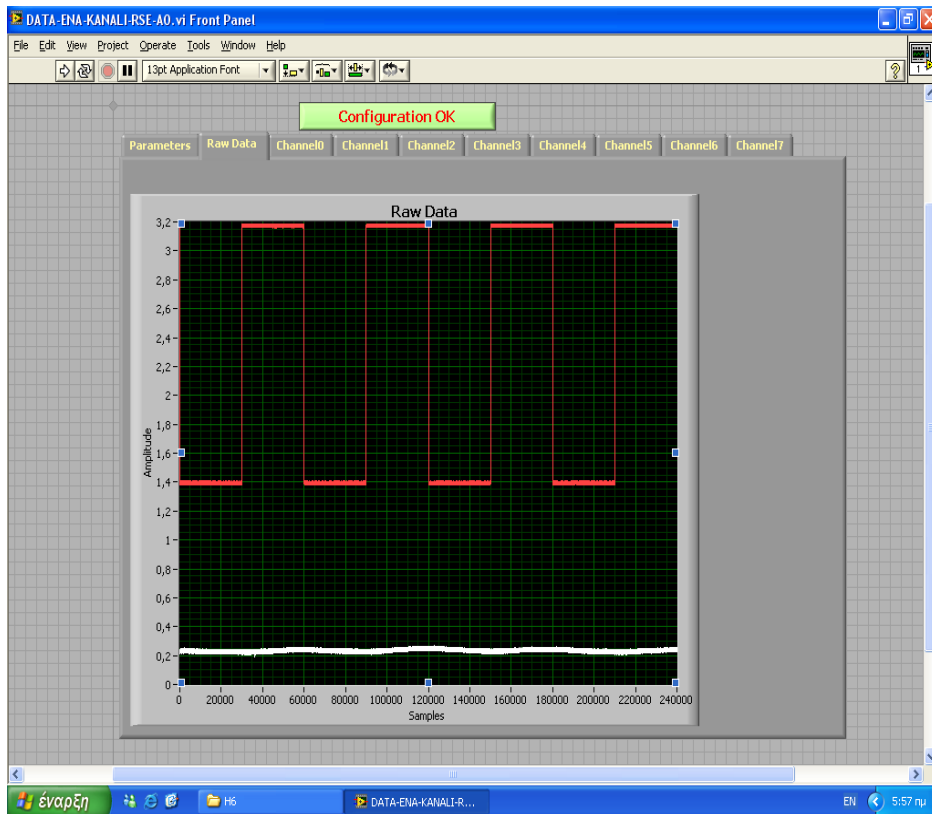
Σχήμα 4.7 Αλγόριθμος που χρησιμοποιήθηκε στα σενάρια διακοπτόμενης φόρτισης του πυρήνα

4.2.2 Επεξεργασία δεδομένων

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων και μέσω της καρτέλας *Raw Data* του προγράμματος *LABVIEW* παρατηρήθηκε η συσχέτιση μεταξύ της πραγματικής απόκρισης του υπό μελέτη συστήματος με την αντίστοιχη απόκριση ενός συστήματος 1^{ης} τάξεως. Η συσχέτιση αυτή εμφανίστηκε τόσο κατά τη διάρκεια βηματικής εισόδου (*COLDSTART*) όσο και κατά την εναλλασσόμενη είσοδο στο σύστημα η οποία και προσομοιάστηκε με περιοδικό ημιτονοειδές σήμα για τη σύγκρισή του με τη θεωρία. Η παραπάνω αναφορά είναι εμφανής μέσω της σύγκρισης των διαγραμμάτων *Raw Data* βηματικής και μεταβαλλόμενης εισόδου (Σχήμα 4.8, 4.9) και των θεωρητικών διαγραμμάτων (Σχήματα 2.3, 2.4, 2.5, 2.6) του δευτέρου κεφαλαίου.



Σχήμα 4.8 Διάγραμμα Raw Data βηματικής εισόδου

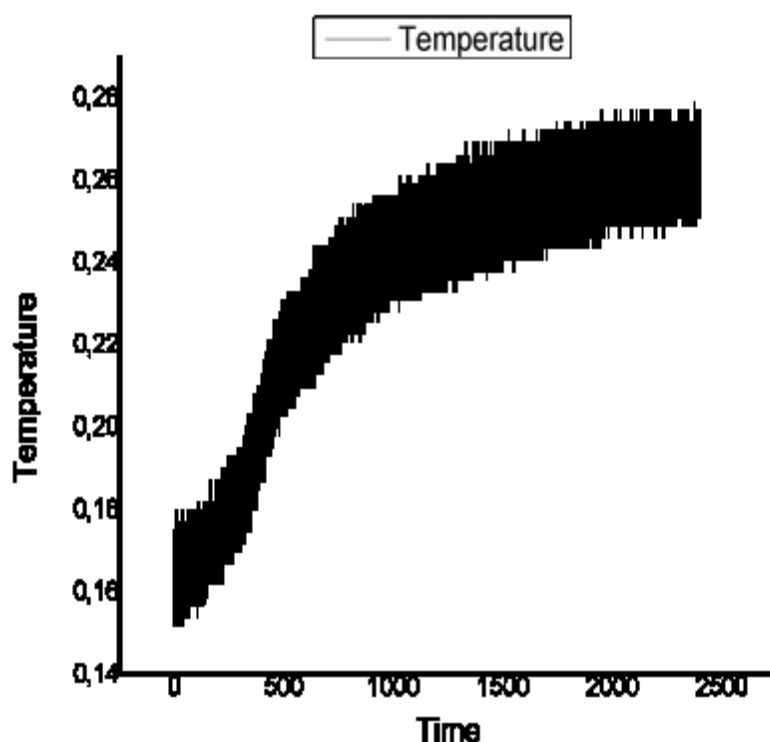


Σχήμα 4.9 Διάγραμμα Raw Data μεταβαλλόμενης εισόδου

Τα πειράματα COLDSTART, όπως προαναφέρθηκε, εμφάνισαν απόκριση βηματικής εισόδου όμοια με αυτή των συστημάτων 1^{ης} τάξεως. Με βάση αυτή την απόκριση πραγματοποιήθηκε ο υπολογισμός της χρονικής σταθεράς τ η οποία είναι απαραίτητη για τη μελέτη της μεταβατικής κατάστασης του συστήματος στα επόμενα πειράματα μεταβαλλόμενης ισχύος εισόδου. Η χρονική αυτή σταθερά εξήχθη μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων στο ειδικό υπολογιστικό πρόγραμμα.

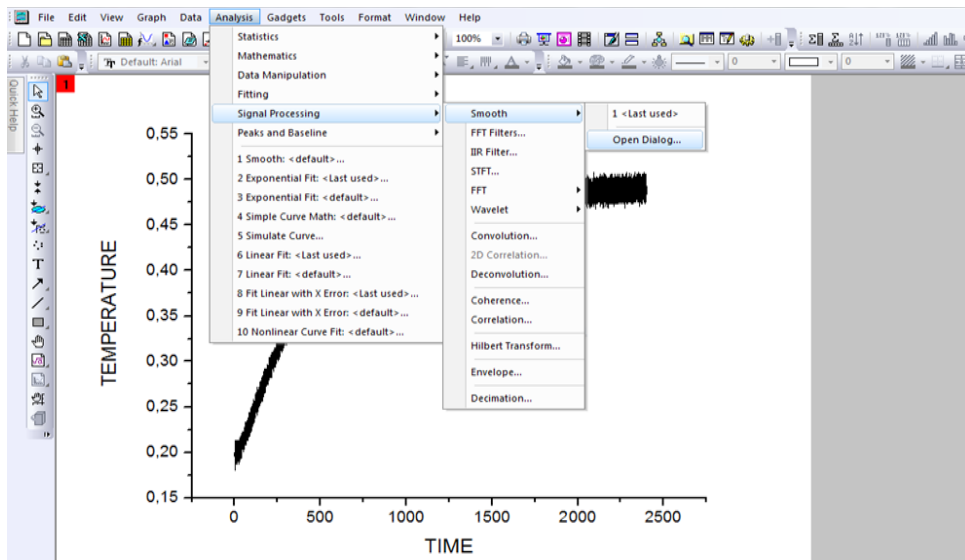
Από τα αρχεία τα οποία αποθηκεύτηκαν σε μορφή .txt μέσω του προγράμματος LABVIEW, έγινε εισαγωγή των τιμών θερμοκρασίας στο περιβάλλον επεξεργασίας του υπολογιστικού προγράμματος. Στη συνέχεια, γνωρίζοντας τη

συχνότητα λήψης των δεδομένων, έγινε αντιστοίχιση της κάθε τιμής με τη χρονική στιγμή στην οποία καταγράφηκε. Η γραφική παράσταση των δύο αυτών στηλών απέδωσε την εξέλιξη της θερμοκρασίας σε συνάρτηση με το χρόνο όπως διακρίνεται στο Σχήμα 4.10.

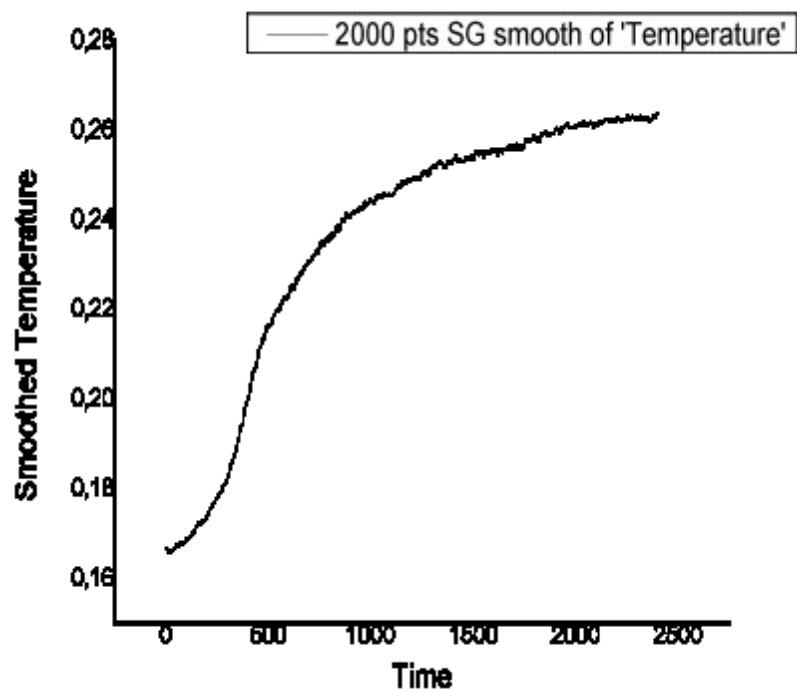


Σχήμα 4.10 Γραφική παράσταση μεταβολής θερμοκρασίας του Fan με το χρόνο

Όπως φαίνεται η γραφική αυτή παράσταση όμως παρουσιάζει θορυβώσεις, οι οποίες οφείλονται κυρίως σε ατέλειες του *hardware* που χρησιμοποιήθηκε. Για την εξάλειψη λοιπόν αυτών των θορυβώσεων πραγματοποιήθηκε ομαλοποίηση των τιμών μέσω της επιλογής *smoothing* του προγράμματος (Σχήματα 4.11, 4.12).



Σχήμα 4.11 Επιλογή Smooth στο περιβάλλον του υπολογιστικού προγράμματος



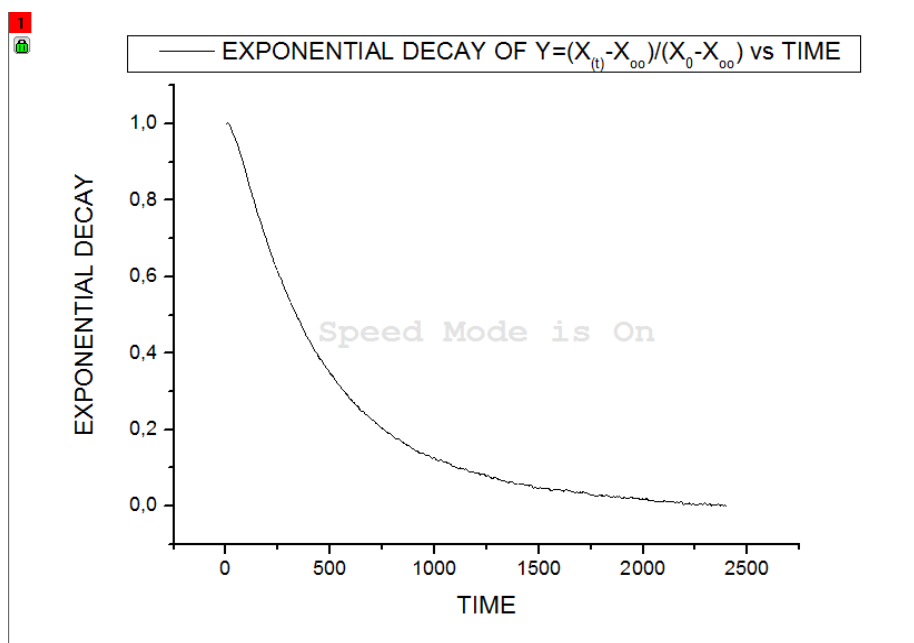
Σχήμα 4.12 Γραφική παράσταση της θερμοκρασίας του Fan με το χρόνο μετά το smoothing

Ακολούθως, έγινε περαιτέρω επεξεργασία της στήλης των θερμοκρασιών μέσω του θεωρητικού τύπου 2.28, που δημιούργησε τη τελική στήλη δεδομένων $y =$

$\frac{x(t) - x_{\infty}}{x_0 - x_{\infty}}$. Η γραφική παράσταση αυτής της στήλης με τον χρόνο, όπως

υπαγορεύεται κι από τη θεωρία ($y = e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)}$) έχει την μορφή συνάρτησης εκθετικής

μείωσης όπως φαίνεται και στο διάγραμμα του σχήματος 4.13

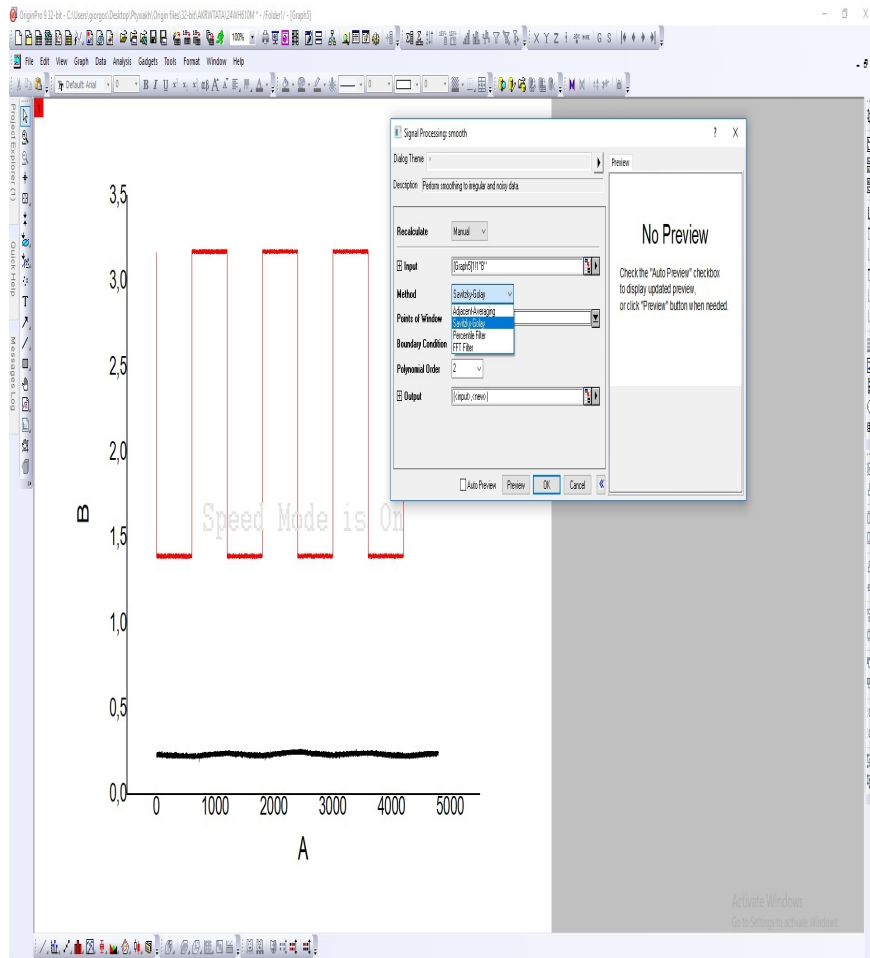


Σχήμα 4.13 Η καμπύλη εκθετικής μείωσης (*Exponential Decay*) των θερμοκρασιών σε σχέση με το χρόνο

Για να μελετηθεί η απόκριση κατά τη παλμική είσοδο έγινε προσομοίωση του σήματος με ένα αντίστοιχο ημιτονοειδές της ίδιας συχνότητας και πλάτους για να συγκριθούν τα χαρακτηριστικά απόκρισης του με τα χαρακτηριστικά της απόκρισης του πραγματικού παλμικού σήματος.

