



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτόματου Ελέγχου  
Εργαστήριο Δυναμικής και Κατασκευών

**ΕΞΑΓΩΓΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ**  
**ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΔΟΜΕΣ**  
**ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ MORLET**

**Διπλωματική Εργασία**  
**Διαμαντόγιαννη Γεωργία**

Επιβλέπων: Δρ. Ι. Αντωνιάδης  
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ  
2016



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
Τομέας Μηχανολογικών Κατασκευών και Αυτόματου Ελέγχου  
Εργαστήριο Δυναμικής και Κατασκευών

**ΕΞΑΓΩΓΗ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ  
ΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΜΕ ΔΟΜΕΣ ΚΥΜΑΤΙΔΙΩΝ MORLET**

**FEATURE EXTRACTION FROM THE VIBRATION RESPONSE OF  
ROTATING EQUIPMENT USING MORLET WAVELETS**

**Διπλωματική Εργασία**  
**Διαμαντόγιαννη Γεωργία**

**Επιβλέπων: Δρ. Ι. Αντωνιάδης**  
**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ  
2016



*Αφιερώνεται στη μνήμη του πατέρα μου  
και της γιαγιάς μου που έφυγαν νωρίς...*

## Ευχαριστίες

Θεωρώ χρέος μου πριν ξεκινήσει η ανάπτυξη και παρουσίαση του θέματος της Διπλωματικής μου εργασίας να ευχαριστήσω ορισμένα άτομα που με βοήθησαν και συνέβαλαν σημαντικά σε αυτή.

Κατ' αρχήν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρ. Αντωνιάδη Ιωάννη για την ανάθεση του θέματος άλλα και για την καθοδήγησή του για την υλοποίηση των κατευθύνσεων της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Χρήστο Γιακόπουλο μέλος του εργαστηρίου Δυναμικής και Κατασκευών και ΕΔΠΠ για τις συμβουλές, την καθοδήγηση και την συνολική βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Έχοντας βαθιά και ουσιαστική γνώση του θέματος μου προσέφερε τον πολύτιμο χρόνο του και την ουσιαστική υποστήριξή του που χωρίς αυτή η εκπόνηση της εργασίας θα ήταν ιδιαίτερα δυσχερής.

Ευχαριστώ ολόθερμα την οικογένεια μου, που με στήριξε όλα τα προηγούμενα χρόνια σε όλες μου τις προσπάθειες και συνεχίζει να με στηρίζει.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπόλοιπους κοντινούς μου ανθρώπους, που υπήρξαν συνοδοιπόροι και συμμετέχοντες των προσπαθειών μου και προσέφεραν, ο καθένας με τον τρόπο του, σημαντική υποστήριξη.

## Περίληψη

Οι βλάβες των ρουλεμάν σε περιστρεφόμενες μηχανές μπορούν να προκαλέσουν βλάβη της μηχανής και οικονομική απώλεια εάν δεν γίνουν έγκαιρα αποτελεσματικές ενέργειες. Ως εκ τούτου, είναι πρωταρχικής σημασίας να ανιχνευτεί με ακρίβεια η παρουσία βλάβης και ιδιαίτερα στα πρώτα στάδιά της με σκοπό την πρόληψη ακόλουθων ζημιών και τη μείωση του κόστους διακοπής της λειτουργίας της μηχανής. Η διάγνωση βλαβών των μηχανών ακολουθεί μια διαδικασία απόκτησης δεδομένων, εξαγωγής χαρακτηριστικών και λήψης διαγνωστικών αποφάσεων. Στη διαδικασία λήψης των αποφάσεων αυτών, η εξαγωγή χαρακτηριστικών βλάβης σε κραδασμικά σήματα είναι το θεμέλιο και το κλειδί για την απόκτηση ακριβούς διαγνωστικού αποτελέσματος. Κρίσιμο λοιπόν ζήτημα είναι η επιλογή των πιο ευαίσθητων χαρακτηριστικών για διάφορα είδη βλαβών ειδικά όταν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι δύσκολο να εξαχθούν. Λόγω περιττών στον αρχικό χώρο χαρακτηριστικών, η χρησιμοποίηση όλων αυτών μπορεί να οδηγήσει σε υψηλή πολυπλοκότητα και χαμηλή επίδοση των διαγνώσεων βλαβών. Έτσι έχει αναπτυχθεί μια πληθώρα πολύπλοκων μεθόδων διάγνωσης σφαλμάτων που βασίζονται σε δεδομένα και τροφοδοτούνται από εξαγόμενα χαρακτηριστικά, τα οποία εξάγονται και μειώνονται μέσω παραδοσιακών και μοντέρνων αλγόριθμων. Όμως είναι καλύτερο να εξαχθούν και να επιλεγούν μόνο τα πιο αντιπροσωπευτικά χαρακτηριστικά και όχι να γίνει απλώς μια μείωση του αριθμού τους.

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα μοντέλο εξαγωγής ενός βέλτιστου χαρακτηριστικού, του μέσου όρου ιδιόμορφων τιμών (Mean Singular Value), το οποίο είναι σε θέση να ξεπεράσει τις επιπτώσεις του θορύβου και των συνθηκών διασποράς σε σήματα δειγματοληψίας και έτσι να βελτιώσει την ακρίβεια των διαγνώσεων βλάβης και των καινοτόμων μεθόδων ανίχνευσης. Τα βέλτιστα χαρακτηριστικά Mean Singular Values εξάγονται από το σήμα μέσω των μιγαδικών μετατοπιζόμενων κυματιδίων Morlet (Complex Shifted Morlet Wavelets). Πριν από την εφαρμογή των κυματιδίων τα σήματα αυτά έχουν αναλυθεί μορφολογικά με τη χρήση του μορφολογικού τελεστή Beucher. Τα εξαγόμενα Mean Singular Values για κάθε σήμα και για κάθε χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης, αυτά χρησιμοποιούνται σαν εισαγωγή στον αλγόριθμο Gaussian Mixture Models για την εκπαίδευσή του (training) και τη διαδικασία της επαληθευσής του (testing). Για να εξεταστεί η αποτελεσματικότητα αυτών των χαρακτηριστικών χρησιμοποιήθηκαν 8 σετ σημάτων, 6 από μια μηχανή, με διαφορετική βλάβη το κάθε σετ και ανά δύο κάτω από διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας που είναι διαθέσιμα στο IEEE PH Prognostic challenge (<http://www.femost.fr/en/Researchdepartments/AS2M/Researchgroups/PHM/Pronostica>). Τα υπόλοιπα 2 σετ από μια μηχανή κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας αλλά με διαφορετικά είδη βλαβών, τα οποία είναι διαθέσιμα στο Prognostics Center Excellence (<https://ti.arc.nasa.gov/project/prognostic-data-repository/>)

Ακόμη από αυτά τα σήματα έγινε εξαγωγή των χρονικών δεικτών kurtosis, root mean square (rms), Impulse Factor, Shape Factor, Skewness, Crest Factor, the root-sum-of-squares (RSS) level, standard deviation, 25th percentile και variance με τη χρησιμοποίηση κυρτωγράμματος αλλά και χωρίς και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και αυτά σαν εισαγωγή στον GMM. Αυτό έγινε με σκοπό να συγκριθεί η απόδοση της μεθόδου ανίχνευσης βλάβης με αυτά τα δύο χαρακτηριστικά με τα προτεινόμενα χαρακτηριστικά.

Το αποτέλεσμα μας δείχνει ότι η προτεινόμενη μέθοδος εξαγωγής χαρακτηριστικών βελτιώνει την απόδοση της μεθόδου ανίχνευσης βλαβών, ανιχνεύοντας μάλιστα τη βλάβη σε αρχικά στάδια και μας δίνει ακόμη τη δυνατότητα ταξινόμησης της βλάβης, σε σχέση με τις δύο μεθόδους εξαγωγής χρονικών δεικτών.

## Abstract

Bearing failures in rotating machinery can cause machine breakdown and economical loss, if no effective actions are taken on time. Therefore, it is of prime importance to detect accurately the presence of faults, especially at their early stage, to prevent sequent damage and reduce costly downtime. The machinery fault diagnosis follows a roadmap of data acquisition, feature extraction and diagnostic decision making, in which mechanical vibration fault feature extraction is the foundation and the key to obtain an accurate diagnostic result. So a critical issue is the selection of the most sensitive features for various types of fault, especially when the characteristics of failures are difficult to be extracted. Due to redundant features in the original feature space, employing all features might lead to high complexity and low performance of fault diagnosis. Thus, a plethora of complex fault diagnosis methods are fed by prominent features, which are extracted and reduced through traditional or modern algorithms. But, it is better to extract or select only the most representative features rather than simply reducing the number of the features.

In this study, a new enhanced feature extraction scheme is introduced, the Mean Singular Value, to improve the robustness and the accuracy of fault diagnostics and novelty detection methods. The optimal features Mean Singular Values are extracted from the signal through Complex shifted morlet wavelets. Before the extraction, the signals have been morphological operated by the Beucher gradient. The extracted Mean Singular Values from every signal and every theoretical fault frequency are used as an input in the Gaussian Mixture Models algorithm, for his training and testing procedure. In order to test this method's accuracy, 8 sets of signals are used. The 6 sets are from the same rotating machinery, by two in different operating conditions and each with a different bearing fault, which are available in IEEE PHPrognosticchallenge (<http://www.femost.fr/en/Researchdepartments/AS2M/Reasechgroops/PHM/Pronostia>). The rest two sets from a different rotating machinery with the same operating conditions but with different bearing faults. This data sets are available in Prognostics Center Excellence (<https://ti.arc.nasa.gov/project/prognostic-data-repository/>).

Moreover, from these sets the time indices kurtosis, root mean square (rms), Impulse Factor, Shape Factor, Skewness, Crest Factor, the root-sum-of-squares (RSS) level, standard deviation, 25th percentile and variance were extracted through kurtogramm and without it and these feature were used as inputs in GMM algorithm. This procedure was done in order to compare the performance of the fault detection method with these two features with the proposed features.

The result shows that the proposed feature extraction method enhances the fault detection method, in fact detecting the failure in the initial stages and even gives the possibility of classifying the fault in relation to both methods extraction time indices.

## Περιεχόμενα

Ευχαριστίες .....	2
Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
1.Εισαγωγή.....	7
2.Θεωρητικό μέρος.....	9
2.1 Μορφολογική ανάλυση .....	9
2.1.1 Έννοια της μορφολογικής ανάλυσης και μορφολογικοί τελεστές.....	9
2.1.2 Ο μορφολογικός τελεστής Beucher .....	13
2.2 Ανάλυση Κυματιδίων.....	14
2.2.1 Ο μετασχηματισμός κυματιδίου (WT). .....	14
2.2.2 Το κυματίδιο .....	16
2.2.3 Ορισμός του συνεχή μετασχηματισμένου κυματιδίου.....	17
2.2.4 Μιγαδικά Κυματίδια: Κυματίδιο Morlet.....	19
2.3 Complex Shift Morlet Wavelet (CSMW) .....	22
2.4 Gaussian Mixture Models (GMM).....	27
3.Περιγραφή Μεθόδου.....	31
4.Πειραματικό μέρος.....	36
4.1 Πρώτη πειραματική εγκατάσταση .....	36
4.1.1 Περιγραφή πρώτης πειραματικής εγκατάστασης .....	36
4.1.2 Μετρήσεις .....	38
4.1.3 Μελέτη σημάτων .....	39
4.1.4 Εξαγωγή χαρακτηριστικών παραμέτρων.....	46
4.1.4.1 Εξαγωγή Mean Singular Values .....	46
4.1.4.2 Εξαγωγή Χρονικών Δεικτών .....	52
4.1.5 Εκπαίδευση του συστήματος και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας. ....	53
4.1.5.1 Εκπαίδευση του συστήματος με MSVs και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.....	53
4.1.5.2 Εκπαίδευση του συστήματος με χρονικούς δείκτες και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.....	60
4.1.6 Ταξινόμηση βλάβης με τη χρήση των Mean Singular Values.....	66
4.2 Δεύτερη πειραματική εγκατάσταση .....	70
4.2.1 Περιγραφή της δεύτερης πειραματικής εγκατάστασης.....	70
4.2.2 Μετρήσεις .....	70
4.2.3 Μελέτη σημάτων .....	71
4.2.4 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Παραμέτρων.....	74
4.2.4.1 Εξαγωγή Singular Values .....	74



4.2.4.2 Εξαγωγή χρονικών δεικτών.....	80
4.2.5 Εκπαίδευση του συστήματος και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας. ....	81
4.2.5.1 Εκπαίδευση του συστήματος με MSVs και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.....	81
4.2.5.2 Εκπαίδευση του συστήματος με χρονικούς δείκτες και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.....	83
4.2.6 Ταξινόμηση βλάβης με τη χρήση των Mean Singular Values.....	85
4.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων.....	86
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	88
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α</b> .....	89
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β</b> .....	101
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ</b> .....	149

# 1.Εισαγωγή

Η διάγνωση βλαβών σε περιστρεφόμενες μηχανές αποτελεί θέμα εντατικής έρευνας για πολλά χρόνια παρουσιάζοντας ανάπτυξη και βελτίωση των εργαλείων επεξεργασίας σημάτων και αλγορίθμων εντοπισμού της βλάβης ,ταξινόμησής της και πρόβλεψης με σκοπό την πρόωρη και έγκαιρη διάγνωση της. Γενικά, αυτές οι μέθοδοι αναφέρονται ως Συντήρηση Βάσει Κατάστασης (Condition Based Monitoring ,CBM) και προσπαθούν να ανιχνεύσουν απόκλιση από την ονομαστική συμπεριφορά ενός δυναμικού συστήματος στην πάροδο του χρόνου. Αυτές οι εφαρμογές μειώνουν το κόστος συντήρησης και επιμηκύνουν τη διάρκεια ζωής της μηχανής. Μη σύννομες αλλαγές στην απόδοση ενός συστήματος μπορούν να είναι αποτέλεσμα αυτοδιέγερσης, όπως για παράδειγμα η χειροτέρευση μίας κακής ευθυγράμμισης, ή από ένα εξωτερικό ερέθισμα, όπως για παράδειγμα η διέγερση της ιδιοσυχνότητας λόγω δόνησης παρακαείμενης μηχανής. Τα τελευταία χρόνια μεγάλες επενδύσεις έχουν γίνει στον τομέα της CBM, ειδικά στην αεροδιαστημική και τις κατασκευαστικές βιομηχανίες. Γρήγορη ανίχνευση μη φυσιολογικής συμπεριφοράς μπορεί να υποδείξει ύπαρξη σφάλματος πριν η μηχανή χρειαστεί επισκευή η οποία συνήθως είναι χρονοβόρα και δαπάνηρη.

Η CBM είναι μία μη καταστρεπτική διαδικασία πραγματικού χρόνου. Τα πλεονεκτήματα τέτοιων μεθόδων για παρακολούθηση μηχανών περιλαμβάνουν:

- Ελαχιστοποίηση του κόστους ιδιοκτησίας, επιμηκύνοντας το διάστημα μεταξύ δύο συντηρήσεων.
- Ελαχιστοποίηση του χρόνου διακοπής λειτουργίας κι ασφάλειας, μειώνοντας τον αριθμό των στοιχείων μηχανής τα οποία είναι να αστοχίσουν σύντομα.
- Αύξηση του χρόνου χρήσης των στοιχείων μηχανής, μεγιστοποιώντας την πρακτική ζωή τους.

Οι μέθοδοι εντοπισμού σφαλμάτων οι οποίες είναι βασισμένες στην CBM, σε αντίθεση με διαγνωστικές τεχνικές συγκεκριμένων βλαβών -οι οποίες απαιτούν ανθρώπινη τεχνογνωσία για να είναι δυνατή η ανίχνευση βλάβης- έχουν ένα σαφές προβάδισμα στην ανίχνευση σφαλμάτων στη μηχανή, λόγω του γεγονότος ότι η μη φυσιολογική συμπεριφορά εμφανίζεται πριν το σφάλμα εξελιχθεί πλήρως.

Η εξαγωγή χαρακτηριστικών είναι ένα από τα βασικά βήματα στη διαδικασία της διάγνωσης βλαβών. Τα σήματα που εκπέμπονται, συλλέγονται από μια περιστρεφόμενη μηχανή συχνά είναι μη στατικά, μη γραμμικά και με παρεμβολή ισχυρού θορύβου ενώ η πρώιμη ενέργεια του σήματος είναι πολύ χαμηλή για να εξαχθούν χαρακτηριστικά σφάλματος στο πεδίο του χρόνου. Με σκοπό να εξαχθούν βέλτιστα χαρακτηριστικά σε χαμηλή αναλογία σήματος-θορύβου είναι απαραίτητο να αναπτυχθούν αποτελεσματικά και ευέλικτα εργαλεία ανάλυσης του σήματος που μπορούν να προσαρμοστούν σε διαφορετικές εφαρμογές και συνθήκες λειτουργίας.

Σαν συνέπεια ,τις τελευταίες δεκαετίες έχουν δει ταχεία πρόοδο μέθοδοι εξαγωγής χαρακτηριστικών όπως μέθοδοι στο πεδίο του χρόνου ,στο πεδίο της συχνότητας και μέθοδοι χρόνου-συχνότητας, οι οποίες είναι ικανές για την εξαγωγή των πιο αντιπροσωπευτικών χαρακτηριστικών και την ταυτόχρονη μείωση των διαστάσεων τους με σκοπό να μεγιστοποιηθεί η αποτελεσματικότητα και η ακρίβεια των μεθόδων ταξινόμησης.

Στην παρούσα εργασία , η μέση ιδιάζουσα τιμή (Mean Singular Value) είναι το εξαγώμενο χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται για την καινοτόμα ανίχνευση. Αυτό το χαρακτηριστικό δεν χρησιμοποιείται ευρέως στον τομέα της μηχανικής. Έχει προταθεί μια ισχυρή μέθοδος εξαγωγής χαρακτηριστικών με σκοπό να πετυχαίνει την υψηλή ταξινόμηση του σφάλματος ακόμη και σε ένα θορυβώδες περιβάλλον. Η προτεινόμενη αυτή μέθοδος συνδιάζει τη μέθοδο μικρού χρόνου-ενέργειας (short-time energy) με την αποσύνθεση των Singular Values( Singular Value Decomposition, SVD) παρέχοντας απλά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται σε μεγάλη ποικιλία συστημάτων ταξινόμησης. Όμως τα ακανόνιστα σχήματα των τιμών τους μπορούν να οδηγήσουν σε χαμηλής ακρίβειας ταξινόμηση. Για αυτό το λόγο η προτεινόμενη προσέγγιση εξαγωγής SVD χαρακτηριστικών εφαρμόζεται ,για να ξεπεραστεί αυτός ο περιορισμός.

Το αρχικό σήμα διαιρείται σε υποζώνες, οι τιμές των χαρακτηριστικών υπολογίζονται σε κάθε υποζώνη και δημιουργείται ένας πίνακας. Στη συνέχεια, αυτός ο πίνακας αποσυντίθεται χρησιμοποιώντας το SVD. Τα Singular Values χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση της βλάβης. Μια νέα προσέγγιση χαρακτηριστικού σφάλματος εισάγεται. Αυτή η εργασία είναι βασισμένη στην Singular φασματική ανάλυση του δυναμικού σήματος που εφαρμόζεται για να αποσυντεθούν τα αποκτημένα σήματα σε ένα πρόσθετο σέτ κύριων συστατικών. Αρχικά, το δυναμικό σήμα χαρτογραφείται σε μια ακολουθία από πολύδιάστατα, με χρονική υστέρηση διανύσματα, έχοντας ως αποτέλεσμα ένα πίνακα τροχειά. Αυτός ο πίνακας αποσυντίθεται μέσω του SVD σε ένα άθροισμα από κάθετους μεταξύ τους μοναδικής τάξης στοιχειώδεις πίνακες. Τα εξαγόμενα SVs σε φθίνουσα σειρά χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν ένα Singular φάσμα στη συνέχεια βρίσκουμε ποια από αυτές ικανοποιεί το κριτήριο μας. Μετά, οι Singular Values χρησιμοποιούνται για εισαγωγή σε ένα νευρωνικό δίκτυο για διάγνωση βλαβών.

Όμως οι περισσότερες βάσεις δεδομένων έχουν αποκτηθεί κατά τη διάρκεια υγιούς λειτουργίας. Επιπρόσθετα, μια αναπόφευκτη συνέπεια της υψηλού βαθμού πολυπλοκότητας του συστήματος είναι ο μεγάλος αριθμός των πιθανών τρόπων αστοχίας, τα αποτελέσματα των οποίων σε παρατηρήσιμα δεδομένα είναι ανεπαρκώς καθορισμένα. Έτσι, δεν υπάρχουν επαρκή παραδείγματα βλάβης για να κατασκευαστούν ακριβή συστήματα ανίχνευσης του σφάλματος. Σαν αποτέλεσμα, τα συμβατικά συστήματα ανίχνευσης του σφάλματος συχνά περιορίζονται στο να εντοπίζουν ένα μικρό υποσύνολο των γνωστών καλώς κατανοημένων τρόπων αστοχίας.

Μια εναλλακτική λύση για τον εντοπισμό σπάνιων και απρόσμενων τρόπων αστοχίας είναι η καινοτόμα ανίχνευση όπου το μοντέλο της κανονικής λειτουργίας είναι κατασκευασμένο από δεδομένα του συστήματος που αφορούν σε ομαλή λειτουργία. Τα δεδομένα από μη κανονική συμπεριφορά ταξινομούνται ως νέα δεδομένα. Η καινοτόμα ανίχνευση, εναλλακτικά γνωστή ως πρώτης τάξης ταξινόμησης ακραίων τιμών μπορεί να λειτουργήσει μόνο όταν κανονικά δεδομένα είναι διαθέσιμα. Αυτές οι μέθοδοι είναι σημαντική υπόσχεση για την παρακολούθηση της υγείας στην περίπτωση της έλλειψης δειγμάτων βλάβης και προηγούμενης γνώσης.

Ένας αριθμός από ταξινομητές (Gaussian Mixture Models, Hidden Markov Models, kNN-based, κτλ) έχουν προσαρμοστεί για την καινοτόμα ανίχνευση. Έχει φανεί στην πράξη ότι η καινοτόμα ανίχνευση είναι ένα δύσκολο έργο. Ως αποτέλεσμα, πολλά μοντέλα καινοτόμας ανίχνευσης έχουν προταθεί έχοντας καλές αποδόσεις σε συγκεκριμένα σύνολα δεδομένων. Είναι σαφώς εμφανές ότι μέχρι τώρα δεν υπάρχει παγκόσμια το καλύτερο μοντέλο για καινοτόμα ανίχνευση και η επιτυχία του δεν εξαρτάται μόνο από το είδος της μεθόδου που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση αλλά και από τις στατιστικές ιδιότητες των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται.

Στην παρούσα εργασία Gaussian Mixture Models (GMM) χρησιμοποιούνται για την επιτυχή ανίχνευση της βλάβης. Ακόμη ένας νέος τύπος διαγνωστικών χαρακτηριστικών προτείνεται συνδυάζοντας τη μορφολογική ανάλυση (morphological analysis) και τα μιγαδικά μετατοπιζόμενα κυματίδια Morlet (Complex Shifted Morlet Wavelets). Τα εξαγόμενα Mean Singular Values εφαρμόζονται σαν τα βέλτιστα χαρακτηριστικά. Ύστερα αυτά χρησιμοποιούνται σαν εισαγωγή στο GMM επικεντρώνοντας στην έγκαιρη διάγνωση βλαβών και στην ταξινόμηση έχοντας ως δεδομένο ότι οι μετρήσεις κάτω από κανονικές συνθήκες, είναι διαθέσιμες.

## 2. Θεωρητικό μέρος

### 2.1 Μορφολογική ανάλυση

#### 2.1.1 Έννοια της μορφολογικής ανάλυσης και μορφολογικοί τελεστές

Με τον όρο μορφολογική ανάλυση σημάτων εννοείται ένα σύνολο από θεωρητικές έννοιες, μαθηματικά εργαλεία επεξεργασίας σήματος, μη γραμμικούς τελεστές, μεθόδους σχεδιασμού και συστήματα εφαρμογών που συσχετίζονται με την μαθηματική μορφολογία.

Η μαθηματική μορφολογία έχει σαν σκοπό την ποσοτική περιγραφή της γεωμετρικής δομής των σχημάτων. Εισήχθη από τους Matheron και Serra το 1960. Η μαθηματική μορφολογία συστηματοποίησε παλαιότερες προσπάθειες για ανάλυση δυαδικών εικόνων και πρόσθεσε νέες έννοιες και τελεστές. Οι αρχές της μαθηματικής μορφολογίας βασίζονται στη θεωρία συνόλων και τη στοχαστική γεωμετρία. Οι παραδοσιακές μέθοδοι επεξεργασίας γραμμικών συστημάτων και η ανάλυση Fourier δεν είναι αποτελεσματικές στην επίλυση προβλημάτων που αφορούν τη γεωμετρία της χρονικής ακολουθίας διότι δεν αντιμετωπίζουν ευθέως το θέμα της ποσοτικοποίησης του σχήματος και του μεγέθους των σημάτων.

Αρχικά, εφαρμόστηκε για την ανάλυση εικόνων στη γεωλογία και στη βιολογία. Όπως υποδηλώνεται από το όνομα της, η μορφολογική προσέγγιση αντιλαμβάνεται τα εξεταζόμενα αντικείμενα με τρόπο που συμφωνεί με την ανθρώπινη αντίληψη των σχημάτων, αντίθετα με άλλες μεθόδους, που βασίζονται στη λογική των συχνοτήτων.

Οι εφαρμογές σε μονοδιάστατες χρονικές σειρές είναι περιορισμένες και αφορούν βιολογικά σήματα, όπως καρδιογραφήματα και εγκεφαλογραφήματα.

Η μορφολογική προσέγγιση δεν συναντάται συχνά σε εφαρμογές που σχετίζονται με την επεξεργασία δυναμικών σημάτων, όπως οι κραδασμοί που παράγονται κατά τη λειτουργία των ένσφαιρων τριβέων. Όπως, έχει ήδη αναφερθεί, η μορφολογική επεξεργασία αξιοποιεί χαρακτηριστικά που υπάρχουν στη χρονική μορφή των σημάτων. Παρ' ότι η μορφολογική επεξεργασία δυσκολεύεται να ανιχνεύσει χαρακτηριστικά, τα οποία είναι κρυμμένα στη χρονική κυματομορφή του σήματος, εν τούτοις σε πολλές περιπτώσεις δύναται να αξιοποιηθεί ούτως ώστε να εξαχθούν τα κρουστικά χαρακτηριστικά των κραδασμών με αποτελεσματικότερο τρόπο από τις παραδοσιακές μεθόδους.

Στην μαθηματική μορφολογία εφαρμόζεται μια σειρά από μη γραμμικούς μετασχηματισμούς, οι οποίοι βασίζονται στην έννοια των συνόλων. Οι βασικοί τύποι μορφολογικών συνόλων είναι η πρόσθεση και η αφαίρεση συνόλων Minkowski.

Η πρόσθεση Minkowski μεταξύ δύο συνόλων αριθμών A και B ορίζεται ως εξής:

$$A \oplus B = \{a + b, a \in A, b \in B\} = \bigcup_{b \in B} A_b \quad (2.1.1)$$

όπου το μαθηματικό σύμβολο  $\bigcup$  ορίζει ορίζει την ένωση συνόλων και  $A_b$  είναι ένα σύνολο που προκύπτει με μετακίνηση της αρχής του συνόλου A κατά διαστήματα που ορίζονται από τα στοιχεία b του συνόλου B.

Με βάση τον παραπάνω ορισμό η αφαίρεση Minkowski μπορεί να εκφρασθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$A \ominus B = (A^c \oplus B)^c = \bigcap_{b \in B} A_b \quad (2.1.2)$$

Όπου το  $A^c$  είναι το συμπλήρωμα του συνόλου A και το  $\bigcap$  σύμβολο υποδεικνύει τη τομή συνόλων.

Έτσι, η αφαίρεση των δύο συνόλων A και B παράγει ένα σύνολο, το οποίο συνίσταται από τα κοινά στοιχεία των συνόλων  $A_b$ , τα οποία δημιουργούνται με μετακίνηση της αρχής του συνόλου A σε αποστάσεις που καθορίζονται από τα στοιχεία του συνόλου B.

Με βάση τους ορισμούς της πρόσθεσης και της αφαίρεσης συνόλων των σχέσεων (2.1.1) και (2.1.2) αντίστοιχα, ορίζονται οι δύο βασικοί μορφολογικοί τελεστές: η διαστολή (dilation) και η διάβρωση (erosion).

$$dil(A, B) = A \oplus B^r = \{x, B_x \cap A \neq \emptyset\} = \bigcup_{b \in B} A_{-b} \quad (2.1.3)$$

$$er(A, B) = A \ominus B^r = \{x, B_x \subseteq A\} = \bigcap_{b \in B} A_{-b} \quad (2.1.4)$$

όπου ο όρος  $B_r$  παριστάνει κατοπτρικό σύνολο συναρτήσεως της αρχής του συνόλου B.

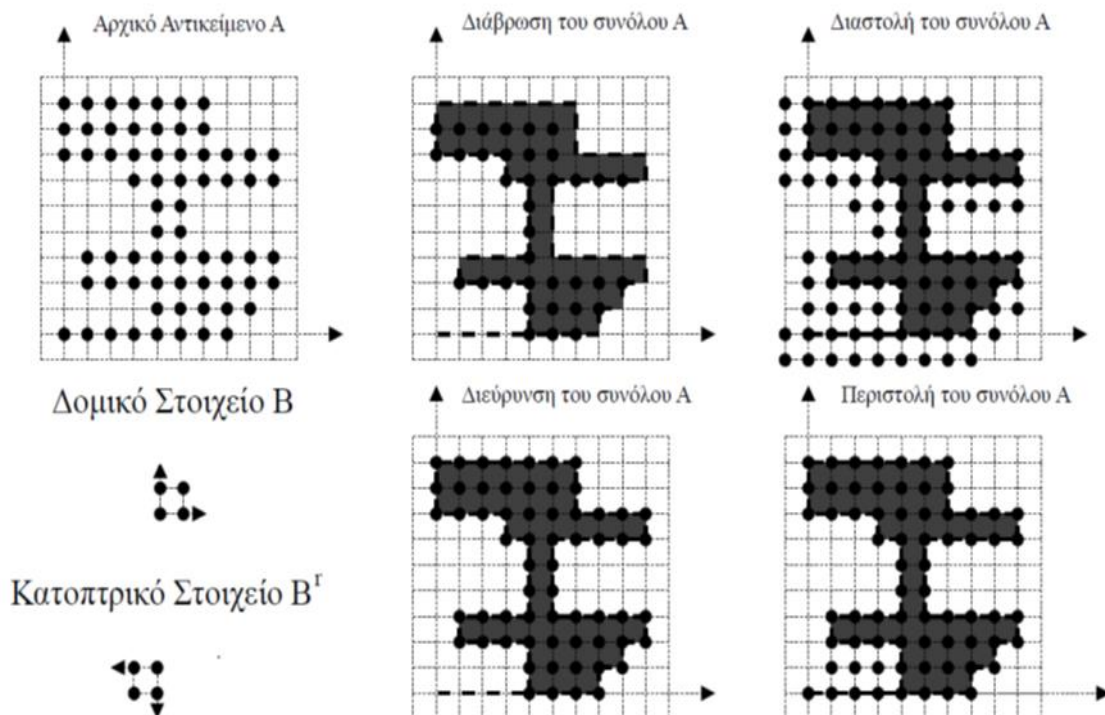
Ένα παράδειγμα διαστολής και διάβρωσης απεικονίζεται στο Σχ. 2.1. Τα σύνολα A και B λαμβάνουν δυαδικές τιμές (1 ή 0 → ‘Μαύρο’ ή ‘Άσπρο’) και ορίζονται στο καρτεσιανό επίπεδο. Η διαστολή και η διάβρωση του συνόλου A από το σύνολο B καθορίζεται από τον τρόπο που το κατοπτρικό σύνολο  $B_r$  τέμνει το σύνολο A.

Με βάση τη διαστολή και τη διάβρωση ορίζονται δύο ακόμη βασικοί μορφολογικοί τελεστές: η περιστολή (closing) και η διεύρυνση (opening).

$$cl(A, B) = A \bullet B = (A \oplus B^r) \ominus B \quad (2.1.5)$$

$$op(A, B) = A \circ B = (A \ominus B^r) \oplus B \quad (2.1.6)$$

Σύμφωνα με τη σχέση (2.1.5), η περιστολή ορίζεται ως η διαστολή του συνόλου A από το σύνολο B συνοδευόμενη από αφαίρεση Minkowski του συνόλου B. Αντίστοιχα, η διεύρυνση δύναται να εκφραστεί ως η διάβρωση του συνόλου A από το σύνολο B συνοδευόμενη από πρόσθεση Minkowski του συνόλου B.



Σχ. 2.1: Μορφολογική επεξεργασία ενός συνόλου A (αρχικό αντικείμενο) από ένα σύνολο B (δομικό στοιχείο). Τα δύο σύνολα ορίζονται στο καρτεσιανό επίπεδο και τα στοιχεία τους λαμβάνουν τιμές 1 ή 0.

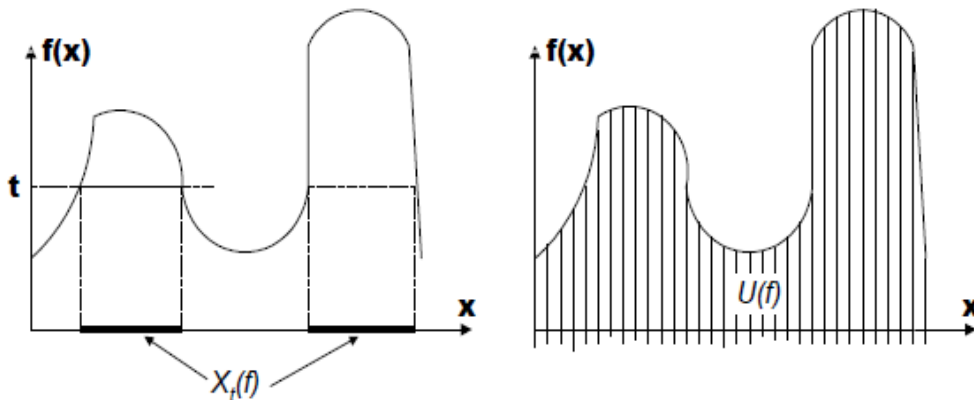
Το σύνολο που προκύπτει από την περιστολή πάντα περιλαμβάνει το αρχικό σύνολο, όπως φαίνεται και στο Σχ. 2.1. Επίσης, η μορφολογική περιστολή καλύπτει τα κενά του αρχικού αντικειμένου, ενώ η μορφολογική διεύρυνση εξαλείφει λεπτά και αιχμηρά τμήματα του αρχικού αντικειμένου. Περαιτέρω εφαρμογή των μορφολογικών τελεστών με το ίδιο δομικό στοιχείο δεν αλλάζει το αποτέλεσμα.

Η βάση της μαθηματικής μορφολογίας είναι το σύνολο. Για την ανάλυση πολυδιάστατων σημάτων έχουν αναπτυχθεί διαφορετικές προσεγγίσεις.

Για μονοδιάστατες συναρτήσεις ορίζεται η διατομή (cross section) μιας συνάρτησης:

$$X_t(f) = \{x \in D : f(x) \geq t\}, t \in V \quad (2.1.7)$$

όπου  $f(x)$  είναι μία συνάρτηση,  $D$  είναι το πεδίο ορισμού της  $f$  στο σύνολο των ακεραίων  $Z$  ή στο σύνολο  $R$  των πραγματικών αριθμών,  $V$  είναι το πεδίο τιμών της  $f(x)$  και ο όρος  $t$  εκφράζει ένα όριο (threshold). Μια ενδεικτική διατομή μιας συνάρτησης αναπαρίστανται στο Σχ. 2.2.



Σχ. 2.2: Παράσταση συνάρτησης με σύνολα: (α) η διατομή  $X_t(f)$  και (β) η σύσκια αναπαράσταση  $U(f)$

Έστω ότι η συνάρτηση  $f(x)$  είναι συνεχής και εμφανίζει θετικές κορυφές (upper semi-continuous function). Τότε είναι δυνατή η ανακατασκευή της συνάρτησης από τις διατομές της που λαμβάνονται από μία ακολουθία συνόλων:

$$f(x) = \sup \{t \in R : x \in X_t\} \quad (2.1.8)$$

Η δεύτερη προσέγγιση χρησιμοποιεί τη σύσκια αναπαράσταση (umbra)  $U(f)$  της συνάρτησης (Σχ.2.2). Είναι ένα σύνολο  $U$  που ορίζεται στο καρτεσιανό επίπεδο με τον ακόλουθο τρόπο:

$$(x, t) \in U \Leftrightarrow t \leq f \Leftrightarrow x \in X_t(f) \quad (2.1.9)$$

$$(x, t) \in U \Leftrightarrow (x, a) \in U, \forall a < t \quad (2.1.10)$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω ορισμούς το μορφολογικό φιλτράρισμα τροποποιεί τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των σημάτων δια μέσου της επεξεργασίας με ένα άλλο σήμα ή συνάρτηση, που καλείται δομικό στοιχείο (structuring element). Το δομικό στοιχείο στην πράξη έχει απλούστερη μορφή από το τροποποιούμενο σήμα. Χρησιμοποιώντας τη διατομή  $X_t(f)$  και τη σύσκια αναπαράσταση  $U(f)$  μίας συνάρτησης συνόλων, η πρόσθεση και η αφαίρεση Minkowski μεταξύ δύο συναρτήσεων δύναται να εκφραστούν ως εξής:

$$(f \oplus g)(x) = \sup_{y \in D} \{f(y) + g(x - y)\} \quad (2.1.11)$$

$$(f \ominus g)(x) = \inf_{y \in D} \{f(y) - g(x - y)\} \quad (2.1.12)$$

Στις σχέσεις (2.1.11) και (2.1.12), το σύνολο  $D$  μπορεί να ταυτισθεί με το σύνολο των πραγματικών αριθμών  $\mathbb{R}$ . Όμως, για πρακτικές εφαρμογές υποτίθεται ότι το σύνολο  $D$  είναι ένα συμπαγές υποσύνολο του  $\mathbb{R}$ . Επίσης, δίχως αλλοίωση της γενικότητας, η συνάρτηση  $g(x)$  μπορεί να ορισθεί σε ένα υποσύνολο του  $D$ .

Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω ορισμούς της πρόσθεσης και της αφαίρεσης Minkowski μεταξύ συναρτήσεων, οι τέσσερις βασικές μορφολογικές λειτουργίες μπορούν να ορισθούν ως εξής:

$$dil(f, g) = (f \oplus g^r)(x) = f(x) \oplus g(-x) = \sup_{y \in D} \{f(y) + g(y - x)\} \quad (2.1.13)$$

$$er(f, g) = (f \ominus g^r)(x) = f(x) \ominus g(-x) = \inf_{y \in D} \{f(y) - g(y - x)\} \quad (2.1.14)$$

$$cl(f, g) = (f \bullet g)(x) = [(f \oplus g^r) \ominus g](x) \quad (2.1.15)$$

$$op(f, g) = (f \circ g)(x) = [(f \ominus g^r) \oplus g](x) \quad (2.1.16)$$

όπου η  $g^r(x)$  είναι συμμετρική συνάρτηση της  $g(x)$  σε σχέση με την αρχή του άξονα  $x$ .

Σύμφωνα με την κλασική γραμμική συνέλιξη  $f * g$  μεταξύ δύο συναρτήσεων  $f(x)$  και  $g(x)$ , η πρόσθεση και η αφαίρεση συνόλων κατά Minkowski μπορούν να εκφραστούν εναλλακτικά σαν μη γραμμικές συνελίξεις, στις οποίες ο πολλαπλασιασμός μεταξύ των δύο συναρτήσεων αντικαθίσταται από πρόσθεση ή αφαίρεση, και η ολοκλήρωση αντικαθίσταται από τους τελεστές μεγιστοποίησης ( $\max$ ) ή ελαχιστοποίησης ( $\min$ ). Οι εξισώσεις (2.1.13) έως (2.1.16) μπορούν να απλοποιηθούν όταν η συνάρτηση  $g(x)$  είναι άρτια, δηλαδή  $g(x) = g(-x)$  κι οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται είναι διακριτές. Έτσι, για ένα σήμα  $f(k)$ , το οποίο ορίζεται στο πεδίο  $D_f$ , και για ένα δομικό στοιχείο που εκφράζεται από τη συνάρτηση  $g(u)$  μήκους  $L$ , η οποία ορίζεται στο πεδίο  $D_g$ , οι τέσσερις βασικοί μορφολογικοί τελεστές μπορούν να ορισθούν ως εξής:

$$dil(f, g) = (f \oplus g)(k) = \max_{u \in D_g} \{f(k + u) + g(u)\} \quad (2.1.17)$$

$$er(f, g) = (f \ominus g)(k) = \min_{u \in D_g} \{f(k + u) - g(u)\} \quad (2.1.18)$$

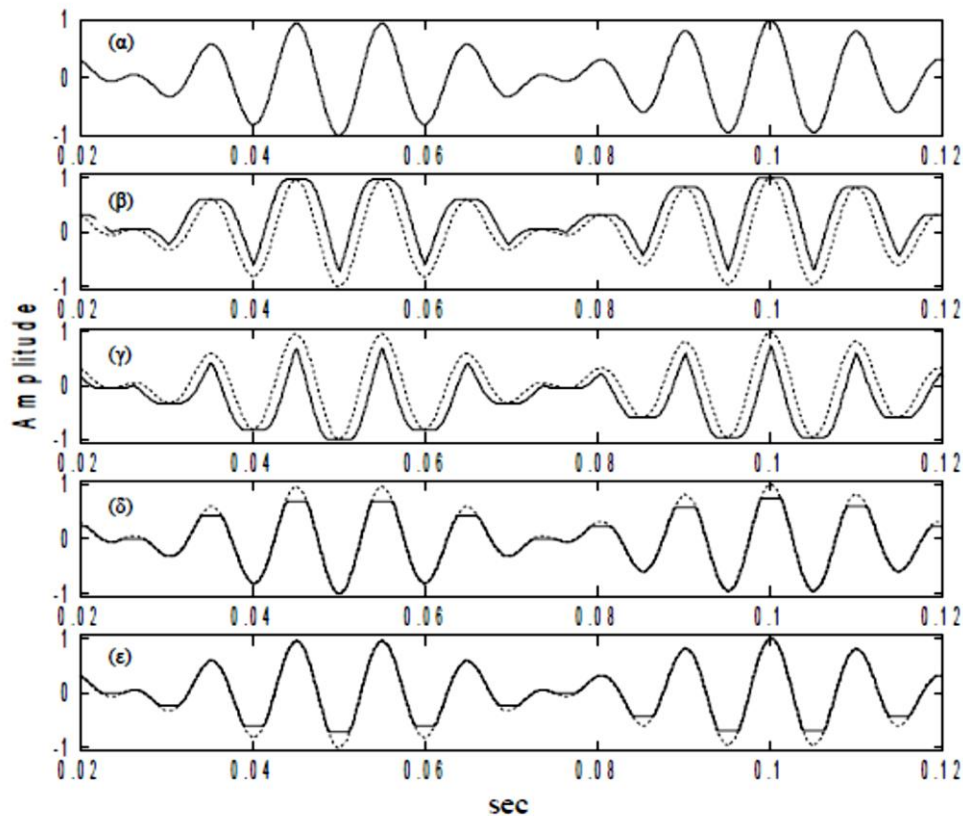
$$cl(k) = (f \bullet g)(k) = er(dil(k)) \quad (2.1.19)$$

$$op(k) = (f \circ g)(k) = dil(er(k)) \quad (2.1.20)$$

Η μη γραμμικότητα των τελεστών διαστολής και διάβρωσης έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση διαφορών μεταξύ των μορφολογικών τελεστών και της γραμμικής συνέλιξης. Για να είναι σαφή τα βασικά χαρακτηριστικά των τεσσάρων μορφολογικών τελεστών στις μονοδιάστατες συναρτήσεις, εφαρμόζεται η μορφολογική μεθοδολογία σε μία διαμορφωμένη κατά πλάτος ημιτονοειδή συνάρτηση. Στο Σχ. 2.3 αναπαρίστανται οι μορφολογικοί μετασχηματισμοί της διαμορφωμένης κατά πλάτος αρμονικής συνάρτησης. Στη διαδικασία χρησιμοποιείται ένα επίπεδο δομικό στοιχείο (flat structuring element). Τα επίπεδα δομικά στοιχεία εμφανίζουν πολύ απλή μορφή και απαιτούν για την εφαρμογή τους την εκτίμηση μίας μόνο παραμέτρου, που είναι το μήκος τους  $L$ . Η διάρκεια του δομικού στοιχείου είναι  $0,25T$ , όπου  $T$  είναι η περίοδος του αρμονικού σήματος. Στο Σχ. 2.3, η διακεκομμένη γραμμή απεικονίζει το αρχικό σήμα.

Η μορφολογική διαστολή (Σχ. 2.3(β)) αποκόπτει τις θετικές κορυφές και μειώνει το πλάτος των αρνητικών κορυφών ανάλογα με τη διάρκεια του δομικού στοιχείου. Αντίθετα, η μορφολογική διάβρωση (Σχ. 2.3(γ)) αποκόπτει τις αρνητικές κορυφές κι οξύνει τις θετικές κορυφές.

Η μορφολογική διεύρυνση (Σχ. 2.3(δ)) μόνο αποκόπτει τις θετικές κορυφές και τέλος η μορφολογική περιστολή (Σχ.2.3(ε)) μόνο αποκόπτει τις αρνητικές κορυφές.



Σχ. 2.3: Μορφολογικές λειτουργίες σε μία αρμονική συνιστώσα, η οποία είναι διαμορφωμένη κατά πλάτος, με την εφαρμογή επίπεδου δομικού στοιχείου: α)το αρχικό διαμορφωμένο σήμα, β)διαστολή, γ)διάβρωση, δ) διεύρυνση και ε) περιστολή

### 2.1.2 Ο μορφολογικός τελεστής Beucher

Οι μορφολογικοί τελεστές επιλέγονται με βάση τη διαδικασία ανάλυσης του σήματος. Στην περίπτωση του ελαττωματικού ρουλεμάν ο τελεστής Beucher (Beucher Gradient ,BG) είναι ένας κατάλληλος μορφολογικός επεξεργαστής (morphological operator,MO).Ο τελεστής Beucher εξάγει τη μέγιστη μεταβολή της έντασης του γκρι μέσα στην περιοχή που οριοθετείται από το δομικό στοιχείο (SE).Αυτός ο μορφολογικός τελεστής ορίζεται ως η αριθμητική διαφορά μεταξύ του τελεστή διαστολής και του τελεστή διάβρωσης του δομικού στοιχείου.

$$p(k) = dil(k) - er(k) \quad (2.1.2.1)$$

Το σχήμα,το μήκος(πεδίο) και το ύψος(πλάτος) του SE πρέπει να διαλέγεται σύμφωνα με το αναλυόμενο σήμα.Οι μορφολογικοί τελεστές που χρησιμοποιούν επίπεδα δομικά στοιχεία είναι πιο κατάλληλοι για την ανίχνευση των κορυφών των κραδασματικών σημάτων, που είναι αποτέλεσμα των ρουλεμάν με βλάβη.Χρησιμοποιώντας ένα δομικό στοιχείο η μόνη παράμετρος που πρέπει να επιλεγεί είναι το μήκος  $L$ ,η οποία είναι και κρίσιμη.Όσο μικρότερο είναι το μήκος του SE,τόσο περισσότερα κρουστικά χαρακτηριστικά θα ληφθούν από το σήμα ,όμως παράλληλα ο περισσότερος θόρυβος θα διατηρηθεί.Για την επιλογή ,λοιπόν,του μήκους  $L$ ,χρησιμοποιείται το κριτήριο της κύρτωσης KUC.Το σήμα φιλτράρεται μορφολογικά με μια σειρά από επίπεδα SEs διαφορετικού μήκους που κυμαίνεται από

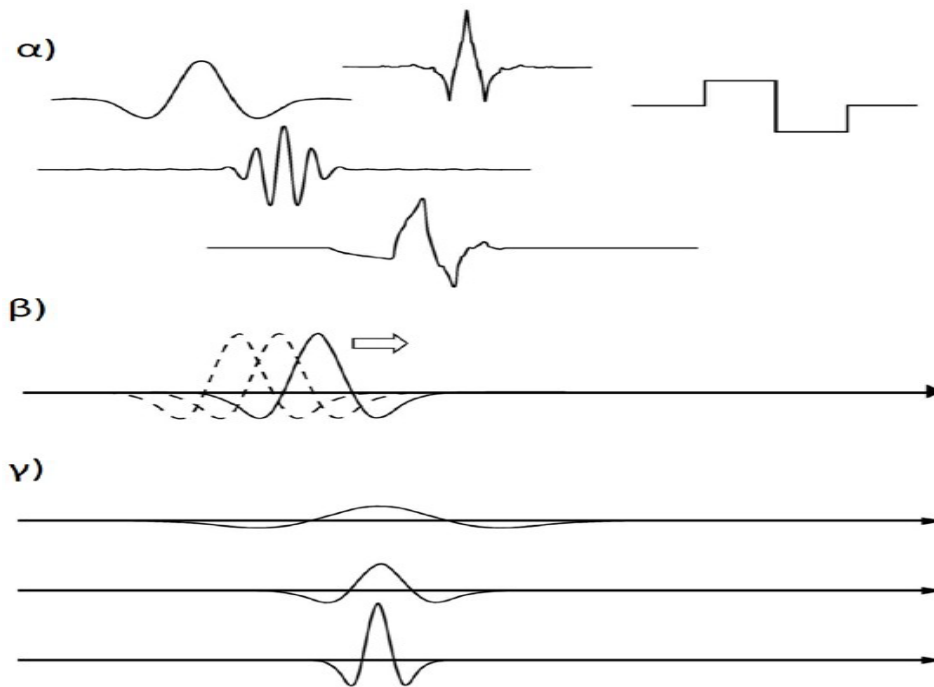


0.1 έως 0.9 της μέγιστης κρουστικής περιόδου της βλάβης είτε του εσωτερικού είτε του εξωτερικού δακτυλίου. Το μορφολογικά αναλύμενο σήμα με τη μεγαλύτερη τιμή της ΚΥ διαλέγεται για περαιτέρω ανάλυση. Η μέγιστη τιμή της ΚΥC δηλώνει το σήμα με το μεγαλύτερο αριθμό κορυφών και τις πιο χρήσιμες πληροφορίες για το σφάλμα στη δομή του.

## 2.2 Ανάλυση Κυματιδίων

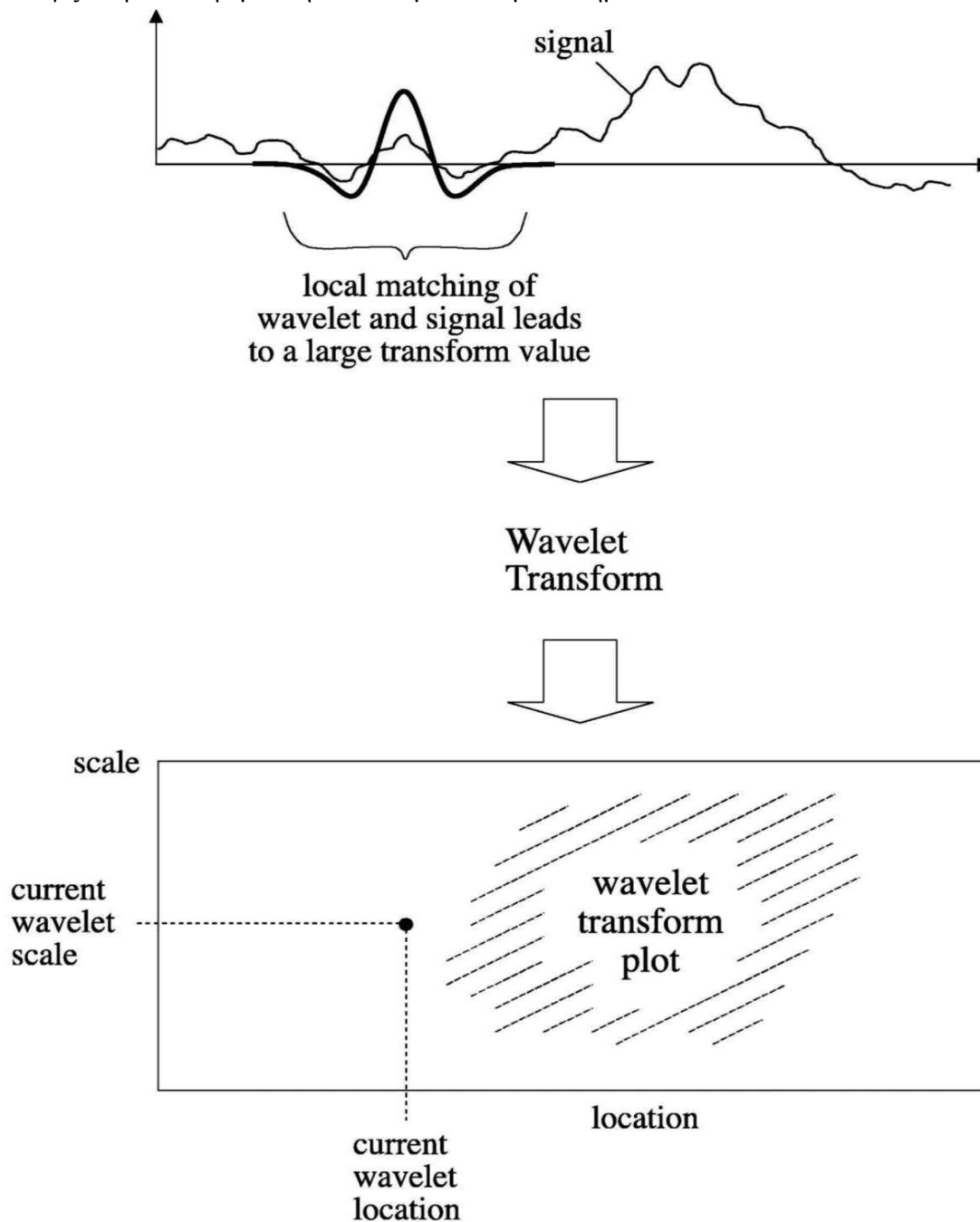
### 2.2.1 Ο μετασχηματισμός κυματιδίου (WT).

Ο μετασχηματισμός κυματιδίου (wavelet transform, WT) είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στην ανάλυση σημάτων που χαρακτηρίζονται ως απεριοδικά, ασυνεχή, με απότομες αλλαγές και θόρυβο. Η ικανότητά του να εξετάζει το σήμα ταυτόχρονα στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο της συχνότητας σε αντίθεση με το μετασχηματισμό Fourier (που η διακριτική ικανότητά του περιορίζεται στη συχνότητα ενώ χάνει οποιαδήποτε πληροφορία στο πεδίο του χρόνου) είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών εξελιγμένων μεθόδων βασισμένων στα κυματίδια. Σήμερα ο μετασχηματισμός κυματιδίου έχει εφαρμογές σε πάρα πολλούς τομείς και βοηθάει στην ανάλυση πλείστον φυσικών φαινομένων με μεγάλη επιτυχία. Έτσι κάποια παραδείγματα αποτελούν η ανάλυση κλιματικών φαινομένων, οικονομικών μεγεθών, καρδιολογικών σημάτων, μηχανικών διατάξεων, η αποθρομβοποίηση σεισμικών και αστρονομικών σημάτων, η συμπίεση βίντεο και πολλά άλλα. Επιπλέον στην μεταλλουργία για τον έλεγχο των επιφανειών, στην οικονομία, για την ανίχνευση ιδιοτήτων στις τιμές. Τα κυματίδια έχουν τη δυνατότητα να διακρίνουν εάν το σύντομο σήμα υπάρχει, και σε θετική περίπτωση, μπορούν να το τοποθετήσουν στο χρόνο. Πιο συγκεκριμένα η ανάλυση μετασχηματισμού κυματιδίου χρησιμοποιεί μικρές κυματοειδείς συναρτήσεις γνωστές ως κυματίδια. Το Σχ. 2.4(α) δείχνει μερικά παραδείγματα κάποιων κοινών κυματιδίων που χρησιμοποιούνται στην πράξη. Τα κυματίδια μετασχηματίζουν το υπό ανάλυση σήμα με τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει την πληροφορία με μια πιο χρήσιμη μορφή. Αυτός ο μετασχηματισμός είναι γνωστός ως μετασχηματισμός κυματιδίου. Μιλώντας με μαθηματικούς όρους, ο μετασχηματισμός κυματιδίου αποτελεί ουσιαστικά τη συνέλιξη του κυματιδίου με το σήμα.



Σχήμα 2.4: α) Κάποια κυματίδια β) Αλλαγή τοποθεσίας γ) Αλλαγή κλίμακας

Ένα κυματίδιο μπορεί να μεταλλαχθεί με δύο τρόπους. Πρώτον μπορεί να μεταφερθεί σε διάφορες τοποθεσίες του σήματος (Σχ. 2.4(β)) και δεύτερον μπορεί να απλωθεί ή να συμπιεστεί (Σχ. 2.4(γ)). Το Σχ. 2.5 αποτελεί μια σχηματική αναπαράσταση του μετασχηματισμού κυματιδίου, ο οποίος βασικά υπολογίζει την τοπική ομοιότητα του κυματιδίου με το σήμα.



Σχ. 2.5: Το κυματίδιο, το σήμα κι ο μετασχηματισμός

Αν το κυματίδιο ταιριάζει αρκετά με το σχήμα του σήματος σε συγκεκριμένη κλίμακα και τοποθεσία, όπως συμβαίνει στην πρώτη απεικόνιση του Σχ. 2.5, τότε λαμβάνεται μια μεγάλη τιμή μετασχηματισμού. Αντίθετα, αν το κυματίδιο και το σήμα δεν συσχετίζονται ικανοποιητικά, τότε λαμβάνεται μια χαμηλή τιμή μετασχηματισμού. Κατόπιν, η τιμή του μετασχηματισμού τοποθετείται σε ένα διδιάστατο πεδίο μετασχηματισμού όπως φαίνεται στη δεύτερη απεικόνιση του Σχ. 2.5 (μαύρη τελεία). Ο μετασχηματισμός υπολογίζεται σε διάφορες τοποθεσίες του σήματος και για διάφορες κλίμακες του κυματιδίου, συμπληρώνοντας έτσι το πεδίο μετασχηματισμού. Αυτό μπορεί να γίνει είτε σε συνέχεια, οπότε έχουμε

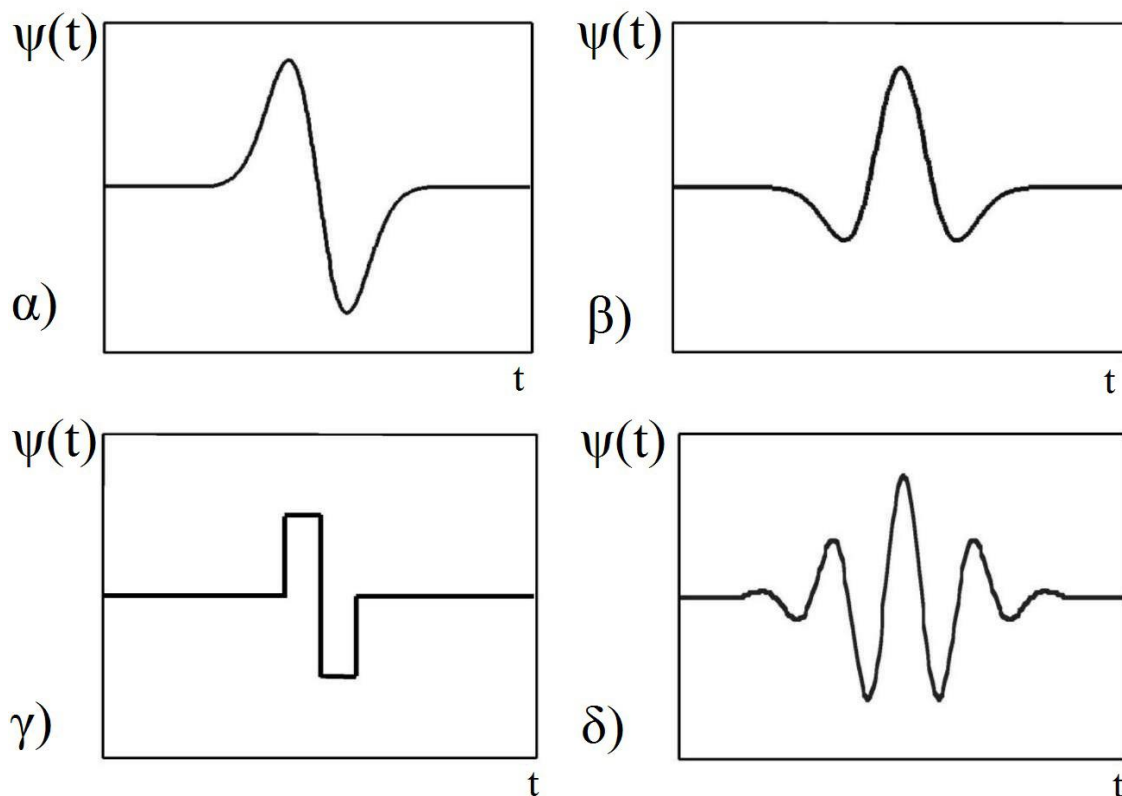
συνεχή μετασχηματισμό κυματιδίου (Continuous Wavelet Transform, CWT), είτε με διακριτά βήματα, οπότε έχουμε διακριτό μετασχηματισμό κυματιδίου (Discrete Wavelet Transform, DWT).

Σχεδιάζοντας τον μετασχηματισμό κυματιδίου, καθίσταται ικανή η συσχέτιση του κυματιδίου και του σήματος, σε διάφορες κλίμακες και σημεία.

### 2.2.2 Το κυματίδιο

Ο μετασχηματισμός κυματιδίου είναι μια μέθοδος μετατροπής μιας συνάρτησης (ή ενός σήματος) σε μια άλλη μορφή η οποία είτε κάνει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του αρχικού σήματος πιο ευδιάκριτα προς μελέτη, είτε επιτρέπει το αρχικό πακέτο δεδομένων να περιγραφεί πιο περιεκτικά. Για να εκτελεστεί ένας μετασχηματισμός κυματιδίου χρειάζεται ένα κυματίδιο το οποίο στην ουσία αποτελεί μία συνάρτηση  $\psi(t)$  που ικανοποιεί συγκεκριμένα μαθηματικά κριτήρια (δηλαδή, το κυματίδιο εξαρτάται από το χρόνο). Ωστόσο, πολλές εφαρμογές των κυματιδίων έχουν ως ανεξάρτητη μεταβλητή το χώρο κι όχι το χρόνο.

Στο Σχ. 2.6 φαίνονται κάποια συχνά χρησιμοποιούμενα κυματίδια. Έχουν τη μορφή μικρών κυμάτων τοποθετημένων στον άξονα του χρόνου. Στην πράξη υπάρχει ένας τεράστιος αριθμός κυματιδίων που χρησιμοποιείται στην ανάλυση των δεδομένων.

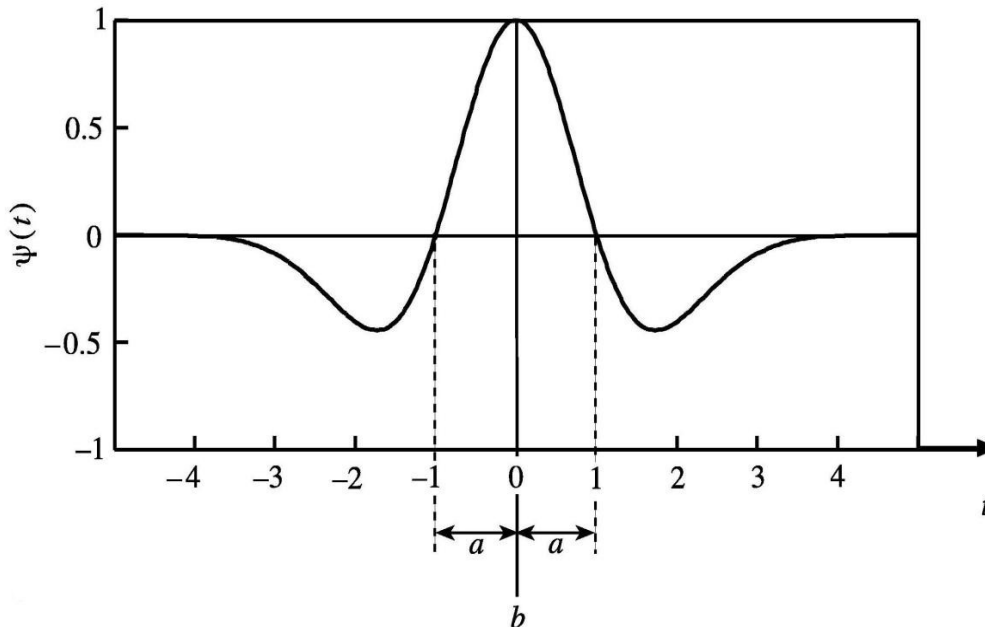


Σχ.2.6: Διάφορα κυματίδια: α) Gaussian β) Mexican hat γ) Haar και δ) Morlet (πραγματικό μέρος)

Η καλύτερη επιλογή για μια συγκεκριμένη εφαρμογή εξαρτάται από τη φύση του σήματος και από τι επιδιώκεται από την ανάλυση. Για παράδειγμα, το κυματίδιο Mexican hat (Mh), απεικονίζεται στο Σχ. 2.7 κι ορίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\psi(t) = (1-t^2)e^{-\frac{t^2}{2}} \quad (2.2.1)$$

Το κυματίδιο της εξίσωσης (2.2.1) είναι γνωστό ως μητρικό κυματίδιο (mother wavelet). Αυτή είναι η βασική μορφή του κυματιδίου από την οποία προέρχονται διάφορες εκδόσεις του που χρησιμοποιούνται στον μετασχηματισμό κυματιδίου.



Σχ. 2.7: Κυματίδιο Mexican hat, έννοια των  $a$  και  $b$

### 2.2.3 Ορισμός του συνεχή μετασχηματισμένου κυματιδίου

Έστω ότι έχει γίνει η επιλογή του κυματιδίου κι έπεται η ανάλυσή του. Πρώτα όμως απαιτείται το κυματίδιο να είναι πιο εύκαμπτο (flexible) από το αρχικά ορισμένο μητρικό. Δύο βασικές μετατροπές είναι δυνατό να μετασχηματίσουν το κυματίδιο σε πιο επιθυμητές μορφές:

- Η διαστολή-συστολή του (dilation) με αλλαγή της παραμέτρου  $a$  και
- η μεταφορά του (translation) κατά μήκος του οριζόντιου άξονα με αλλαγή της παραμέτρου  $b$ .