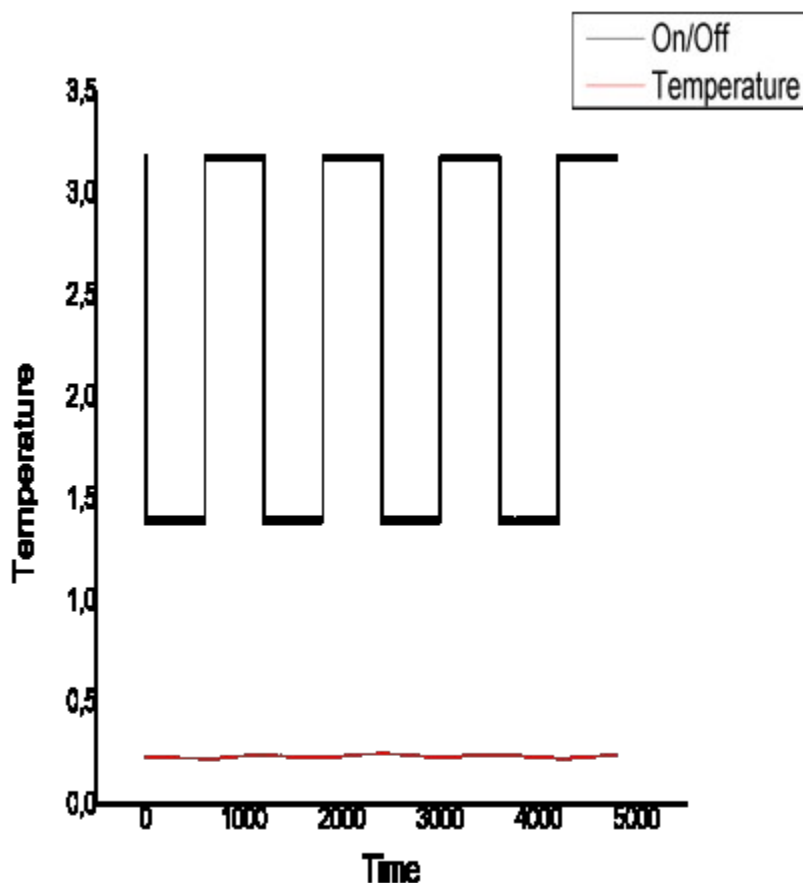
Χρησιμοποιώντας τη χρονική σταθερά τ και την αναλυτική σχέση 2.32 του δεύτερου κεφαλαίου, προέκυψε ο υπολογισμός του συντελεστή $[1 + (\omega \tau)^2]^{1/2}$ του περιοδικού όρου της ημιτονοειδούς συνάρτησης απόκρισης για όλα τα πειράματα μεταβαλλόμενης ισχύος εισόδου. Ο συντελεστής αυτός αποτελεί ένα μέτρο της μείωσης του πλάτους ταλάντωσης της απόκρισης του συστήματος 1^{ης} τάξεως για ημιτονοειδή είσοδο. Ο υπολογισμός αυτός θεωρείται ότι γίνεται σε μεγάλες τιμές

χρόνου ούτως ώστε ο μεταβατικός όρος $C_1 * e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)}$ της σχέσης 2.32 να είναι όσο το δυνατόν μικρότερος. Στην συνέχεια έγινε εισαγωγή των δεδομένων θερμοκρασίας για μεταβαλλόμενη ισχύ εισόδου στο λογισμικό υπολογισμού στον Η/Υ. (Σχήμα 4.15)



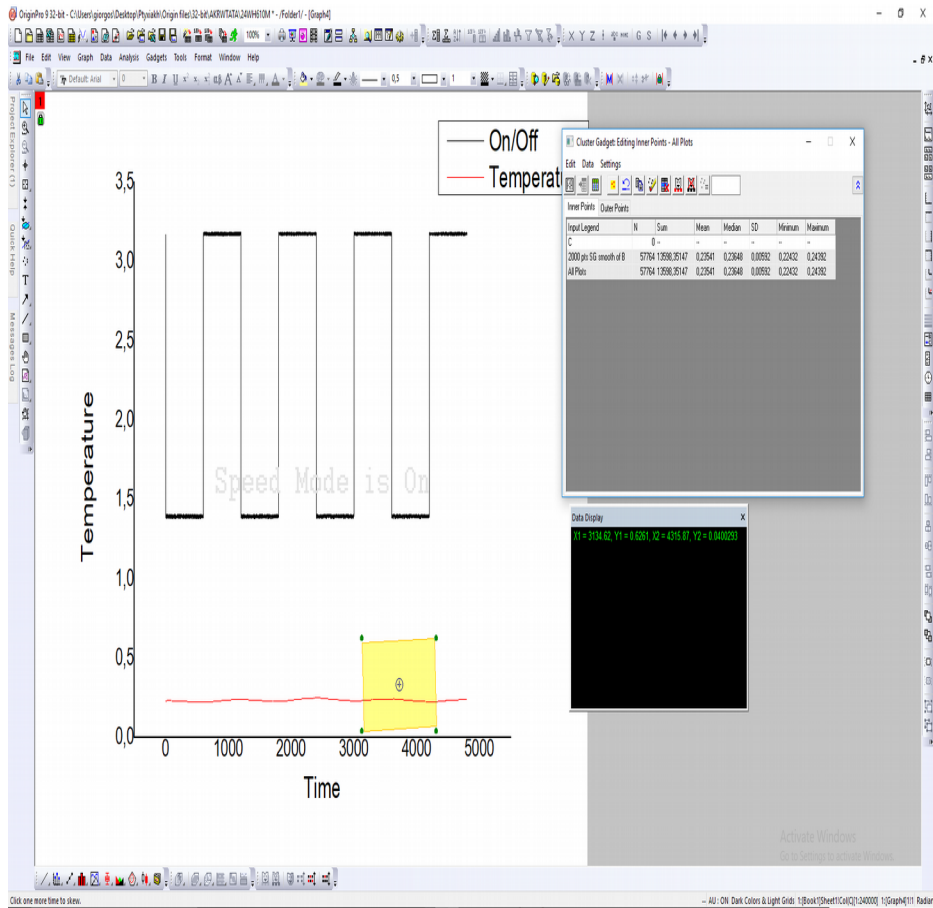
Σχήμα 4.15 Η επιλογή της μεθόδου *Savitzky-Golay* στο ειδικό λογισμικό για τη μείωση του θορύβου

Στην συνέχεια με ομαλοποίηση των τιμών αυτών για εξάλειψη του θορύβου δημιουργήθηκαν καινούργια διαγράμματα σήματος εισόδου-ισχύος και σήματος εξόδου-θερμοκρασίας σε συνάρτηση με τον χρόνο (Σχήμα 4.16)



Σχήμα 4.16 Διάγραμμα εισαγόμενης ισχύος και θερμοκρασίας έπειτα από ομαλοποίηση των θορυβώσεων

Επίσης καταγράφηκαν οι μέσες τιμές των ανώτατων και κατώτατων σημείων για τους δύο, τρεις τελευταίους κάθε φορά κύκλους φόρτισης του συστήματος για κάθε σενάριο ώστε να υπάρχει καλύτερη ακρίβεια στις μετρήσεις (Σχήμα 4.17).



Σχήμα 4.17 Εύρεση των ακρότατων τιμών για το πλάτος γραφικά μέσω της επιλογής cluster

Στη συνέχεια υπολογιζόταν η διαφορά αυτών των ακρότατων τιμών και διαιρούταν με το μέγιστο θεωρητικό πλάτος της ταλάντωσης ($x_0 - x_\infty$), με σκοπό να υπολογιστεί ο πραγματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους του σήματος

απόκρισης. Τέλος, ακολούθησε σύγκριση μεταξύ των πραγματικών και θεωρητικών συντελεστών μείωσης του πλάτους απόκρισης.

Η μελέτη της φάσης της απόκρισης του συστήματος πραγματοποιήθηκε με δύο διαφορετικούς τρόπους. Αρχικά, υπολογίστηκε θεωρητικά από τη σχέση 2.34 του δεύτερου κεφαλαίου η διαφορά φάσης για την προσομοιωμένη ημιτονοειδή είσοδο.

Επίσης για κάθε διαφορετική μέτρηση υπολογίστηκε η διαφορά φάσης στις ακρότατες τιμές θερμοκρασίας στον πυρήνα και στα πτερύγια ψύξης του συστήματος. Οι μετρήσεις της θερμοκρασίας στον πυρήνα για κάθε σενάριο υπολογίστηκε από την διπλωματική εργασία του Φιλοκώστα Χρήστου και του Επισκόπου Παναγιώτη με θέμα: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΡΗΝΑ Η/Υ ΣΕ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.

Κεφάλαιο 5 Διεξαγωγή Αποτελεσμάτων

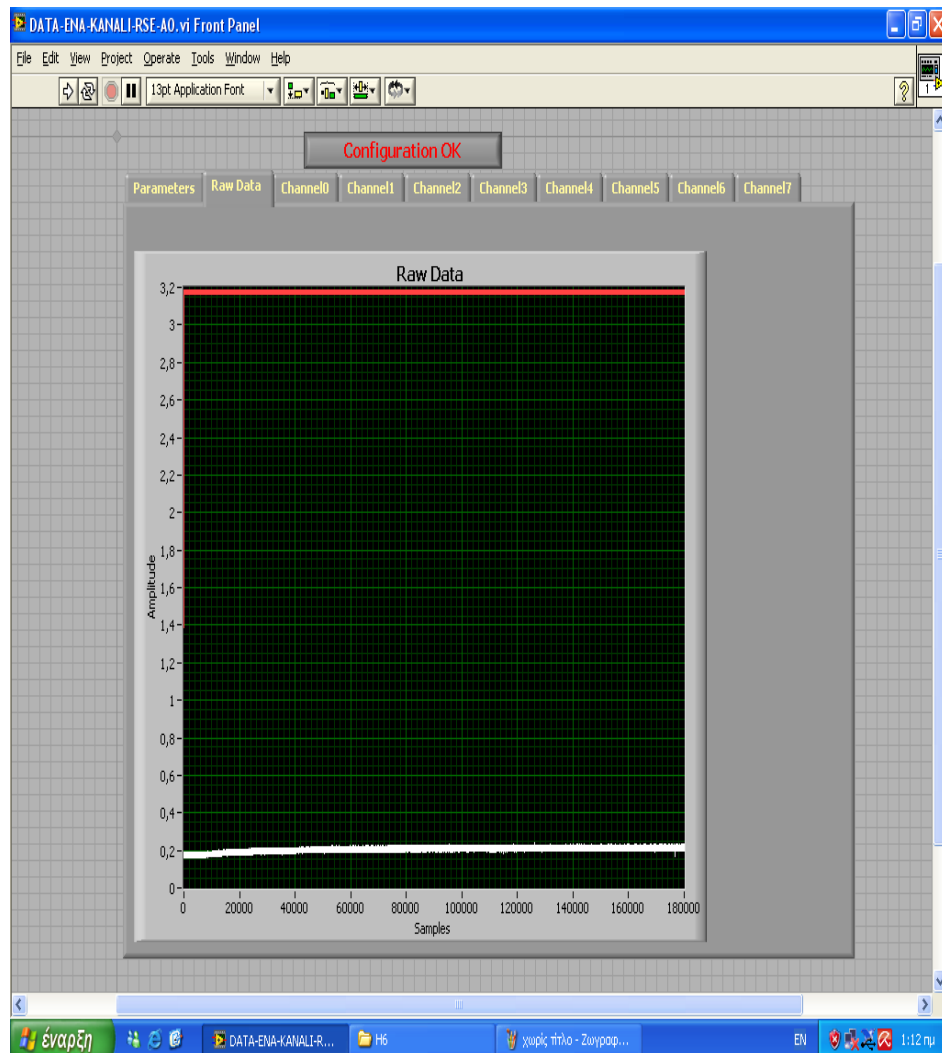
5.1 Πειράματα ψυχρής εκκίνησης (coldstarts)

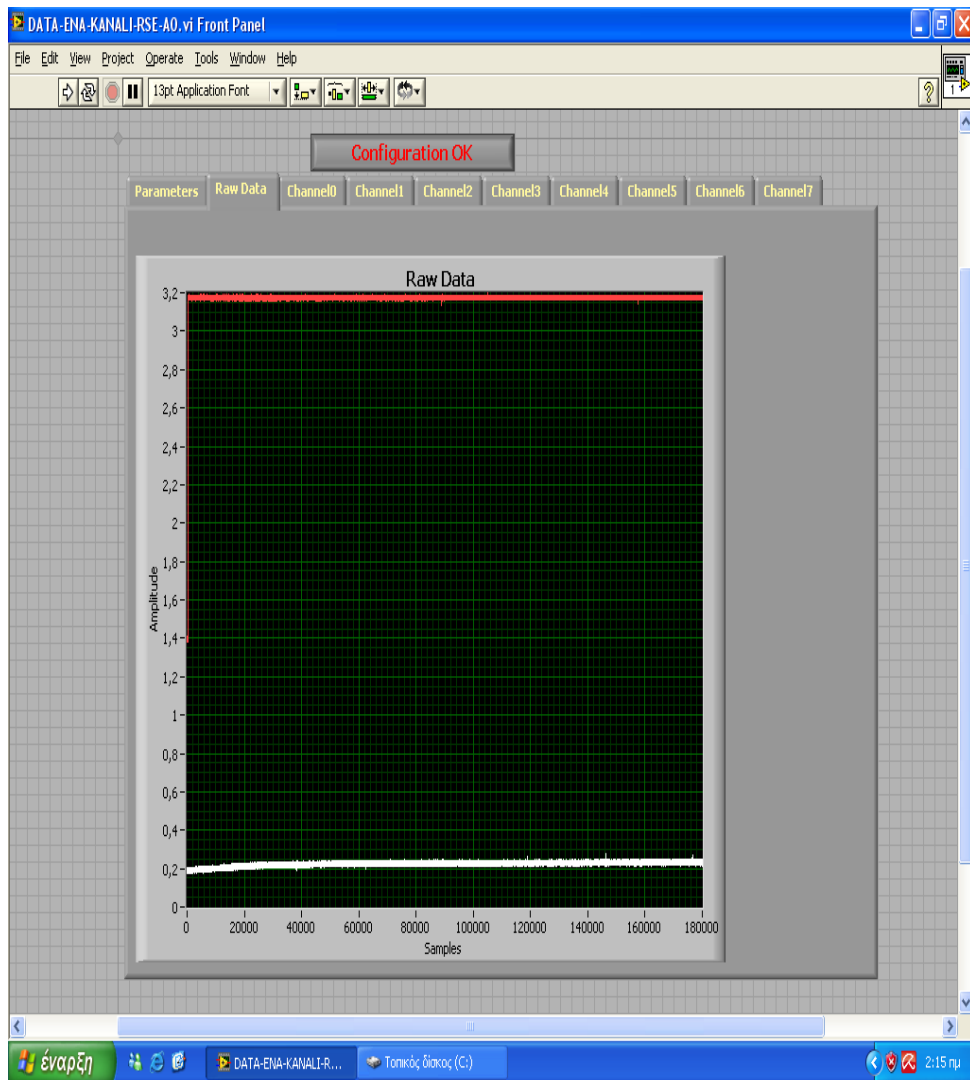
Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν δοκιμαστικές μετρήσεις και μεθοδολογίες και μέσω του προγράμματος LABVIEW εξήχθησαν οι παρακάτω διαπιστώσεις και συμπεράσματα, όπου χρησιμοποιήθηκαν για την πραγματοποίηση των κύριων μετρήσεων της παρούσας διπλωματικής:

- ❖ Στα πειράματα οριζόντιας διάταξης και μέγιστης ισχύς(48W) παρατηρήθηκε ραγδαία αύξηση της θερμοκρασίας στο fan, με κίνδυνο να δημιουργηθεί βλάβη στο σύστημα.Για το λόγο αυτό όλες οι μετρήσεις σε οριζόντιο προσανατολισμό πραγματοποιήθηκαν με ισχύ εισόδου 24W.
- ❖ Στα πειράματα κατακόρυφης διάταξης κρίθηκε ασφαλής η μέγιστη ισχύς εισόδου (48W)
- ❖ Για τα πειράματα COLDSTART με ισχύ εισόδου 48W, αποφασίστηκε ως ικανοποιητικός χρόνος δειγματοληψίας 40min (50 Hz, 120000 samples)
- ❖ Για τα πειράματα COLDSTART με ισχύ εισόδου 24W αποφασίστηκε ως ικανοποιητικός χρόνος δειγματοληψίας 60min (50 Hz 18000 samples)

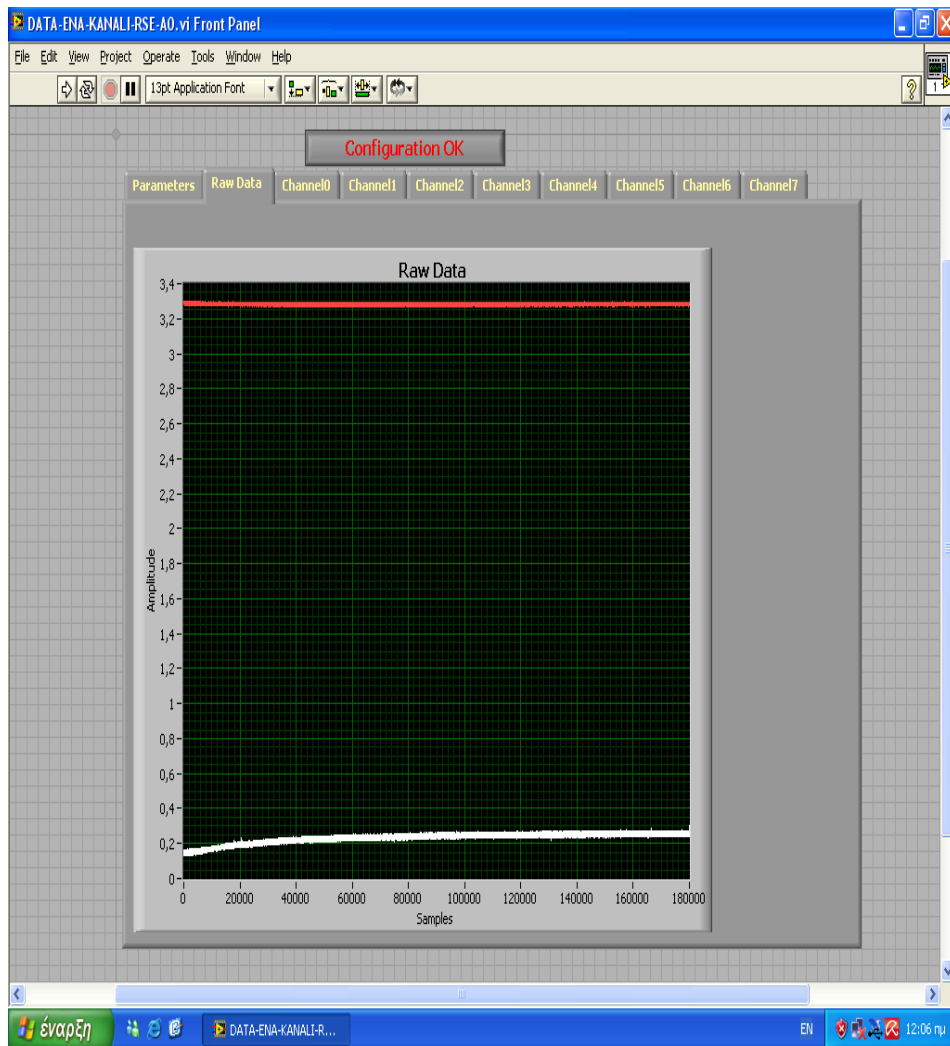
- ❖ Κρίθηκε απαραίτητο, τα πειράματα μεταβαλλόμενης ισχύος εισόδου στο σύστημα, να ξεκινούν αμέσως μετά την διεξαγωγή των πειραμάτων COLDSTART.