Στο Σχ. 2.8(a) φαίνεται η διαστολή-συστολή ενός κυματιδίου Mexican hat για διάφορες τιμές της παραμέτρου  $a$  και στο Σχ. 2.8(b) φαίνεται η μεταφορά ενός κυματιδίου Mexican hat κατά μήκος του οριζόντιου άξονα -του χρόνου στην συγκεκριμένη περίπτωση- για διάφορες τιμές της παραμέτρου  $b$ . Έτσι, τοποθετώντας τα  $a$  και  $b$  στην αρχική εξίσωση (2.2.1) οι νέες εκδόσεις του μητρικού κυματιδίου ορίζονται από τον τύπο:

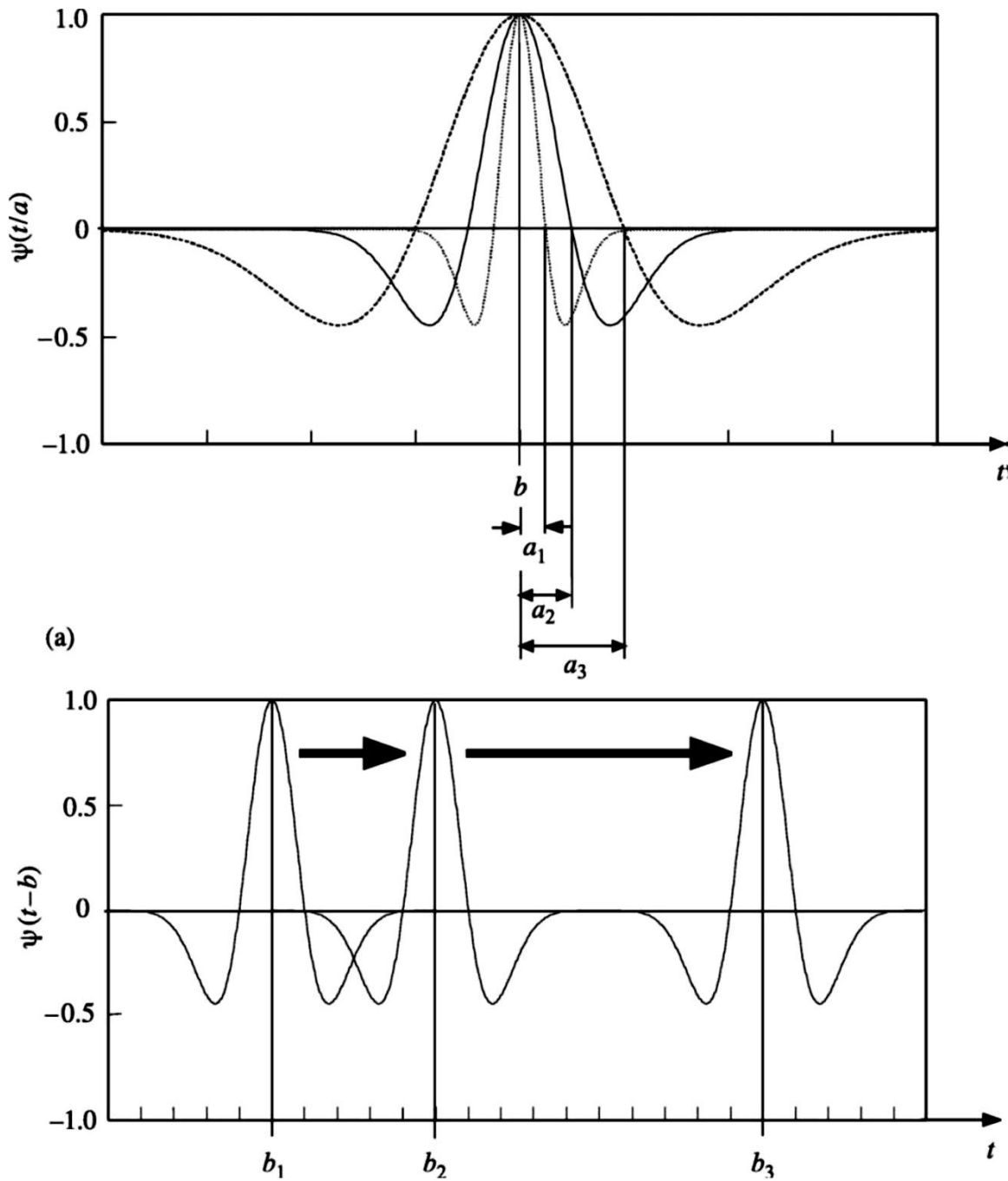
$$\psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \left[1 - \left(\frac{t-b}{a}\right)^2\right] * \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{t-b}{a}\right)^2\right) \quad (2.2.2)$$

Στην εξίσωση (2.2.2) μπορούμε να αλλάξουμε τις τιμές των δύο παραμέτρων κατά βούληση. Ο τύπος του συνεχή μετασχηματισμού κυματιδίου ορίζεται ως εξής:

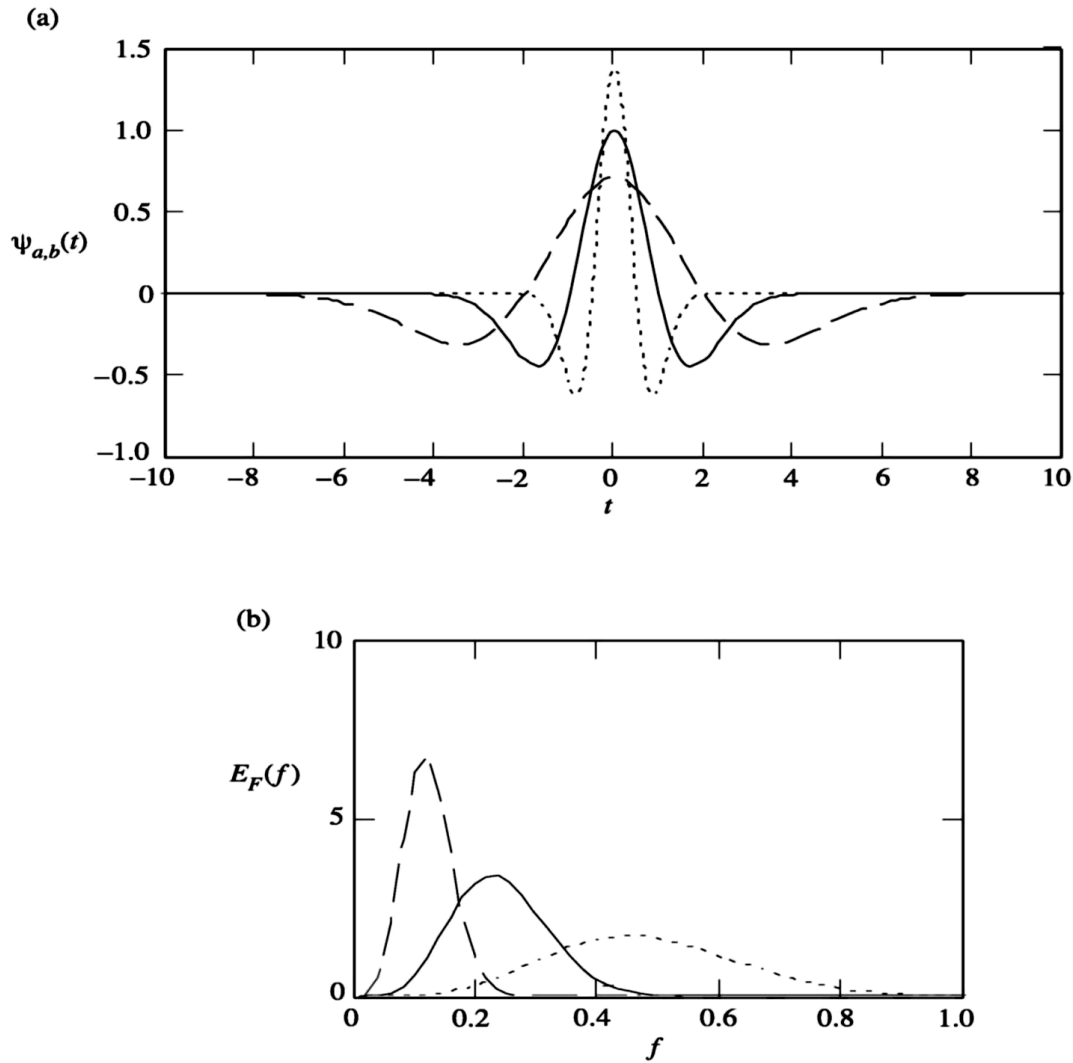
$$T(a,b) = w(a) \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) * \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (2.2.3)$$

όπου το  $w(a)$  είναι μια συνάρτηση βάρους η οποία συνήθως τίθεται ίση με  $1/a$  για λόγους διατήρησης της ενέργειας.

Από τον τύπο (2.2.3) φαίνεται και πάλι ότι ο μετασχηματισμός κυματιδίου αποτελεί μία πράξη συνέλιξης. Ένα τελευταίο σημαντικό στοιχείο που πρέπει να σημειωθεί είναι η επίδραση της παραμέτρου  $a$  στο κυματίδιο Mexican hat (Σχ. 2.9). Όσο το κυματίδιο διαστέλλεται στο χρόνο το φάσμα του περιορίζεται, μια λογική συνέπεια αφού η επιμήκυνση των χρονικών περιόδων έχει ως αποτέλεσμα την μείωση των αντίστοιχων συχνοτήτων. Έτσι το  $a$  είναι αντιστρόφως ανάλογο με όλες τις χαρακτηριστικές συχνότητες του κυματιδίου,  $f_c$ .



Σχ. 2.8: α) Διαστολή-συστολή κυματιδίου,  $a_2=2*a_1$ ,  $a_3=2*a_2$  και β) Μεταφορά κυματιδίου στο χρόνο



Σχ. 2.9: α) Τρία κυματίδια Μh με α=0.5, 1.0, 2.0 και b=0 και β) Ενεργειακό φάσμα των τριών Μh

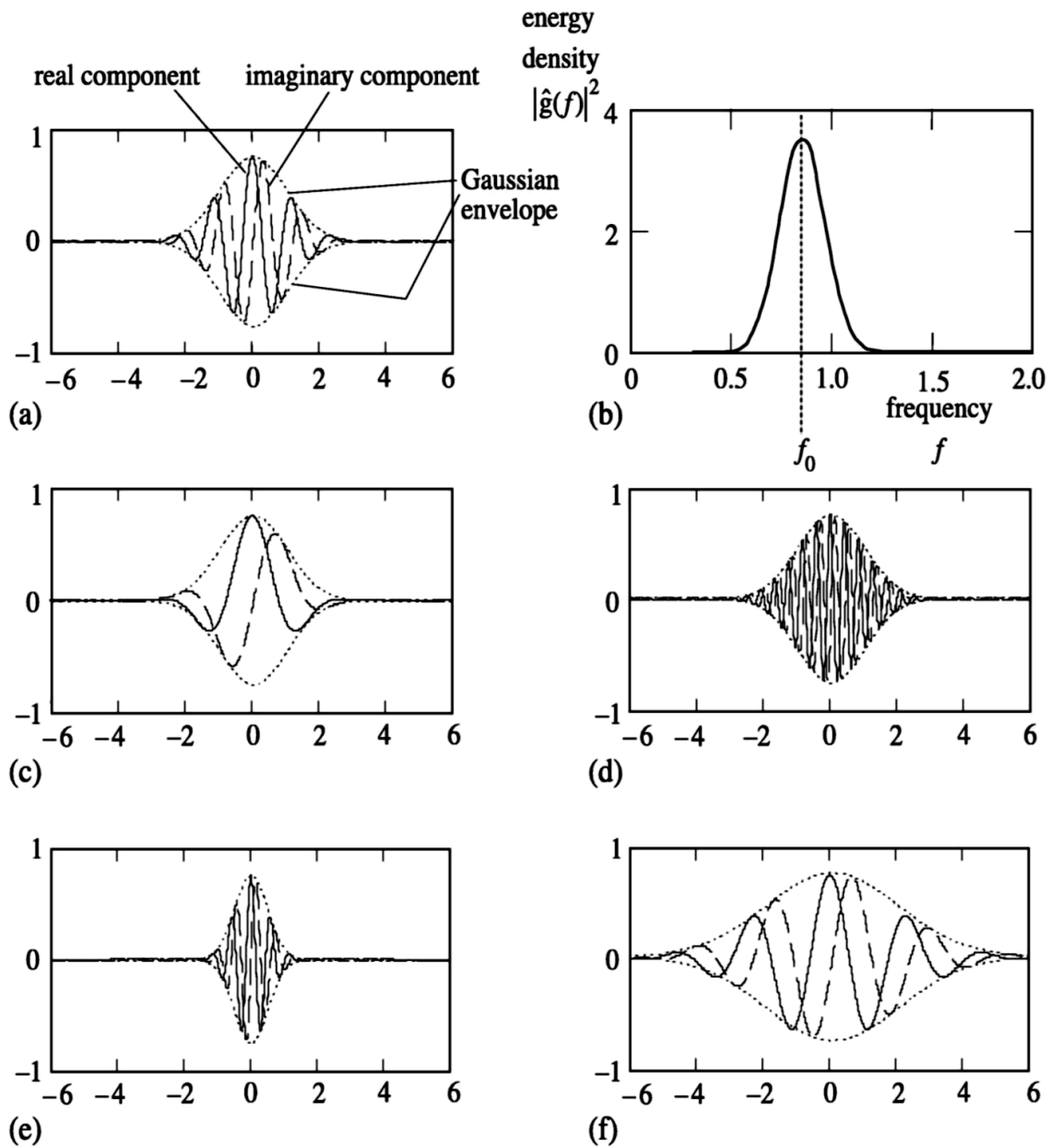
### 2.2.4 Μιγαδικά Κυματίδια: Κυματίδιο Morlet

Μιγαδικά κυματίδια ονομάζονται τα κυματίδια τα οποία έχουν και πραγματικό και φανταστικό μέρος. Τα μιγαδικά κυματίδια έχουν μετασχηματισμούς Fourier των οποίων οι τιμές στις αρνητικές συχνότητες είναι μηδενικές. Χρησιμοποιώντας μιγαδικά κυματίδια, γίνεται δυνατός ο διαχωρισμός των φάσεων και των πλατών των συνιστωσών του σήματος.

Το πιο κοινό μιγαδικό κυματίδιο είναι το Morlet του οποίου ο τύπος είναι:

$$\psi(t) = \frac{1}{\pi^{1/4}} \left[ \exp(i2\pi f_0 t) - \exp\left(-\frac{(2\pi f)^2}{2}\right) \right] \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) \quad (2.2.4)$$

όπου  $f_0$  είναι η κεντρική συχνότητα του μητρικού κυματιδίου. Ο όρος μέσα στην αγκύλη είναι γνωστός ως όρος διόρθωσης. Για  $f_0 \gg 0$  είναι αμελητέος και μπορεί να παραληφθεί. Το κυματίδιο Morlet είναι ένα μιγαδικό κύμα μέσα σε μια περιβάλλουσα (envelope) Gaussian. Αυτό φαίνεται στο Σχ. 2.10 για διάφορες τιμές των  $f_0$  και  $\alpha$ . Σημειώνεται ότι το πραγματικό και φανταστικό ημιτονοειδές έχουν διαφορά φάσης  $\pi/2$ .



Σχ.2.10 α)Κυματίδιο Morlet με  $\alpha=1$ ,  $f_0=0.849$  (αυτή η κεντρική συχνότητα χρησιμοποιείται συνήθως) β)Ενεργειακό φάσμα κυματιδίου Morlet γ)Κυματίδιο Morlet με  $\alpha=1$ ,  $f_0=0.318$  δ)Κυματίδιο Morlet με  $\alpha=1$ ,  $f_0=1.909$  ε)Κυματίδιο Morlet με  $\alpha=0.5$ ,  $f_0=0.849$  και ς)Κυματίδιο Morlet με  $\alpha=2$ ,  $f_0=0.849$

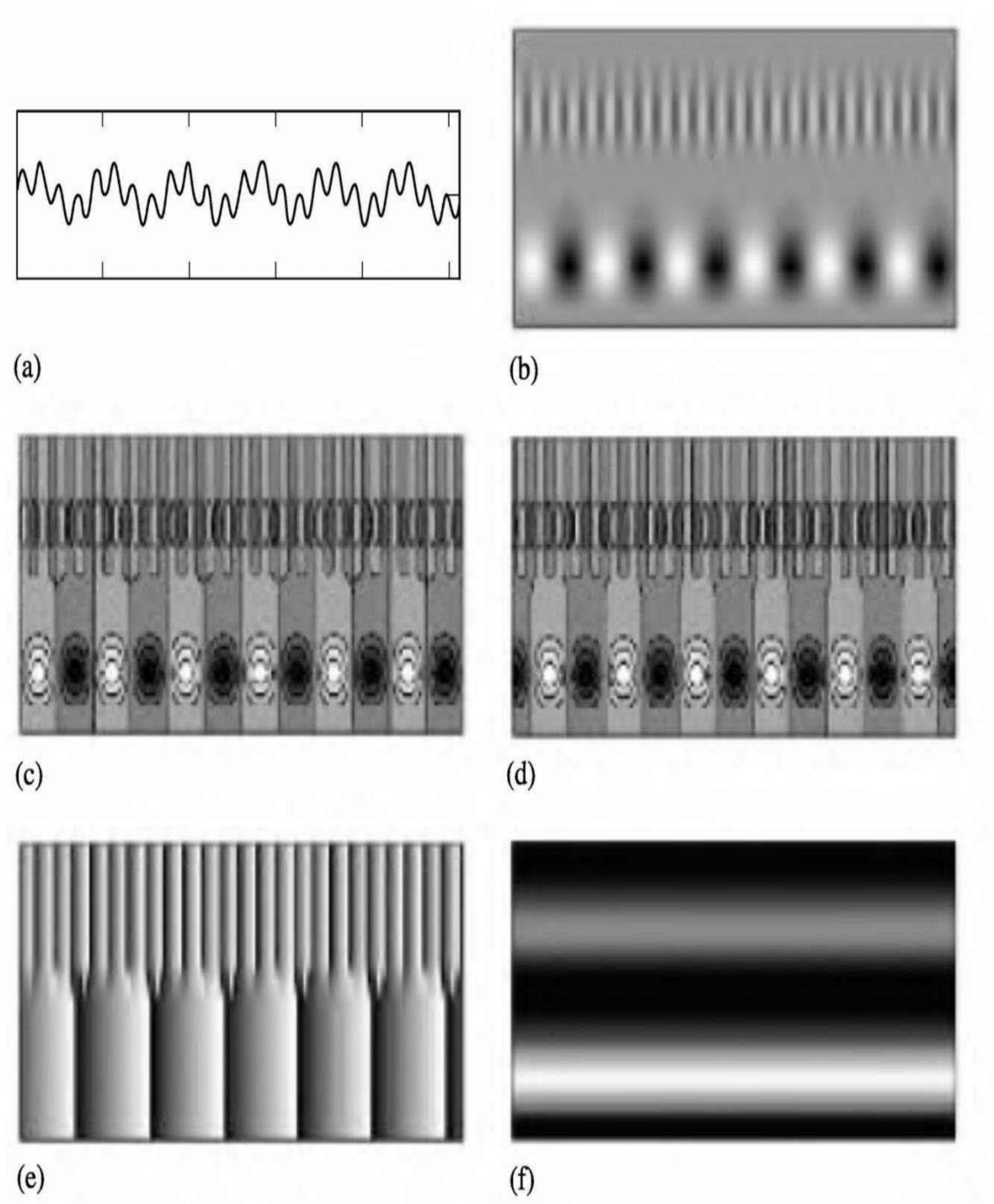
Για την διαστολή-συστολή και τη μεταφορά στο χρόνο του κυματιδίου Morlet, αντικαθίσταται στην εξίσωση (2.2.4) το  $t$  με  $(t-b)/a$  όπου  $a$  και  $b$  οι γνωστές παράμετροι. Έτσι στο Σχ. 2.11 απεικονίζεται ο συνεχής μετασχηματισμός κυματιδίου ενός σήματος με κυματίδιο Morlet στις διάφορες μορφές στις οποίες δίνει τη δυνατότητα το μιγαδικό κυματίδιο. Βέβαια για την ανάλυση των σημάτων χρησιμοποιήθηκε το πραγματικό μέρος του μετασχηματισμού κυματιδίου. Αυτό έγινε:

- Πρώτον, γιατί το φανταστικό μέρος του μετασχηματισμού (Σχ. 2.11(α)) είναι ουσιαστικά ίδιο με το πραγματικό, μετατοπισμένο κατά  $\pi/2$ , και
- δεύτερον, επειδή αν κι η απεικόνιση της φάσης και του μέτρου του μετασχηματισμού (Σχ. 2.11(ε) και Σχ. 2.11(στ) αντίστοιχα) παρουσιάζουν ενδιαφέροντα αποτελέσματα, είναι δύσκολο να ερμηνευτούν σε περίπτωση πολύπλοκων σημάτων.

Η φάση και το μέτρο του μετασχηματισμού κυματιδίου είναι:

$$\phi(a,b) = \tan^{-1} \left( \frac{\Im(T(a,b))}{\Re(T(a,b))} \right) \quad (2.2.5)$$

$$T(a,b) = \sqrt{[\Re(T(a,b))]^2 + [\Im(T(a,b))]^2} \quad (2.2.6)$$



Σχ. 2.11: α)Αρχικό σήμα, β)Πραγματικό μέρος του WT, δηλαδή  $\Re(T(a,b))$ , γ)Πραγματικό μέρος του WT (αλλά διαφορετικό χρωματογράφημα), δ)Φανταστικό μέρος του WT, δηλαδή  $\Im(T(a,b))$  ε)Φάση του WT και στ)Μέτρο του WT.



## 2.3 Complex Shift Morlet Wavelet (CSMW)

Το Complex Shift Morlet Wavelet (CSMW) ορίζεται χρονικά ως ένα αρμονικό κύμα συχνότητας  $f_c$  που έχει πολλαπλασιαστεί με ένα επίσης χρονικά ορισμένο παράθυρο τύπου Gauss.

$$Y(t) = ce^{-\sigma^2 t^2} e^{-j2\pi f_c t} \quad \text{όπου το } c \text{ είναι ένας θετικός ακέραιος.} \quad (2.3.1\alpha)$$

Οι παράμετροι του κύματος τυπικά επιλέγονται ως:

$$c = 2\sigma / \sqrt{\pi} \quad (2.3.1\beta)$$

$$f_c = \omega_c / 2\pi \quad (2.3.1\gamma)$$

$$f_b = \sigma \quad (2.3.1\delta)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω επιλογή της μεταβλητής  $c$ , ο Μετασχηματισμός Fourier του κύματος Morlet γίνεται:

$$\hat{Y}(f) = \hat{Y}^*(f) = 2e^{-\frac{\pi^2}{\sigma^2}(f-f_c)} \quad (2.3.2)$$

όπου  $\hat{Y}(f)$  είναι μία σύνθετη σύζευξη των  $\hat{Y}(f)$  και  $\hat{Y}^*(f) = \hat{Y}^*(f)$  αφού το  $\hat{Y}(f)$  ανήκει στους πραγματικούς αριθμούς  $\mathbf{R}$ .

Το κύμα έχει την ίδια μορφή με ένα παράθυρο τύπου Gauss στο πεδίο της συχνότητας. Η συχνότητα που αποτελεί το κέντρο του παραθύρου ορίζεται από τη συχνότητα  $f_c$  της συμμετέχουσας αρμονικής και το πλάτος του παραθύρου ορίζεται από την παράμετρο  $\sigma$ .

Η κλιμάκωση του αρχικού κύματος ταυτόχρονα μετατοπίζει το σημείο εφαρμογής του παραθύρου Morlet καθώς κι επηρεάζει το ύψος του και τροποποιεί το πλάτος του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, το εύρος του κύματος δεν είναι δυνατό να επιλεγεί ανεξάρτητα από την κεντρική συχνότητα. Για αυτόν τον λόγο, αντί για κλιμάκωση του αρχικού σήματος, έχει προταθεί μόνο μετατόπισή του.

Για μία συγκεκριμένη επιλογή του ζεύγους κεντρικής συχνότητας και πλάτους, οι συντελεστές του κύματος ενός σήματος  $x(t)$  είναι δυνατό να επιλεγθούν στο πεδίο του χρόνου μέσω του αποτελέσματος του πολλαπλασιασμού του Αντίστροφου Μετασχηματισμού Fourier του σήματος και του Μετασχηματισμού Fourier του, και του Μετασχηματισμού Fourier του κύματος.

$$W_{f_c, f_b}(t) = F^{-1} \left\{ X(f) Y_{f_c, f_b}^*(f) \right\} \quad (2.3.3)$$

όπου το  $X(f)$  είναι το αποτέλεσμα του Μετασχηματισμού Fourier του σήματος  $x(t)$ , το  $F\{\}$  δηλώνει τον Μετασχηματισμό Fourier μίας συνάρτησης και το  $F^{-1}\{\}$  δηλώνει τον Αντίστροφο Μετασχηματισμό Fourier.

Στην περίπτωση ενός απλού αρμονικού σήματος:

$$x(t) = A \cos(\omega t) \quad (2.3.4\alpha)$$

η εξίσωση (3) οδηγεί στο εξής σύνθετο σήμα  $w(t)$  κάτω από τις κατάλληλες συνθήκες

$$w(t) = Ag \exp(j\omega t) \quad (2.3.4\beta)$$

$$g = \exp\left[-\left(\frac{\omega_c - \omega}{2\sigma}\right)^2\right] \quad (2.3.4\gamma)$$

Στην περίπτωση της επεξεργασίας ενός σήματος  $x(t)$  που περιέχει αρμονικές συνιστώσες,  $P$  τον αριθμό

$$x(t) = \sum_{i=1}^P A_k \cos(\omega_k t + \phi_k) \quad (2.3.5)$$

μετά από αριθμού  $M$  CSMW οι εξισώσεις (2.3.4β) και (2.3.4γ) γίνονται:

$$w_i(t) = \sum_{i=1}^P A_k g_{ik} \exp[j(\omega_k t + \phi_k)] \quad \text{για } i=1,2,\dots,M \quad (2.3.6.\alpha)$$

$$g_{ik} = \exp\left[-\left(\frac{\omega_{ci} - \omega_k}{2\sigma_i}\right)^2\right] \quad (2.3.6.\beta)$$

Δηλώνοντας ως  $T$  τον ομοιόμορφο χρόνο δειγματοληψίας, η εξίσωση (2.3.6α) μπορεί επίσης να γραφεί για μία χρονική στιγμή  $t_n = nT$ , ως:

$$w_i(nT) = \sum_{k=1}^P g_{ik} s_k \quad (2.3.7.\alpha)$$

$$s_k = A_k \exp(j\phi_k) q_k^n \quad (2.3.7.\beta)$$

ή στην εξής μορφή σύνθετου πίνακα:

$$w(n) = G \cdot s \quad (2.3.8.\alpha)$$

$$[w(n)]_i = w_i(nT) \quad (2.3.8.\beta)$$

$$[G]_{ik} = g_{ik} \quad (2.3.8.\gamma)$$

$$[s]_k = s_k \quad (2.3.8.\delta)$$

Για την αμέσως επόμενη χρονική στιγμή  $t_{n+1} = (n+1)T$ , η εξίσωση (2.3.8α) γίνεται:

$$w(n+1) = G \cdot \varphi \cdot s \quad (2.3.9.\alpha)$$

$$\Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{q}_1 & & & \\ & \mathbf{q}_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \mathbf{q}_k \end{bmatrix} \quad (2.3.9.\beta)$$

$$q_k = \exp(j\omega_k T) \quad (2.3.9.\gamma)$$

Μία προσεκτική παρατήρηση των εξισώσεων (2.3.8) και (2.3.9) αποκαλύπτει ότι είναι ακριβώς στην μορφή των εξισώσεων (2.3.9) και (2.3.19) του καθιερωμένου πλέον αλγόριθμου ESPRIT. Η βασική πρακτική αυτού του αλγόριθμου είναι να εκμεταλλευθεί την στροφική σταθερότητα του υποχώρου των σημάτων, με στόχο να οριστούν οι επιμέρους συχνότητες του σήματος μόνο από τις τιμές στην διαγώνιο του πίνακα  $\Phi$  (Εξίσωση (2.3.9β)), ανεξάρτητα από τις υπόλοιπες τιμές του σήματος.

Στην περίπτωση ενός κραδασμικού σήματος η εξίσωση (3) οδηγεί σε ένα σύνθετο σήμα  $w(t)$

$$w(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} y(\tau)\psi(t - \tau)d\tau \quad (2.3.10.a)$$

όπου

$$y(\tau) = \sum_{k=1}^P A_k e^{-\zeta_k \omega_{nk} \tau} \cos(\omega_{dk} \tau + \phi_k) \quad (2.3.10.β)$$

και

$$\psi(t - \tau) = \frac{2f_b}{\sqrt{\pi}} e^{-f_b^2 (t-\tau)^2} e^{j2\pi f_c (t-\tau)} \quad (2.3.10.γ)$$

$P$  είναι ο αριθμός των εξαγόμενων συχνοτήτων  $\omega_{nk}$ . Η συχνότητα απόσβεσης  $\omega_{dk}$  είναι ίση με  $\omega_{nk} \sqrt{1 - \zeta_k^2}$ ,  $\omega_c = 2\pi f_c$ ,  $\zeta_k$  δηλώνει το λόγο απόσβεσης,  $A_k$  και  $\phi_k$  είναι αντίστοιχα το πλάτος και η φάση μετατόπισης της χαρακτηριστικής συχνότητας. Το ολοκλήρωμα συνέλιξης της εξίσωσης οδηγεί σε ένα Gaussian ολοκλήρωμα και μπορεί να λυθεί αναλυτικά δίνοντας:

$$w(t) = \sum_{k=1}^P \frac{A_k}{2} g_k e^{-\zeta_k \omega_{nk} t} e^{j(\omega_{dk} t + \phi_k)} \quad (2.3.11.a)$$

με

$$g_k = e^{-\left(\frac{\omega_c - \omega_{nk}}{2f_b}\right)^2} e^{-\frac{\omega_c \omega_k}{2f_b^2} \left(1 - \sqrt{1 - \zeta_k^2}\right)} e^{j\beta_k} \quad (2.3.11.β)$$

όπου

$$\beta_k = \frac{(\omega_c - \omega_{nk})\zeta_k \omega_{nk}}{2f_b^2} \quad (2.3.11.γ)$$

Η εξαγόμενη έκφραση για το  $w(t)$  βασίζεται σε ένα μονό κυματίδιο με παραμέτρους  $f_c$  και  $f_b$ . Ο αριθμός των κυματιδίων, που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του σήματος, συμβολίζεται με την παράμετρο  $M$ . Κάθε κυματίδιο χαρακτηρίζεται από τις δικές του παραμέτρους  $f_{ci}$  και  $f_{bi}$ .

Συνεπώς, στην περίπτωση που το  $M$  είναι μεγαλύτερο από 1, ένα μετασχηματισμένο από κυματίδιο σύνθετο σήμα  $w_i(t)$  (όπου το  $i$  παίρνει τιμές από 1 έως  $M$ ) πρέπει να υπολογίζεται για κάθε κυματίδιο. Άρα οι εξισώσεις γίνονται:

$$w_i(t) = \sum_{k=1}^P \frac{A_k}{2} g_{ik} e^{-\zeta_k \omega_{nk} t} e^{j(\omega_{dk} t + \phi_k)} \quad (2.3.12.a)$$

με

$$g_{ik} = e^{-\left(\frac{\omega_{ci} - \omega_{nk}}{2f_{bi}}\right)^2} e^{-\frac{\omega_{ci} \omega_k}{2f_{bi}^2} \left(1 - \sqrt{1 - \zeta_k^2}\right)} e^{j\beta_{ik}} \quad (2.3.12.β)$$

όπου

$$\beta_{ik} = \frac{(\omega_{ci} - \omega_{nk})\zeta_k \omega_{nk}}{2f_{bi}^2} \quad (2.3.12.γ)$$

Το σετ των μετασχηματισμών κυματιδίων που προκύπτουν από ένα σύμπλεγμα από  $M$  CSMWs, μπορούν να ενοποιηθούν σε ένα πίνακα  $\mathbf{W}$  με μέγεθος  $M \times L$ , όπου  $L$ , ο αριθμός των δειγμάτων στο  $w_i(t)$ :

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} w_1(t) \\ w_2(t) \\ \vdots \\ w_M(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} w_1(t_1) & w_2(t_1) & \dots & w_1(t_L) \\ w_2(t_1) & w_2(t_1) & \dots & w_2(t_L) \\ & & \vdots & \\ w_M(t_1) & w_M(t_1) & \dots & w_M(t_L) \end{bmatrix} \quad (2.3.13)$$

Το  $R$  είναι μια ακόμη σημαντική παράμετρος της διαδικασίας. Σε περίπτωση που το  $R$  είναι μεγαλύτερο από ένα, κάθε CSMW δρα σε κάθε μια από τις διεγερμένες συχνότητες με τον τρόπο που περιγράφεται παραπάνω. Το αποτέλεσμα είναι ένας πίνακας  $\mathbf{W}$  με διαστάσεις  $M \cdot R \times L$  όπου  $R$  όλοι οι επιμέρους  $\mathbf{W}^T$  πίνακες με μέγεθος  $M \times L$  (όπως δίνεται στην εξίσωση 2.3.13) έχουν στοιβαχθεί μαζί.

$$\mathbf{W} = \begin{bmatrix} \mathbf{W}^1 \\ \mathbf{W}^2 \\ \vdots \\ \mathbf{W}^R \end{bmatrix} \quad (2.3.14)$$

Το επόμενο βήμα, είναι να θεωρηθεί ένας ομοίμορφος χρόνος δειγματοληψίας, όπως η  $n$ -στη χρονική στιγμή δίνεται από  $t_n = n\Delta t$ . Πηγαίνοντας πίσω στην εξίσωση  $w_i(t_n)$  μπορεί να εκφραστεί ως:

$$w_i(n\Delta t) = \sum_{k=1}^P g_{ik} s_k \quad (2.3.15.α)$$

όπου

$$s_k = \frac{A_k}{2} e^{j\phi_k} q_k^n \quad (2.3.15.β)$$

με

$$q_k = e^{j\omega_{nk}T} \quad (2.3.15.γ)$$

$$g_k = e^{-(\zeta_k \omega_{nk} \Delta t + j\omega_{dk} \Delta t)} = e^{\left(-\zeta_k \omega_{nk} \Delta t + j\omega_{nk} \sqrt{1-\zeta_k^2} \Delta t\right)} \quad (2.3.15.δ)$$

Η εξίσωση 2.3.15.δ μας οδηγεί σε μια κρίσιμη παρατήρηση. Οι στιγμιαίες διεγερμένες συχνότητες  $\omega_{nk}$  και οι λόγοι απόσβεσης  $\zeta_k$  μπορούν να εξαχθούν από το  $q_k$  χρησιμοποιώντας τους τύπους :

$$\omega_{nk} = \frac{|\ln(q_k)|}{\Delta t} \quad (2.3.15.ε)$$

$$\zeta_k = \frac{\text{Re}\{\ln(q_k)\}}{\omega_{nk} \Delta t} \quad (2.3.15.στ)$$

Επιπρόσθετα η  $n$ -στη στήλη του  $\mathbf{W}$  (όπως ορίζεται στις εξισώσεις 2.3.13, 2.3.14) περιέχει το πλήρες σετ από μετασχηματισμένα από κυματίδια, σήματα στο χρονικό βήμα  $t_n = n\Delta t$ . Σύμφωνα με την εξίσωση (2.3.12 α) η παρακάτω εξίσωση πινάκων μπορεί να παρουσιαστεί :

$$\vec{W}(t_n) = \mathbf{G} \cdot \vec{s} \quad (2.3.16)$$

Όπου τα δύο-δεικτών στοιχεία  $g_{ik}$  είναι αποθηκευμένα στον πίνακα  $\mathbf{G}$ , επειδή το  $\vec{s}$  περιέχει τα ενός-δείκτη στοιχεία  $s_k$ , παίρνοντας υπόψη την επόμενο χρονικό βήμα  $t_{n+1} = (n+1)\Delta t$ , βγαίνει από τις εξισώσεις 2.3.15.β και 2.3.15.στ, ότι:

$$\vec{W}(t_{n+1}) = \mathbf{G} \cdot \Phi \cdot \vec{s} \quad (2.3.17.\alpha)$$

με

$$\Phi = \begin{bmatrix} q_1 & & & \\ & q_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & q_k \end{bmatrix} \quad (2.3.18.\beta)$$

Η εξίσωση 2.3.18.β δείχνει ότι ο διαγώνιος πίνακας  $\Phi$  μπορεί να θεωρηθεί ως χειριστής περιστροφής όσον αφορά στα χρονικά μετατοπισμένα διανύσματα  $\vec{W}(t_n)$  και  $\vec{W}(t_{n+1})$ . Η γνώση των διαγώνιων τιμών (ιδιοδιανυσμάτων) του  $\Phi$  είναι επαρκής για την απόκτηση των στιγμιαίων συχνοτήτων και πλατών σε κάθε χρονικό βήμα μέσω των εξισώσεων 2.3.15.ε, 2.3.15.στ. Έτσι, όπως και στην περίπτωση του αρμονικού κύματος, λόγω της περιστροφικής σταθερότητας του υπόχωρου του σήματος χρησιμοποιείται ο αλγόριθμος ESPRIT με σκοπό να απομονωθεί ο υπόχωρος του σήματος από τον υπόχωρο του θορύβου και να εξαχθούν οι διαγώνιες τιμές του  $\Phi$ .

Η διαδικασία είναι ίδια και για τις δύο περιπτώσεις, αρμονικό και κραδασμικό σήμα, και ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Σε κάθε χρονική στιγμή  $t_n = nT$  δημιουργείται ένας πίνακας δεδομένων  $Z$  διαστάσεων  $2M \times N$

$$\mathbf{Z}(t_n) = \begin{bmatrix} \vec{W}(t_{n-N+1}) & \vec{W}(t_{n-N+2}) & \dots & \vec{W}(t_{n-1}) \\ \vec{W}(t_{n-N+2}) & \vec{W}(t_{n-N+3}) & \dots & \vec{W}(t_n) \end{bmatrix} \quad (2.3.19)$$

Στην περίπτωση του κραδασμικού σήματος, ένα υποσύνολο από  $WT$  του πίνακα  $W$  με μήκος  $N$  γεμίζει το πάνω μισό του πίνακα  $Z$ . Ένα άλλο υποσύνολο με το ίδιο μήκος μετατοπίζεται προς τα εμπρός από μια φορά δείγμα καλύπτει το κάτω μέρος του πίνακα. Το  $N$  είναι η παράμετρος την οποία επιλέγει ο χρήστης χειροκίνητα και καθορίζει τον αριθμό των δειγμάτων που χρησιμοποιούνται για να κατασκευαστεί το Morlet κυματίδιο.

2. Εκτελείται η αποσύνθεση των Singular Value του  $Z$  (Singular Value Decomposition, SVD).

$$\mathbf{Z} = \mathbf{U} \mathbf{D} \mathbf{V}^T \quad (2.3.20)$$

Οι διαστάσεις των πινάκων είναι αντίστοιχα:  $\mathbf{U} : 2MR \times 2MR$ ,  $\mathbf{D} : 2MR \times N$  and  $\mathbf{V}^T : N \times N$ . Τα διαγώνια στοιχεία του πίνακα  $D$  ονομάζονται Singular Values (SVs). Ο αριθμός των μη μηδενικών SVs είναι ίσος με το πλήθος των διεγερμένων συχνοτήτων, ενώ οι πίνακες  $U$  και  $V$  περιέχουν τα αριστερά και δεξιά διανύσματα του  $Z$ .

3. Το  $P$  υποδηλώνει τον αριθμό των διεγερμένων στοιχείων του σήματος που πρέπει να αναγνωριστούν παίρνοντας τιμές από 1 έως τον συνολικό αριθμό των διεγερμένων συχνοτήτων εξαιτίας της βλάβης της μηχανής. Επιπλέον επειδή το  $D$  έχει  $N$  στήλες, πρέπει να ικανοποιείται ότι  $N > P$ . Όταν το  $P$  έχει σχηματιστεί, τα ιδιοδιανύσματα του  $D$  που αντιστοιχούν στα  $P$  μεγαλύτερα SVs συλλέγονται και τοποθετούνται σε ένα πίνακα

$$\mathbf{U}_p = [\vec{u}_1 \quad \vec{u}_2 \quad \dots \quad \vec{u}_p] \quad (2.3.21)$$

Τα ιδιοδιανύσματα που περιέχονται στον  $\mathbf{U}_p$  παράγουν τον υπόχωρο του σήματος, ενώ τα εναπομείναντα  $(N - P)$  ιδιοδιανύσματα του  $U$  παράγουν τον υπόχωρο του θορύβου και για αυτό δεν περικλείονται.

4. Το  $\mathbf{U}_p$  διευθετείται ως εξής:

$$\mathbf{U}_p = \begin{bmatrix} \mathbf{U}_1 \\ \mathbf{U}_2 \end{bmatrix} \quad (2.3.22)$$

με διαστάσεις :  $\mathbf{U}_1: MR \times P$  and  $\mathbf{U}_2: MR \times P$

5. Στο επόμενο βήμα οι πίνακες  $\Psi$  και  $\Phi$  παράγονται:

$$\Psi = (\mathbf{U}_1^T \mathbf{U}_1)^{-1} \mathbf{U}_1^T \mathbf{U}_2 \quad (2.3.23)$$

Οι ιδιότητες της περιστροφικής σταθερότητας μας υποδεικνύουν ότι οι πίνακες  $\Phi$  και  $\Psi$  έχουν τα ίδια ιδιοδιανύσματα.

6. Τέλος πραγματοποιείται η αποσύνθεση των ιδιοτιμών του  $\Psi$ . Με βάση τις ιδιότητες της περιστροφικής σταθερότητας του  $\Phi$  και του  $\Psi$ , οι ιδιοτιμές του  $\Phi$  είναι ίδιες με αυτές του  $\Psi$ . Επομένως, οι στιγμιαίες διεγερόμενες ιδιόσυχνότητες  $\omega_{nk}$  μπορούν να ανακτηθούν από τις ιδιοτιμές του  $q_k$  του  $\Phi$ .

## 2.4 Gaussian Mixture Models (GMM)

Ένα Gaussian mixture model (GMM) είναι μια παραμετρική συνάρτηση πυκνότητας που παρουσιάζεται ως ένα σταθμισμένο άθροισμα συνιστωσών γκαουσιανών πυκνοτήτων.

Τα GMM χρησιμοποιούνται συνήθως σαν ένα παραμετρικό μοντέλο κατανομής της πιθανότητας συνεχών μετρήσεων ή σαν χαρακτηριστικά σε ένα βιομετρικό σύστημα όπως χαρακτηριστικά από φάσματα σχετικά με τη φωνητική οδό σε ένα σύστημα αναγνώρισης ομιλητή. Ακόμη βρίσκουν εφαρμογή σε οποιαδήποτε εξαιρετικά μη ισοπονημένη εργασία ταξινόμησης (ένα μικτό για κάθε μια ταξινόμηση ρυθμισμένο με τη μέγιστη πιθανότητα), στη μείωση διαστάσεων και στον ποσοτικό προσδιορισμό.

Οι παράμετροι ενός GMM υπολογίζονται με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης με χρήση του επαναληπτικού αλγορίθμου Προσδοκίας-Μεγιστοποίησης (Expectation-Maximization, EM).

Πιο αναλυτικά το μοντέλο γκαουσιανών μιγμάτων είναι ένα σταθμισμένο άθροισμα  $M$  συνιστωσών γκαουσιανών πυκνοτήτων όπως δίνεται από την εξίσωση:

$$p(x | \lambda) = \sum_{i=1}^M w_i g_i \left( x | \mu_i, \sum_i \right) \quad (2.4.1)$$

Όπου  $x$  είναι ένα  $D$ -διαστατικό διάνυσμα δεδομένων συνεχών τιμών (δηλ. μετρήσεις ή χαρακτηριστικά),  $w_i$ ,  $i=1, \dots, M$ , είναι το βάρος των μιγμάτων και  $g_i \left( x | \mu_i, \sum_i \right)$  είναι οι συνιστώσες γκαουσιανών πυκνοτήτων.

Η κάθε συνιστώσα πυκνότητας είναι μια γκαουσιανή συνάρτηση  $D$ - μεταβλητών της μορφής:

$$g_i \left( x | \mu_i, \sum_i \right) = \frac{1}{(2\pi)^{D/2} |\sum_i|^{1/2}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (x - \mu_i)' \sum_i^{-1} (x - \mu_i) \right\} \quad (2.4.2)$$

με μέσο διάνυσμα  $\mu_i$  και πίνακα συνδιακύμανσης  $\sum_i$ . Το βάρος των μιγμάτων ικανοποιεί τον περιορισμό

$$\sum_{i=1}^M w_i = 1 \quad .$$

Το πλήρες μοντέλο γκαουσιανών μιγμάτων παραμετροποιείται από τα μέσα διανύσματα, τους πίνακες συνδιακύμανσης και το βάρος των μιγμάτων από το σύνολο των συνιστωσών πυκνότητας. Οι συγκεκριμένες παράμετροι παρουσιάζονται συνολικά από το συμβολισμό:

$$\lambda = \left\{ w_i, \mu_i, \sum_i \right\}, \quad i=1, \dots, M \quad (2.4.3)$$

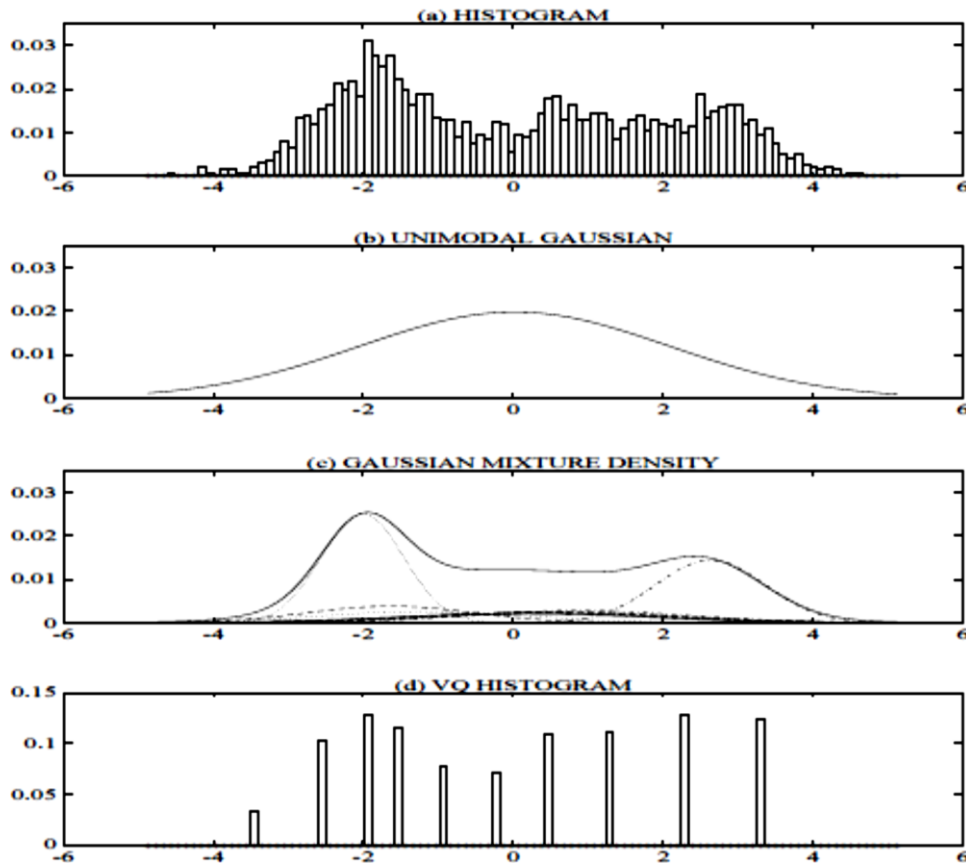
Υπάρχουν διάφορες μεταβλητές στο GMM που φαίνονται στην εξίσωση(2.4.3).Οι πίνακες συνδιακύμανσης μπορεί να είναι σε μέγιστη κατάταξη ή διαγώνιοι. Επιπρόσθετα, οι παράμετροι μπορούν να κατανεμηθούν ή να συνδεθούν μεταξύ των γκαουσιανών συνιστωσών, για παράδειγμα να υπάρχει ένας κοινός πίνακας συνδιακύμανσης για όλες τις συνιστώσες. Η επιλογή του μοντέλου παραμετροποίησης (αριθμός συνιστωσών, πίνακας διακύμανσης μέγιστης κατάταξης ή διαγώνιοι και σύνδεση παραμέτρων) συχνά καθορίζεται από το πλήθος των διαθέσιμων δεδομένων για την εκτίμηση των παραμέτρων του GMM και από τον τρόπο χρήσης του GMM σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή.

Είναι επίσης σημαντικό να σημειώσουμε ότι, επειδή οι γκαουσιανές συνιστώσες δρουν από κοινού για να διαμορφώσουν τη συνολική πυκνότητα του χαρακτηριστικού, οι πίνακες συνδιακύμανσης μέγιστης κατάταξης δεν είναι απαραίτητοι, ακόμη και αν τα χαρακτηριστικά δεν είναι στατιστικά ανεξάρτητα. Ο γραμμικός συνδυασμός των γκαουσιανών συνιστωσών διαγώνιας συνδιακύμανσης(διαγώνιοι πίνακες) αρκεί για τη διαμόρφωση των συσχετίσεων μεταξύ των στοιχείων των διανυσμάτων των χαρακτηριστικών. Τα αποτελέσματα της χρήσης ενός συνόλου γκαουσιανών συνιστωσών  $M$  σε πίνακα συνδιακύμανσης μέγιστης κατάταξης μπορούν να επιτευχθούν και με τη χρήση ενός μεγαλύτερου συνόλου γκαουσιανών συνιστωσών διαγώνιας συνδιακύμανσης.

Τα GMM χρησιμοποιούνται συχνά σε βιομετρικά συστήματα, κυρίως σε συστήματα φωνητικής αναγνώρισης ομιλητή, χάρη στη δυνατότητά τους να αναπαριστούν μια ευρεία κατηγορία κατανομών δειγμάτων. Ένα από τα πιο σημαντικά γνωρίσματα των GMM είναι η δυνατότητά τους να σχηματίζουν εξομαλυσμένες προσεγγίσεις για αυθαίρετα σχηματισμένες πυκνότητες. Το κλασσικό μονοκόρυφο γκαουσιανό μοντέλο αναπαριστά τις κατανομές των χαρακτηριστικών με μια θέση (μέσο διάνυσμα) και ένα ελλειπτικό σχήμα (πίνακας συνδιακύμανσης) και έναν διανυσματικό κβαντιστή (VQ) ή το πλησιέστερο γειτονικό μοντέλο που αναπαριστά μια κατανομή από ένα διακριτό σύνολο χαρακτηριστικών προτύπων. Ένα GMM δρα σαν υβρίδιο μεταξύ αυτών των δύο μοντέλων, χρησιμοποιώντας ένα διακριτό σύνολο γκαουσιανών συναρτήσεων, καθεμία με το δικό της μέσο διάνυσμα και πίνακα συνδιακύμανσης, για να εξασφαλίζεται μια καλύτερη δυνατότητα διαμόρφωσης. Η εικόνα 2.4.1 συγκρίνει τις πυκνότητες που εξάγονται με τη χρήση ενός μονοκόρυφου γκαουσιανού μοντέλου, ενός GMM και ενός μοντέλου VQ. Το διάγραμμα (a) είναι ένα ιστόγραμμα ενός χαρακτηριστικού από ένα σύστημα φωνητικής αναγνώρισης ομιλητή (μία σαφιατική τιμή εκφωνήματος διάρκειας 25 δευτερολέπτων από άνδρα ομιλητή). Το (b) δείχνει ένα μονοκόρυφο γκαουσιανό μοντέλο από την κατανομή αυτού του χαρακτηριστικού. Το (c) δείχνει ένα GMM και τις πυκνότητες των δέκα υποκείμενων συνιστωσών. Το (d) δείχνει ένα ιστόγραμμα των δεδομένων που έχουν αποδοθεί στις κεντροειδείς θέσεις του VQ από ένα βιβλίο κωδικών δέκα στοιχείων. Το GMM δεν παρέχει μόνο μια ομαλή συνολική εφαρμογή της κατανομής, αλλά οι συνιστώσες του παρέχουν επίσης μια λεπτομερή περιγραφή της πολυτροπικής φύσης της πυκνότητας.

Η χρήση των GMM για την παρουσίαση των κατανομών των χαρακτηριστικών σε ένα βιομετρικό σύστημα μπορεί επίσης να υπαγορεύεται από τη διαισθητική αντίληψη ότι μια ξεχωριστή συνιστώσα πυκνότητας μπορεί να διαμορφώσει κάποιο υποκείμενο σύνολο κρυφών τάξεων. Για παράδειγμα, στη φωνητική αναγνώριση ομιλητή, είναι λογικό να υποθέσουμε το ακουστικό διάστημα των χαρακτηριστικών που σχετίζονται με το φάσμα τα οποία αντιστοιχούν σε ευρείες φωνητικές εκδηλώσεις του ομιλητή, όπως φωνήεντα, ένρινα ή τριβόμενα σύμφωνα. Αυτές οι ακουστικές τάξεις αντικατοπτρίζουν κάποιες γενικές, εξαρτώμενες από τον ομιλητή διαμορφώσεις της φωνητικής οδού που είναι χρήσιμες για τον προσδιορισμό

της ταυτότητας του ομιλητή. Η φασματική μορφή της ακουστικής τάξης μπορεί με τη σειρά της να αναπαρασταθεί από το μέσο διάνυσμα  $\mu_i$  της συνιστώσας της  $i$ -στης πυκνότητας, ενώ παραλλαγές της μέσης φασματικής μορφής μπορούν να αναπαρασταθούν από τον πίνακα συνδιακύμανσης  $\Sigma_i$ .



Σχήμα 2.4.1 Σύγκριση των μοντέλων κατανομής (α) ιστογράμμο ενός χαρακτηριστικού από ένα σύστημα φωνητικής αναγνώρισης ομιλητή (μία σαφιατική τιμή εκφονήματος διάρκειας 25 δευτερολέπτων από άνδρα ομιλητή). (β) Μέγιστη πιθανότητα ενός ημί Γκαουσιανού μοντέλου. (γ) GMM και οι πυκνότητες των δέκα υποκείμενων συνιστωσών (δ) ένα ιστογράμμο των δεδομένων που έχουν αποδοθεί στις κεντροειδείς θέσεις του VQ από ένα βιβλίο κωδικών δέκα στοιχείων

### Εκτίμηση παραμέτρων μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Parameter Estimation)

Λαμβάνοντας ως δεδομένα τα εκπαιδευτικά διανύσματα και την παραμετροποίηση ενός GMM, θέλουμε να εκτιμήσουμε τις παραμέτρους  $\lambda$ , οι οποίες, κατά κάποια έννοια, θα ταιριάζουν καλύτερα με την κατανομή των εκπαιδευτικών διανυσμάτων χαρακτηριστικών. Υπάρχουν διάφορες διαθέσιμες τεχνικές για την εκτίμηση των παραμέτρων ενός GMM. Μέχρι στιγμής, η πιο δημοφιλής και πιο παγιωμένη είναι η εκτίμηση μέγιστης πιθανοφάνειας (ΜΠ).

Ο σκοπός της εκτίμησης ΜΠ είναι ο εντοπισμός των παραμέτρων του μοντέλου που μεγιστοποιούν την πιθανότητα του GMM βάσει των δεδομένων εκπαίδευσης. Για μια ακολουθία των εκπαιδευτικών διανυσμάτων  $X = \{x_1, \dots, x_T\}$ , η πιθανότητα GMM, λαμβάνοντας τα διανύσματα ως ανεξάρτητα μεταξύ τους, μπορεί να αποτυπωθεί ως εξής:

$$p(X | \lambda) = \prod_{t=1}^T p(x_t | \lambda) \quad (2.4.4)$$



Δυστυχώς, αυτή τη έκφραση είναι μια μη γραμμική συνάρτηση των παραμέτρων  $\lambda$ , και η απευθείας μεγιστοποίηση είναι αδύνατη. Ωστόσο, η εκτίμηση ΜΠ μπορεί να εξαχθεί επαναληπτικά με χρήση μιας ειδικής περίπτωσης του αλγόριθμου Προσδοκίας-Μεγιστοποίησης (Expectation-Maximization, EM). Η βασική ιδέα του αλγόριθμου EM είναι, ξεκινώντας με ένα αρχικό μοντέλο  $\lambda$  να υπολογίσει ένα νέο μοντέλο  $\bar{\lambda}$ , τέτοιο ώστε:

$$p(X | \bar{\lambda}) \geq p(X | \lambda)$$

Το νέο μοντέλο γίνεται στη συνέχεια το αρχικό μοντέλο για την επόμενη επανάληψη, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να προσεγγιστεί ένα σημείο σύγκλισης. Σε κάθε επανάληψη του αλγορίθμου, χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι τύποι επανεκτίμησης οι οποίοι εξασφαλίζουν μια μονότονη αύξηση της τιμής της πιθανότητας του μοντέλου.

Βάρη

$$\bar{w}_i = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T \Pr(i | x_t, \lambda) \quad (2.4.5)$$

Μέση Τιμή

$$\bar{\mu}_i = \frac{\sum_{t=1}^T \Pr(i | x_t, \lambda) x_t}{\sum_{t=1}^T \Pr(i | x_t, \lambda)} \quad (2.4.6)$$

Διακύμανση(συν-διακύμανση)

$$\bar{\sigma}_i^2 = \frac{\sum_{t=1}^T \Pr(i | x_t, \lambda) x_t^2}{\sum_{t=1}^T \Pr(i | x_t, \lambda)} - \bar{\mu}_i^2 \quad (2.4.7)$$

Όπου  $\bar{\sigma}_i^2, x_t$  και  $\bar{\mu}_i$  αναφέρονται σε αυθαίρετα στοιχεία των διανυσμάτων  $\bar{\sigma}_i^2, x_t$  και  $\bar{\mu}_i$  αντίστοιχα.

### 3.Περιγραφή Μεθόδου

Σε αυτή την εργασία γίνεται η επεξεργασία και η ανάλυση δεδομένων που έχουν καταγραφεί από τα ρουλεμάν 6 σετ σημάτων από μια πειραματική εγκατάσταση και 2 σετ σημάτων από μια δεύτερη πειραματική εγκατάσταση. Η μέθοδος που ακολουθείται αποτελείται από δύο μέρη:

- I. Την εξαγωγή χαρακτηριστικών παραμέτρων.
- II. Την εκπαίδευση του συστήματος ,την ανίχνευση βλάβης και την ταξινόμησή της βλάβης.(α)training (β)testing

Στο πρώτο μέρος της μεθόδου ,τα σήματα αναλύονται λεπτομερώς με σκοπό να εντοπιστεί το είδος της βλάβης που περιέχουν καθώς και ποια είναι υγιή και ποία όχι. Αυτό γίνεται με σκοπό να δημιουργηθεί ένα νέο σετ με αντιπροσωπευτικά σήματα από το αρχικό. Τα σήματα που αποτελούν αυτό το σετ ,μετατρέπονται στην επιθυμητή μορφή και έτσι είναι δυνατόν να εξαχθούν χαρακτηριστικά που μας δίνουν χρήσιμες πληροφορίες για το σήμα από το οποίο προέκυψαν.

Στο δεύτερο μέρος αυτά τα χαρακτηριστικά των σημάτων που δεν εμφανίζουν βλάβη χρησιμοποιούνται για την εκπαίδευση του συστήματος. Αυτό, έχει θεωρητικά σαν αποτέλεσμα την ικανότητα του συστήματος να αγνωρίσει εάν ένα μετέπειτα σήμα περιέχει πληροφορίες για βλάβη ή όχι. Εισάγοντας τα υπόλοιπα αναλυμένα σήματα των σετ δεδομένων, εξετάζεται η απόδοση του συστήματος κι αν τελικά αν όντως μπορεί το σύστημα να ανιχνεύσει εγκαίρως μία βλάβη το είδος της ή όχι.

#### I. Εξαγωγή χαρακτηριστικών παραμέτρων

Πιο αναλυτικά, σε αυτό το μέρος της μεθόδου ,τα σήματα αναλύονται εκτενώς με αποτέλεσμα να εντοπιστεί η αρχή της βλάβης και το είδος της. Ακόμη υπολογίζονται οι χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης. Στη συνέχεια εκλέγεται ένας αντιπροσωπευτικός αριθμός από αυτά τα σήματα, που αποτελεί ένα νέο σετ. Το σετ σημάτων αυτό περιέχει σήματα καλής λειτουργίας και σήματα κακής λειτουργίας και συγκεκριμένα το τελευταίο υγιές σήμα και τα πρώτο σήμα με βλάβη. Στη συνέχεια τα καινούργια σετ σημάτων αναλύονται μορφολογικά. Η μορφολογική ανάλυση αυτή γίνεται με τη χρησιμοποίηση ενός δομικού στοιχείου ( Structural Element, SE) και ενός τελεστή. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε ένα επίπεδο δομικό στοιχείο (ύψος 1) και ο τελεστής Beucher. Όσον αφορά στα επίπεδα δομικά στοιχεία ,αυτά είναι καλύτερα στην ανίχνευση των ακμών σε κραδασμικά σήματα. Το μήκος του δομικού στοιχείου L που είναι η μόνη παράμετρος που πρέπει να επιλεγεί, επιλέχθηκε μέσω εφαρμογής του κριτηρίου της κύρτωσης (KUC) για την μικρότερη περίοδο του παλμού της βλάβης του εσωτερικού και του εξωτερικού δακτυλίου. Γενικά, το κάθε καταγεγραμμένο σήμα πέρασε από μορφολογικό φιλτράρισμα με 10 διαφορετικά δομικά στοιχεία με τα μήκη τους να απέχουν κατά 10% ,20% έως 90% από τις τιμές των επαλαμβανόμενων παλμών. Η τιμή των επαναλαμβανόμενων παλμών, T είναι η μικρότερη περίοδος του παλμού της βλάβης που και στις 2 περιπτώσεις μας, στον εσωτερικό δακτύλιο . Έπειτα, υπολογίστηκε η κύρτωση του κάθε μορφολογικά φιλτραρισμένου σήματος. Οι τιμές της κύρτωσης δίνουν μία κατά προσέγγιση εκτίμηση των κορυφών που υπάρχουν στο σήμα. Ως εκ τούτου, η μέγιστη τιμή της κύρτωσης υποδηλώνει το σήμα με τον μέγιστο αριθμό κορυφών που με τη σειρά του υποδηλώνει ότι μπορεί να υπάρχει βλάβη στην μηχανή, οπότε, το σήμα με την μέγιστη τιμή κύρτωσης επιλέγεται για περαιτέρω ανάλυση. Πρέπει να σημειωθεί ότι αν δύο τιμές κύρτωσης είναι ίσες, τότε οποιοδήποτε μήκος δομικού στοιχείου μπορεί να επιλεγεί.

Το μήκος του δομικού στοιχείου, που δίνει τη μέγιστη τιμή της κύρτωσης, θα αλλάξει ανάλογα με το σήμα, τον μορφολογικό φορέα και την συχνότητα βλάβης. Ως εκ τούτου, το κριτήριο της κύρτωσης θα ελεγχθεί ξεχωριστά για κάθε σήμα και για κάθε φορέα ανάλυσης . Οπότε αυτή η προσέγγιση συγκεντρώνει όλες τις χρήσιμες πληροφορίες σε μια καθορισμένη ζώνη χαμηλής συχνότητας.

Ακόμη ο τελεστής Beucher απομακρύνει τις υψίσυχνες περιοχές του σήματος που αφορούν στο αποτέλεσμα της βλάβης και ενισχύει τις χαμηλόσυχνες περιοχές που περιέχουν σημαντικές πληροφορίες σε σχέση με το μηχανισμό της βλάβης. Οι χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης  $BPF0^{TH}$  και  $BPF1^{TH}$ , η συχνότητα περιστροφής του άξονα  $RPM^{TH}$  και η συχνότητα δειγματοληψίας  $F_s$  χρησιμοποιήθηκαν σε αυτόν τον αλγόριθμο.

Στη συνέχεια τα τροποποιημένα μορφολογικά αυτά σήματα μετασχηματίζονται με το FFT με αποτέλεσμα να παραχθεί το φάσμα τους και ύστερα από το φάσμα παράγεται η χρονική τους κυματομορφή μέσω του αντίστροφου FFT (IFFT). Έτσι αυτά τα τροποποιημένα σήματα εισέρχονται στο IFESIS. Το IFESIS είναι ένας αλγόριθμος που εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα των κυματιδίων Morlet και ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία έτσι ώστε να υπολογίσει τη στιγμιαία συχνότητα Instantaneous Frequency και να εξάγει τις τιμές Mean Singular Values για κάθε σήμα.

Συγκεκριμένα σε αυτό το στάδιο ο αλγόριθμος θα ανιχνεύσει τις πραγματικές συχνότητες βλάβης και τις αρμονικές τους και σε αυτές θα υπολογίσει τις αντίστοιχες Mean Singular Values. Αρχικά ένα μετατοπιζόμενο παράθυρο Morlet με πλάτος  $fb$  θα εφαρμοστεί σε ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων με βήμα μετατόπισης συχνότητας  $dF = df$  όπου τα όρια του εύρους θα καθορίζονται από τον τύπο  $[f_{fault}-l \ f_{fault}+l]$ , όπου  $f_{fault}$  η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης για κάθε τέστ και  $l$  ένας δείκτης που επιλέγει ο χρήστης ανάλογα επίσης με τις συχνότητες για να καθοριστεί το εύρος στο οποίο θα μετατοπίζεται το παράθυρο και θα ψάχνει για αιχμές. Ο αλγόριθμος παίρνει σαν πρώτη κεντρική συχνότητα  $f_c$  του εύρους του τη θεωρητική συχνότητα βλάβης  $BPF0^{TH}$  ή  $BPF1^{TH}$  ή τη συχνότητα περιστροφής του άξονα  $RPM^{TH}$  την οποία την επιλέγει ο χρήστης.