Όπως επισημάνθηκε τα πειράματα COLDSTART διεξήχθησαν για διαφορετική ισχύ εισόδου στο σύστημα [24W,48W], για διαφορετικό προσανατολισμό του αγωγού θερμότητας [horizontal,vertical] και διαφορετική τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα [1,5V, 6V]. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά λοιπόν όλα τα διαγράμματα των πειραμάτων COLDSTART, πριν την επεξεργασία τους στο υπολογιστικό πρόγραμμα. (Εικόνες 5.1α, 5.1β, 5.2, 5.3α, 5.3β, 5.4α, 5.4β)

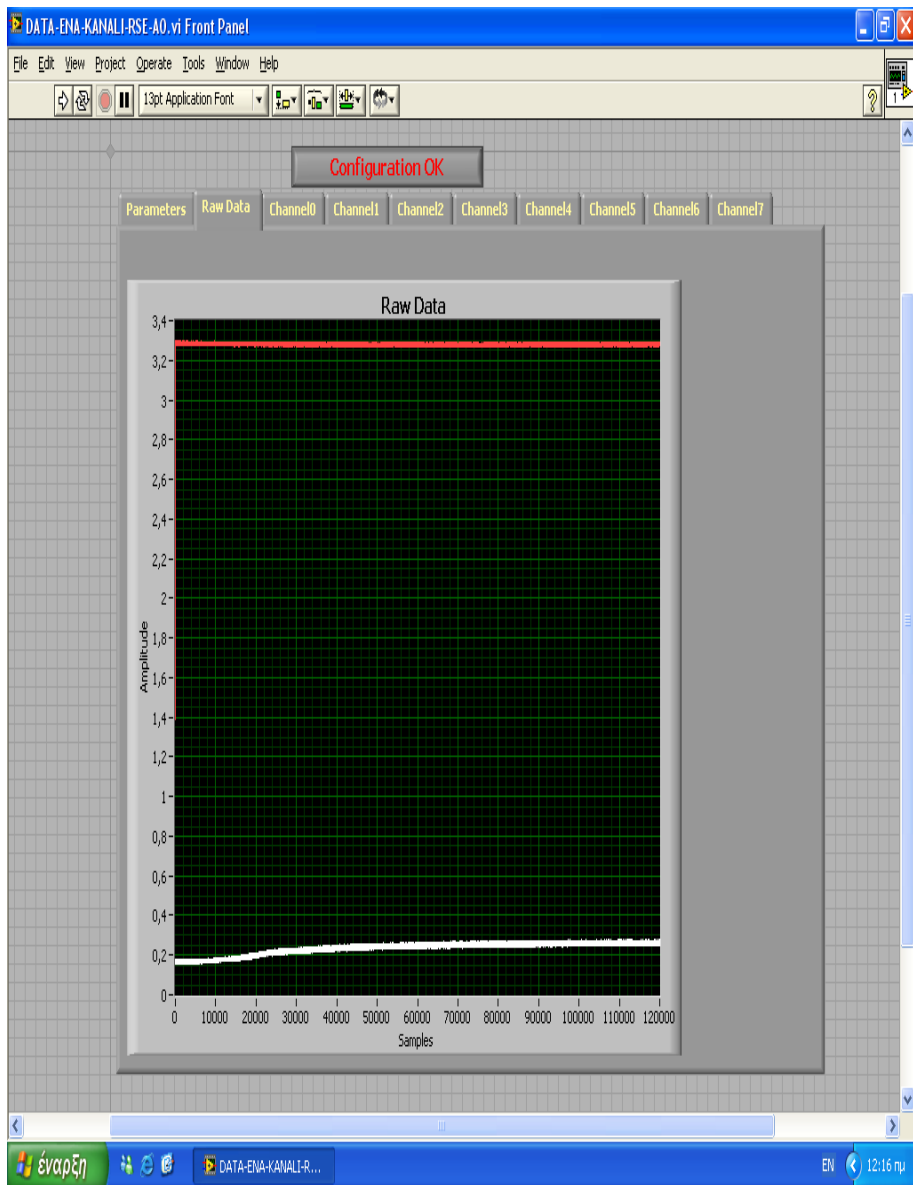




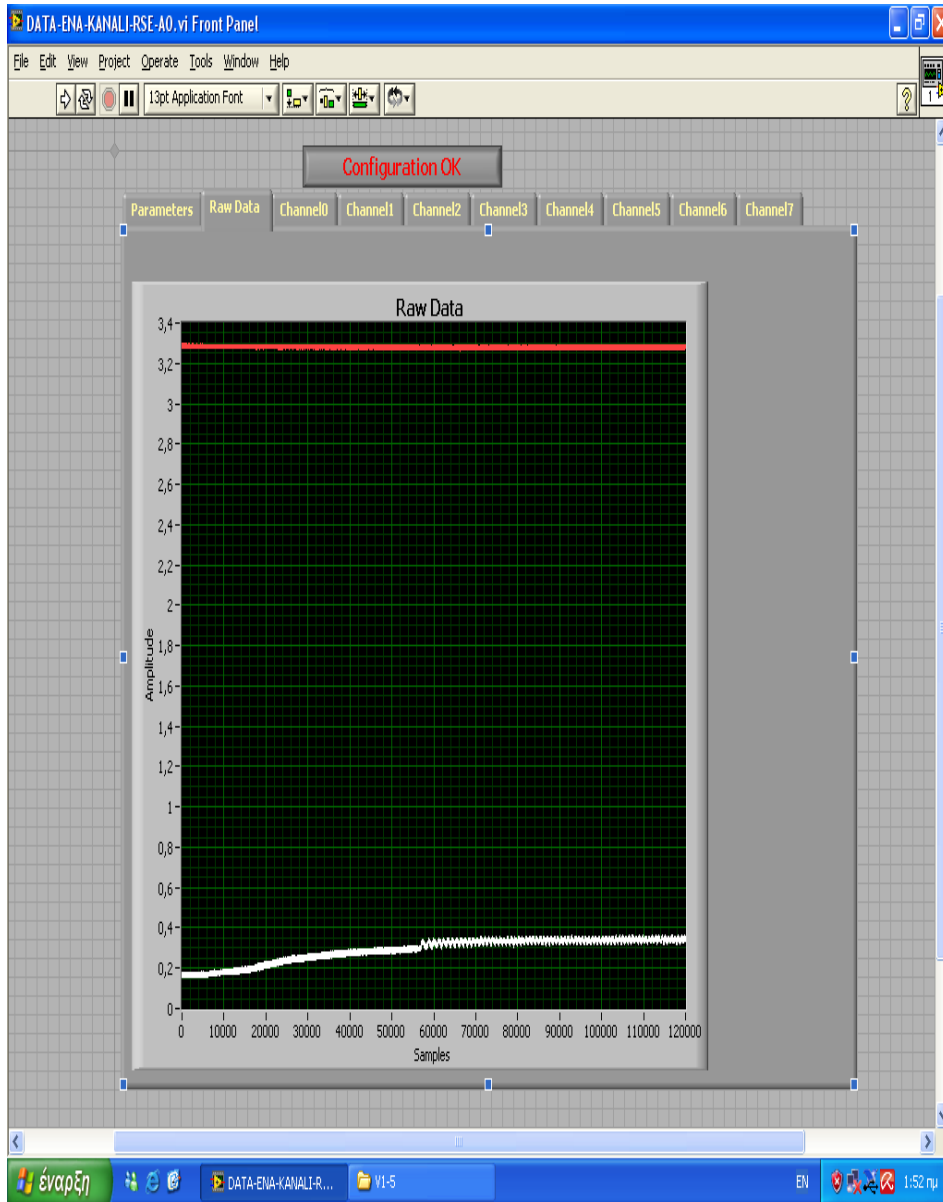
Εικόνες 5.3α, 5.3β Διαγράμματα 24WH6COLDSTART1 –
24WH6COLDSTART2

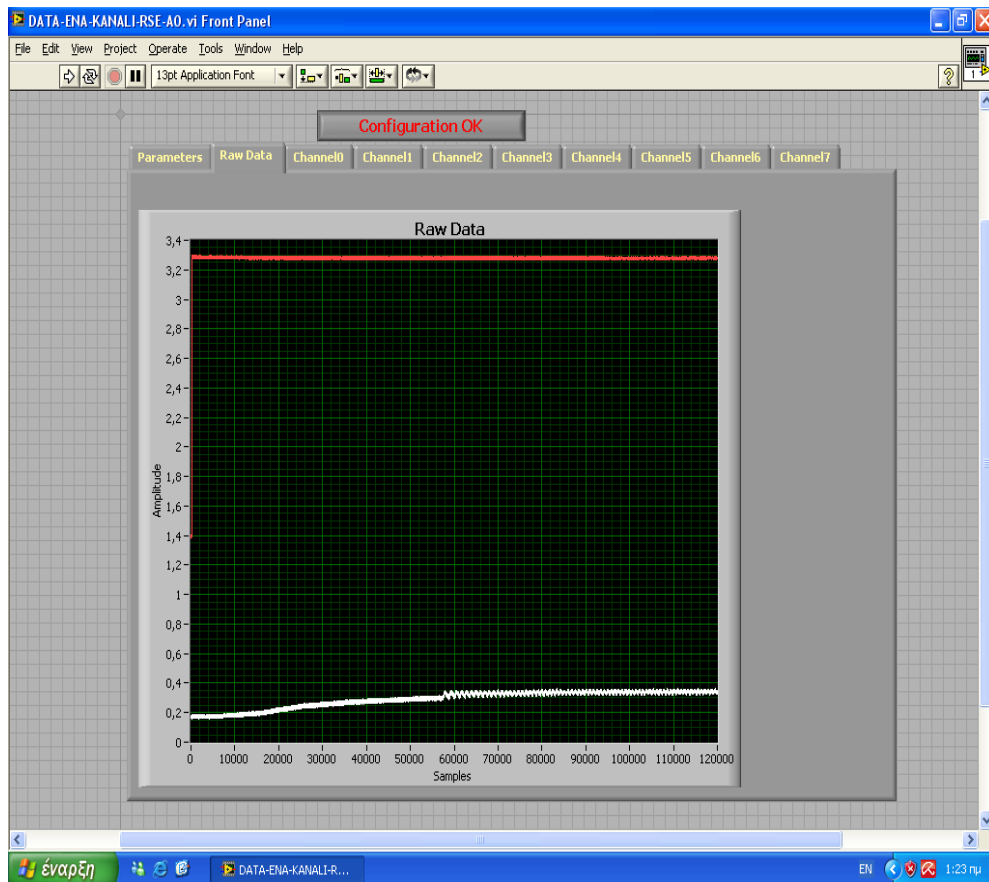


Εικόνα 5.4 Διάγραμμα 24WH1-5COLDSTART



Εικόνες 5.5α 5.5β Διαγράμματα 48WV6COLDSTART1-2



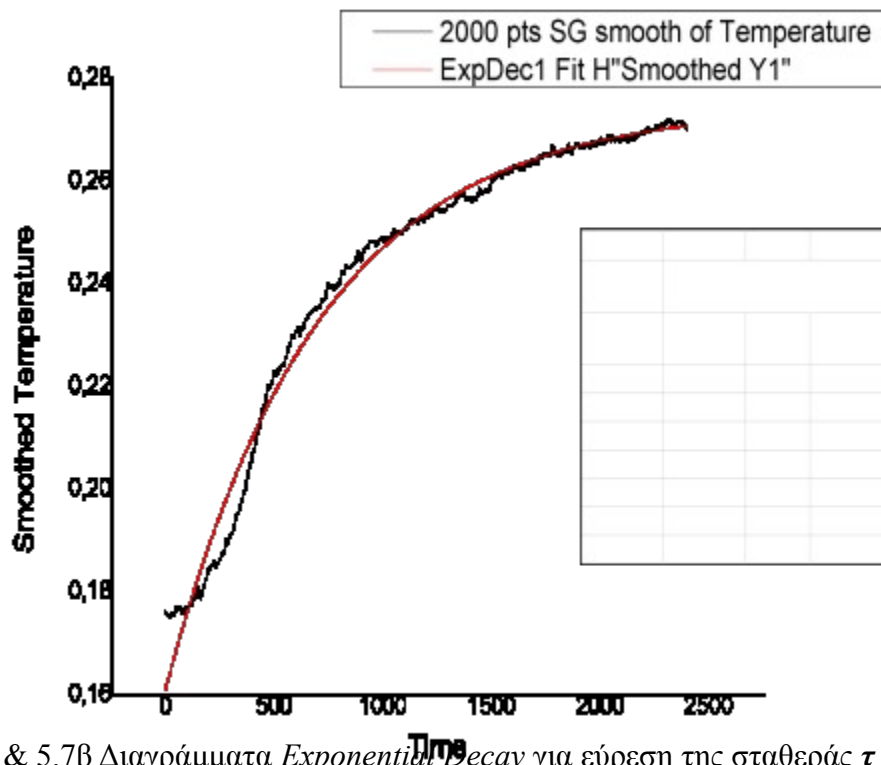
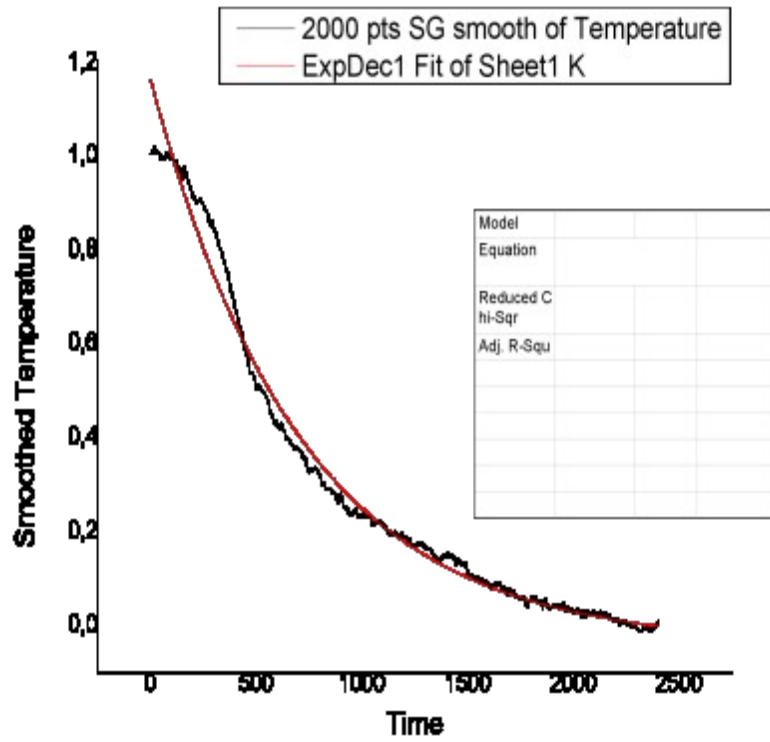


Εικόνες 5.6α 5.6β Διαγράμματα 48WV1-5COLDSTART1 – 48WV1-5COLDSTART2

Φαίνεται και διαγραμματικά λοιπόν ότι για 24W η θερμοκρασία στα περύγια ψύξης ισορροπεί ύστερα από μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, από ότι όταν λειτουργούσε σε μέγιστη (48 Watt). Να επισημανθεί ότι σε αυτό το κεφάλαιο θα χρησιμοποιείται η ονομασία που αναλύσαμε στο 4^ο Κεφάλαιο (π.χ 24H6COLDSTART) για τα σενάρια COLDSTART, καθώς και για τα σενάρια της μεταβαλλόμενης εισόδου.

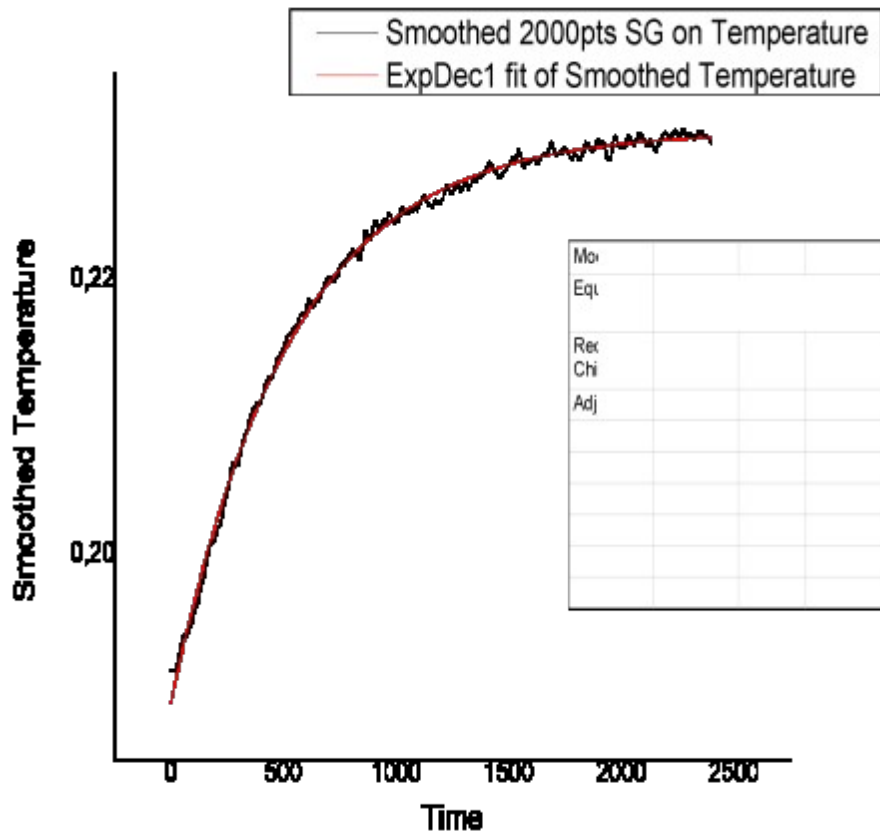
Αρχικά, έγινε ανάλυση της βηματικής εισόδου στο σύστημα για τον υπολογισμό της χρονικής σταθεράς τ και σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα Exponential Decay-

Time(Εικόνες 5.7α, 5.7β, 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12) στο υπολογιστικό πρόγραμμα σύμφωνα με τη μεθοδολογία αναλύθηκε στο 4^ο κεφάλαιο. Στη συνέχεια όλες οι υπολογισμένες χρονικές σταθερές του κάθε σεναρίου συγκεντρώνονται σε πίνακα (Πίνακας 5.1) για τη καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων. Να επισημανθεί ότι στα διαγράμματα η χρονική σταθερά τ συμβολίζεται με **t1**.

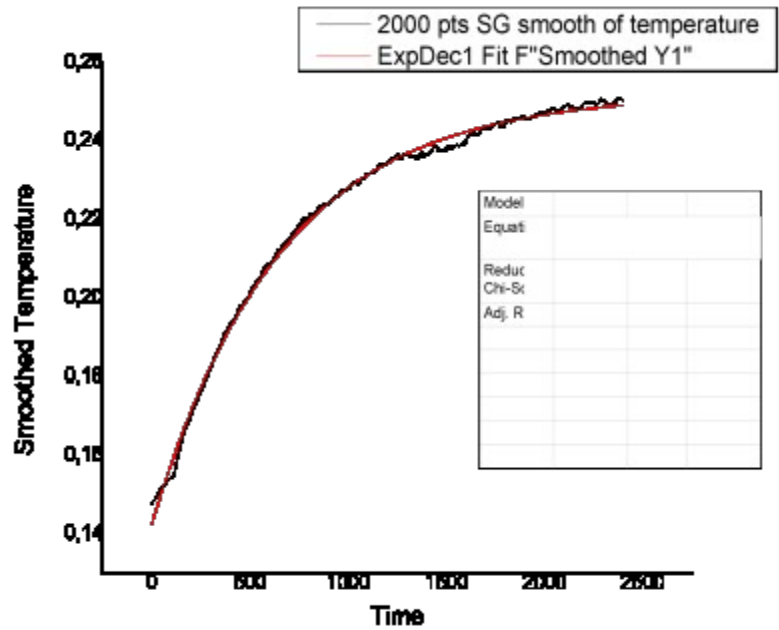


Εικόνα 5.7α & 5.7β Διαγράμματα *Exponential Decay* για εύρεση της σταθεράς τ στο σενάριο *48WV6COLDSTART1*

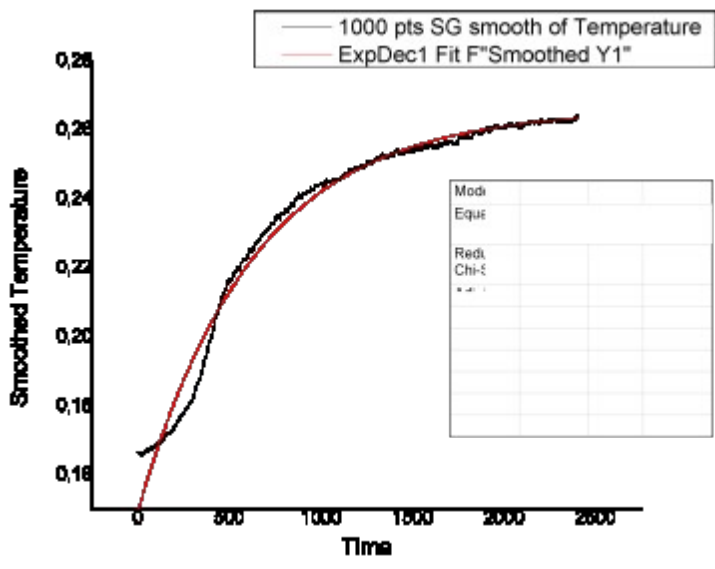
Παρατηρείται εδώ λοιπόν ότι η χρονική σταθερά τ είναι η ίδια, $t1=705.57$ ανεξάρτητα αν η καμπύλη ακολουθεί εκθετική αύξηση ή μείωση



Εικόνα 5.8 Διάγραμμα *Exponential Decay* για εύρεση της σταθεράς τ στο σενάριο *24WH6COLDSTART1*



Εικόνα 5.10 Διάγραμμα *Exponential Decay* για εύρεση της σταθεράς τ στο σενάριο *24WH1-5COLDSTART*



Εικόνα 5.11 Διάγραμμα *Exponential Decay* για εύρεση της σταθεράς τ στο σενάριο *48WV6COLDSTART2*

ΠΕΙΡΑΜΑ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ τ (sec)
48WV6COLDSTART1	705,57
48WV6COLDSTART2	634
48WV1-5COLDSTART1	851,11
48WV1-5COLDSTART2	843,863
24WH6COLDSTART1	528,039
24WH6COLDSTART2	601,78
24WH1-5COLDSTART	655,12

Πίνακας 5.1 Χρονική σταθερά τ όλων των COLDSTART

Παρατηρείται μία μείωση των τιμών της σταθεράς με τη μείωση της ισχύος εισόδου, αλλά αύξησή της με τη μείωση της τάσης τροφοδοσίας του *fan*.