Σε κάθε μετόπισή του παραθύρου ο αλγόριθμος παράγει μια σειρά από μη μηδενικά Singular values και την καμπύλη της Instantaneous Frequency (IF). Μια μέση τιμή των Singular Values (MSV) για κάθε μετατοπιζόμενο παράθυρο Morlet υπολογίζεται καθώς και η διακύμανση της IF. Τα MSV εντοπίζουν τα συστατικά του σήματος που σχετίζονται με την εγγενή δομή της συχνότητας του μοτίβου βλάβης της μηχανής. Έτσι, η υψηλή τιμή της MSV αντιπροσωπεύει συστατικά υψηλού πλάτους του σήματος κατά την αποσυνθεσή του ενώ η χαμηλή σχετίζεται με συστατικά χαμηλού πλάτους. Ακόμη, η χαμηλή τιμή διακύμανσης της IF δείχνει μια πιθανή αρμονική συνιστώσα ενώ η υψηλή τιμή της δείχνει την ύπαρξη ενός θορύβου ή τυχαίου στοιχείου. Οπότε η συνύπαρξη χαμηλής τιμής της διακύμανσης της IF και υψηλής τιμής της MSV αυξάνει την πιθανότητα ύπαρξης αρμονικής σε αυτή τη συχνότητα.

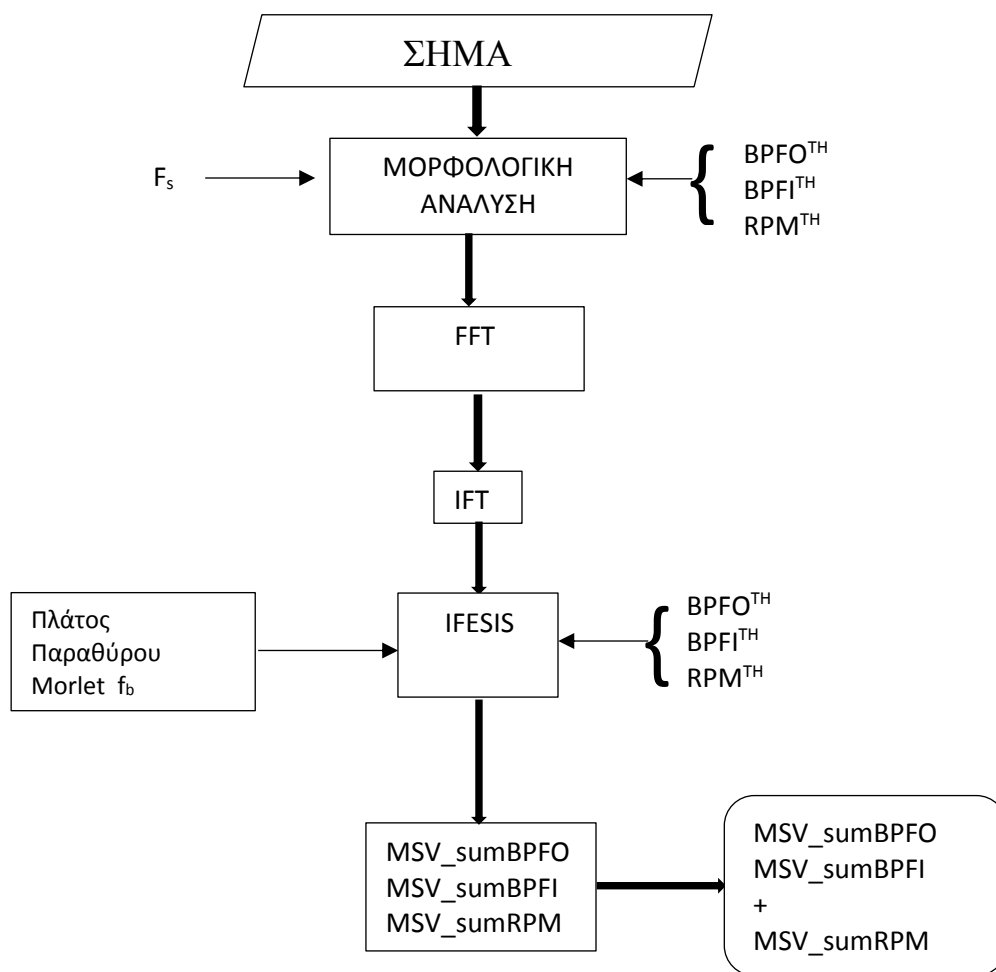
Με βάση αυτό το κριτήριο, ο αλγόριθμος ψάχνει στο πρώτο συχνοτικό πεδίο με κεντρική συχνότητα τη θεωρητική χαρακτηριστική συχνότητα που έχει επιλέξει ο χρήστης και εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά της κανονικοποιημένης IF από την κανονικοποιημένη MSV. Σε αυτό το σημείο εντοπίζει την αντίστοιχη συχνότητα. Αυτή τη συχνότητα τη θεωρεί ως πιθανή πραγματική χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης και στη συνέχεια βρίσκει και δίνει σαν αποτέλεσμα την τιμή της MSV που αντιστοιχεί σε αυτή την. Αυτή είναι και η πρώτη MSV για το πρώτο συχνοτικό εύρος.

Το διπλάσιο αυτής της χαρακτηριστικής συχνότητας χρησιμοποιείται ως κεντρική συχνότητα για το δεύτερο συχνοτικό εύρος και ακολουθώντας αυτή τη διαδικασία παράγεται και η τιμή της MSV για το δεύτερο συχνοτικό πεδίο.

Με την τριπλάσια τιμή της εκτιμώμενης ως πραγματική χαρακτηριστική συχνότητα σχηματίζει και δρα αντίστοιχα και στο τρίτο συχνοτικό πεδίο όπου παράγει και την τρίτη MSV.

Έτσι υπολογίζονται τρεις τιμές MSV για τη χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης  $BPF0^M$ , τρεις για  $BPF1^M$  και τρεις για  $RPM^M$  (από τις οποίες χρησιμοποιούμε τις 2) για κάθε σήμα.

Αυτές οι τιμές των MSV είναι τα βέλτιστα χαρακτηριστικά τα οποία ανταποκρίνονται στην κατάσταση της υγείας της μηχανής. Αυτά τα χαρακτηριστικά παρέχουν χρήσιμες πληροφορίες σε σχέση με τον εντοπισμό αλλά και την ταξινόμηση της βλάβης του ρουλεμάν και ακόμη βελτιώνουν την απόδοση των εκπαιδευόμενων μοντέλων. Η διαδικασία παρουσιάζεται διαγραμματικά στο Σχ.3.



Σχ.3.1 Καινοτόμος Εξαγωγή Παραμέτρων

## II. Εκπαίδευση του συστήματος ,ανίχνευση βλάβης και ταξινόμησή της

### II (α) Training

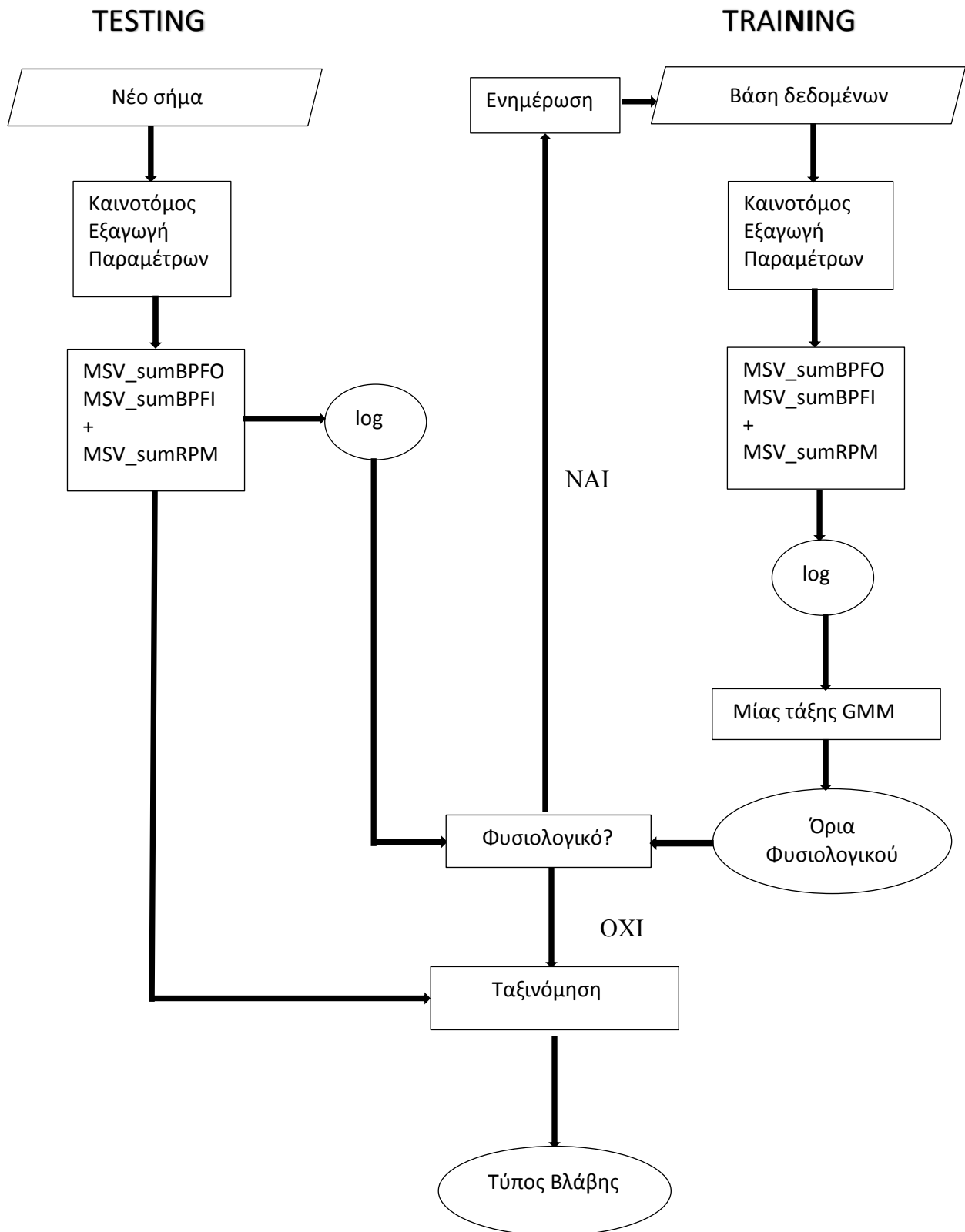
Μια συστηματική προσέγγιση της ανίχνευσης βλάβης που βασίζεται στον GMM αλγόριθμο εφαρμόζεται. Η ταξινόμηση είναι πρώτης τάξης .Στο στάδιο της εκπαίδευσης τα χαρακτηριστικά που αφορούν στα υγιή σήματα της ίδιας μηχανής,  $MSV\_sumBPFO$ ,  $MSV\_sumBPFI+MSV\_sumRPM$  ,εισέρχονται στον αλγόριθμο. Πριν εισαχθούν στο GMM αλγόριθμο ,λογαριθμίζονται. Αυτό γίνεται διότι επειδή μπορεί να αφορούν διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και ως εκ τούτου μπορεί να διαφέρουν σαν τιμές , όταν λογαριθμίζονται μετατρέπονται σε ίση κλίμακα οπότε οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή τους θα είναι ίση ποσοστιαία. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης τα λογαριθμικά χαρακτηριστικά MSVs εκπαιδεύονται με σκοπό να επιλεγούν οι κατάλληλες παραμέτρους και έτσι να σχηματιστεί μια υπερσφαίρα γύρω από την κλάση στόχο. Η επιλογή των παραμέτρων γίνεται με τον αλγόριθμο EM. Μετά την

εκπαίδευση το σχήμα που δημιουργείται από την υπερσφαίρα του GMM χρησιμοποιείται για να καθορίσει το όριο για την testing διαδικασία.

## II (β) Testing

Κατά τη διαδικασία του testing και της φάσης ενημέρωσης, η μέθοδος εξαγωγής των χαρακτηριστικών υθετείται προκειμένου να υπολογίσει τα λογαριθμικά βασικά χαρακτηριστικά MSV που συλλέγονται από ένα σύστημα απόκτησης δεδομένων. Το εκπαιδευμένο μοντέλο GMM ενεργοποιείται για να εξετάσει αυτό το βασικό χαρακτηριστικό. Το υπό εξέταση χαρακτηριστικό ταξινομείται ως κανονικό και η υγεία της μηχανής σε καλή κατάσταση εάν βρίσκεται μέσα στα όρια που έχει δημιουργήσει το GMM. Έτσι αυτό το χαρακτηριστικό διάνυσμα θα χρησιμοποιηθεί για να ξανάεκπαιδεύσει το GMM μαζί με τα προηγούμενα διανύσματα. Επομένως εάν δεν ανιχνευτεί κάποιο σφάλμα το υπόλοιπο μέρος του μοντέλου που αφορά στη κατηγοριοποίηση της βλάβης (εσωτερικού ή εξωτερικού δακτυλίου) δεν θα ενεργοποιηθεί. Εάν το χαρακτηριστικό δεν βρίσκεται μέσα στο όριο τότε θεωρείται ότι το σήμα περιγράφει βλάβη του ρουλεμάν. Μόλις το μοντέλο βρει ένα τέτοιο χαρακτηριστικό μοντέλο τότε ενεργοποιείται το κομμάτι της ταξινόμησης της βλάβης. Συγκεκριμένα, όταν μια βλάβη εντοπιστεί τότε συγκρίνονται οι τιμές  $MSV_{sum\_BPFO}$  και  $MSV_{sum\_BPFI} + MSV_{sum\_RPM}$ . Αν η πρώτη είναι μεγαλύτερη τότε το πρόβλημα βρίσκεται στον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν ενώ σε αντίθετη περίπτωση βρίσκεται στον εσωτερικό δακτύλιο.

Η διαδικασία της εκπαίδευσης, της ανίχνευσης και της ταξινόμησής της βλάβης που περιγράφηκε παραπάνω φαίνεται διαγραμματικά στο Σχ.3.2.



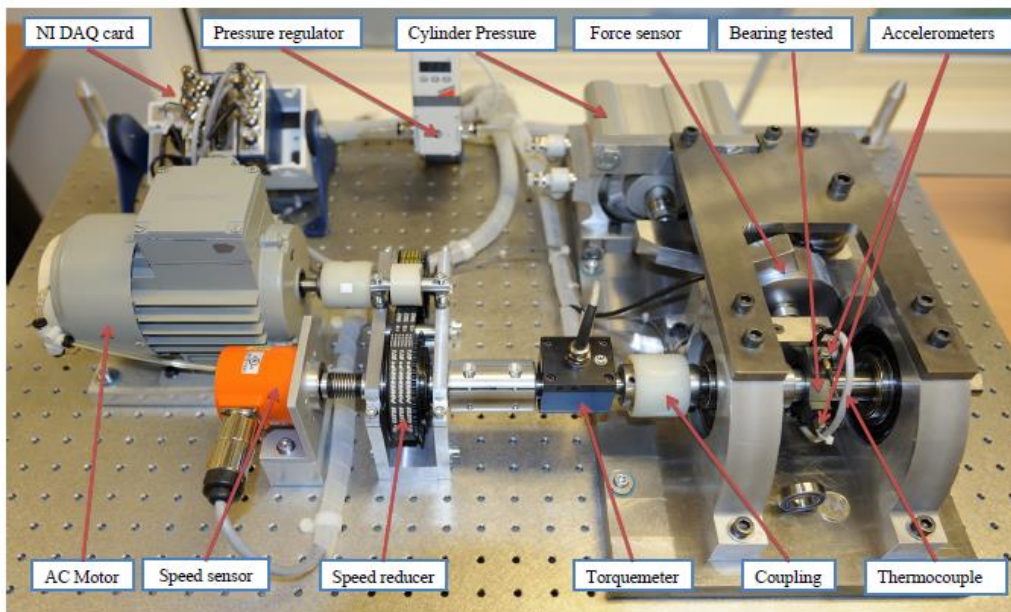
Σχ.3.2 Διάγραμμα εκπαίδευσης του συστήματος, ανίχνευσης της βλάβης και κατηγοριοποίησης της

## 4. Πειραματικό μέρος

### 4.1 Πρώτη πειραματική εγκατάσταση

#### 4.1.1 Περιγραφή πρώτης πειραματικής εγκατάστασης

Η πρώτη σειρά δεδομένων προς επεξεργασία που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη διαπλωματική είναι από το IEEE PHM 2012 Data Challenge που διοργανώθηκε από την IEEE Reliability Society και από το Ινστιτούτο FEMTO-ST. Η εγκατάσταση ονομάζεται PRONOSTIA, σχεδιάστηκε και πραγματοποιήθηκε στον AS2M τομέα του Ινστιτούτου FEMTO-ST. Η εγκατάσταση αποτελείται από τρία κύρια μέρη: το περιστρεφόμενο τμήμα, το τμήμα γέννησης της φθοράς (με μια ακτινική δύναμη να εφαρμόζεται στο δοκιμαζόμενο ρουλεμάν) και το τμήμα της μέτρησης.



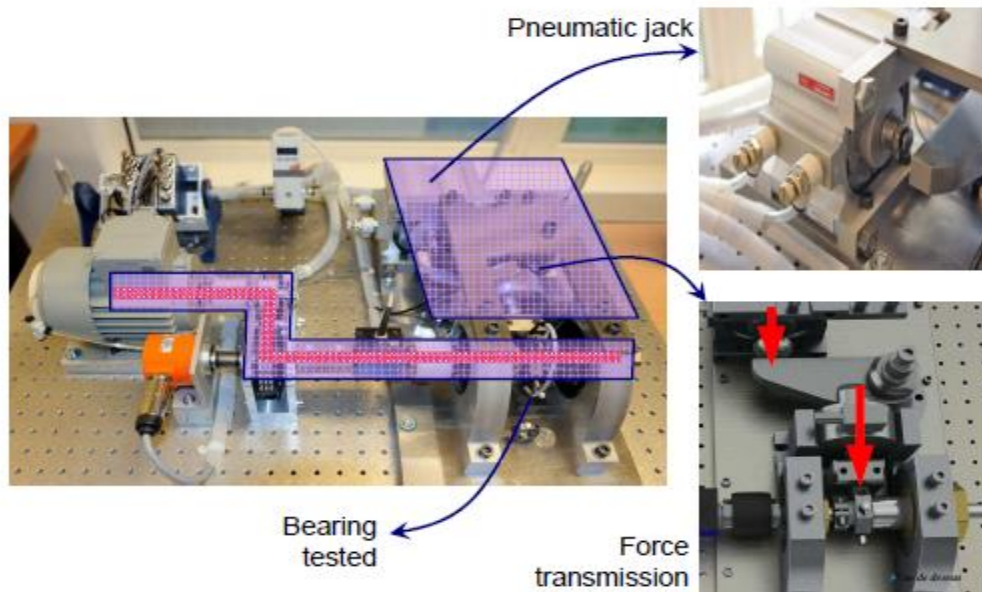
Εικόνα 4.1.1 Πειραματική Εγκατάσταση PRONOSTIA

Το περιστρεφόμενο τμήμα συμπεριλαμβάνει ένα ασύγχρονο κινητήρα με ένα μειωτήρα στροφών και τους δύο αξόνες του. Ο πρώτος άξονας είναι τοποθετημένος δίπλα στη μηχανή και ο δεύτερος δίπλα στην πλευρά κωδικοποίησης του σήματος. Ο κινητήρας έχει δύναμη ίση με 250W και μεταφέρει την περιστροφική κίνηση μέσω του μειωτήρα στροφών, το οποίο επιτρέπει στη μηχανή να φτάσει την ονομαστική της ταχύτητα στα 2830rpm, έτσι ώστε να μεταφέρει την ονομαστική της ροπή ενώ παράλληλα διατηρώντας την ταχύτητα του δευτερεύοντος άξονα έως 2000 rpm. Η μετάδοση της περιστροφικής κίνησης από τον κινητήρα στον άξονα που εδράζεται το ρουλεμάν γίνεται μέσω άκαμπτων συζευκτών αξόνων. Ο άξονας υποστήριξης του ρουλεμάν οδηγεί το ρουλεμάν μέσω του εσωτερικού του δακτυλίου.



Εικόνα 4.1.2 Άξονας υποστήριξης του ρουλεμάν.

Στο κομμάτι επιβολής φορτίου ένας πνευματικός κύλινδρος επιβάλλει τη δύναμη στον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν μέσω του δακτυλίου σύσφιξης αφού πρώτα έχει αντισταθμιστεί από ένα μοχλό βραχίονα. Η προμήθεια του αέρα στον πνευματικό κύλινδρο πραγματοποιείται από έναν ψηφιακό ηλεκτρικό-πνευματικό ρυθμιστή.



Εικόνα 4.1.3 κομμάτι επιβολής φορτίου

Οι συνθήκες λειτουργίας της μηχανής καθορίζονται από τις στιγμιαίες τιμές της ακτινικής δύναμης που εφαρμόζεται στο ρουλεμάν, της ταχύτητας περιστροφής του άξονα στο οποίο εδράζεται το ρουλεμάν και της ροπής που περιορίζεται στο ρουλεμάν. Οι μετρήσεις έγιναν με δύο επιταχυνσιόμετρα τύπου DYTRAN 3035B (με 50 g εύρος και ευαισθησία 100 mV/g) τοποθετημένα, σχηματίζοντας γωνία 90° μεταξύ τους, το ένα στον οριζόντιο άξονα και το άλλο στον κάθετο.



Εικόνα 4.1.4 Επιταχυνσιόμετρα

Το ρουλεμάν είναι σφαιρικό μιας σειράς στοιχείων κύλισης με εξωτερική διάμετρο  $D=32$  mm, εσωτερική διάμετρο,  $d=20$  mm, πάχος  $B=7$  mm, με  $Z = 13$  ο αριθμός των σφαιρών και  $d = 3.5$  mm η διάμετρος των σφαιρών.



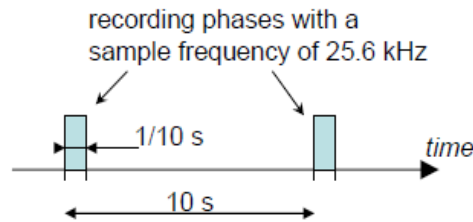
## 4.1.2 Μετρήσεις

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν κάτω από 3 διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας (φορτίο επιβολής και στροφές άξονα). Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι  $f_s=25.6$  KHz με  $P=2560$  δείγματα να καταγράφονται κάθε 10 s.

-Πρώτη συνθήκη λειτουργίας: 1800rpm και 4000N

-Δεύτερη συνθήκη λειτουργίας: 1650rpm και 4200N

-Τρίτη συνθήκη λειτουργίας: 1500rpm και 5000N



Εικόνα 4.1.5 Διαδικασία δειγματοληψίας

Οι θεωρητικές χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης και η συχνότητα περιστροφής του άξονα υπολογίστηκαν αντίστοιχα για κάθε συνθήκη λειτουργίας ως:

- $BPFO^{TH}=168.64$  Hz ,  $BPF1^{TH} = 221.66$  Hz,  $f_{shaft} = 30$  Hz
- $BPFO^{TH} = 154.35$ Hz ,  $BPF1^{TH} = 203.2$  Hz,  $f_{shaft} = 27.5$  Hz
- $BPFO^{TH} = 140.3$  Hz ,  $BPF1^{TH} = 184.7$  Hz ,  $f_{shaft} = 25$  Hz

Οι μετρήσεις που επιλέχθηκαν για ανάλυση από τη βάση δεδομένων και με τις ημερομηνίες που έγιναν καθώς και τη διάρκεια καταγραφής είναι οι παρακάτω:

<i>Δεδομένα</i>	<i>Ημερομηνία πειράματος</i>	<i>Διάρκεια καταγραφής</i>
<i>Bearing 1_6</i>	14-4-2011	6h23m29s
<i>Bearing 1_7</i>	15-4-2011	4h10m11s
<i>Bearing 2_1</i>	6-5-2011	2h31m40s
<i>Bearing 2_4</i>	26-5-2011	1h41m50s
<i>Bearing 3_2</i>	28-6-2011	4h32m40s
<i>Bearing 3_3</i>	8-4-2011	0h58m30s

Πίνακας 4. 1.1 Λεπτομέριες για την ημερομηνία καταγραφής και της διάρκειας των σετ της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης

Όπου τα δεδομένα Bearing 1\_6, 1\_7 είναι τα δεδομένα που μετρήθηκαν κάτω από την πρώτη συνθήκη λειτουργίας, τα Bearing 2\_1,2\_4 κάτω από τη δεύτερη συνθήκη και τα Bearing 3\_2 ,3\_3 κάτω από την τρίτη συνθήκη. Οι μετρήσεις που χρησιμοποιήθηκαν είναι αυτές που συλλέχθηκαν από το οριζόντιο επιταχυνσιόμετρο (στήλη 5) από το vibration signal. Στον πίνακα 4.1.2 φαίνεται τι περιέχει κάθε δεδομένο του πειράματος.

Στήλη	1	2	3	4	5	6
Vibr.signal	Hour	Minute	Second	μ-second	Horiz.accel.	Vert.accel.
Temp.singal	Hour	Minute	Second	0.x second	Rtd sensor	-

Πίνακας 4.1.2 Περιεχόμενο της κάθε μέτρησης των σετ της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης

### 4.1.3 Μελέτη σημάτων

Καταρχάς εντοπίσαμε ποιά βλάβη εμφανίζεται στο ρουλεμάν σε κάθε σειρά σημάτων. Στη συνέχεια μετά από προσεκτική ανάλυση των χρονικών κυματομορφών των φασμάτων και τέλος με μορφολογική ανάλυση των φασμάτων εντοπίσαμε το τελευταίο υγιές σήμα και το πρώτο σήμα στα αρχικά στάδια της βλάβης. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακα 4.1.3) φαίνονται συγκεντρωτικά για το κάθε σετ δεδομένων το είδος της βλάβης που εμφανίζει, ποιο είναι το τελευταίο υγιές σήμα καθώς και ποίο είναι το σήμα στο οποίο ξεκινά η βλάβη.

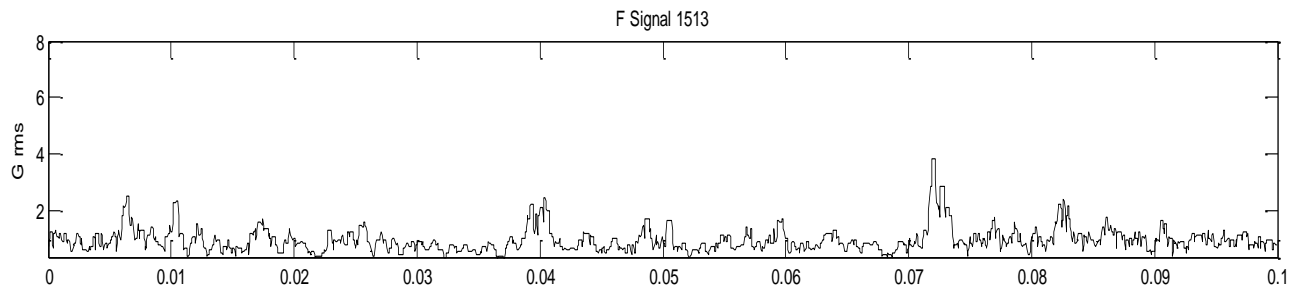
Μετρήσεις	Τύπος Βλάβης	Τελευταίο υγιές σήμα	Πρώτο σήμα με βλάβη
Bearing 1_6	Εσωτερικός δακτύλιος	2408	2409
Bearing 1_7	Εσωτερικός δακτύλιος	2201	2202
Bearing 2_1	Εσωτερικός δακτύλιος	874	875
Bearing 2_4	Εξωτερικός δακτύλιος	742	743
Bearing 3_2	Εσωτερικός δακτύλιος	1584	1585
Bearing 3_3	Εξωτερικός δακτύλιος	342	343

Πίνακας 4.1.3 Το τελευταίο υγιές σήμα και το πρώτο με βλάβη για τα σετ της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης

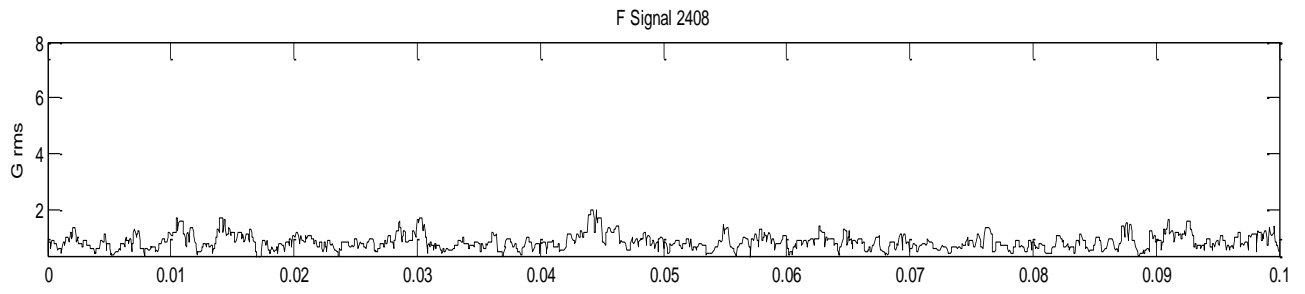
Παρακάτω παρατίθενται για τα σήματα είτε η χρονική τους κυματομορφή, είτε το φάσμα είτε το αναλυόμενο μορφολογικά φάσμα, ένα υγιές σήμα, το τελευταίο υγιές σήμα και ένα σήμα με προχωρημένη βλάβη όπου φαίνεται ξεκάθαρα το είδος της βλάβης.

#### Bearing 1\_6

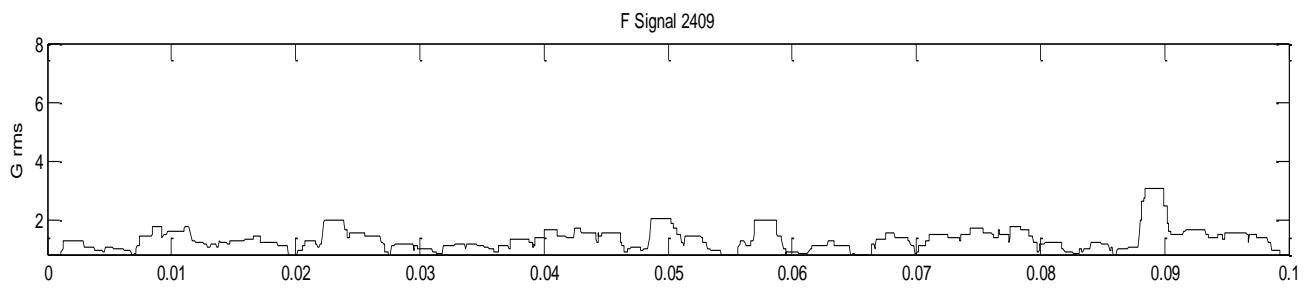
Στο σχήμα 4.4.1(γ) φαίνεται η αρχή της βλάβης στο σήμα 2409 καθώς έχουμε μεταβολή της μορφής της χρονικής κυματομορφής σε σχέση με το σχήμα 4.1.1(β) που απεικονίζει τη χρονική κυματομορφή του σήματος 2408. Συγκεκριμένα αυξάνεται το πλάτος και αρχίζουν να σχηματίζονται αιχμές αντίστοιχες με τη χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης. Η μεταβολή αυτή φαίνεται στο σχήμα 4.1.1(γ). Οι αιχμές που φαίνονται στο σχ4.1.1(α) του σήματος 1513 οφείλονται σε τυχαίο θόρυβο.



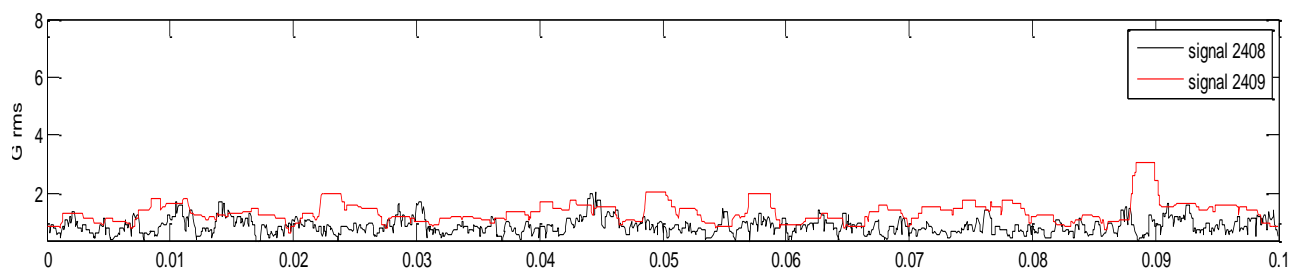
( $\alpha$ )



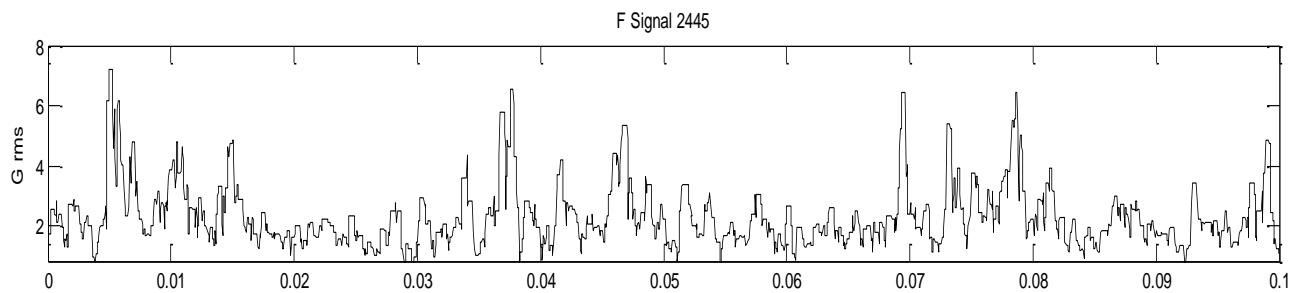
( $\beta$ )



( $\gamma$ )



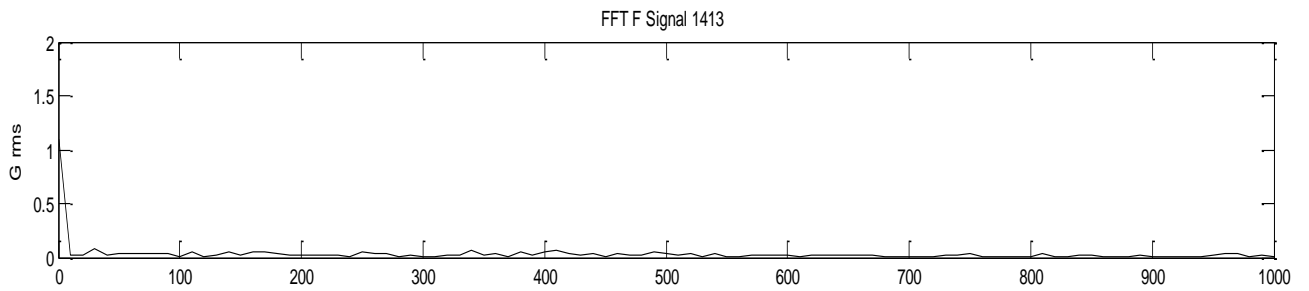
( $\delta$ )



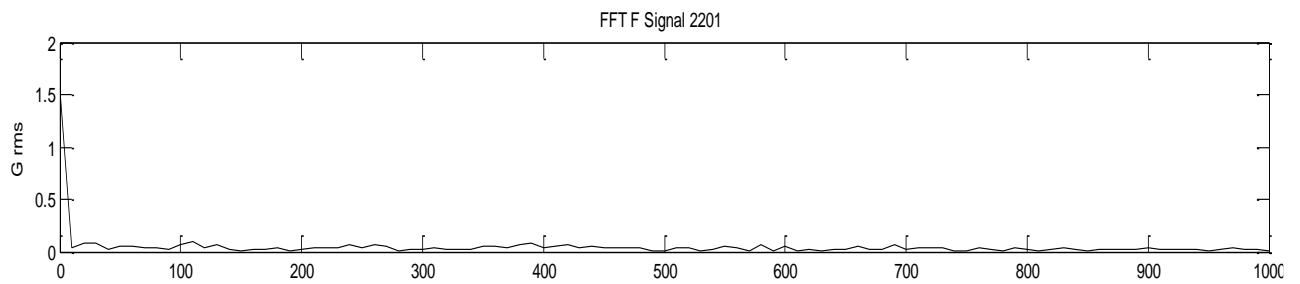
( $\epsilon$ )

Σχημα 4.1.1 Αναλυόμενη μορφολογικά χρονική κυματομορφή των σημάτων του σετ Bearing 1\_6( $\alpha$ )1513( $\beta$ )2408( $\gamma$ )2409 ( $\delta$ )2408-2409( $\epsilon$ )2445

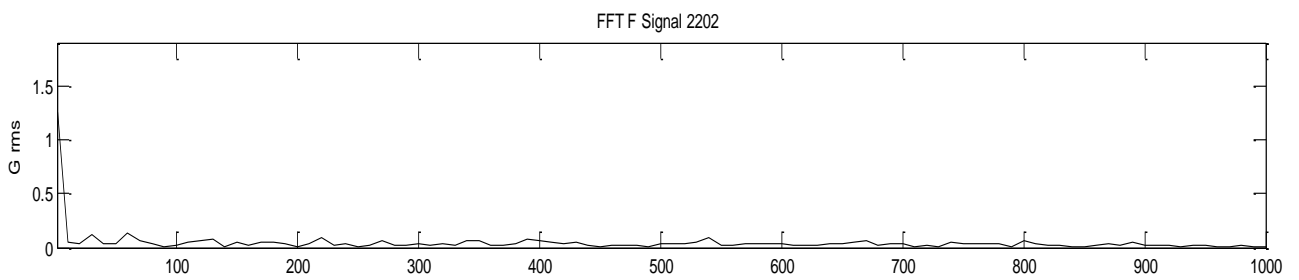
### Bearing 1\_7



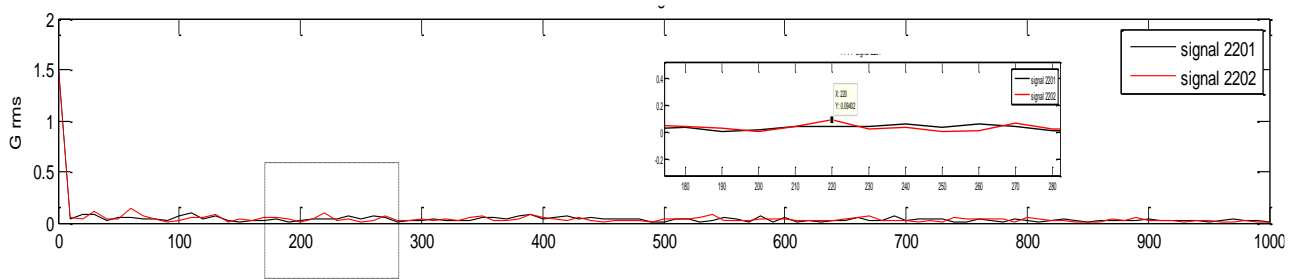
(α)



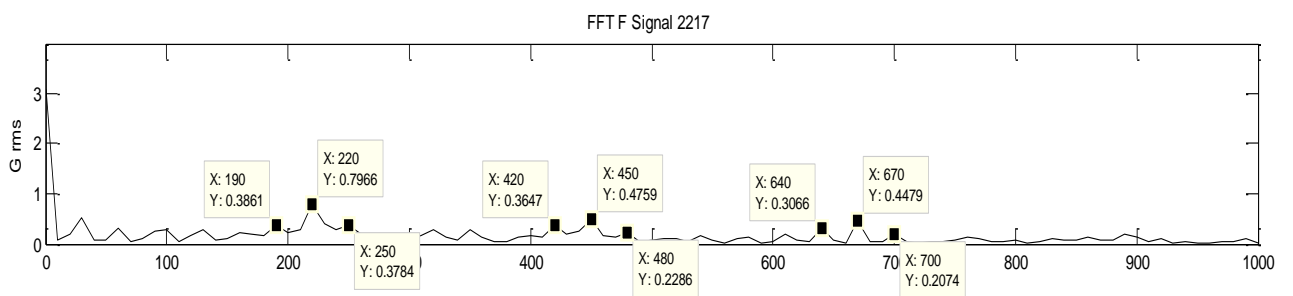
(β)



(γ)



(δ)



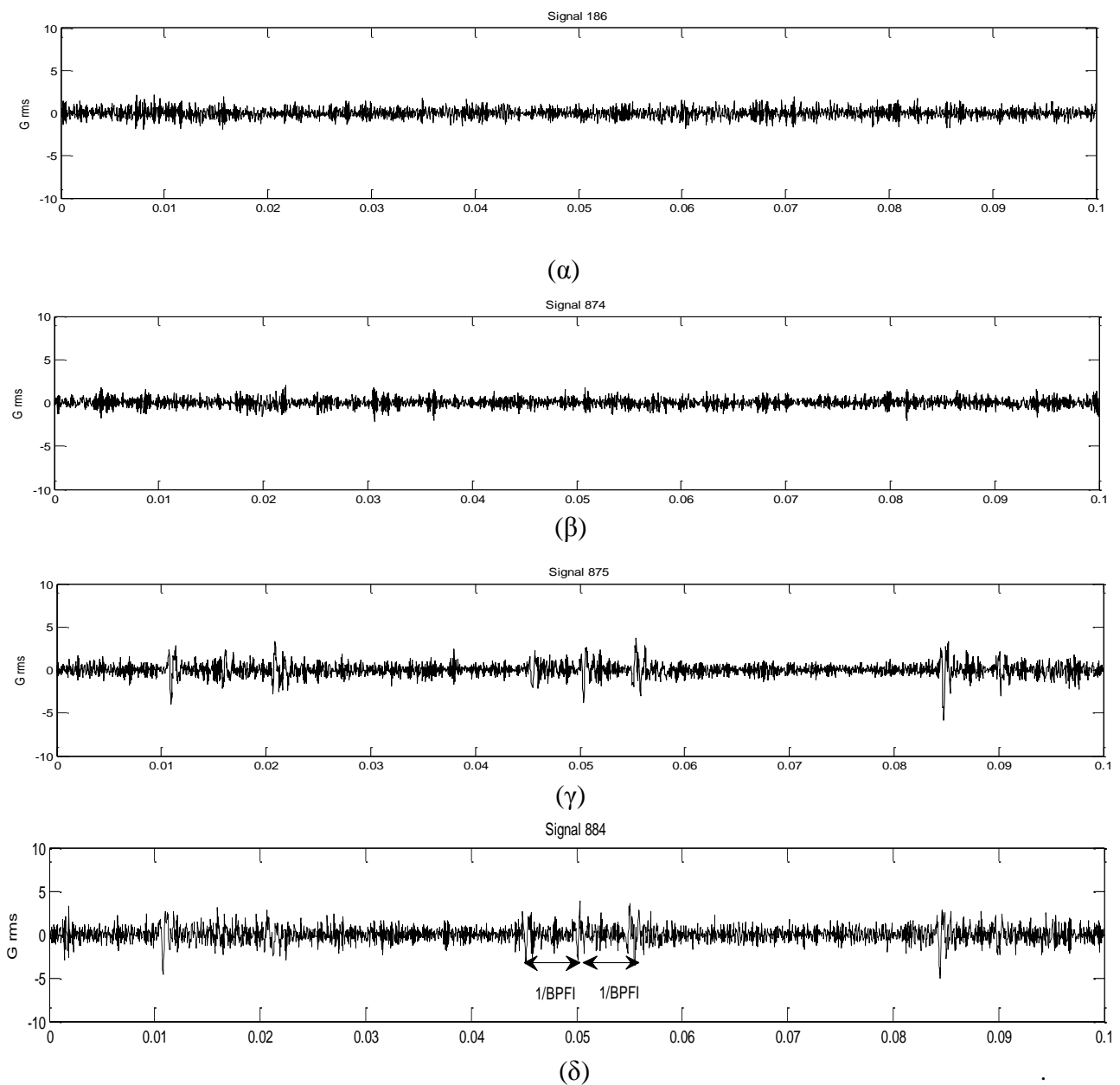
(ε)

Σχήμα 4.1.2 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του σετ Bearing 1\_7(α)σήμα 1513 (β)σήμα 2201(γ)σήμα 2202 (δ) σήμα 2201-2202(ε)2217

Στα σχ.4.1.2 (β) και 4.1.2(γ) παρατηρούμε την αλλαγή μεταξύ τους καθώς στο σχήμα 4.1.2(γ) αρχίζει να εμφανίζεται η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BPFI αφού μόλις έχει ξεκινήσει η βλάβη .Η διαφορά φαίνεται καλύτερα στο σχ.4.1.2(δ)και στο σχήμα 4.1.2(ε) φαίνονται καθαρά η BPFI και οι αρμονικές της με τις πλευρικές τους αιχμές

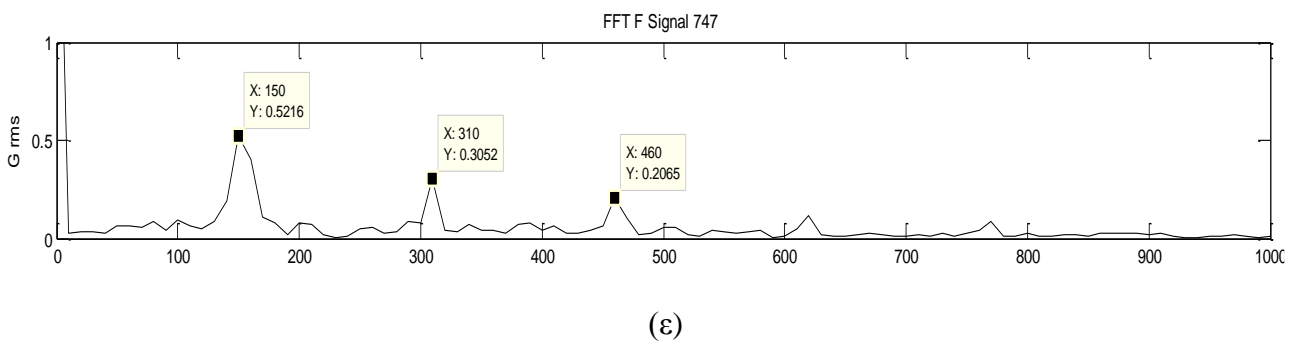
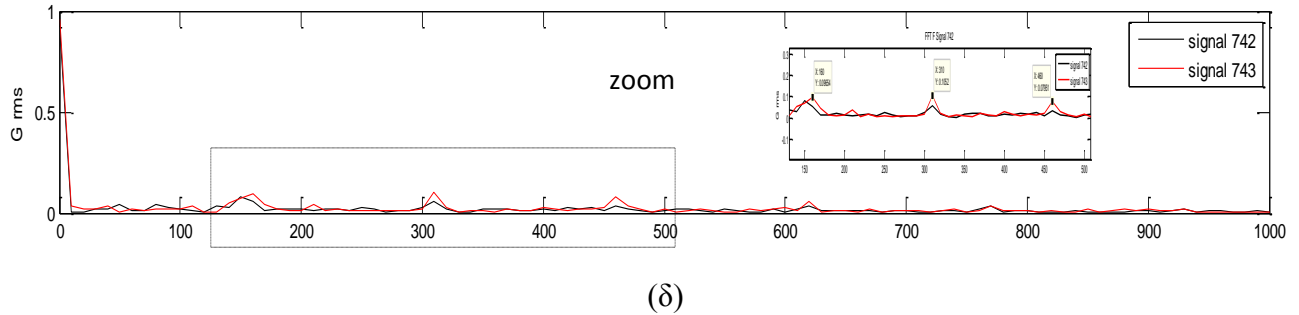
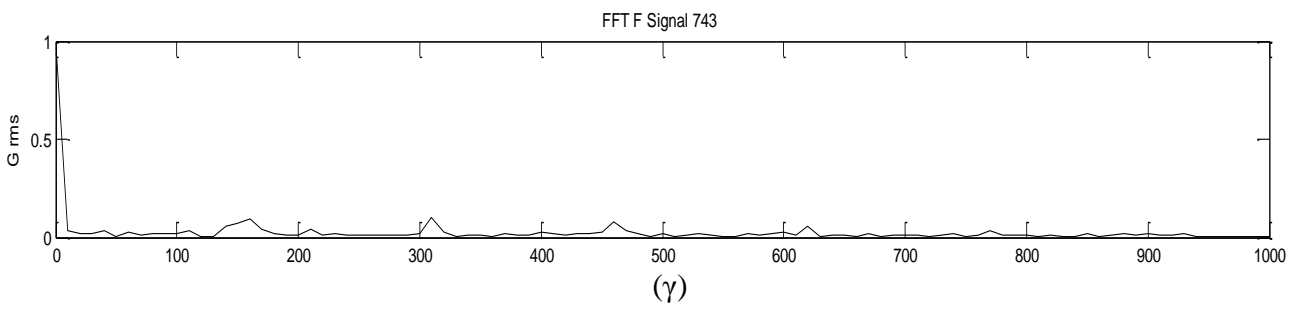
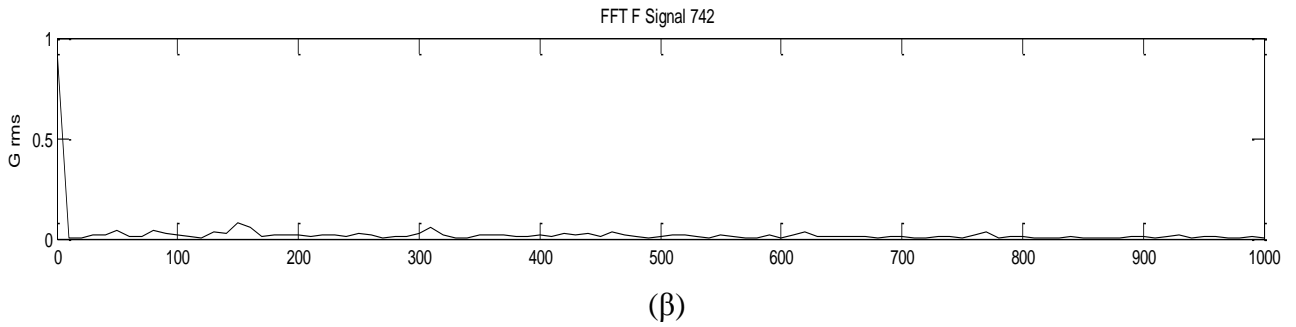
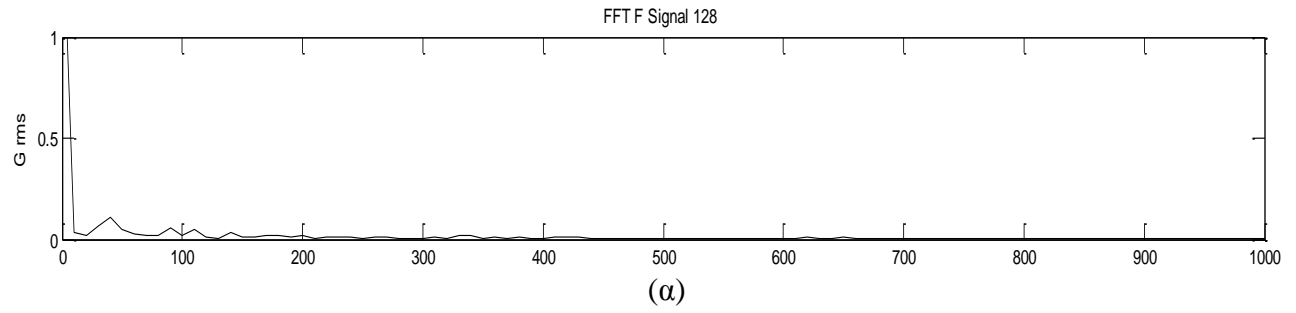
### Bearing 2\_1

Στα σχήματα 4.1.3 (α),(β),(γ),(δ),(ε) βλέπουμε την εμφάνιση βλάβης στο σετ μετρήσεων Bearing 2\_1 καθώς και την εξέλιξη της βλάβης.Παρουσιάζεται η χρονική κυματομορφή δύο υγιών σημάτων (4.1.3 α,β) και η χρονική κυματομορφή δύο σημάτων με βλάβη(4.1.3 γ,δ).Πιο συγκεκριμένα ,στο σχήμα 4.1.3 (β) και στο 4.1.3(γ) φαίνεται η έναρξη της βλάβης καθώς στην χρονική κυματομορφή του δεύτερου παρατηρούμε αιχμές που στο σχήμα 4.1.3(δ) έχουν αυξηθεί σε πλάτος και απέχουν μεταξύ τους  $1/ \text{BPFI}$ .



Σχήμα 4.1.3 Χρονική κυματομορφή του σετ Bearing 2\_1 του σήματος(α) 186 (β)874 (γ)875 (δ)884

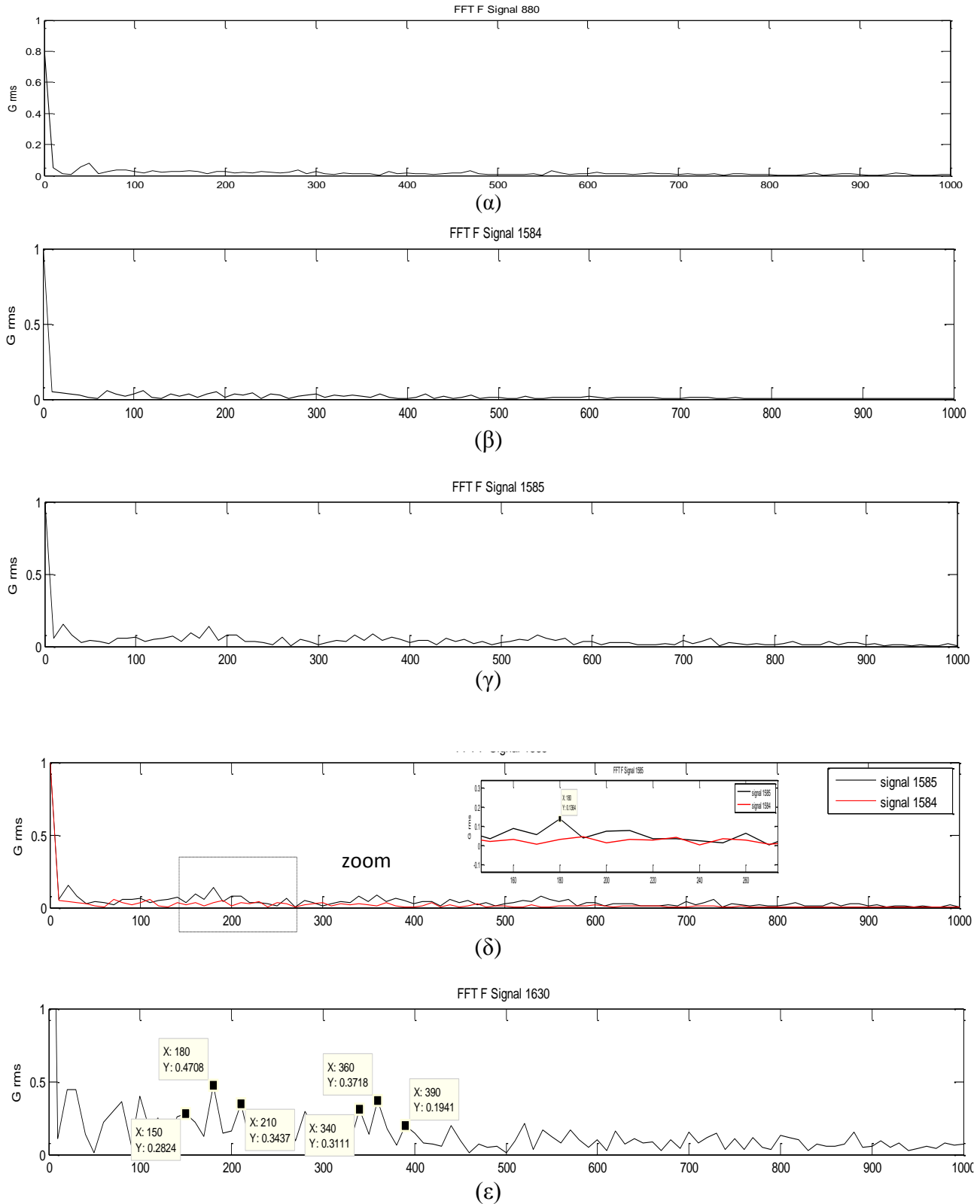
### Bearing 2\_4



Σχήμα 4.1.4 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του σετ Bearing 2\_4 του σήματος ( $\alpha$ ) 128 ( $\beta$ )742 ( $\gamma$ )743 ( $\delta$ )742-743 ( $\epsilon$ )747

Στο σχήμα 4.1.4 (β) και στο 4.1.4(γ) φαίνεται η έναρξη της βλάβης καθώς στην χρονική κυματομορφή του δεύτερου παρατηρούμε αιχμές που έχει αυξηθεί το πλάτος τους. Αυτή η διαφορά φαίνεται καλύτερα στο σχ.4.1.4(δ) και στο σχήμα 4.1.4(ε) οι αιχμές έχουν αυξηθεί σημαντικά σε πλάτος.

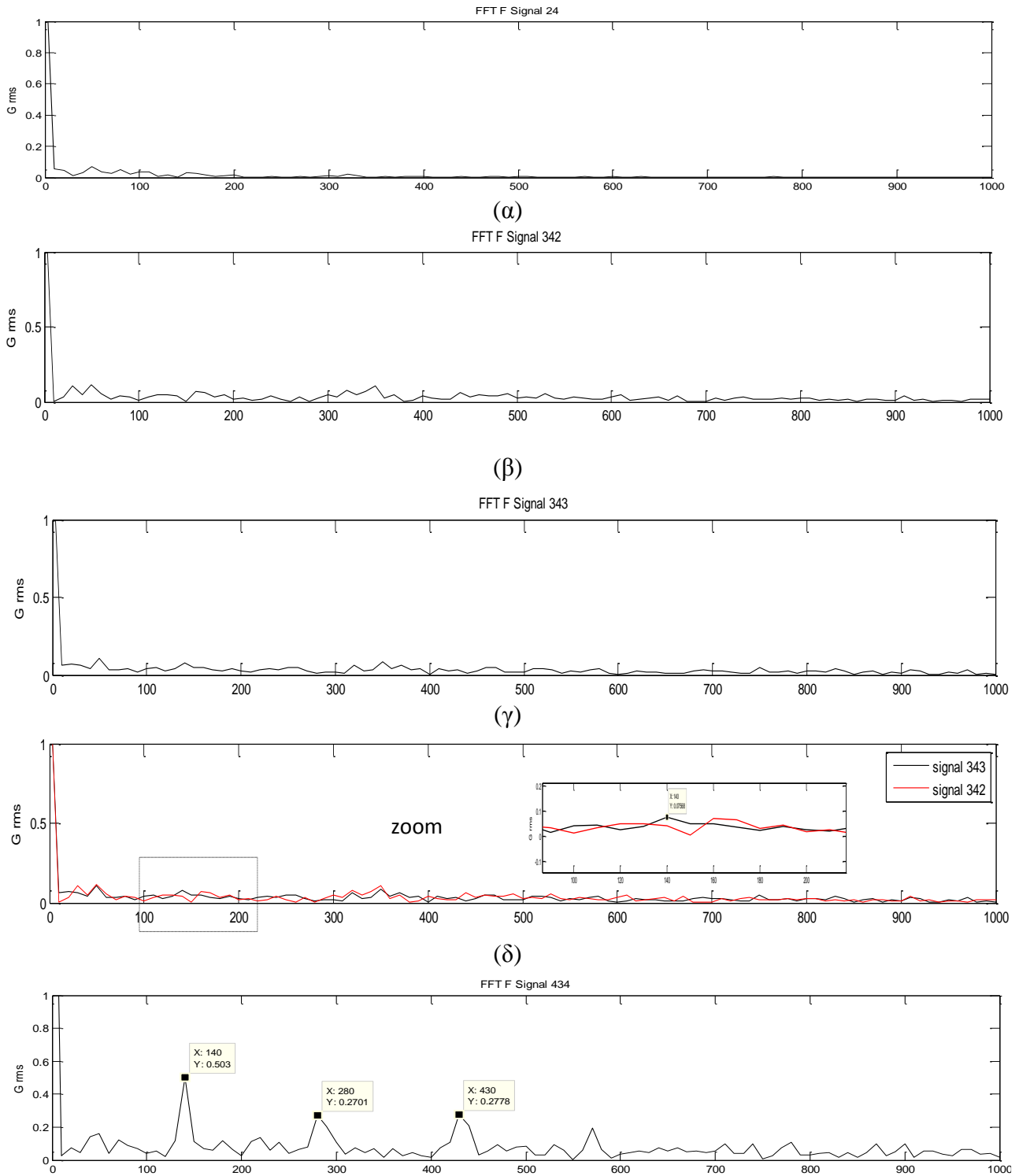
### Bearing 3\_2



Σχήμα 4.1.5 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του σετ Bearing 3\_2 του σήματος(α) 880 (β)1584 (γ)1585 (δ)1584-1585 (ε)1630

Στο σχήμα 4.1.5(γ) φαίνεται η έναρξη της βλάβης καθώς αρχίζει να σχηματίζεται η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BRFI σε σχέση με το σχήμα 4.1.5(β) όπου δεν έχει σχηματιστεί ακόμη. Η διαφορά φαίνεται στο σχήμα 4.1.5(δ). Στο σχήμα 4.1.5(ε) φαίνεται ξεκάθαρα η χαρακτηριστική συχνότητα με τις πλευρικές αιχμές και τις αρμονικές της.

### Bearing 3\_3



Σχήμα 4.1.5 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του σετ Bearing 3\_3 του σήματος (α) 24 (β) 342 (γ) 343 (δ) 343-343 (ε) 434



(ε)

Στα σχήματα 4.1.6(β) και 4.1.6(γ) παρατηρούμε την αλλαγή μεταξύ τους καθώς στο σχήμα 4.1.6(γ) έχει εμφανιστεί η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BPFO ενώ στο σχήμα 4.1.6(ε) φαίνονται ότι έχει προχωρήσει η βλάβη αφού έχει αυξηθεί σημαντικά το πλάτος της BPFO και έχουν εμφανιστεί οι αρμονικές της. Στο σχήμα 4.1.6(δ) παρουσιάζεται πιο αναλυτικά η αλλαγή καθώς φαίνεται η ύπαρξη αιχμής στη συχνότητα BPFO. Τα αρχικά σήματα παρουσιάζονται αιχμές και αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι από την αρχή των μετρήσεων το ρουλεμάν καταπονείται με δύναμη 5000N.

Για τη διαδικασία της ανίχνευσης της μη ομαλής λειτουργίας της μηχανής διαλέξαμε έναν επαρκή αριθμό μετρήσεων από τα αρχικά σεντ. Οι μετρήσεις αυτές διαλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές του ποσοστού των σημάτων με βλάβη και αυτών χωρίς βλάβη. Τα υγιή σήματα ισπαέχουν χρονικά μεταξύ τους, όπως και τα σήματα με βλάβη. Στα σεντ αυτά εμπεριέχονται και το τελευταίο υγιές σήμα καθώς και το πρώτο με βλάβη. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 2) φαίνονται αναλυτικά ο αριθμός των μετρήσεων που χρησιμοποιήθηκαν και για ποιό λόγο.

Σήμα	Training data	Testing data normal	Testing data abnormal	Σύνολο
Bearing 1_6	30	20	10	60
Bearing 1_7	30	20	10	60
Bearing 2_1	30	20	10	60
Bearing 2_4	30	25	5	60
Bearing 3_2	30	20	10	60
Bearing 3_3	30	15	15	60

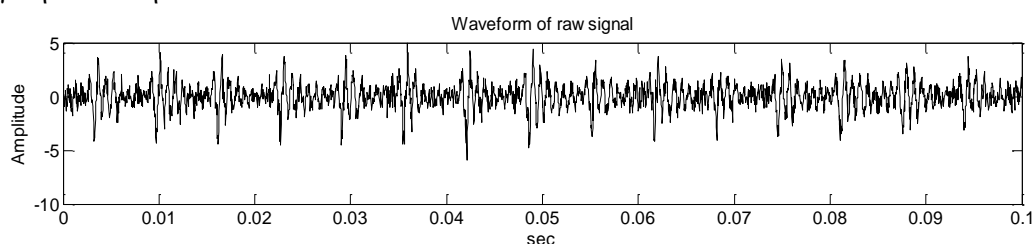
Πίνακας 4.1.4 Τα καινούργια υποσεντ προς επεξεργασία

Στη συνέχεια της διπλωματικής σαν σεντ θα αναφερόμαστε στα παραπάνω υποσεντ.

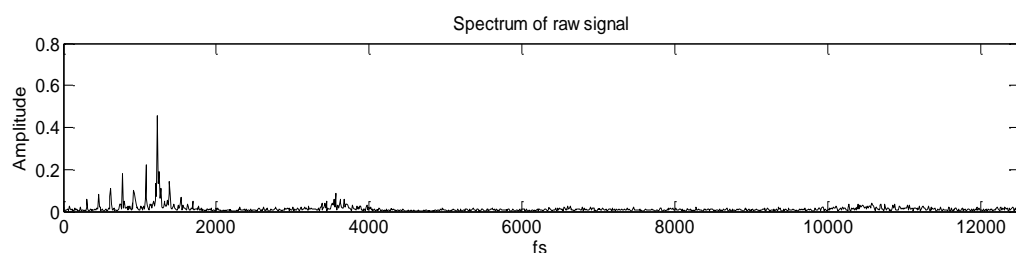
#### 4.1.4 Εξαγωγή χαρακτηριστικών παραμέτρων

##### 4.1.4.1 Εξαγωγή Mean Singular Values

Για τη διαδικασία εξαγωγής των singular values, αρχικά γίνεται ο μορφολογικός μετασχηματισμός των σημάτων μέσω της αλληλεπίδραση τους με το επίπεδο δομικό στοιχείο και τον τελεστή Beucher. Οι είσοδοι στον αλγόριθμο της μορφολογικής ανάλυσης είναι οι θεωρητικές χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης, η θεωρητική συχνότητα περιστροφής του άξονα  $BPFO^{TH}$ ,  $BPF1^{TH}$ ,  $f_{shaft}$  και η συχνότητα δειγματοληψίας  $f_s$ . Παρακάτω παρατιθενται η χρονική κυματομορφή και το φάσμα του ακατέργαστου σήματος 749 του σεντ Bearing 2\_4 καθώς και η χρονική κυματομορφή και το φάσμα του μετά τη μορφολογική ανάλυση.