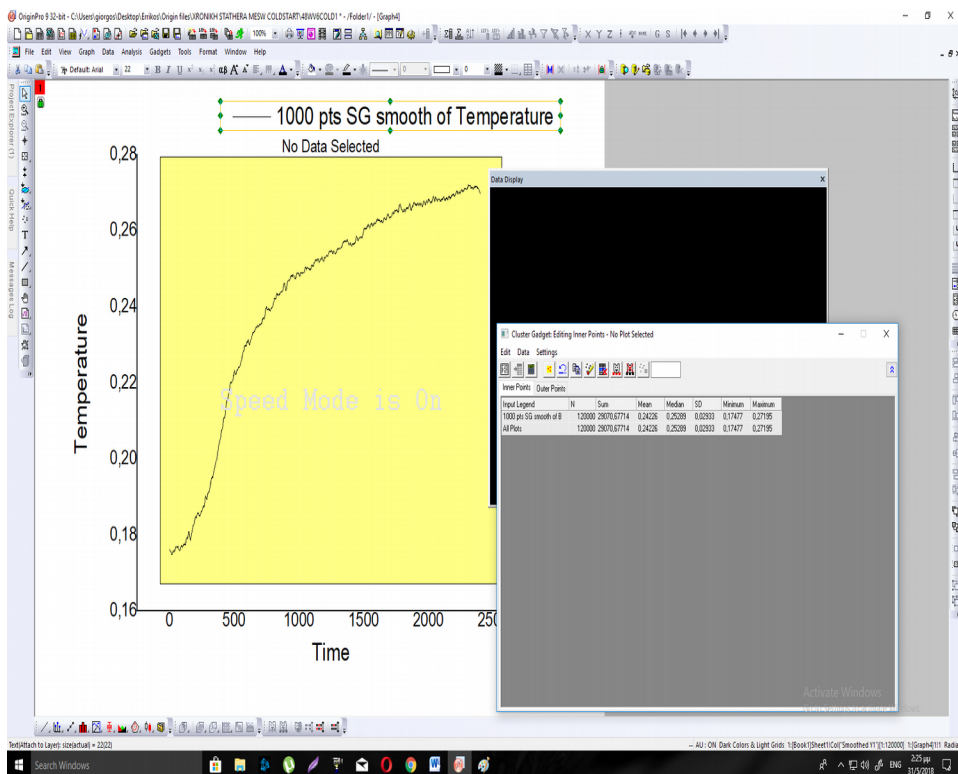
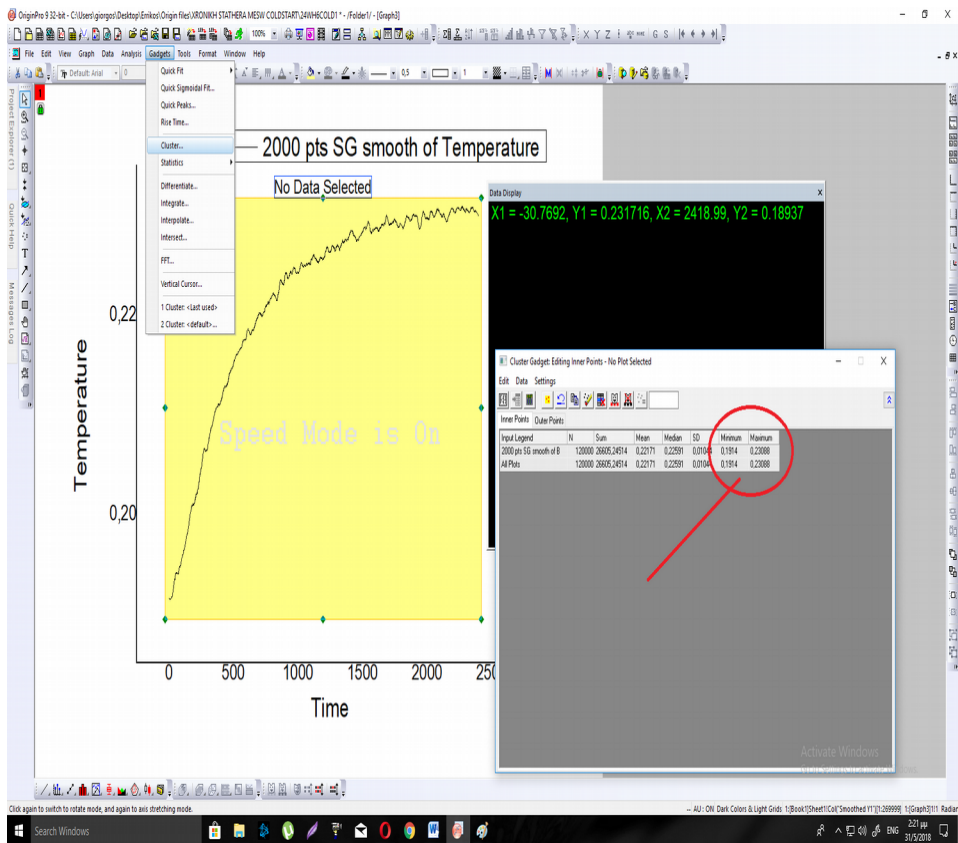
Μία ακόμη παράμετρος που μελετήθηκε για τα πειράματα *COLDSTART* ήταν η εξάρτηση της θερμοκρασίας ισορροπίας *fan* από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η εξέταση του παρακάτω πίνακα (Πίνακας 5.2) αναδεικνύει την αναλογική σχέση που συνδέει τις δύο παραπάνω θερμοκρασίες.

Πείραμα	Αρχική θερμοκρασία fan (°C)	Θερμοκρασία ισορροπίας fan (°C)	Διαφορά θερμοκρασιών (°C)	Θερμοκρασία δωματίου (°C)
V6COLDSTART	17,47	27,19	9,7	17
V1-5 COLDSTART	17,42	34,32	16,9	16.9
H6COLDSTART	19,14	23,08	3,9	18
H1-5COLDSTART	14,78	25,07	10,2	15.8

Πίνακας 5.2 Τιμές θερμοκρασίας του *fan* και του περιβάλλοντος για τα πειράματα *COLDSTART*

Επιβεβαιώνεται λοιπόν η αναλογική σχέση των θερμοκρασιών που αναφέρθηκε προηγουμένως, καθώς σχεδόν σε όλες τις περιπτώσεις η αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος κατά x βαθμούς προκαλεί σχεδόν την ίδια αύξηση στη τελικής θερμοκρασία του πυρήνα.

Για τον υπολογισμό των τιμών της αρχικής θερμοκρασίας του fan καθώς και της θερμοκρασίας ισορροπίας του, χρησιμοποιήθηκε η επιλογή Cluster του υπολογιστικού προγράμματος όπως φαίνεται παρακάτω. (Εικόνες 5.13α, 5.13β)

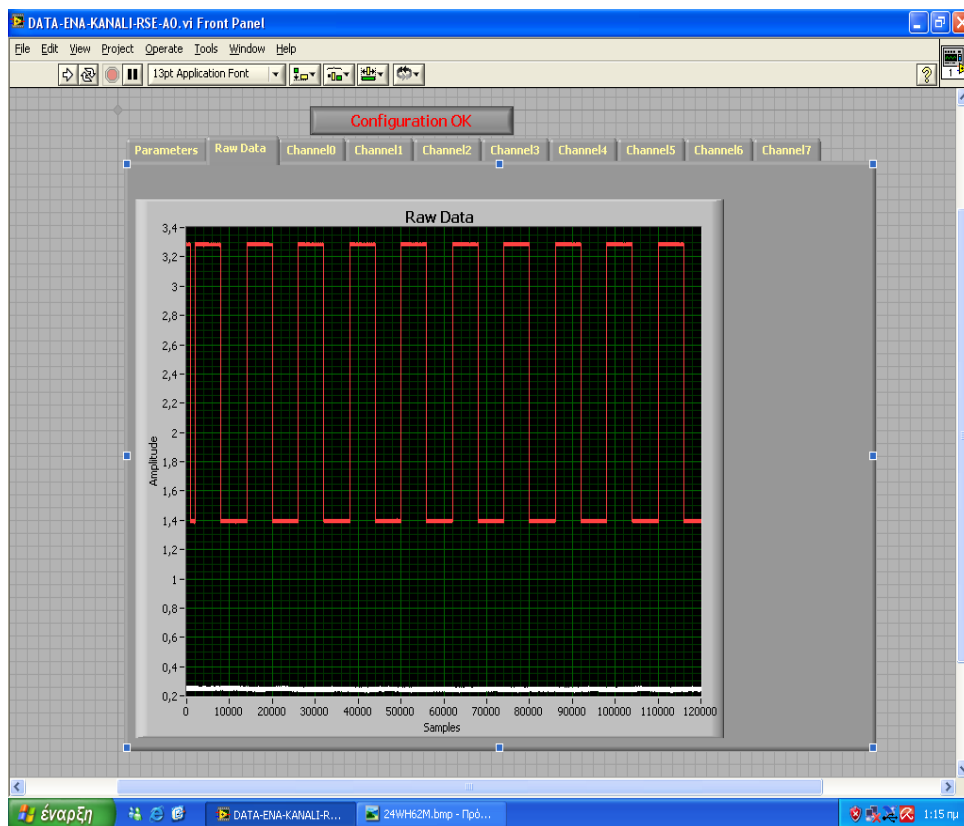


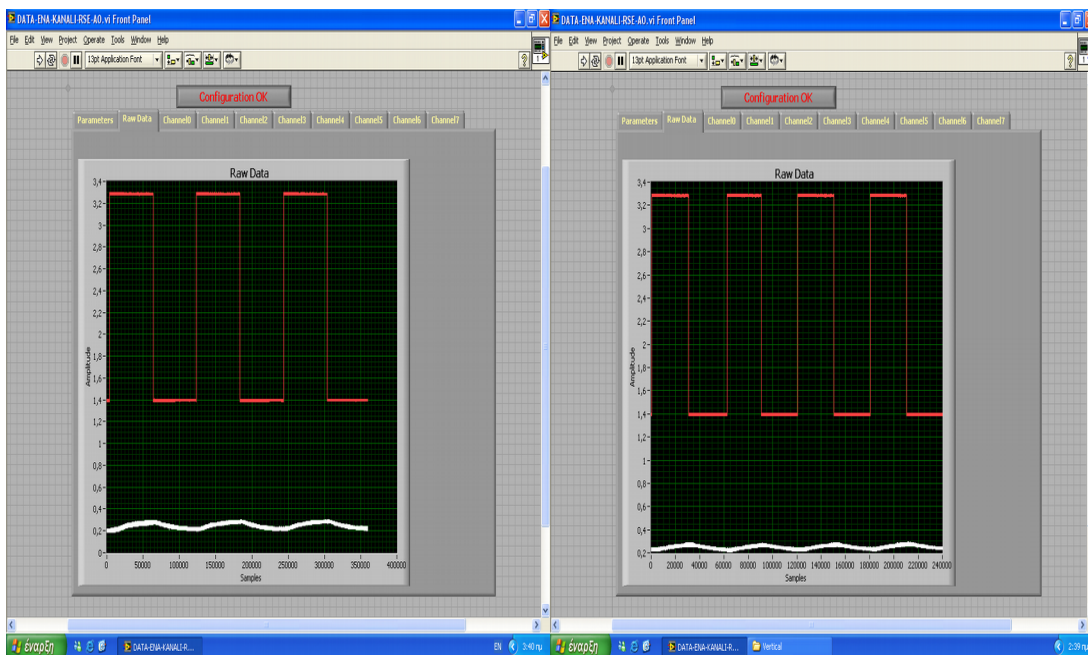
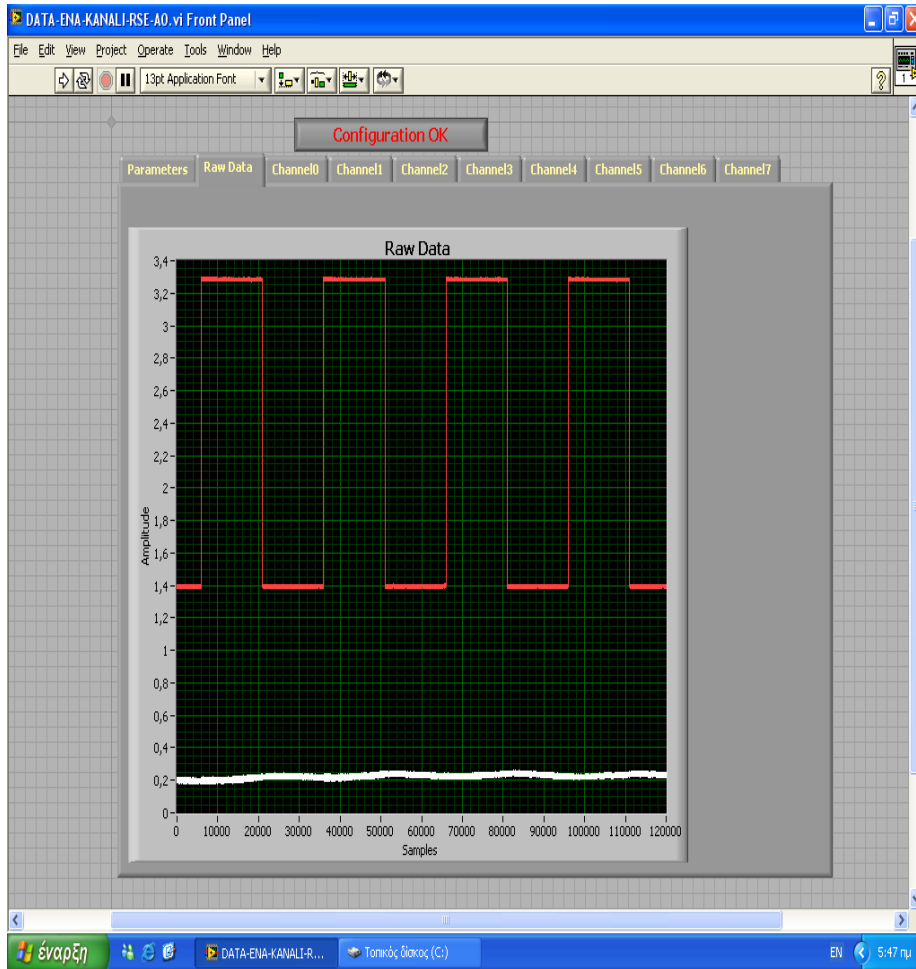
Εικόνες 5.13α & 5.13β Παραδείγματα χρήσης της επιλογής Cluster για την εύρεση θερμοκρασιών του fan

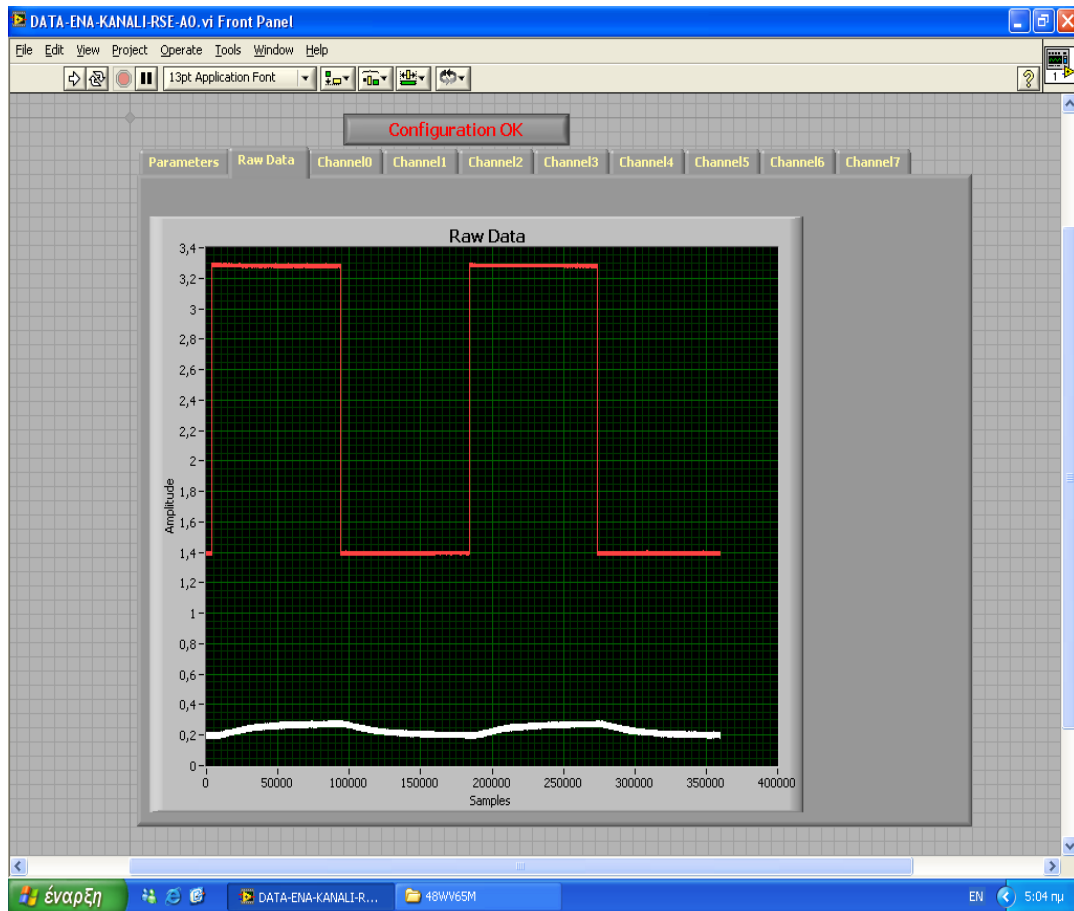
5.2 Πειράματα μεταβαλλόμενης διέγερσης

Τα πειράματα μεταβαλλόμενης διέγερσης διεξήχθησαν για διαφορετική ισχύ εισόδου στο σύστημα [24W,48W], για διαφορετικό προσανατολισμό του αγωγού θερμότητας [horizontal,vertical] και διαφορετική τάση τροφοδοσίας του ανεμιστήρα [1,5V, 6V]. Παρουσιάζονται συγκεντρωτικά λοιπόν για όλα τα διαφορετικά σενάρια όλα τα διαγράμματα των πειραμάτων ,πριν την επεξεργασία τους στο υπολογιστικό πρόγραμμα. (Εικόνες 5.14,5.15, 5.16, 5.17)