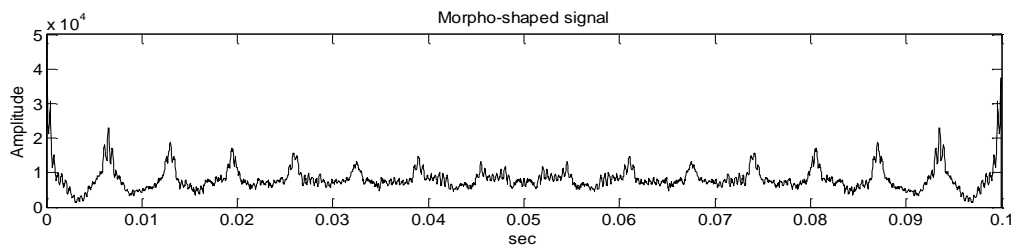


(α)

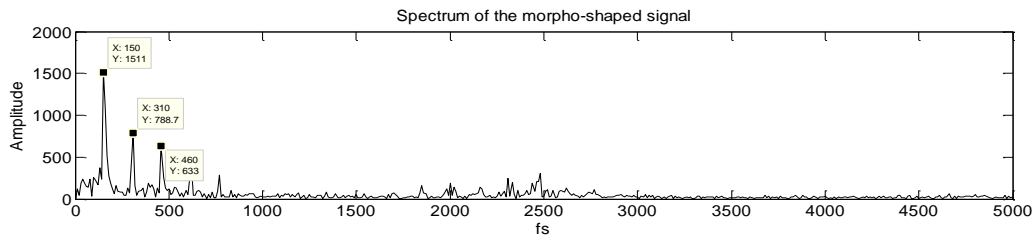


(β)

Σχήμα 4.1.7 Ακατέργαστο σήμα 749 του σεντ Bearing 2\_4 (α) χρονική κυματομορφή (β) φάσμα



(α)



(β)

Σχήμα 4.1.8 Μορφοποιημένο σήμα 749 του σετ Bearing 2\_4 (α) χρονική κυματομορφή (β) φάσμα

Στα σχήματα 4.1.7(α),(β) και 4.1.8(α),(β) βλέπουμε τη διαφορά ανάμεσα στο ακατέργαστο σήμα και στο μορφοποιημένο σήμα στην χρονική κυματομορφή του (4.1.7 α,4.1.8 α) και στο φάσμα τους (4.1.7β,4.1.8β) όπου στο μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα (4.1.8β) φαίνεται η απομάκρυνση των υψίσυχνων περιοχών που περιέχουν συμπτώματα της βλάβης και η ενίσχυση της χαμηλόσυχνης περιοχής που αφορά στην αιτία της βλάβης.

Στη συνέχεια το κάθε μορφολογικά μετασχηματισμένο σήμα εισέρχεται στο IFESIS. Οι παράμετροι του IFESIS είναι κοινές για τα σήματα των δύο πειραμάτων και είναι οι εξής.:

- M=1 ο αριθμός των Morlet παραθύρων,
- NF=128 ο αριθμός των δειγμάτων που παίρνει κάθε παράθυρο Morlet για την εκτίμηση της συχνότητας,
- NA=2 ο αριθμός των δειγμάτων που παίρνει κάθε παράθυρο Morlet για την εκτίμηση του πλάτους
- P=1 ο αριθμός των εκτιμώμενων συχνοτήτων.
- fo=0 η απόκλιση της κεντρικής συχνότητας κάθε παραθύρου Morlet με την πρώτη δοκιμή για κορυφή συχνότητας
- fbo=2\*df το πλάτος του παραθύρου Morlet.

Για να υπολογιστούν τα όρια, ανώτερα και κατώτερα ,της συχνότητας μέσα στα οποία το παράθυρο Morlet θα μετατοπίζεται θα εντοπίζονται οι αιχμές και θα υπολογίζονται οι συχνότητες θέτουμε την απόλυτη τιμή του ευρους της συχνότητας 1 ,ΔF\_fault=1. Η τιμή αυτή είναι σημαντική για να αποφύγουμε το φαινόμενο της επικάλυψης (overlapping) .Δηλαδή στο εύρος συχνοτήτων που θα μετατοπίζεται το παράθυρο να μην εμπεριέχονται οι τιμές δύο θεωρητικών χαρακτηριστικών συχνοτήτων έτσι ώστε όταν το παράθυρο ψάχνει να εντοπίσει αιχμές αυτές να είναι κοντά στη θεωρητική συχνότητα βλάβης που του έχουμε ορίσει έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει η σωστή αναγνώριση της βλάβης. Η περίοδος της συχνότητας της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης είναι:

$$df = \frac{fs}{L} = \frac{25600}{2560} = 10$$

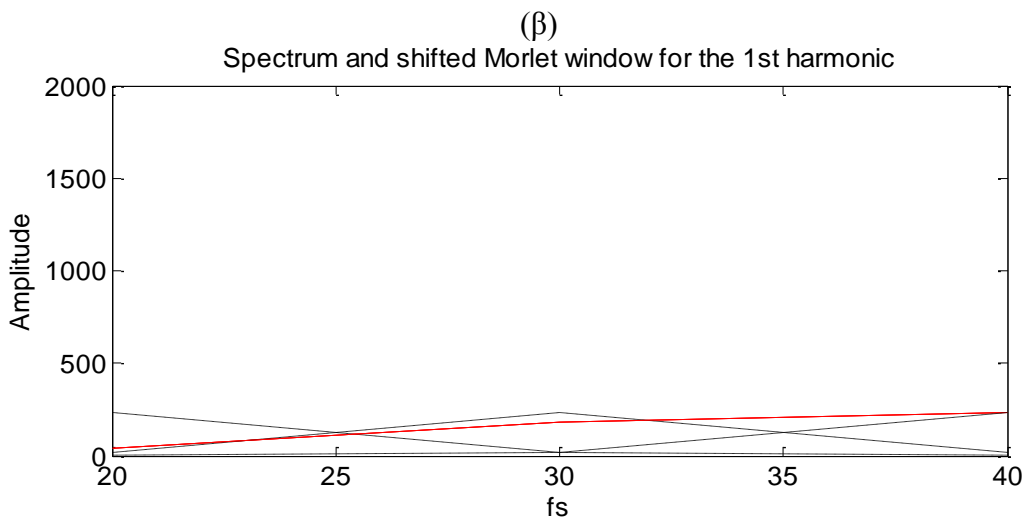
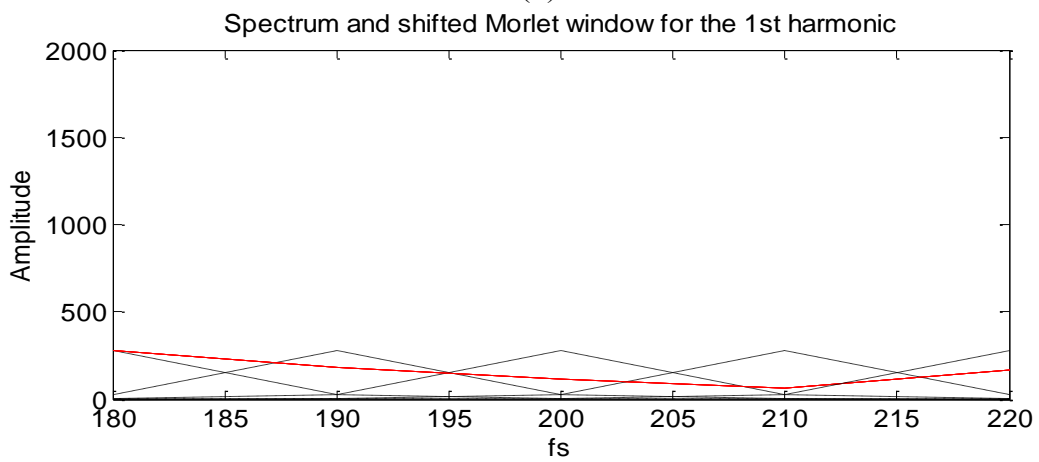
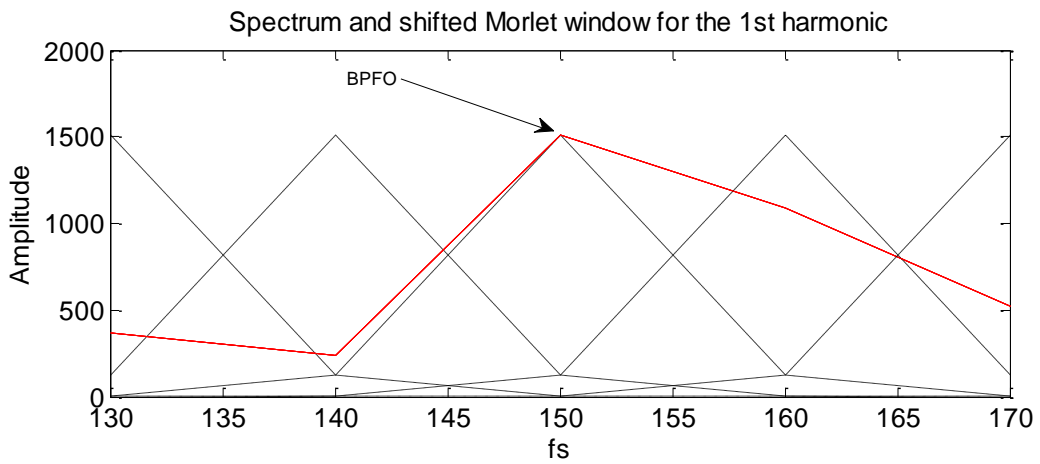
Στο σετ δεδομένων αυτής της εγκατάστασης (Bearing 1\_6,1\_7\_2\_1,2\_4\_3\_2\_3\_3) η τιμή που θέσαμε στο I είναι όταν είχαμε χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης :

- $BPFO^{TH}$  ,  $l=20$
- $BPFI^{TH}$  ,  $l=20$
- $RPM^{TH}$  ,  $l=10$  αφού η θεωρητική συχνότητα περιστροφής είναι ίση με 30 Hz και το  $df=10$ .

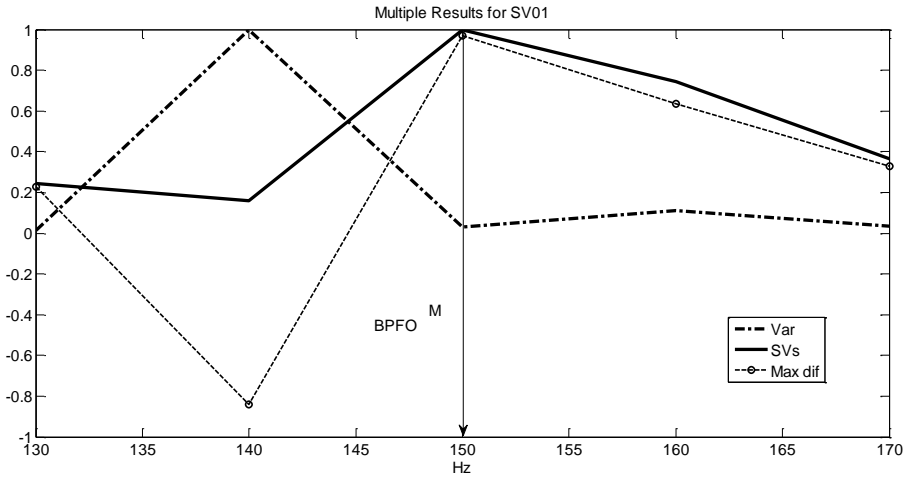
Ο αλγόριθμος εφαρμόστηκε σε κάθε σετ σημάτων ξεχωριστά σε κάθε μια από τις χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης και τη συχνότητα περιστροφής σε 3 πεδία συχνοτήτων .Σε κάθε μετοπισή του παραθύρου ο αλγόριθμος παράγει μια σειρά από μη μηδενικά Singular values και την καμπύλη της Instantaneous Frequency (IF).Μια μέση τιμή των Singular Values (MSV) για κάθε παράθυρο Morlet υπολογίζεται καθώς και η διακύμανση της IF. Με βάση το κριτήριο για την πιθανή τιμή της χαρακτηριστικής συχνότητας βλάβης ο αλγόριθμος βρίσκει σε ποια συχνότητα αντιστοιχεί η μεγαλύτερη διαφορά της μικρότερης κανονικοποιημένης διακύμανσης από τη μεγαλύτερη κανονικοποιημένη MSV . Αυτή είναι η πιθανή χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης  $c1$  και σε αυτή βρίσκει την αντίστοιχη  $MSV1x$ . Με αυτή σαν πιθανή χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης ψάχνει στο δεύτερο εύρος συχνοτήτων [ $2*C1-1,2*C1+1$ ]για την αρμονική της ίση με  $2*C1$  όπου εφαρμόζοντας το παραπάνω κριτήριο βρίσκει μια νέα χαρακτηριστική συχνότητα  $C2$  και την αντίστοιχη  $MSV2x$ .Στη συνέχεια επαναλαμβάνεται το ίδιο για την τρίτη αρμονική της ίση με  $3* C1$  στο τρίτο εύρος συχνοτήτων [ $3*C1-1,3*C1+1$ ] όπου βρίσκεται μια νέα συχνότητα  $C3$  και η αντίστοιχη  $MSV3x$ . Για κάθε σήμα υπολογίστηκαν το άθροισμα των MSV των 3αρμονικών ( $MSV1x,MSV2x,MSV3x$ ) για τις  $BPFO$  και  $BPFI$  και το άθροισμα των MSV των 2 πρώτων αρμονικών ( $MSV1x,MSV2x$ ) για  $RPM$ .

Στο Παράρτημα Α βρίσκονται οι τιμές των MSV από όλα τα σετ σημάτων της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης.Στη συνέχεια παρατίθενται η διαδικασία μετατόπισης του παραθύρου Morlet του σήματος 749 του Bearing 2\_4 που παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιο,για την πρώτη αρμονική όλων των θεωρητικών συχνοτήτων βλάβης . Ακόμη παρουσιάζονται τα γραφικά αποτελέσματα από το IFESIS σε ένα σήμα υγιές το 319 και στο σήμα 749 με βλάβη στον εξωτερικό δακτύλιο του σετ bearing 2\_4 για  $F\_fault=BPFO^{TH}$ .

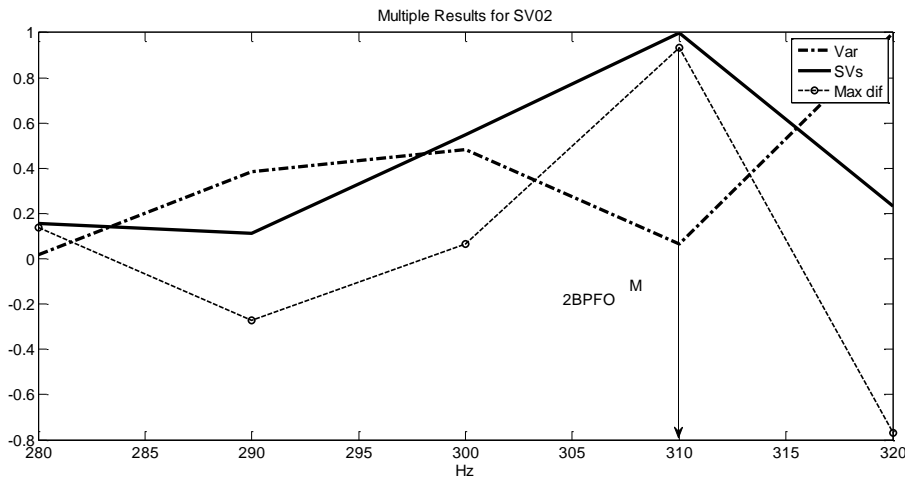
Στα σχήματα 4.1.9 (α),(β),(γ) φαίνεται η μετατόπιση του κυματιδίου Morlet στο πρώτο εύρος συχνοτήτων όπου το παράθυρο ψάνει την αιχμή για την αρμονική της χαρακτηριστικής συχνότητας που του έχουμε θέσει κάθε φορά.Στο σχ 4.1.9 (α) φαίνεται η μετατόπιση του παραθύρου με συχνότητα βλάβης  $BPFO$  που εντοπίζει αιχμή με το μεγαλύτερο πλάτος στα 150 Hz,πολύ κοντά στη θεωρητική χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης που του έχουμε θέση καθώς το ρουλεμάν παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιό του.Σε αντίθεση με τα σχήματα 4.1.9 (β) και 4.1.9(γ) όπου για τις δύο χαρακτηριστικές συχνότητες  $BPFI$  και  $RPM$  αντίστοιχα στο πρώτο εύρος συχνοτήτων φαίνεται ότι δεν υπάρχει αιχμή κοντά στις χαρακτηριστικές συχνότητες.Ακόμη φαίνεται ότι το σήμα σε αυτό το εύρος στο φάσμα τους σχήματος (α) έχει σημαντικά μεγαλύτερο πλάτος από ότι στα άλλα δύο σχήματα.



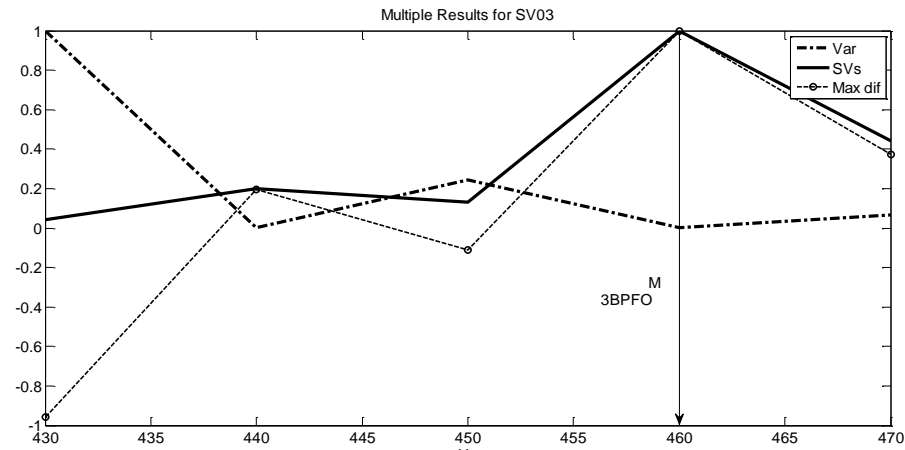
Σχημα4.1.9 Μετατόπιση του Morlet παραθύρου στο πρώτο εύρος συχνοτήτων για χαρακτηριστική συχνότητα (α)BPFO(β)BPFI(γ)RPM



(α)



(β)

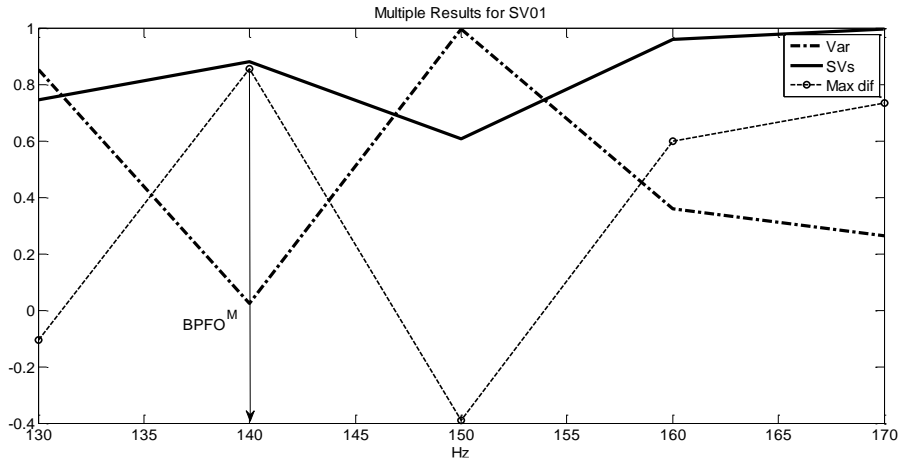


(γ)

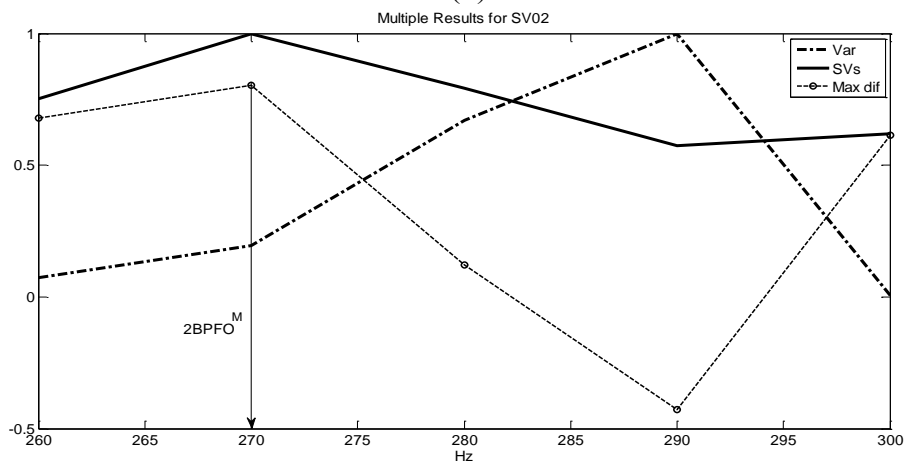
Σχήμα 4.1.10. Κανονικοποιημένα MSV οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες διασπορές της IF και η διαφορά τους για BPFO του μη υγιούς σήματος 749 του σετ bearing 2\_4 στο (α) πρώτο εύρος συχνοτήτων(β) δεύτερο εύρος συχνοτήτων (γ) τρίτο εύρος συχνοτήτων

Παραπάνω βλέπουμε για το σήμα 749 του σετ bearing 2\_4 τις τιμές των MSVs και των Var IF καθώς και τη διαφορά τους. Πιο αναλυτικά, στο σχ.4.1.10(α) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα του εύρους την BPFO<sup>TH</sup> και βρίσκει τη μεγαλύτερη διαφορά των κανονικοποιημένων MSV και IF στη συχνότητα 150 Hz

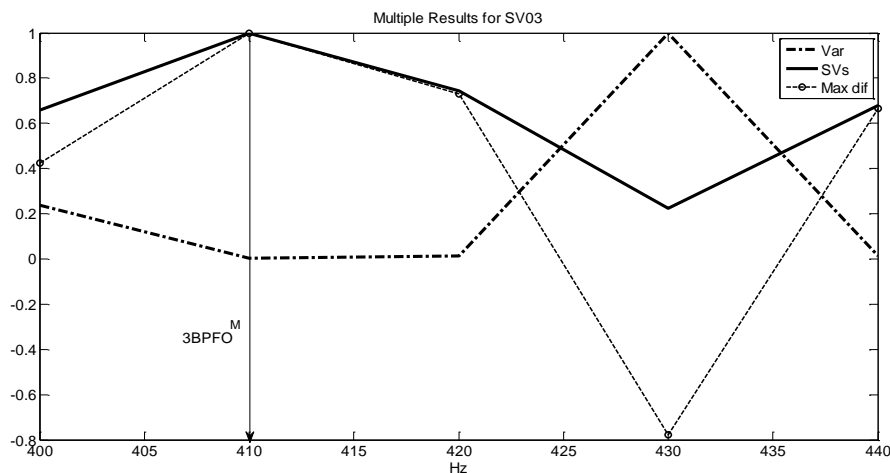
.Αυτή τη συχνότητα τη θεωρεί ως πιθανή συχνότητα βλάβης και για το δεύτερο εύρος συχνοτήτων (4.1.10β) χρησιμοποιεί τη διπλάσιά της 300 ως κεντρική συχνότητα για το αυτό. Σε αυτό βρίσκει τη μέγιστη διαφορά στα 310 Hz και σε αυτό υπολογίζει την αντίστοιχη τιμή της MSV. Στο τρίτο εύρος(4.1.10γ) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα το τρίτο πολλαπλασίο της 150 Hz ,450Hz στο οποίο εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά στα 460 Hz στην οποία συχνότητα υπολογίζει την αντίστοιχη MSV



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.1.11. Κανονικοποιημένα MSV οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες διασπορές της IF και η διαφορά τους για  $BPFO^{TH}$  του υγιούς σήματος 319 του σετ bearing 2\_4 στο (α) πρώτο εύρος συχνοτήτων(β) δεύτερο εύρος συχνοτήτων (γ) τρίτο εύρος συχνοτήτων

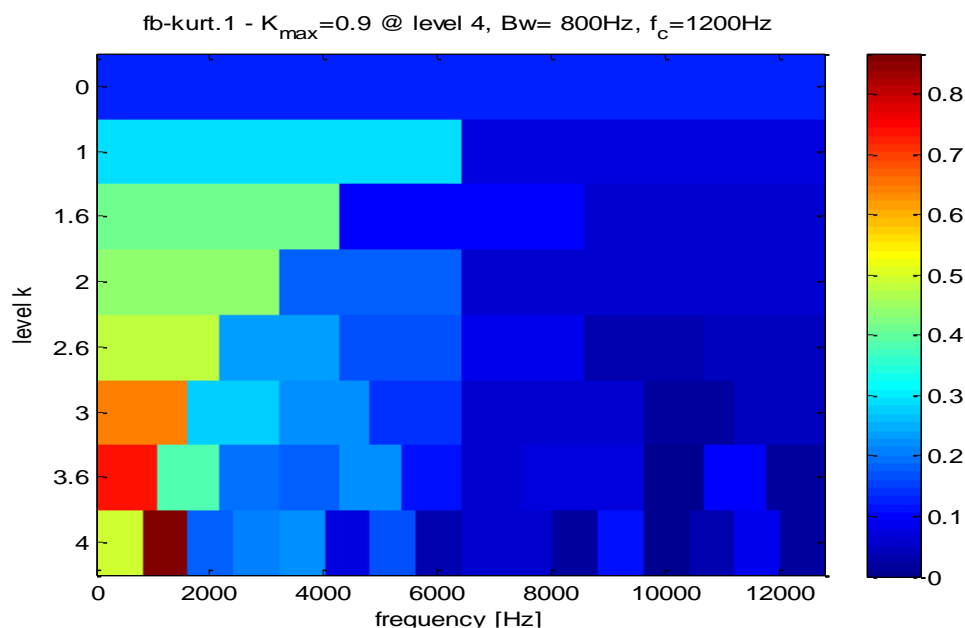
Παραπάνω βλέπουμε για το σήμα 319 του σετ bearing 2\_4 τις τιμές των MSVs και των Var IF καθώς και τη διαφορά τους. Πιο αναλυτικά, στο σχ4.1.10(α) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα του εύρους την BPFO<sup>TH</sup> και βρίσκει τη μεγαλύτερη διαφορά των κανονικοποιημένων MSV και IF στη συχνότητα 140 Hz. Αυτή τη συχνότητα τη θεωρεί ως πιθανή συχνότητα βλάβης και για το δεύτερο εύρος συχνοτήτων (4.1.10β) χρησιμοποιεί τη διπλάσιά της 280 Hz ως κεντρική συχνότητα για το αυτό. Σε αυτό βρίσκει τη μέγιστη διαφορά στα 270 Hz και σε αυτό υπολογίζει την αντίστοιχη τιμή της MSV. Στο τρίτο εύρος (4.1.10γ) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα το τρίτο πολλαπλασίο της 140 Hz, 420Hz στο οποίο εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά στα 410 Hz στην οποία συχνότητα υπολογίζει την αντίστοιχη MSV. Φαίνεται σε σχέση με τα σχήματα 4.1.10(α),(β),(γ) ότι ανιχνεύει αιχμή πιο κοντά στην BPFO<sup>TH</sup>, η οποία είναι ίση με 154.35 και οι αρμονικές είναι σχετικά κοντινά πολλαπλασία της.

#### 4.1.4.2 Εξαγωγή Χρονικών Δεικτών

Στη συνέχεια υπολογίστηκαν για όλα τα σετ σημάτων οι χρονικοί δείκτες kurtosis, root mean square (rms), Impulse Factor, Shape Factor, Skeweness, Crest Factor, the root-sum-of-squares (RSS) level, standard deviation, 25th percentile και variance χωρίς το κυρτόγραμμα και με το κυρτόγραμμα. Στον αλγόριθμο εισάγουμε τα σήματα προς επεξεργασία και τη συχνότητα δειγματοληψίας fs. Αρχικά ο αλγόριθμος μας βγάζει τη χρονική κυματομορφή και το φάσμα του σήματος χωρίς τον επιπρόσθετο θόρυβο και την ολίσθηση. Σε αυτό υπολογίζει τους χρονικούς δείκτες. Στη συνέχεια εφαρμόζεται το κυρτόγραμμα με τον αλγόριθμο Fast\_kurtogramm αφού πρώτα έχει προ λευκανθεί το σήμα με το βέλτιστο AR φίλτρο. Σαν αποτέλεσμα έχουμε το κυρτόγραμμα με 4 επίπεδα φιλτραρίσματος που μας υποδεικνύει ποια είναι η βέλτιστη κεντρική συχνότητα, στην περιοχή με τη μεγαλύτερη SK (spectral kurtosis), καθώς και το επίπεδο φιλτραρίσματος. Διαλέγοντας αυτά ο αλγόριθμος υπολογίζει σε αυτό το εύρος, με ένα απλό φιλτράρισμα στο μετασχηματισμένο σήμα (envelope) που έχει πραγματοποιηθεί με το μετασχηματισμό Hilbert, τους παραπάνω χρονικούς δείκτες.

Στον αλγόριθμο που εξάγει τους χρονικούς δείκτες εισάγουμε τα δείγματα προς επεξεργασία και τη συχνότητα δειγματοληψίας fs=25.6KHz. Οι χρονικοί δείκτες που εξήχθησαν χωρίς και με το κυρτόγραμμα παρουσιάζονται αναλυτικά στο Παράρτημα Β.

Παρακάτω παρατίθεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα για τα αποτελέσματα του αλγόριθμου για το σήμα 1615 του σετ bearing 3\_2.



Σχήμα 4.1.12 Κυρτώγραμμα του σήματος 1615 του σετ Bearing 3\_2

Αφού ο αλγόριθμος μας έχει δώσει τα αποτελέσματα των χρονικών δεικτών για το μετασχηματισμένο σήμα, με την εφαρμογή του κυρτογράμματος μας ζητάει την κεντρική συχνότητα και το επίπεδο που θα γίνει το φιλτράρισμα. Στο σχήμα 4.1.12 μας δίνει κεντρική συχνότητα  $f_c=1200\text{Hz}$  του εύρους με τη μεγαλύτερη SK, το οποίο περιέχει τις περισσότερες πληροφορίες του σήματος, και επίπεδο 4. Στη συνέχεια όταν εισάγουμε αυτά τα δεδομένα ο αλγόριθμος κάνει το μετασχηματισμό με Hilbert στο φιλτραρισμένο σήμα και από την περιβάλουσά του (envelope) και εξάγει τους χρονικούς δείκτες.

#### 4.1.5 Εκπαίδευση του συστήματος και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.

##### 4.1.5.1 Εκπαίδευση του συστήματος με MSVs και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας

Για την εκπαίδευση του αλγόριθμου για την πρώτη πειραματική εγκατάσταση χρησιμοποιήσαμε τα mean singular values για τα πρώτα 30 training σήματα από όλα τα σετ σημάτων για BPF1 τεστ και BPF0 τεστ. Για BPF0 πήραμε τα αθροίσματα όλων των αρμονικών SV\_sumBPF0 και για BPF1 πήραμε τα αθροίσματα των αρμονικών για BPF1 και των δύο πρώτων αρμονικών για RPM SV\_sum\_BPF1 + SV\_sum\_RPM. Πριν την εισαγωγή τους στον αλγόριθμο τα λογαριθμούμε. Αυτό γίνεται επειδή αφορούν μετρήσεις σε διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και μπορεί να μην βρίσκονται στην ίδια κλίμακα, μια διαφοροποίηση μπορεί το σύστημα να μην την ανιχνεύσει ως βλάβη αλλά να την εντάξει στα μέσα στο όριο σήματα. Επομένως μέσω του λογαρίθμου μετατρέπουμε όλα τα δεδομένα στην ίδια κλίμακα έτσι ώστε να μπορεί να εντοπιστεί διαγοροποιησή τους. Μέσω του αλγορίθμου GMM φτιάχτηκαν τα όρια της υπερσφαίρας και στη συνέχεια στο on line τεστ χρησιμοποιήθηκε ξεχωριστή testing data κάθε φορά για κάθε ξεχωριστό σετ και είχαμε τα αποτελέσματα για κάθε σετ σημάτων. Ο αλγόριθμος μας βγάζει ως αποτέλεσμα ένα όριο που έχει δημιουργηθεί από όλα τα MSV από όλα τα training data που αφορούν στην ίδια μηχανή και σαν target τα testing data κάθε σετ που δοκιμάζουμε. Τα testing data που βρίσκονται μέσα στο όριο θεωρούνται υγιή και αυτά που είναι εκτός θεωρείται ότι παρουσιάζουν βλάβη. Ακόμη εκτός από τον αριθμό αυτών που είναι υγιή και αυτών που παρουσιάζουν βλάβη ο αλγόριθμος μας βγάζει σαν αποτέλεσμα ένα γράφημα στο οποίο ταξινομούνται τα testing σήματα με αριθμητική σειρά και όσα είναι στο μηδέν είναι μέσα στο όριο και όσα είναι πάνω από το μηδέν είναι εκτός ορίου δηλαδή παρουσιάζουν βλάβη. Μηδέν θεωρεί ότι έχουν τιμή τα σήματα που η απόστασή τους από το όριο είναι μικρότερη από την ακτίνα του ορίου που έχει δημιουργηθεί και μεγαλύτερα του αυτά που η απόσταση του είναι μεγαλύτερη από την ακτίνα. Τα αποτελέσματα φαίνονται γραφικά παρακάτω.