Σενάριο 48WV6

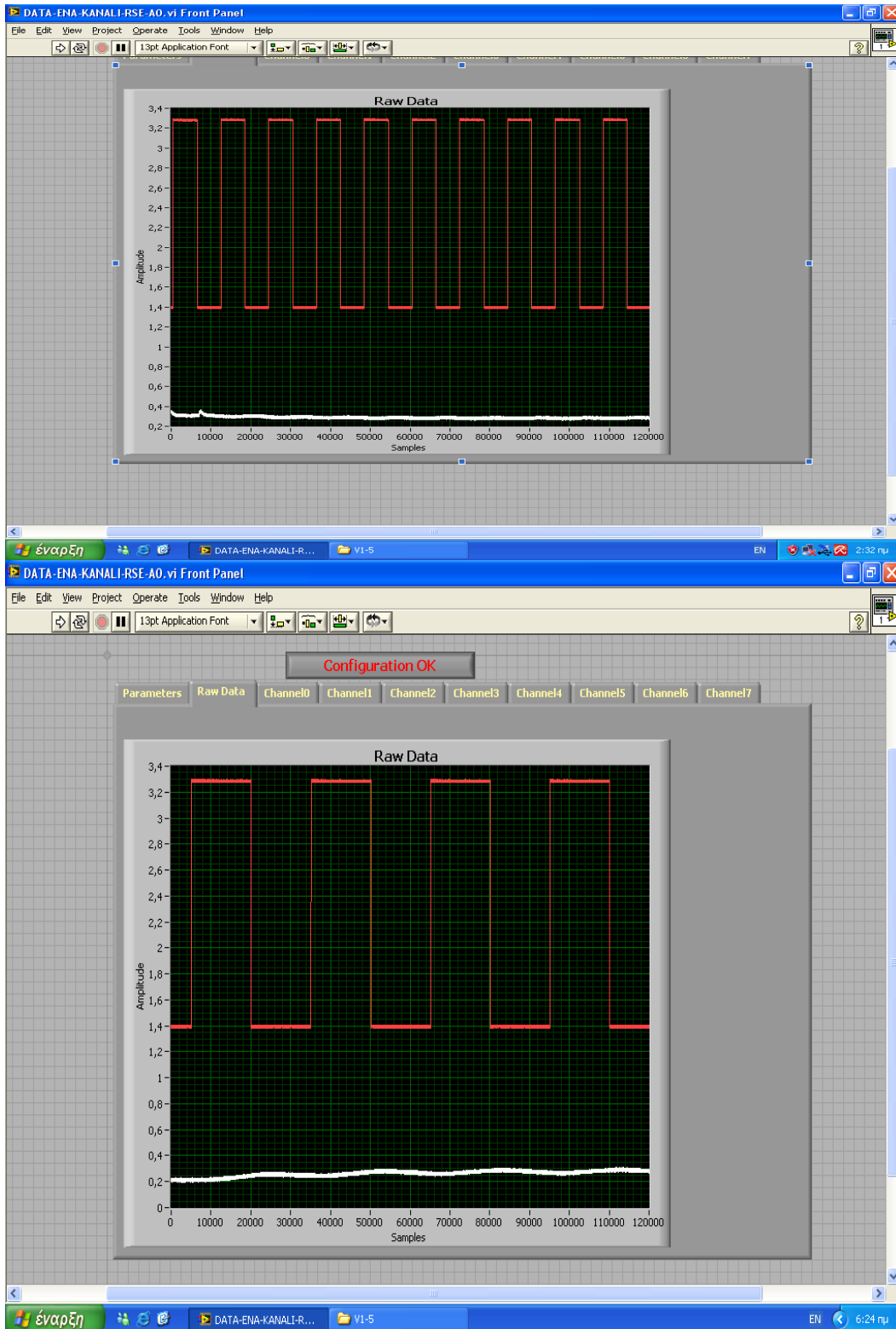


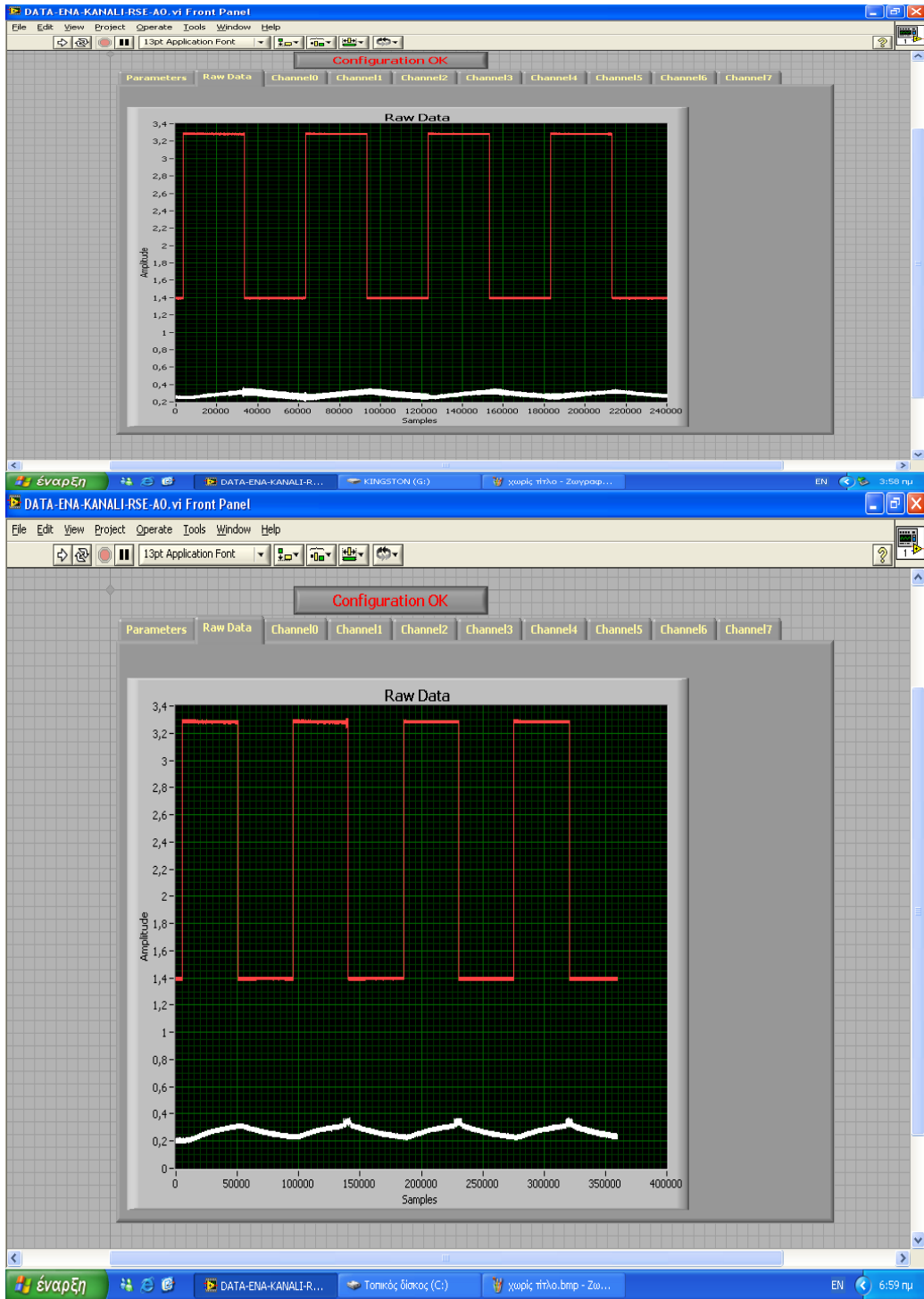


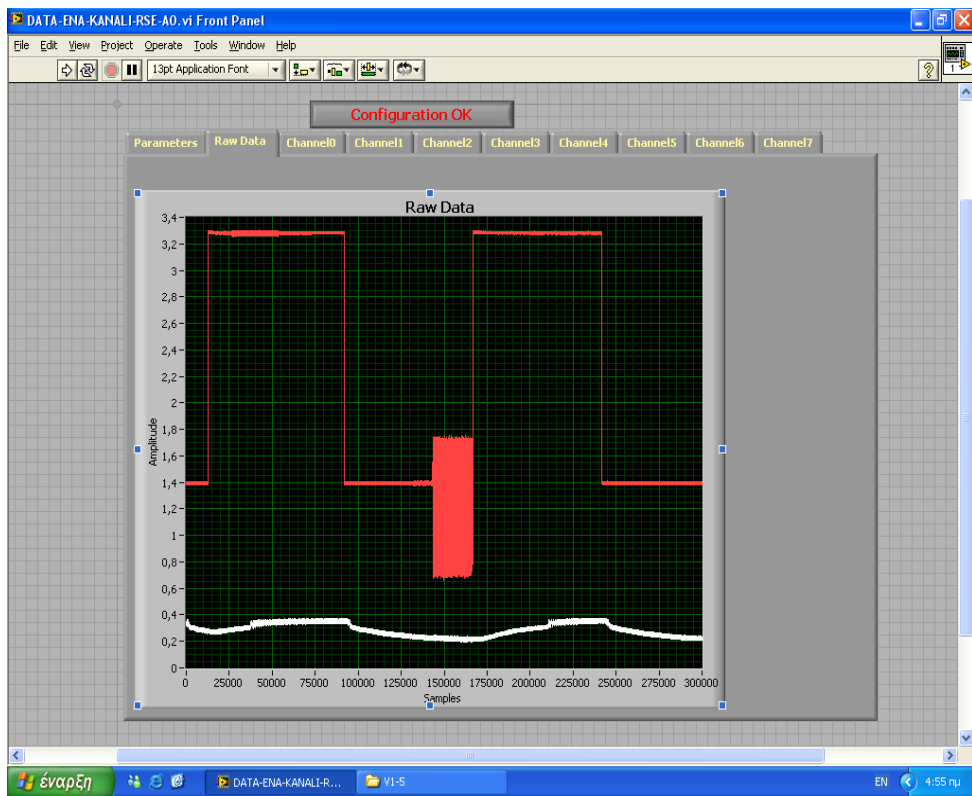
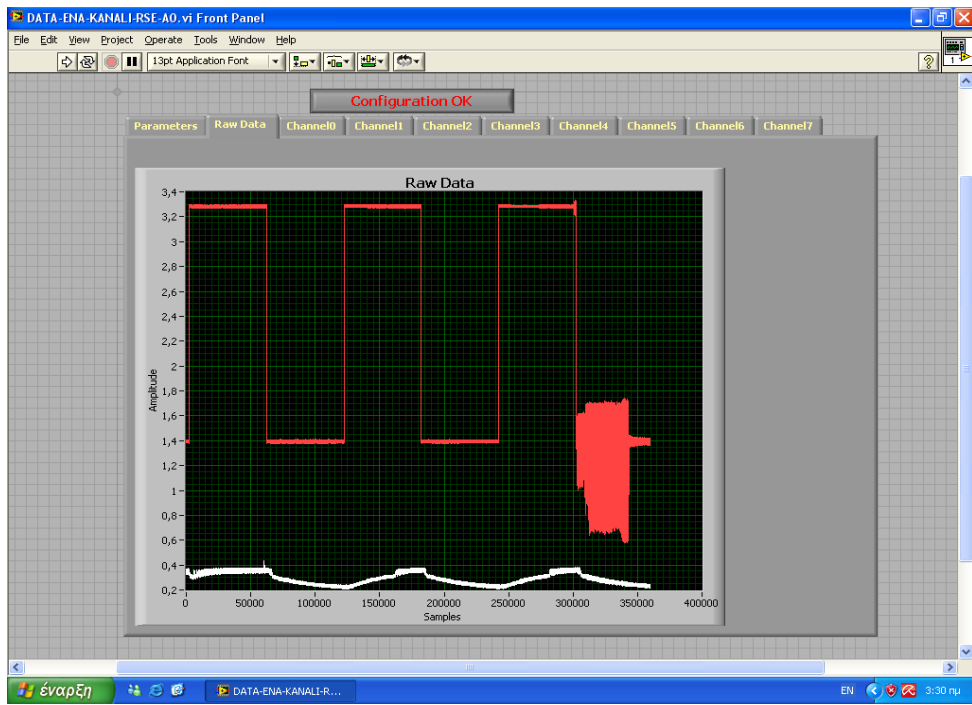


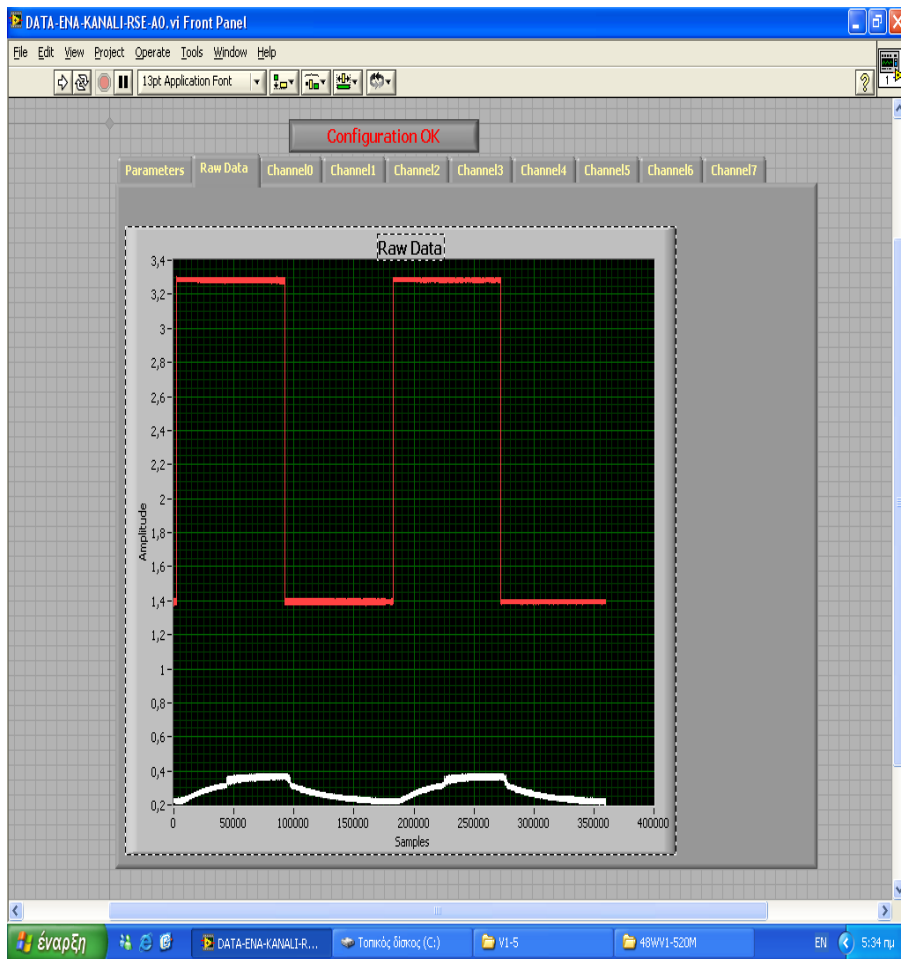
Εικόνα 5.14 Διαγράμματα *Raw Data* 48WV61M, 48WV65M 48WV610M, 48WV615M,

Σενάριο 48WV1-5



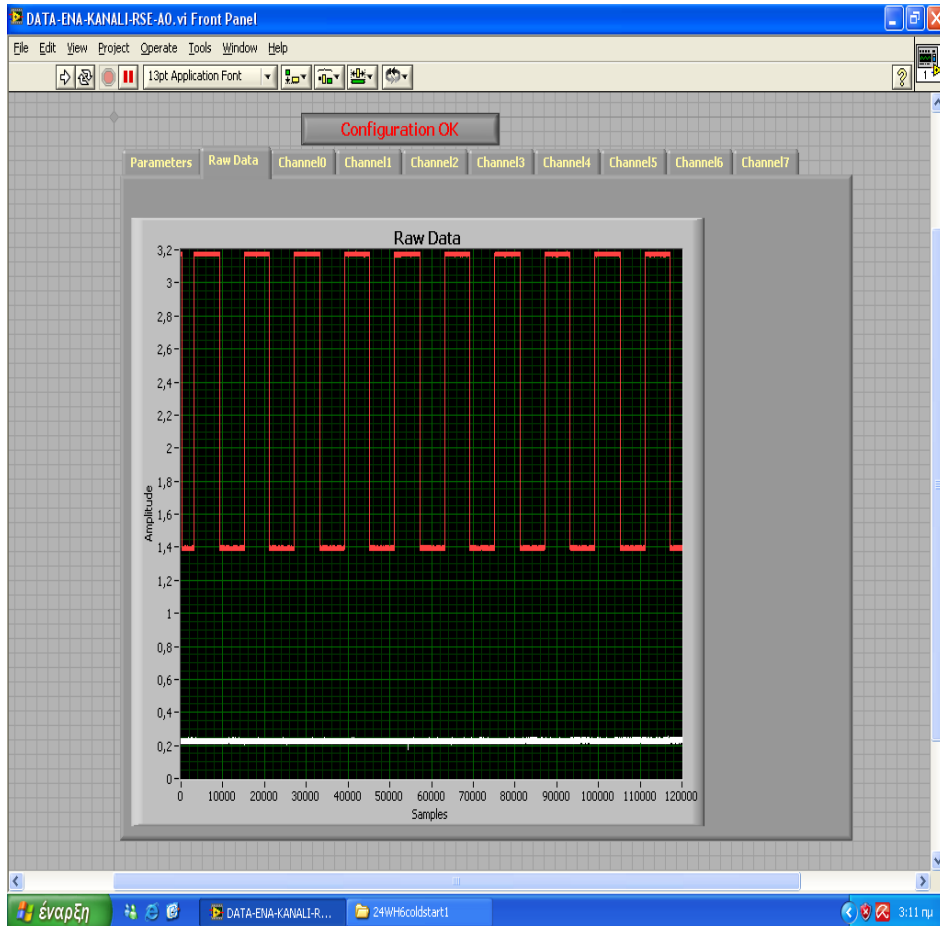


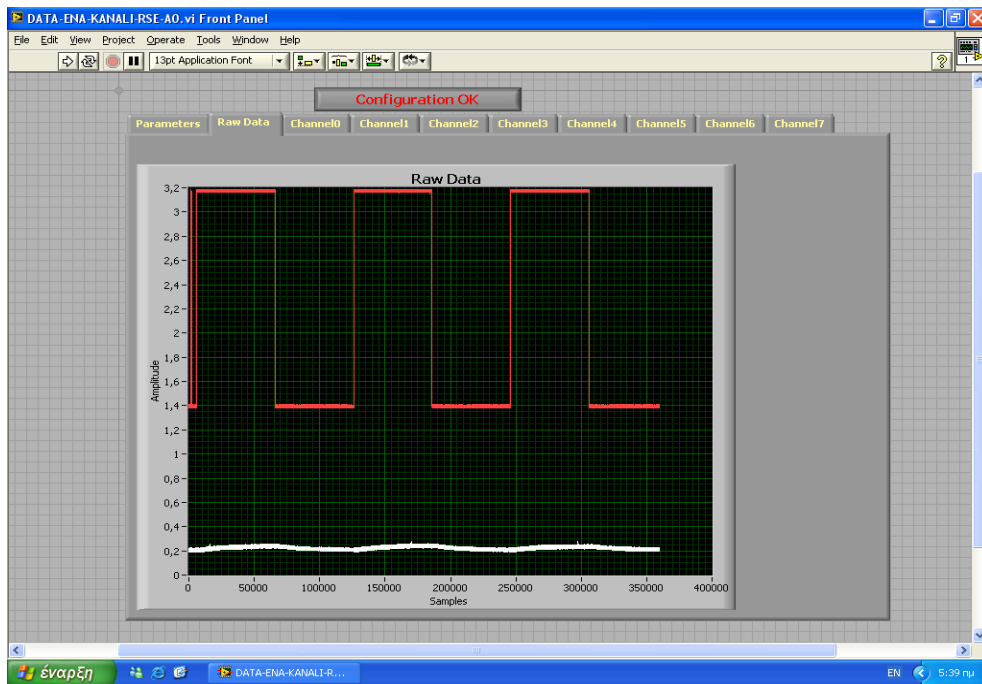
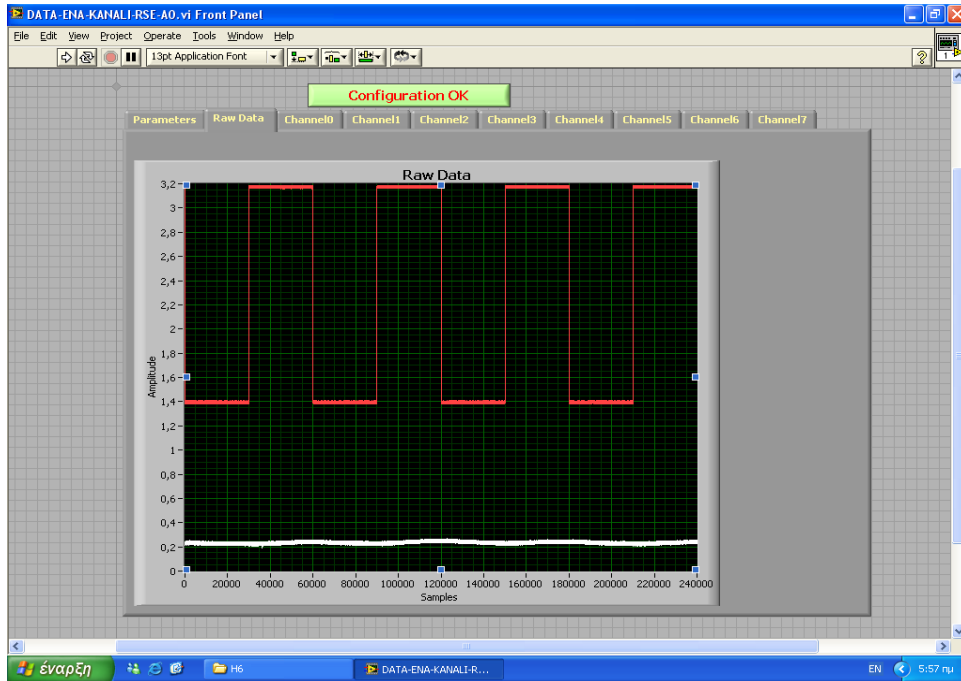


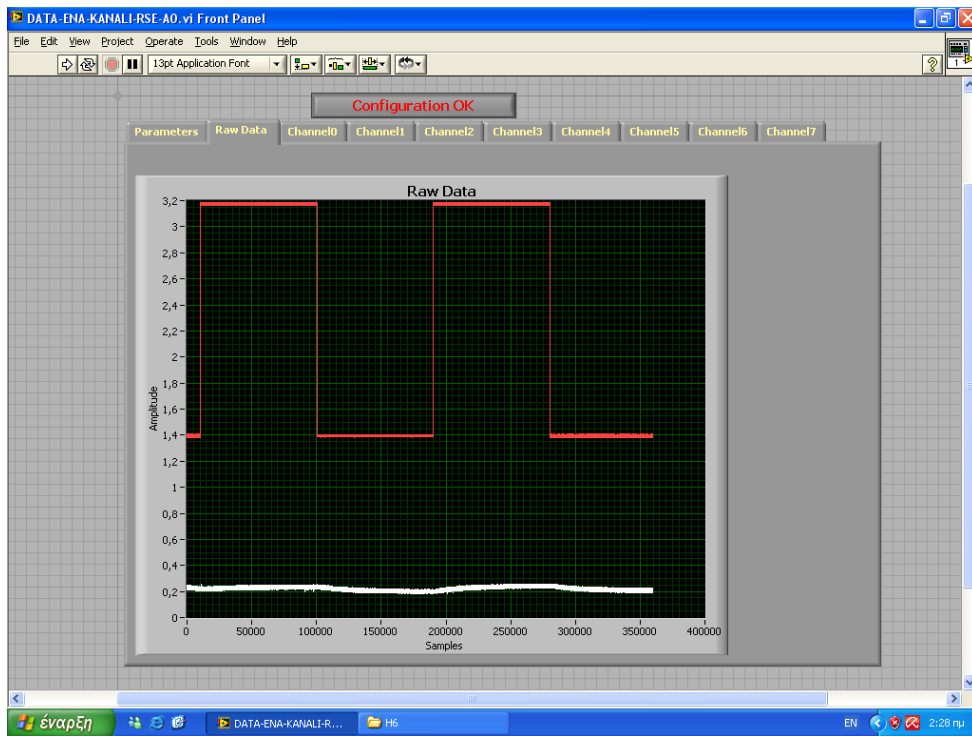


Εικόνα 5.15 Διαγράμματα *Raw Data* 48WV1-52M, 48WV1-55M, 48WV1-510M, 48WV1-515M, 48WV1-520M & V1-530M

Σενάριο 24WH6

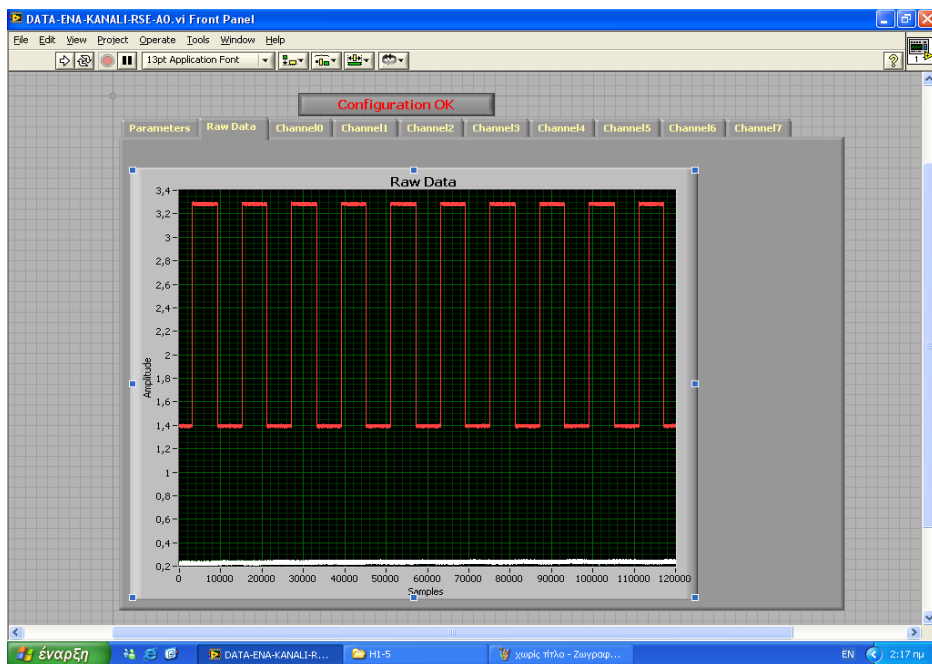


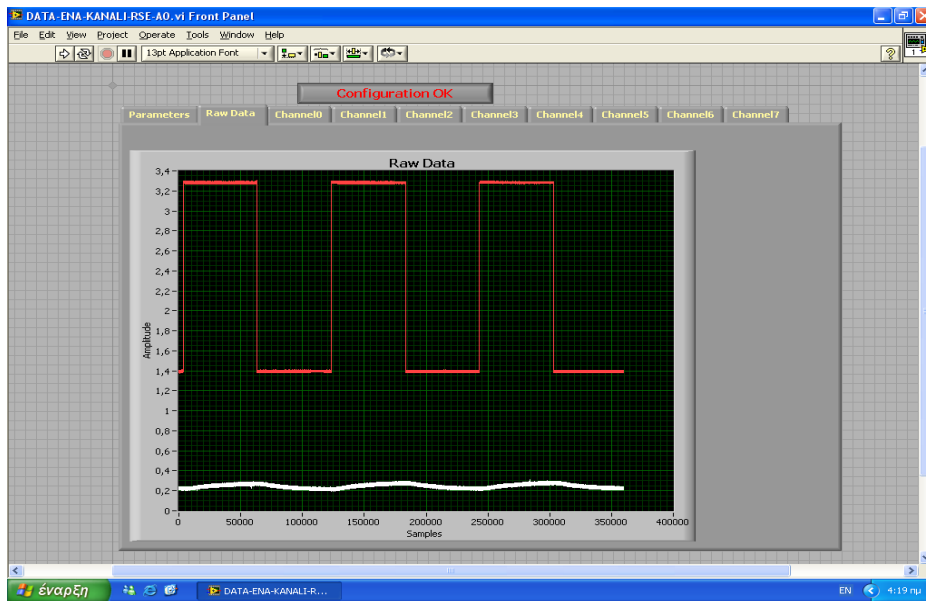
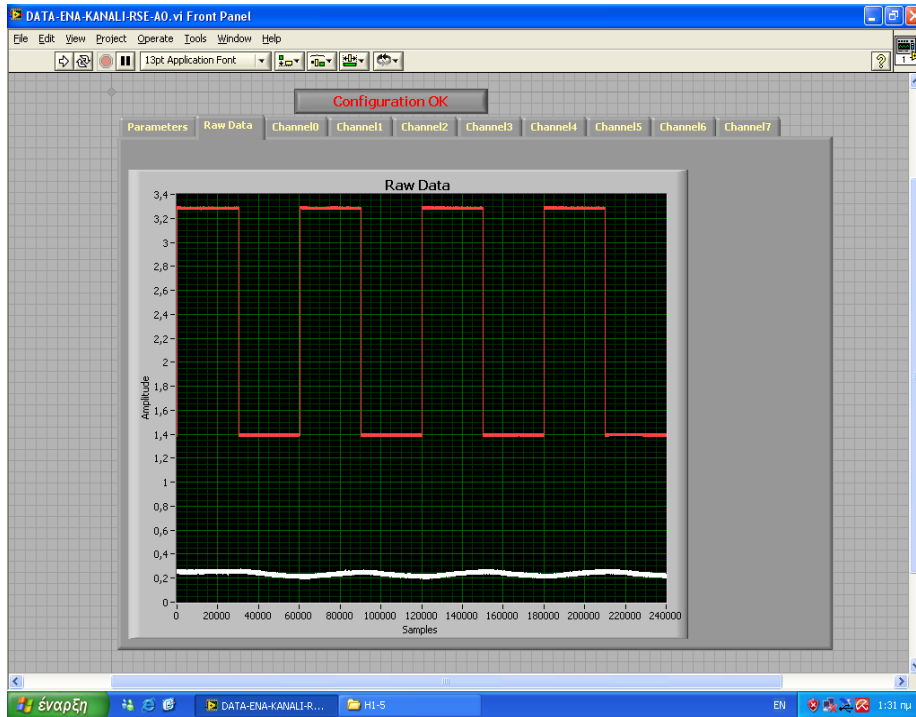




Εικόνα 5.16 Διαγράμματα *Raw Data* 24WH62M, 24WH610M, 24WH620M & 24WH630M

Σενάριο 24WH1-5







Εικόνα 5.17 Διαγράμματα *Raw Data* 24WH1-52M, 24WH1-510M, 24WH1-520M & 24WH1-530M

5.3 Υπολογισμός πλάτους απόκρισης θερμοκρασίας

Από τη ανάλυση των παραπάνω διαγραμμάτων γίνεται εμφανής η ομοιότητα της απόκρισης της θερμοκρασίας πυρήνα των πειραμάτων *COLDSTART* με την απόκριση βηματικής εισόδου συστήματος 1^{ης} τάξεως όπως αυτή παρουσιάζεται στο δεύτερο κεφάλαιο. Επίσης, από την εξέταση των υπολοίπων διαγραμμάτων στα οποία εφαρμόζεται παλμικό σήμα ισχύος- εισόδου, παρατηρείται εναλλασσόμενη απόκριση της θερμοκρασίας, η οποία στα περισσότερα γραφήματα παρουσιάζει στην αρχή κι

εκθετική μείωση. Αυτή η απόκριση προσεγγίζει ημιτονοειδή απόκριση συστήματος 1^{ης} τάξεως.

Υπολογίστηκε αρχικά το πλάτος και η φάση της πραγματικής απόκρισης θερμοκρασίας του συστήματος και στη συνέχεια έγινε ο θεωρητικός υπολογισμός της. Συγκρίνοντας τις τιμές αυτές παίρνουμε συμπεράσματα για το κατά πόσο τα χαρακτηριστικά της πραγματικής απόκρισης του υπό μελέτη συστήματος προσέγγιζαν αυτά της θεωρητικής απόκρισης ενός συστήματος 1^{ης} τάξεως

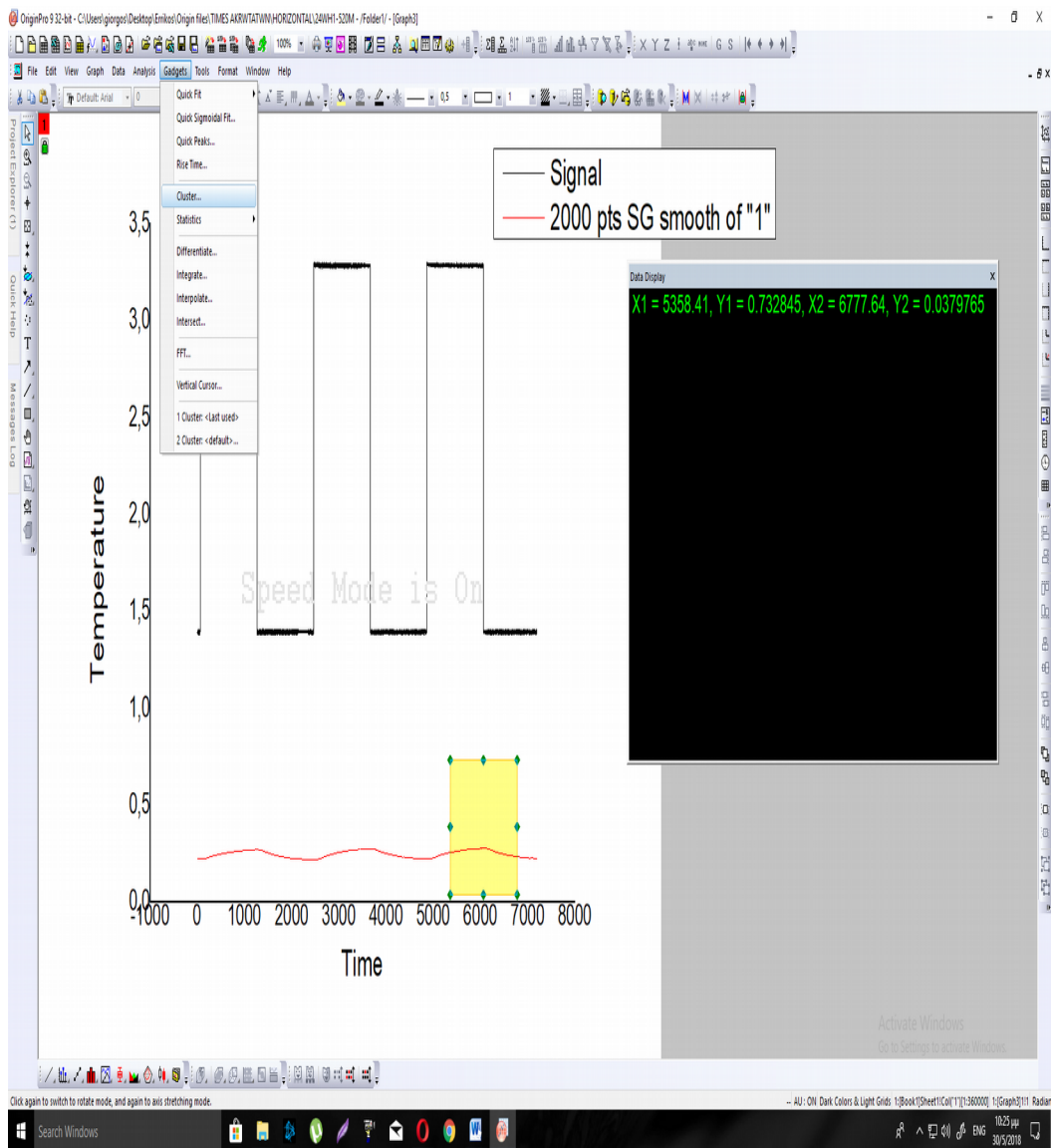
- ❖ Για τον θεωρητικό υπολογισμό της απόκρισης της θερμοκρασίας του συστήματος σαν είσοδος χρησιμοποιήθηκε ένα θεωρητικό ημιτονοειδές σήμα διέγερσης με εύρος θερμοκρασιών $y_{\square}-y_0$ και συχνότητα ίση με το πραγματικό σήμα ισχύος- εισόδου για κάθε σενάριο. Ο θεωρητικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης υπολογίστηκε χρησιμοποιώντας τη σχέση 2.32 της

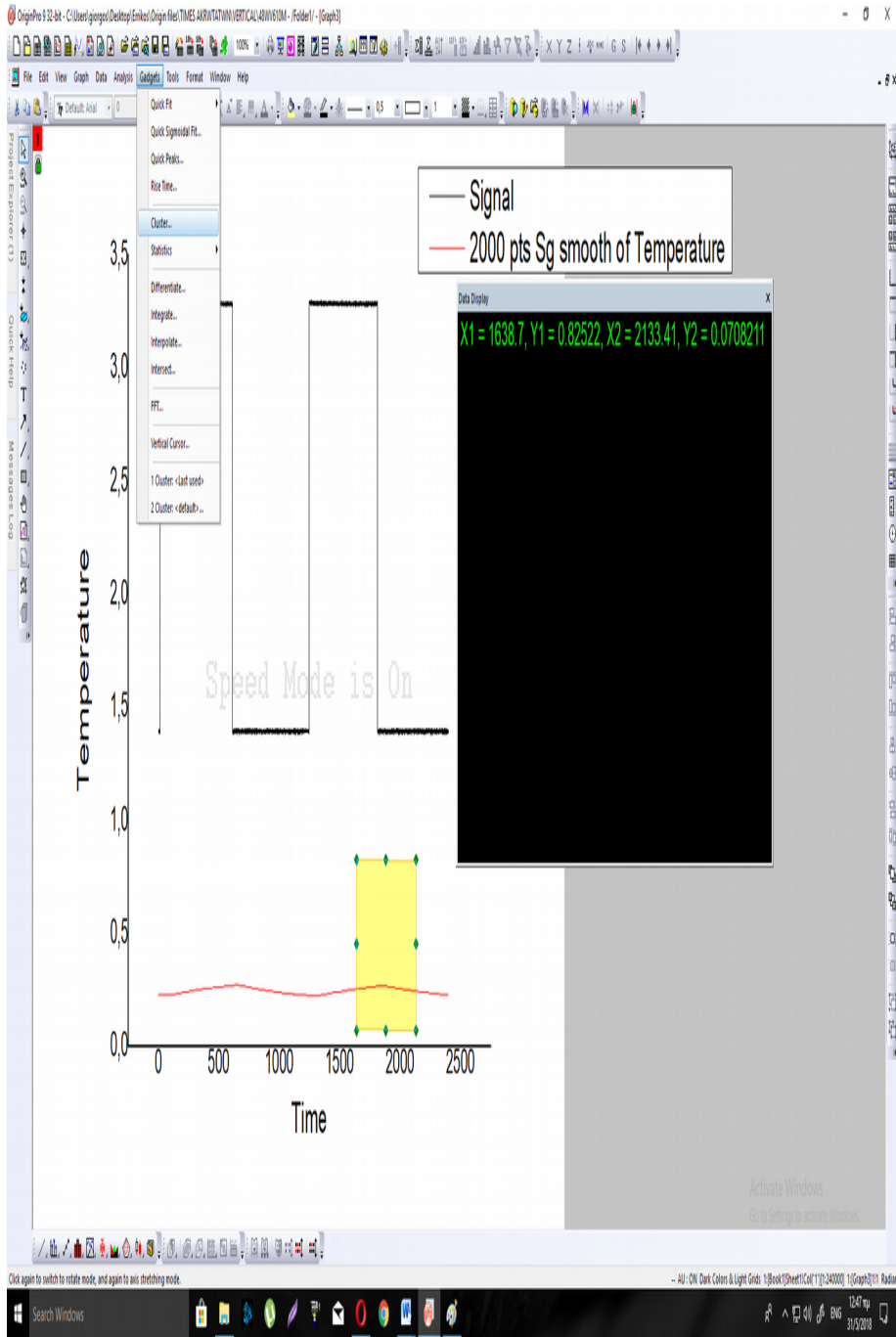
θεωρίας:

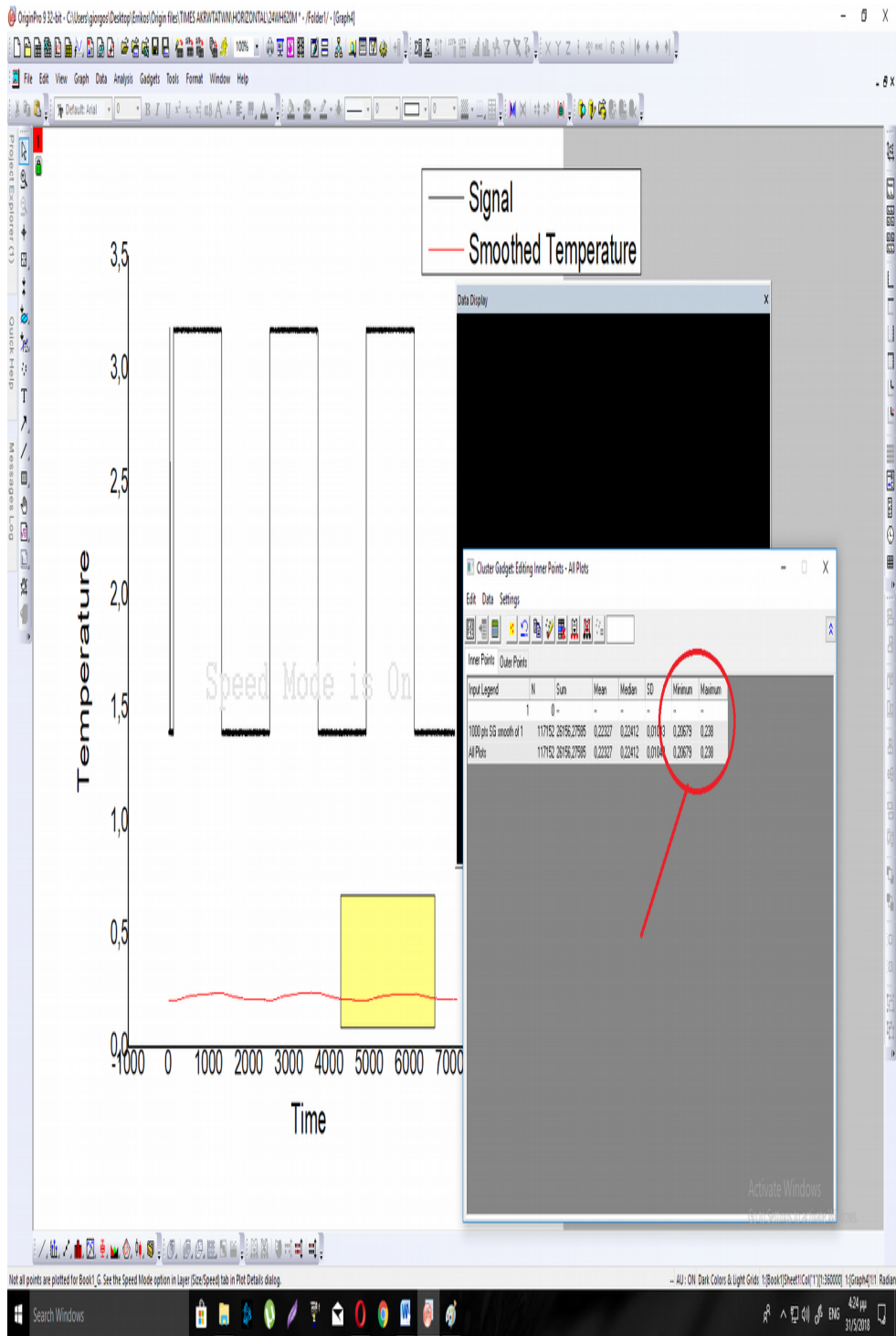
$$y(t) = \frac{Ak\tau\omega e^{\frac{-t}{\tau}}}{\tau^2\omega^2 + 1} + \frac{Ak}{\sqrt{(\tau^2\omega^2 + 1)}} \sin(\omega t + \Phi)$$

- ❖ Ο πειραματικός υπολογισμός της απόκρισης της θερμοκρασίας του συστήματος έγινε μέσω του υπολογιστικού προγράμματος. Συγκεκριμένα με την επιλογή Cluster υπολογίστηκαν γραφικά οι ακρότατες τιμές της θερμοκρασίας κατά τη μεταβαλλόμενη διέγερση για κάθε σειρά πειραμάτων. Οι τιμές του εύρους που καταγραφθήκαν, διαιρέθηκαν με το μέγιστο δυνατό εύρος ταλάντωσης $y_{\square}-y_0$, το οποίο είχε ήδη υπολογιστεί μέσω των πειραμάτων *COLDSTART* και υπολογίστηκε ο πειραματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του συστήματος για κάθε σενάριο. Παρατίθενται

ενδεικτικά ορισμένα παραδείγματα υπολογισμών των ακρότατων τιμών της θερμοκρασίας (Εικόνες 5.18, 5.19, 5.20)







(Εικόνες 5.18, 5.19, 5.20) Παράδειγμα χρήσης της επιλογής Cluster για την εύρεση ακρότατων τιμών θερμοκρασίας

Όλες οι τιμές και τα δεδομένα που προέκυψαν από τα παραπάνω βήματα συγκεντρώνονται στους πίνακες (Πίνακας 5.2, 5.3, 5.4 & 5.5) που ακολουθούν.

Θεωρητικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Theoretical Reduction) $[1+(\omega*\tau)^2]^{-1/2}$	Πειραματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Experimental Reduction) $\frac{B}{A} = \frac{\text{Διαφορά ακρότατων τιμών}}{y_{\infty} - y_0}$	Γωνιακή συχνότητα του σήματος $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ($\frac{rad}{sec}$)	Πείραμα	$\omega*\tau$ (rad)
0,0569	0,0782	0,02617	V62M	17.5282
0,1411	0,2315	0,01047	V65M	7.01264
0,2745	0,4318	0,00523	V610M	3.50297
0,3933	0,4799	0,00349	V615M	2.33754
0,4886	0,6973	0,00262	V620M	1.78548
0,6511	0,7673	0,00174	V630M	1.16542

Πίνακας 5.2 Οι συντελεστές μείωσης του πλάτους απόκρισης για όλα τα πειράματα ισχύος εισόδου

48 Watt, κάθετου heat pipe & τάσης fan 6 Volts

Θεωρητικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Theoretical Reduction) $[1+(\omega*\tau)^2]^{-1/2}$	Πειραματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Experimental Reduction) $\frac{B}{A} = \frac{\text{Διαφορά ακρότατων τιμών}}{y_{\infty} - y_0}$	Γωνιακή συχνότητα του σήματος $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ($\frac{rad}{sec}$)	Πείραμα	$\omega*\tau$ (rad)
--	--	--	---------	---------------------

0.045	0,0537	0,02617	V1-52M	22.1787
0.111	0,1549	0,01047	V1-55M	8.87318
0.220	0,3353	0,00523	V1-510M	4.4323
0.3202	0,7015	0,00349	V1-515M	2.9577
0.4106	0,7724	0,00262	V1-520M	2.22041
0.5608	0,8310	0,00174	V1-530M	1.47462

Πίνακας 5.3 Οι συντελεστές μείωσης του πλάτους απόκρισης για όλα τα πειράματα ισχύος εισόδου 48 Watt, κάθετου *heat pipe* & τάσης *fan* 1,5 Volts

Θεωρητικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Theoretical Reduction) $[1+(\omega*\tau)^2]^{-1/2}$	Πειραματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος $\frac{B}{A} = \frac{\text{Διαφορά ακρότατων τιμών}}{y_{\infty} - y_0}$	Γωνιακή συχνότητα του σήματος $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ($\frac{rad}{sec}$)	Πείραμα	$\omega*\tau$ (rad)
0.06749	0.1005	0,02617	24WH62M	14.783 2
0.3206	0,5025	0,00523	24WH610M	2.9544
0.5598	0,8025	0,00262	24WH620M	1.4800
0.7131	0.9128	0,00174	24WH630M	0.9829

Πίνακας 5.4 Οι συντελεστές μείωσης του πλάτους απόκρισης για όλα τα πειράματα ισχύος εισόδου

24 Watt, οριζόντιου *heat pipe* & τάσης *fan* 6 Volts

Θεωρητικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Theoretical Reduction) $[1+(\omega*\tau)^2]^{-1/2}$	Πειραματικός συντελεστής μείωσης του πλάτους απόκρισης του σήματος (Experimental Reduction) $\frac{B}{A} =$ <u>Διαφορά ακρότατων τιμών</u> $y_{\infty} - y_0$	Γωνιακή συχνότητα του σήματος $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ($\frac{rad}{sec}$)	Πείραμα	$\omega*\tau$ (rad)
0.058	0,0461	0,02617	24WH1-52M	17.144 4
0.2801	0,3833	0,00523	24WH1-510M	3.4262
0.5034	0,5607	0,00262	24WH1-520M	1,7164
0,6185	0,6519	0,00174	24WH1-530M	1,139

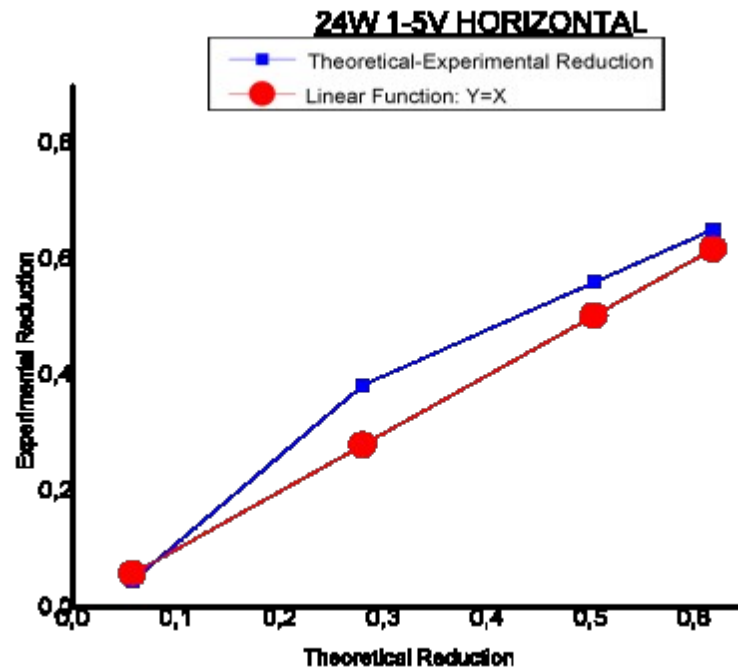
Πίνακας 5.5 Οι συντελεστές μείωσης του πλάτους απόκρισης για όλα τα πειράματα ισχύος εισόδου 24 Watt, οριζόντιου *heat pipe* & τάσης *fan* 1,5 Volts

Να επισημάνουμε σε αυτό το σημείο ότι ω είναι η γωνιακή συχνότητα και αφορά τη συχνότητα του εκάστοτε σήματος εισόδου, καθώς και ότι στα πειράματα όπου έγιναν και υπολογίσαμε τη χρονική σταθερά τ για 2 COLDSTART υπολογίσαμε τις μέσες τιμές τους για να τις χρησιμοποιήσουμε στον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 5.6)

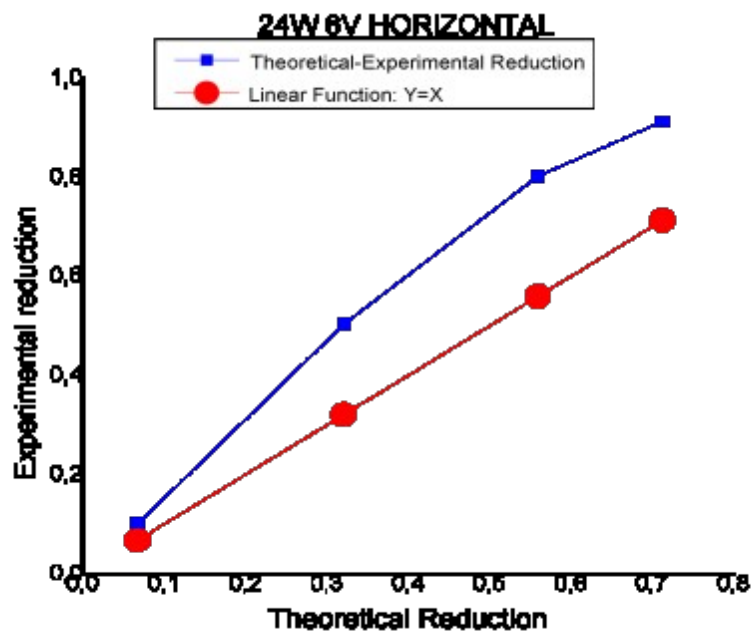
ΠΕΙΡΑΜΑ	ΧΡΟΝΙΚΗ ΣΤΑΘΕΡΑ τ (sec)	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ ΧΡΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑΘΕΡΑΣ t (sec)
V6COLDSTART1	705,57	669,785
V6COLDSTART2	634	
V1-5COLDSTART1	851,11	847,4865
V1-5COLDSTART2	843,863	
24WH6COLDSTART1	528,039	564,89
24WH6COLDSTART2	601,78	
24WH1-5COLDSTART	655,12	655,12

Πίνακας 5.6 χρονικές σταθερές τ

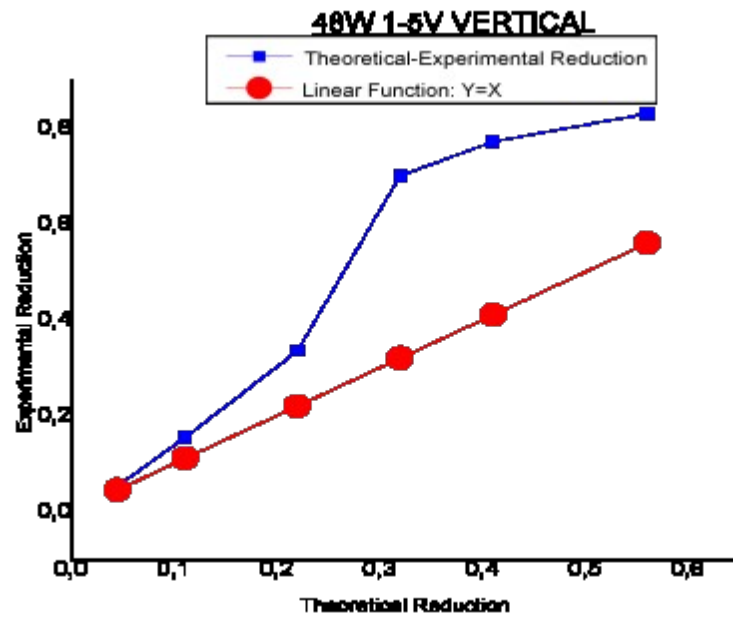
Ακολουθούν διαγραμματικές απεικονίσεις μεταξύ του θεωρητικού και του πειραματικού συντελεστή μείωσης του πλάτους απόκρισης του συστήματος. Τα δεδομένα από τους παραπάνω πίνακες τοποθετήθηκαν ως σημεία σε κοινό σύστημα αξόνων και παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνες 5.21, 5.22, 5.23, 5.24)



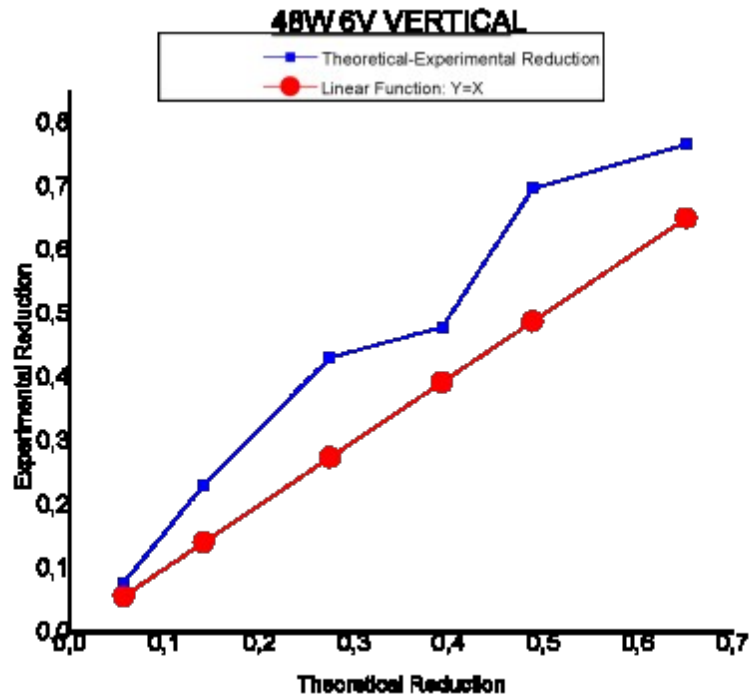
Εικόνα 5.21 Σύγκριση θεωρητικών & πειραματικών μετρήσεων του πλάτους απόκρισης του σεναρίου 24W 1-5V HORIZONTAL



Εικόνα 5.22 Σύγκριση θεωρητικών & πειραματικών μετρήσεων του πλάτους απόκρισης του σεναρίου 24W 6V HORIZONTAL



Εικόνα 5.23 Σύγκριση θεωρητικών & πειραματικών μετρήσεων του πλάτους απόκρισης του σεναρίου 48W 1-5V VERTICAL

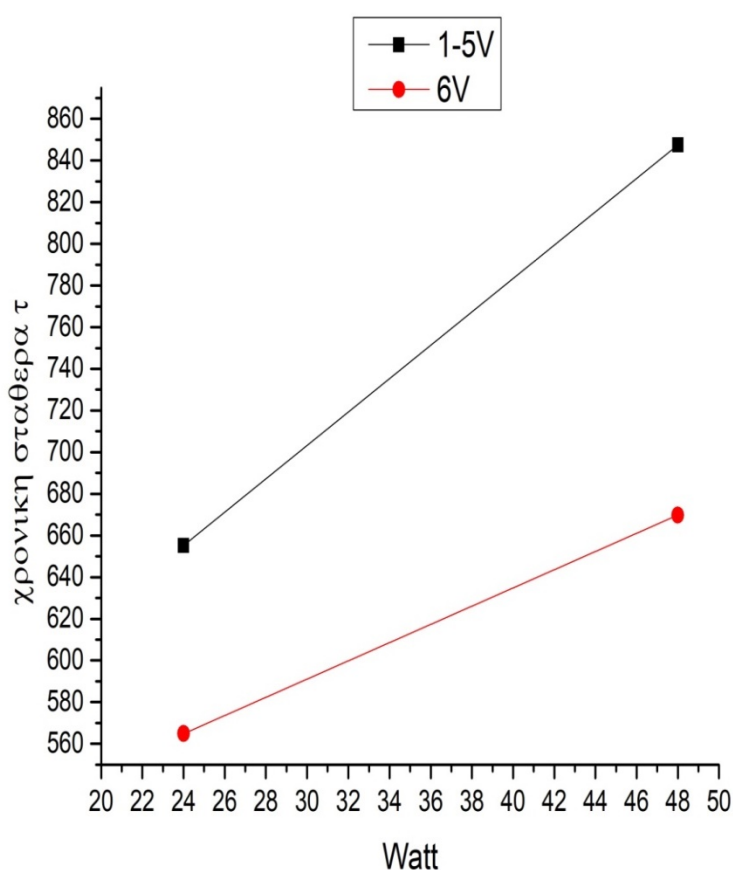


Εικόνα 5.24 Σύγκριση θεωρητικών & πειραματικών μετρήσεων του πλάτους απόκρισης του σεναρίου 48W 6V VERTICAL

Σύμφωνα με τους παραπάνω πίνακες και διαγράμματα μπορούμε να διεξάγουμε τις εξής παρατηρήσεις:

- ❖ Παρατηρείται σύγκλιση μεταξύ των θεωρητικών και των πειραματικών υπολογισμένων τιμών του συντελεστή μείωσης πλάτους απόκρισης και των αντίστοιχων θεωρητικών τιμών αυτού.
- ❖ Η συμπεριφορά αυτή όσο αφορά το πλάτος του αποκρινόμενου συστήματος, προσεγγίζει αυτήν ενός συστήματος 1^{ης} τάξης
- ❖ Παρατηρείται ότι σε υψηλή ισχύ εισόδου (48W), με τάση ανεμιστήρα στα 1,5V η απόκλιση των τιμών του συντελεστή είναι μεγαλύτερη από αυτή με τη χαμηλή ισχύ εισόδου (24W)

Επιπλέον μελετήσαμε τη συμπεριφορά του συστήματος και πόσο αυξάνονται οι τιμές της χρονικής σταθεράς τ , ανάλογα με την ισχύ που παρέχουμε στην είσοδο του συστήματος (24W & 48W) με συγκεκριμένη τάση τροφοδοσίας στο fan (1,5V & 6V). Έγινε λοιπόν διαγραμματική απεικόνιση όπου στον οριζόντιο άξονα τοποθετήθηκαν οι τιμές ισχύος της εισόδου (24W – 48W) και στον κατακόρυφο άξονα οι τιμές της τ όπως αυτές υπολογίστηκαν στην αρχή του κεφαλαίου. (Εικόνα 5.25)



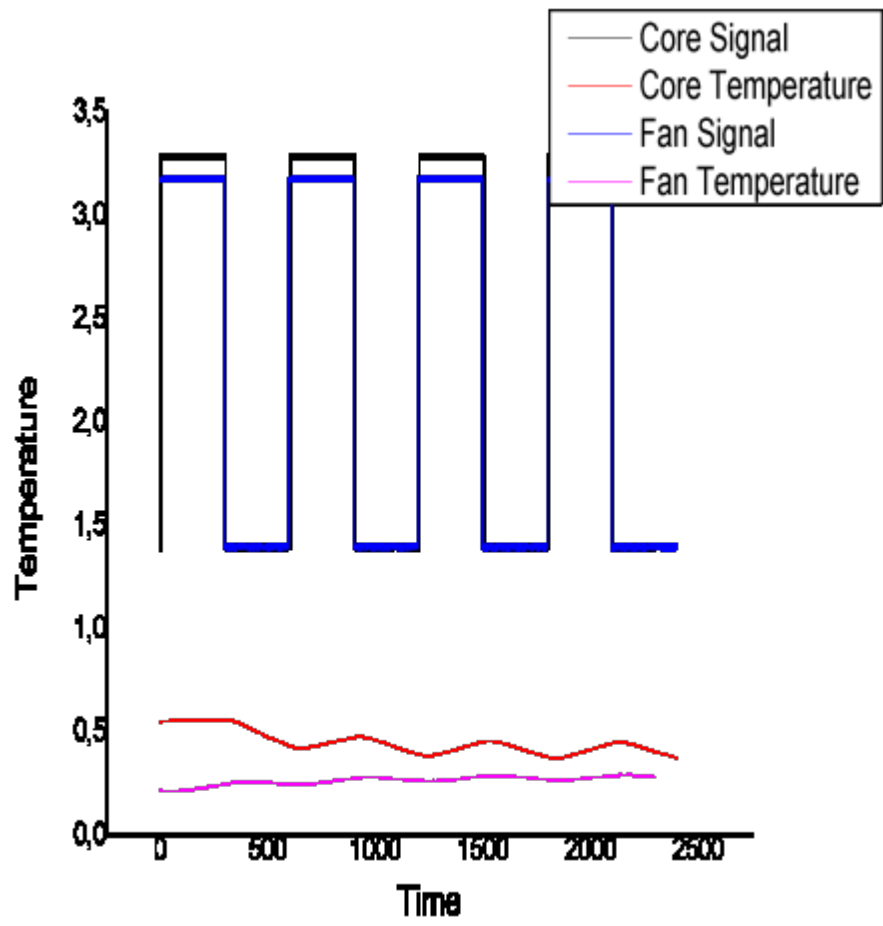
Εικόνα 5.25 Αύξηση των τιμών της χρονικής σταθεράς τ στις διαφορετικές τιμές ισχύος εισόδου (24W & 48W)

Παρατηρούμε εδώ ότι η κλίση της ευθείας στα πειράματα όπου η τάση τροφοδοσίας του fan είναι 6V είναι μικρότερη από αυτή στα 1,5V. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι ρυθμός αύξησης της σταθεράς τ είναι μεγαλύτερος για μικρή τάση στο fan (1.5V).

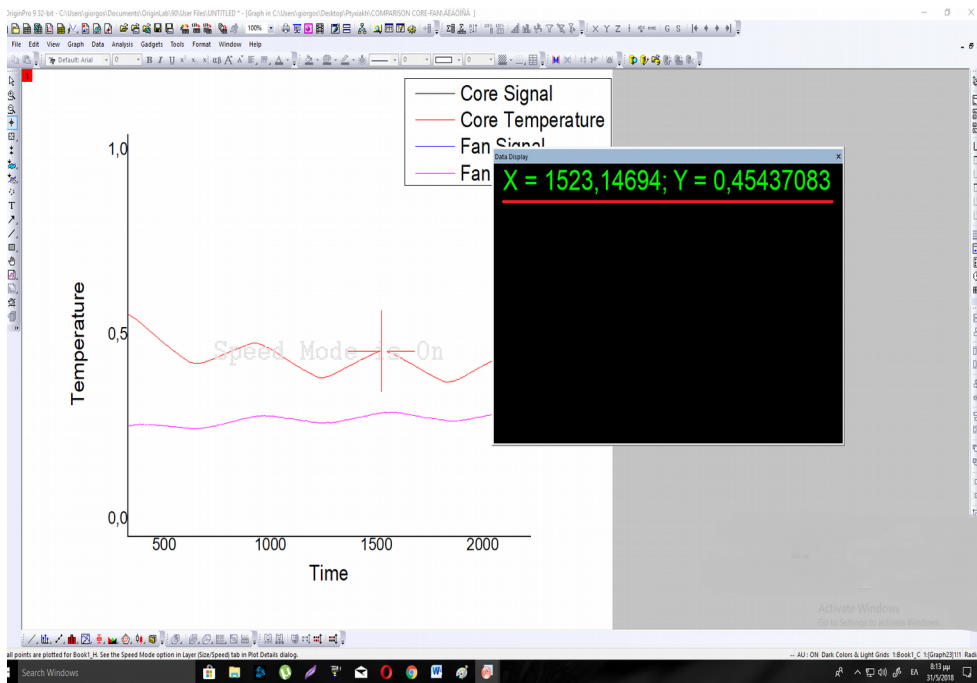
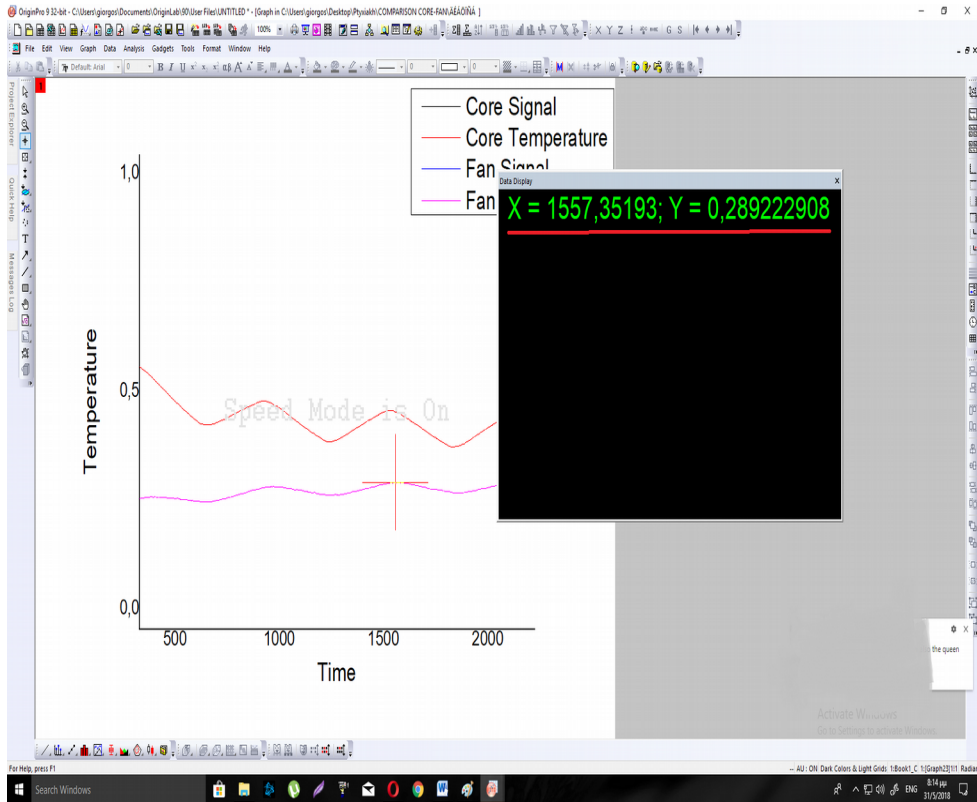
Όπως αναφέραμε και στο τέλος του 4^{ου} κεφαλαίου μελετήθηκε η διαφορά φάσης της θερμοκρασίας μεταξύ του πυρήνα και του ανεμιστήρα, όταν αυτές λάμβαναν τη μέγιστη τιμή τους σε μια συγκεκριμένη περίοδο. Θέλαμε δηλαδή να μελετήσουμε το πόσο προπορεύεται το σήμα στον πυρήνα από το σήμα στο fan.

Τα δεδομένα από τις μετρήσεις της θερμοκρασίας στον πυρήνα κατά τη μεταβαλλόμενη διέγερση του τα πήραμε από την διπλωματική εργασία του Φιλοκώστα Χρήστου και του Επισκόπου Παναγιώτη με θέμα: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΠΥΡΗΝΑ Η/Υ ΣΕ ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.

Οι μετρήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν μέσω του υπολογιστικού προγράμματος, όπου εισάγαμε τα δεδομένα των δύο αυτών διπλωματικών εργασιών και πήραμε τα αποτελέσματα σε κοινό υπολογιστικό περιβάλλον. (Εικόνα 5.26). Έπειτα υπολογίστηκε η διαφορά φάσης διαγραμματικά. (Εικόνες 5.27α, 5.27β). Τα δεδομένα συγκεντρώνονται στον πίνακα 5.7



Εικόνα 5.26 Οι μετρήσεις θερμοκρασίας σε πυρήνα και fan σε κοινό διάγραμμα



Εικόνες 5.27α & 5.27β Υπολογισμός της διαφοράς φάσης διαγραμματικά

Σενάριο	Time (core)	Time (fan)	Διαφορά φάσης (seconds)
48WV1-52M	1355.28	1389.90	34,62
48W5M	1531.97	1570.19	38.22
48WV1-515M	2715.02	2755.58	40.56
48WV1-520M	3590.93	3610	19.07
48WV1-530M	5420.36	5440.70	20.34
24WH620M	3623.56	3621.67	2.698
24WH610M	1821.052	1822.340	0.82
24WH610M	1149.51	1178.49	29.98
24WH1-510M	1819.72	1868.14	48.42
24WH1-520M	3642.1	3649.14	7.14
24WH1-530M	5429.19	5451.17	21.98

Πίνακας 5.7 Διαφορά φάσης σε πυρήνα - fan

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

6.1 Συμπεράσματα

- Η χρονική σταθερά τ , άρα κι ο χρόνος μετάβασης σε κατάσταση θερμικής ισορροπίας, επηρεάζεται από την ισχύ εισόδου στο σύστημα και την τάση τροφοδοσίας στον ανεμιστήρα. Συγκεκριμένα όταν ο αγωγός βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση και η τάση του fan είναι η ελάχιστη (1.5Volt) η χρονική σταθερά παίρνει την μέγιστη τιμή της.
- Οι μετρήσεις της τελικής θερμοκρασίας ισορροπίας των πτερυγίων ψύξης στον ανεμιστήρα στα πειράματα *COLDSTART* πραγματοποιήθηκαν σε διαφορετικές ημέρες και με διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε φορά. Έτσι μελετήθηκε η επίδραση της θερμοκρασίας δωματίου στην θέρμανση του fan και παρατηρήθηκε μια αναλογική σχέση μεταξύ τους.

- Κατά τη μεταβαλλόμενη φόρτιση του πυρήνα διαπιστώθηκε σύγκλιση μεταξύ των πειραματικών τιμών του συντελεστή μείωσης του πλάτους απόκρισης και των αντίστοιχων θεωρητικών για σύστημα 1^{ης} τάξεως. Πιο συγκεκριμένα, το πειραματικά υπολογισμένο πλάτος του σήματος απόκρισης προσεγγίζει ικανοποιητικά τις θεωρητικά υπολογισμένες τιμές αυτού, ιδιαίτερα σε πιο υψηλές γωνιακές συχνότητες.
- Κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων πολύ σημαντικό ρόλο έπαιξε ο προσανατολισμός της διάταξης του συστήματος. Εντοπίστηκε μεγάλη εξάρτηση μεταξύ της απαγωγικής ικανότητας του αγωγού θερμότητας και της αλλαγής στη κατεύθυνση της πειραματικής διάταξης. Αναλυτικότερα, σε κατακόρυφη θέση ο ρυθμός απαγωγής θερμότητας ήταν σχεδόν διπλάσιος σε σχέση με την οριζόντια.
- Η μελέτη των διαγραμμάτων πλάτους και φάσης απόκρισης συναρτήσει του όρου $\omega \cdot \tau$, αποτελούν απόδειξη ότι το υπό μελέτη σύστημα ακολουθεί συμπεριφορά συστήματος 1^{ης} τάξεως.

6.2 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Έχοντας ως βάση την συγκεκριμένη πειραματική διάταξη και τις γνώσεις που αναλύθηκαν στην παρούσα διπλωματική εργασία υπάρχουν πολλά φαινόμενα που θα μπορούσαν να αποτελέσουν αντικείμενα έρευνας πάνω στον τομέα των heat pipes. Κάποια από τα φαινόμενα που έχουν ενδιαφέρον είναι:

- Η χρήση προσανατολισμού ενδιάμεσων θέσεων του αγωγού θερμότητας μεταξύ της κατακόρυφης και της οριζόντιας στις οποίες το διάλυμα της βαρύτητας θα προκαλεί διαφορετική επίδραση στην απόδοση του heat pipe για κάθε γωνία.
- Μεγάλο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μελέτη της συμπεριφοράς του μοντέλου προσομοίωσης σε προσανατολισμούς με τον εξαερωτήρα του heat pipe σε υψηλότερη θέση από τον συμπυκνωτή (περιστροφή κατά 180° από την κάθετη θέση που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία). Με τον συγκεκριμένο προσανατολισμό η βαρύτητα θα επιδρούσε αντίθετα στη κίνηση της υγρής φάσης και τότε η απόδοση του αγωγού θερμότητας θα μειωνόταν σε πολύ μεγάλο βαθμό.

Βιβλιογραφία

- *Incropera, DeWitt, Bergman, Lavine (2006), “Fundamentals of heat and Mass Transfer”, Sixth edition, John Wiley & Sons*
- *Δρ. Ρούσσος Παπαγιαννάκης Επίκουρος Καθηγητής (2010), Σημειώσεις από το μάθημα Μεταφορά Θερμότητας της Σχολής Ικάρων*
- *Δρ. Κωνσταντίνος Η. Κυρίτσης Λέκτορας (2010), Σημειώσεις από το μάθημα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου της Σχολής Ικάρων*
- *Jason D. Carr, “An Examination of CPU Cooling Technologies”, Thermal Management Options for Engineers, DSI, pp1-2*
- *https://en.wikipedia.org/wiki/Time_constant
Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018*
- *Thomas G. Beckwith, Roy D. Marangoni, John H. Lienhard V (2011), “Mechanical Measurements”, sixth edition, USA, Pearson Learning Solutions*

•<https://www.quora.com/Do-we-actually-use-Laplace-Transforms-in-real-life>

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•*Measurement Lab (2006), “First-Order System: Transient Response of a Thermocouple to a Step Temperature Change”*

•<http://eleceng.dit.ie/gavin/Instrument/Dynamic/Dynamic%20Notes.html>,

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•https://en.wikipedia.org/wiki/Time_constant

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•https://en.wikipedia.org/wiki/Heat_pipe

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•*Edmundo Corona, (1999), “Dynamic Response of Measurement Systems”, Measurements Laboratory*

•*Patrik Nemeč, Alexander Caja, Milan Malcho (2013), “Mathematical model for heat transfer limitations of heat pipe”, Elsevier*

•<https://www.google.com/patents/US3613773>

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•<https://patents.google.com/patent/US3152774A/en>

•<https://patents.google.com/patent/US3229759A/en>

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•<http://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Nonconventiona>

[l_Heat_Pipes](http://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Nonconventiona), Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•<http://www.amsenergy.com/heat-pipe-technology-history/>

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•<https://www.thermacore.com/thermal-basics/heat-pipe-technology.aspx>,

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

•<https://www.myheatsinks.com/heat-pipe-solutions/standard-heat-pipes>

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

• http://www.adeo-heatpipe.com/design_guide,632,469.html

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

• <https://www.androidauthority.com/fujitsu-1mm-loop-heat-pipe-cooling-594661/> Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

• <https://www.1-act.com/resources/heat-pipe-fundamentals/heat-pipe-gallery/>
Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

• [http://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Nonconvention
al_Heat_Pipes](http://www.thermalfluidscentral.org/encyclopedia/index.php/Nonconventional_Heat_Pipes)

Τελευταία πρόσβαση στις 26/5/2018

• *Mohamed H.A. Elnaggar, Ezzaldeen Edwan (2016), “Heat Pipes for Computer Cooling Applications”, S M Sohel Murshed*

• *Μακρίδης Στυλιανός (2017), “ Θερμοκρασιακό πεδίο Heat Pipe σε μεταβατικές και μόνιμες συνθήκες λειτουργίας”*

• http://users.auth.gr/~paloura/THERMOTHTA_MA8HMA_2.pdf

- Φιλοκώστας Χρήστος – Επισκόπου Παναγιώτης (2018),
“Θερμοκρασιακή μεταβολή πυρήνα η/υ σε μεταβατικές συνθήκες λειτουργίας
”