Για το σετ σημάτων Bearing 1\_6

Στα σχήματα 4.1.14(α),(β) παρουσιάζονται το σχηματισμένο όριο αποτέλεσμα της εκπαίδευσης του συστήματος με υγιή σήματα και τα σήματα προς δοκιμή και τα ταξινομημένα σήματα κατά σειρά. Πιο συγκεκριμένα, στο σχ. 4.1.14 (α) παρουσιάζονται τα σήματα που είναι εντός του ορίου και σήματα εκτός, με αυτά εντός του ορίου ως υγιή και αυτά εκτός ως μη υγιή. Βλέπουμε ότι 8 σήματα είναι κακής λειτουργίας. Στο σχ. 4.1.14(β) φαίνονται ακριβώς ποιά σήματα παρουσιάζουν βλάβη και ποια όχι με σκοπό να κρίνουμε εάν ο αλγόριθμος έχει θεωρήσει ένα υγιές σήμα μη υγιές και το αντίστροφο. Συγκεκριμένα, σε αυτό το σετ δεδομένων έχουμε 20 (τα πρώτα) υγιή σήματα και 10 με βλάβη. Στο σχήμα βλέπουμε ότι μη υγιή θεωρούνται το 9<sup>ο</sup> που είναι υγιές και υγιή το 21<sup>ο</sup>, 22<sup>ο</sup> και 23<sup>ο</sup> που σύμφωνα με την ανάλυση μας παρουσιάζουν βλάβη.

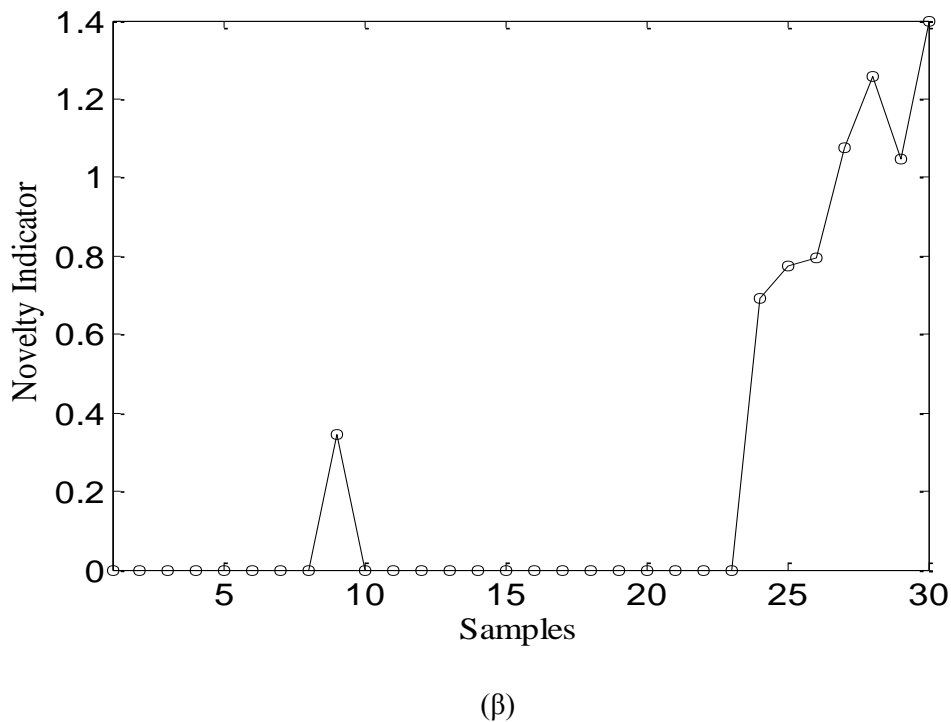
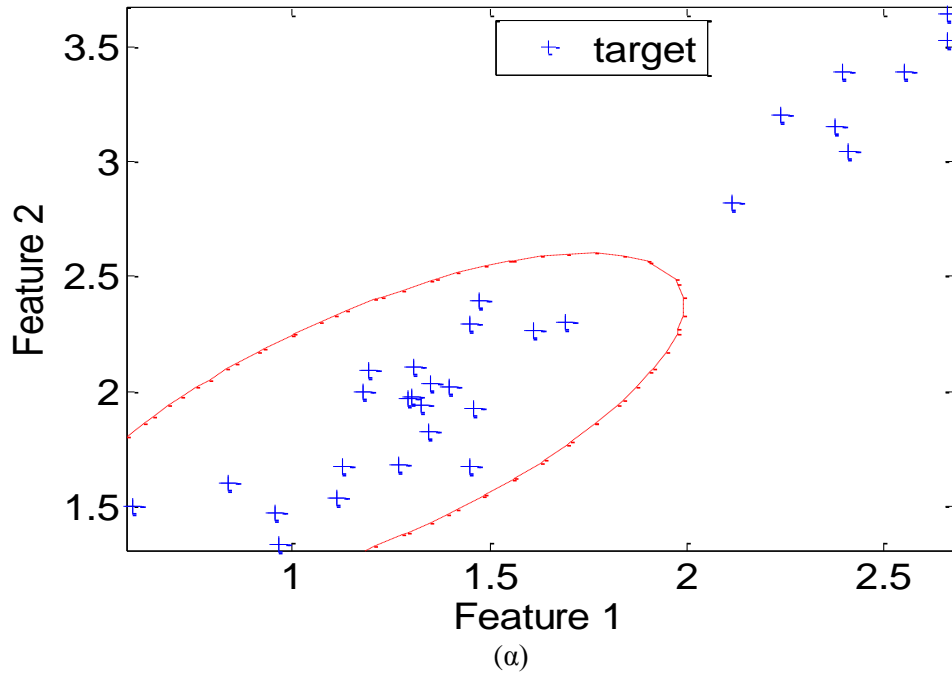
Για το σετ σημάτων Bearing 1\_7

Στο σχ. 4.1.14 (α) παρουσιάζονται τα σήματα που είναι εντός του ορίου και σήματα εκτός. Βλέπουμε ότι 10 σήματα είναι κακής λειτουργίας. Στο σχ. 4.1.14(β) φαίνονται ακριβώς ποια σήματα παρουσιάζουν



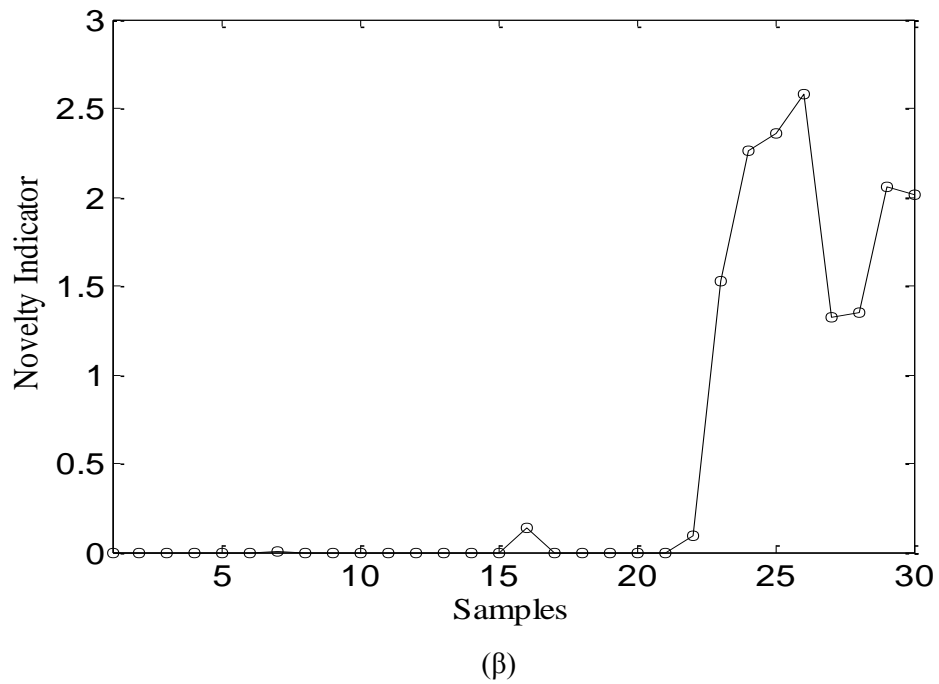
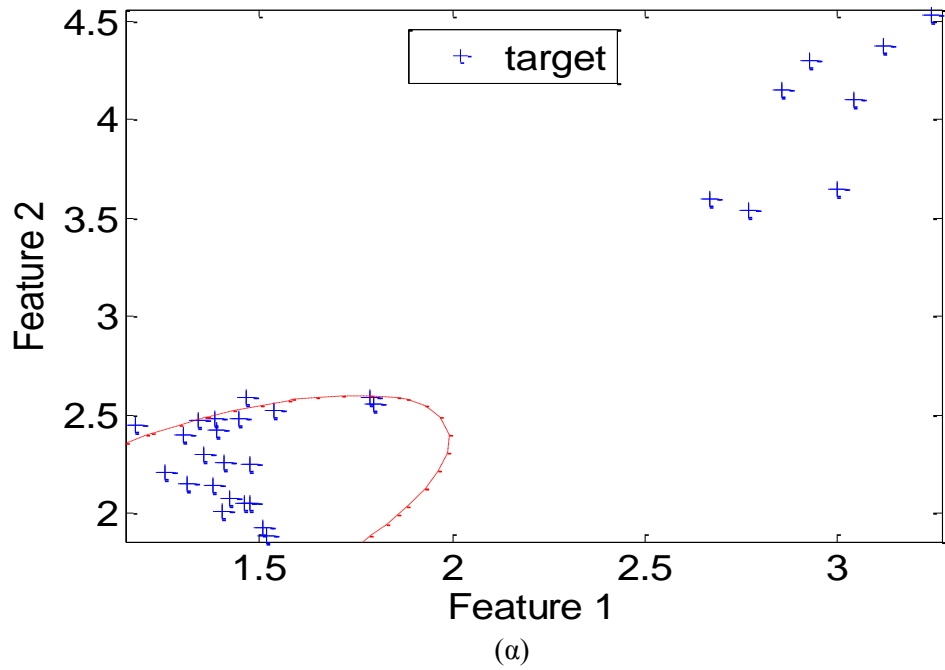
βλάβη και ποια όχι. Σε αυτό το σετ δεδομένων έχουμε 20 (τα πρώτα) υγιή σήματα και 10 με βλάβη. Στο σχήμα βλέπουμε ότι μη υγιή θεωρούνται το 16<sup>ο</sup> που είναι υγιές ενώ τα μη υγιή τα έχει εντοπίσει σωστά. Τέλος έχει θεωρήσει ως υγιές το 21<sup>ο</sup> σήμα που είναι μάλιστα το πρώτο σήμα με βλάβη σύμφωνα με την ανάλυσή μας.

Για το σετ σημάτων Bearing 1\_6



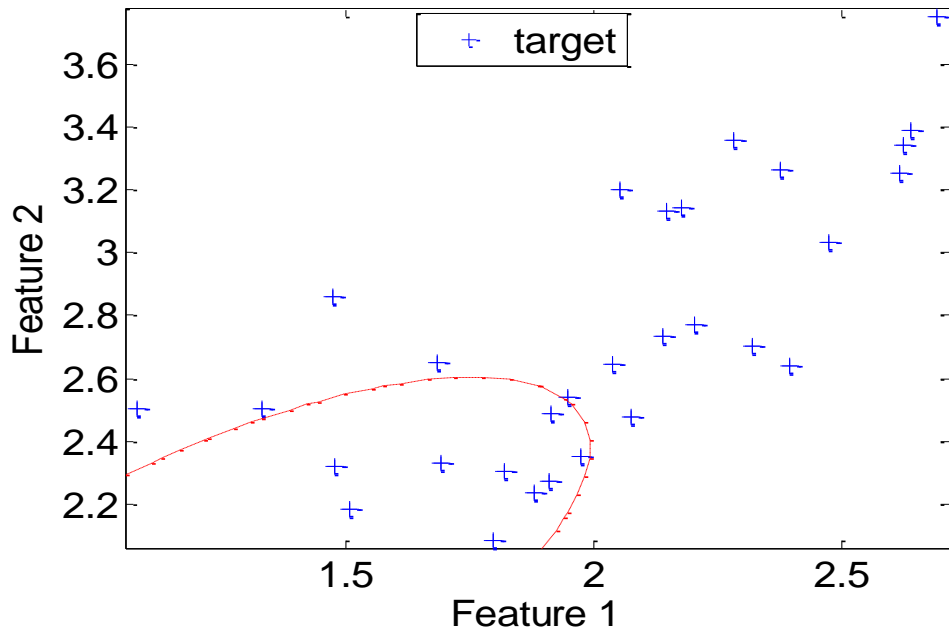
Σχήμα 4.1.13 Ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 1\_6 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Για το σετ σημάτων Bearing 1\_7

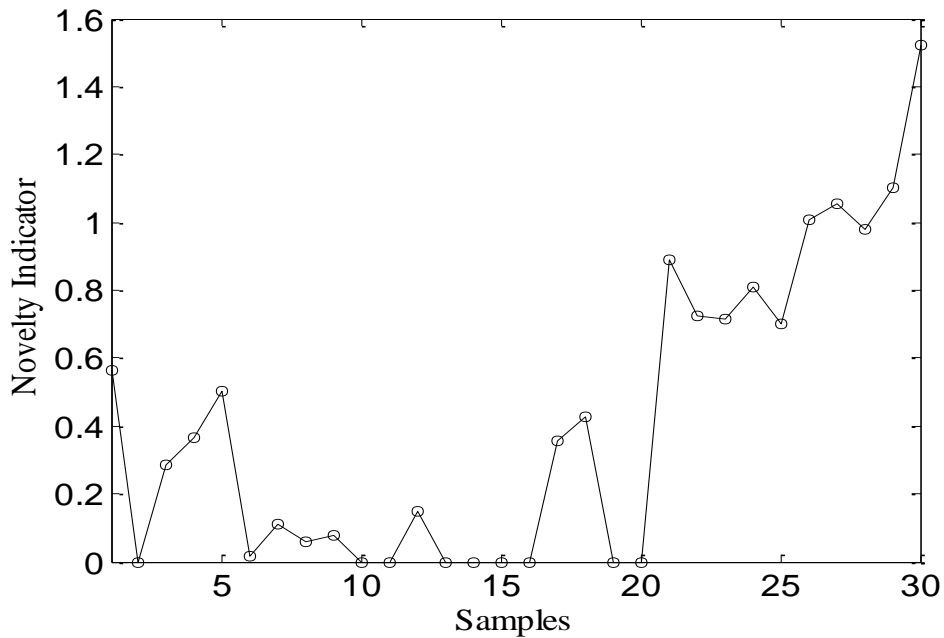


Σχήμα 4.1.14 Ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 1\_7 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Για το σετ σημάτων Bearing 2\_1



(α)



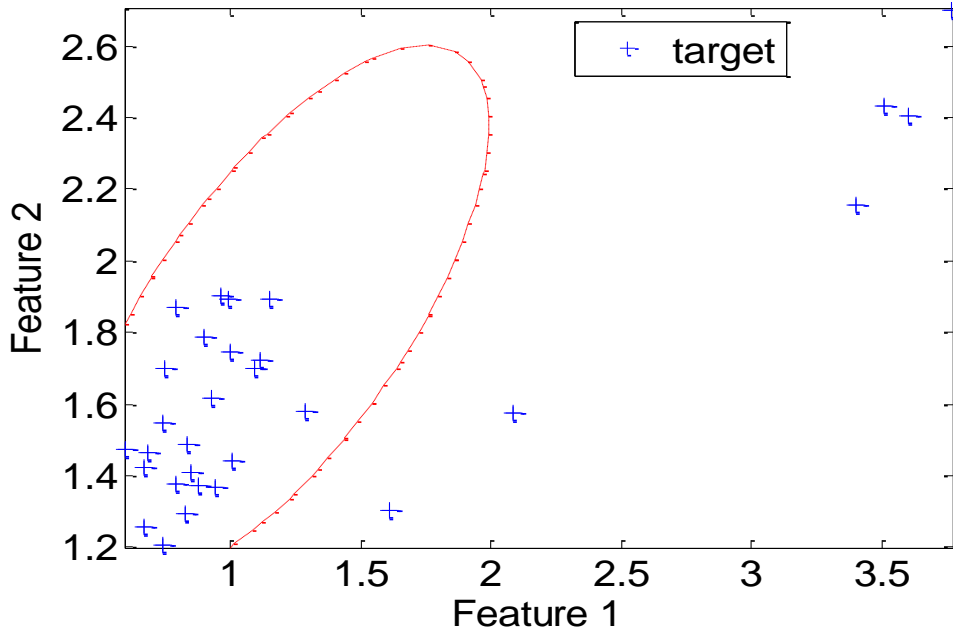
(β)

Σχήμα 4.1.15 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 2\_1 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

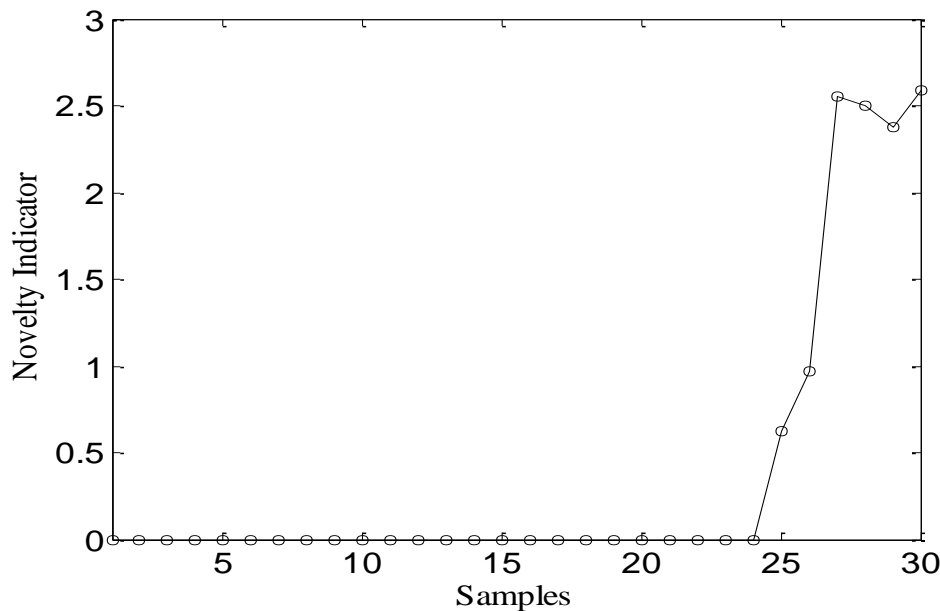
Στο σχ. 4.1.15 (α) παρουσιάζονται τα σήματα που είναι εντός του ορίου και σήματα εκτός. Βλέπουμε ότι 20 σήματα είναι κακής λειτουργίας. Στο σχ. 4.1.15(β) φαίνονται ακριβώς ποια σήματα παρουσιάζουν βλάβη

και ποια. Συγκεκριμένα, σε αυτό το σετ δεδομένων έχουμε 20 (τα πρώτα) υγιή σήματα και 10 με βλάβη. Στο σχήμα βλέπουμε ότι μη υγιή θεωρούνται το 1°, 3°, έως 9°, 12°, 17°, 18° που είναι υγιή ενώ τα μη υγιή τα έχει ανιχνεύσει σωστά.

Για το σετ σημάτων Bearing 2\_4



(α)



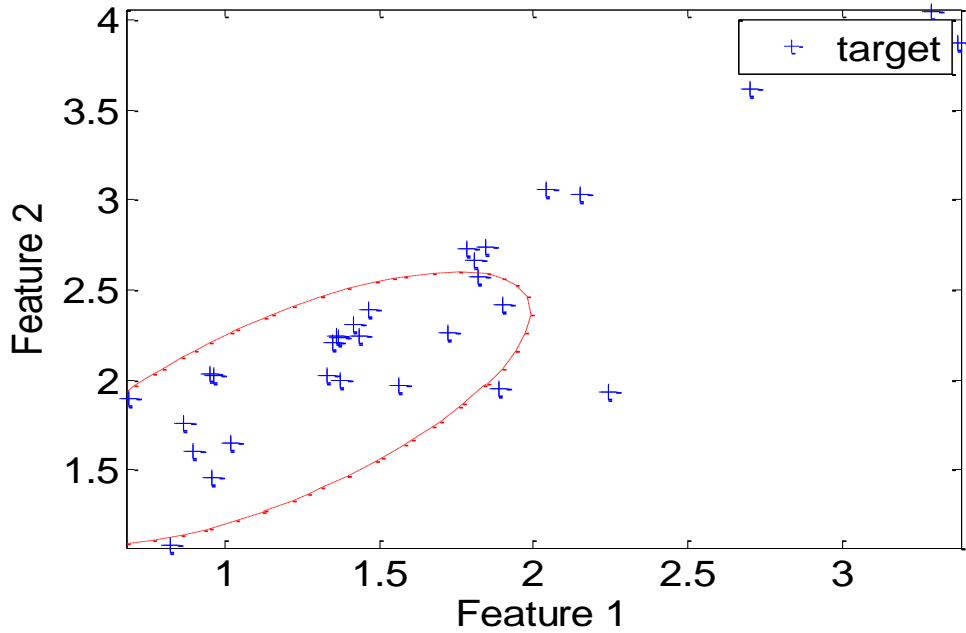
(β)

Σχήμα 4.1.16 Ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 2\_4 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

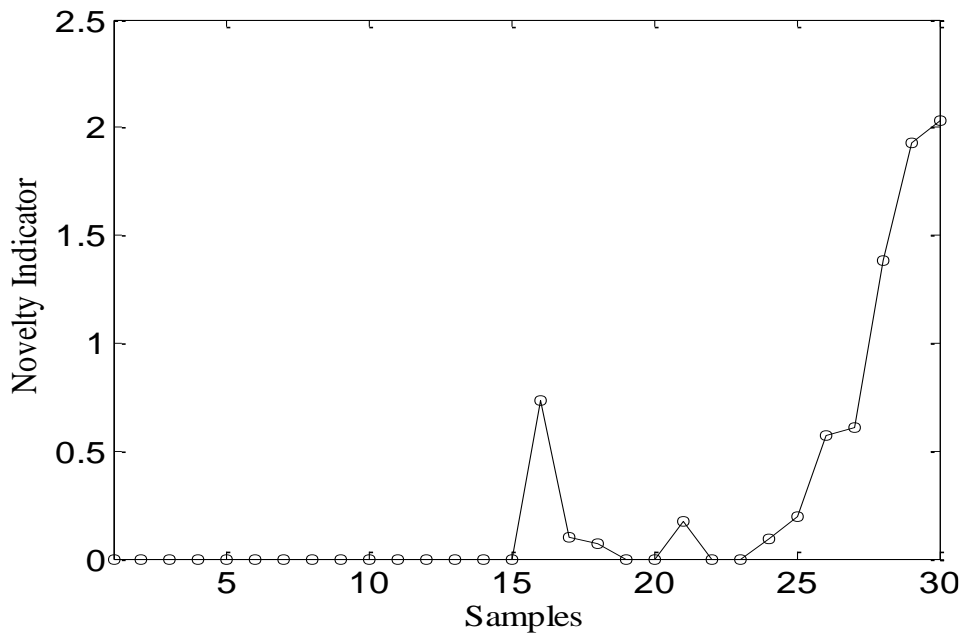
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τη διαδικασία του testing είναι τα 25 πρώτα υγιή και τα υπόλοιπα 5 περιέχουν βλάβη. Σύμφωνα με το σχ 4.1.16 (α) έχουμε 6 σήματα με βλάβη και συγκεκριμένα

από το σχ 4.1.16(β) φαίνεται ότι είναι το 25° έως 30°. Επομένως ο αλγόριθμος έχει ανιχνεύσει το 25° σήμα με βλάβη ενώ είναι υγιές.

Για το σετ σημάτων Bearing 3\_2



(α)



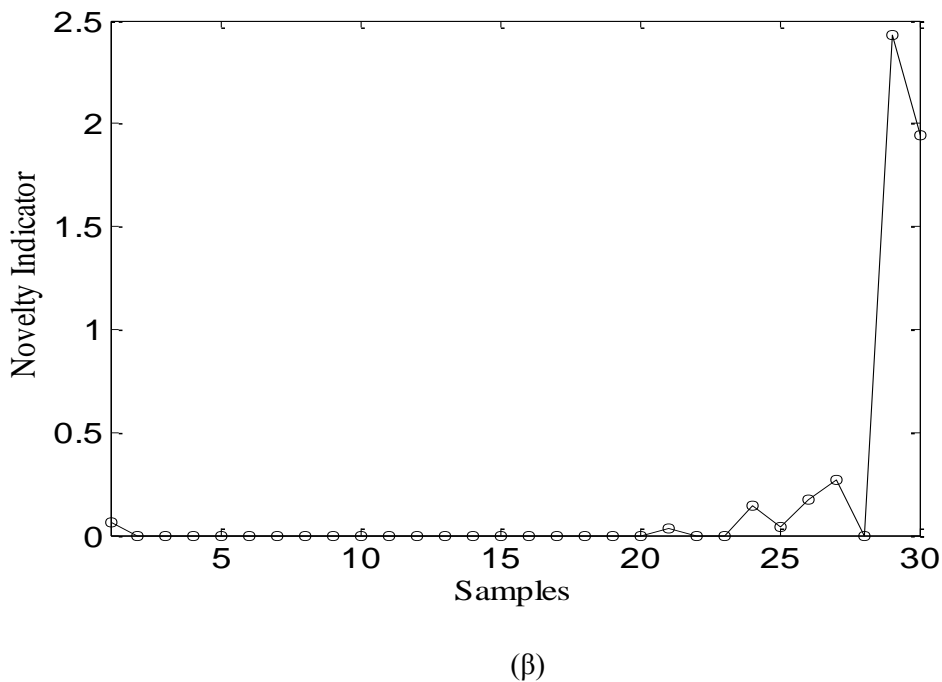
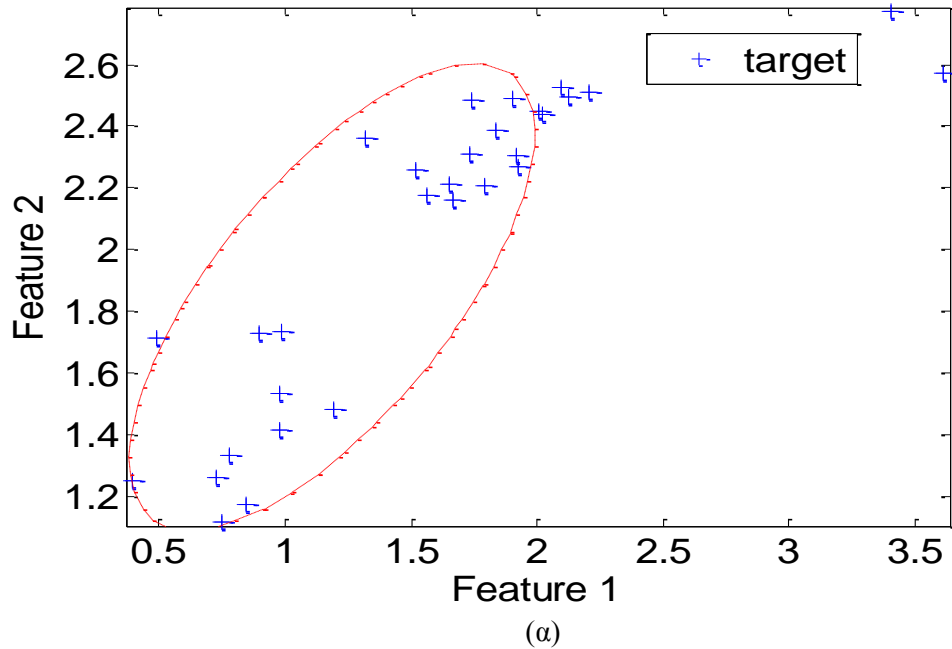
(β)

Σχήμα 4.1.17 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 3\_2 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για το testing είναι 20 υγιή και 10 με βλάβη. Σύμφωνα με το σχήμα 4.1.17(α) τα μη υγιή είναι 11 και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το σχ. 4.1.17 (β) είναι τα 16° έως 18°, 21°, 24° έως 30°. Τα σήματα 16, 17, 18 είναι υγιή σύμφωνα με την ανάλυση μας ενώ ο αλγόριθμος τα έχει

ανιχνεύσει ως σήματα κακής λειτουργίας.Ενώ τα σήματα 24 έως 30 τα έχει ανιχνεύσει σωστά ως σήματα με βλάβη.Δεν έχει ανιχνεύσει σωστά το 22° και 23° τα οποία έχουν βλάβη ενώ τα παρουσιάζει ως υγιή.

Για το σετ σημάτων Bearing 3\_3



Σχήμα 4.1.18 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του bearing 3\_3 (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

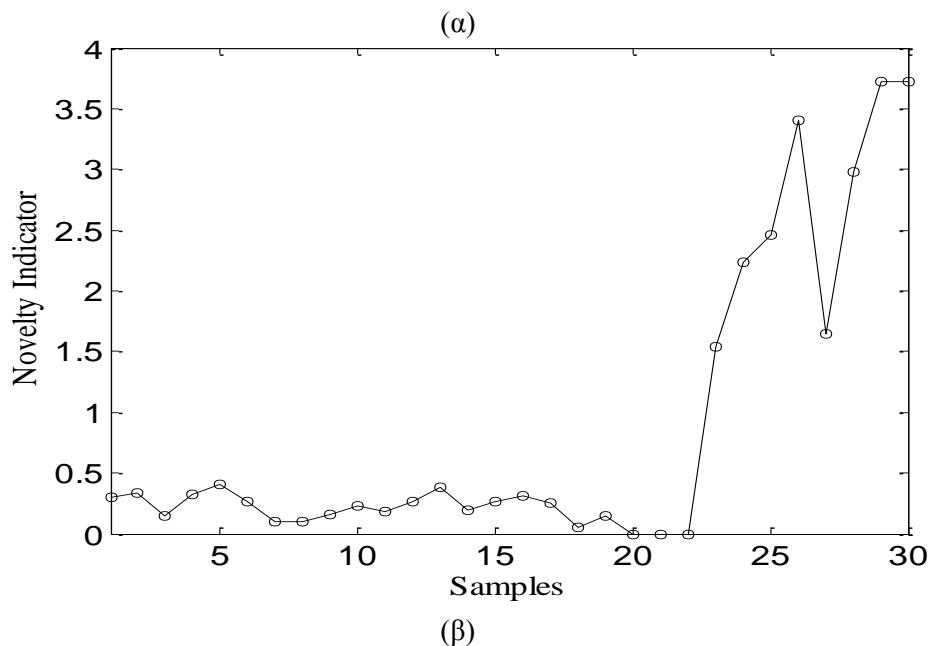
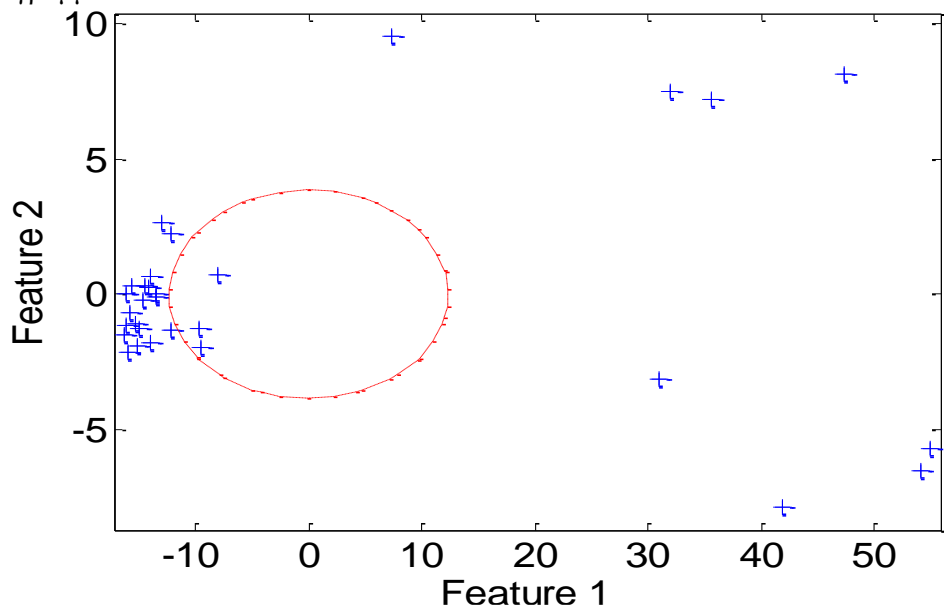
Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για το testing είναι 15 υγιή και 15 με βλάβη.Σύμφωνα με το σχήμα4.1.18(α) τα μη υγιή είναι 9 και πιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το σχ.4.1.18 (β) είναι τα 1°, 21°, 24° έως 27° και 29° και 30°. Το σήμα 1 είναι υγιές σύμφωνα με την ανάλυση μας ενώ ο αλγόριθμος το έχει ανιχνεύσει ως σήματα κακής λειτουργίας. Δεν έχει ανιχνεύσει σωστά το 16° έως 20°, 22°, 23° και 28° τα οποία έχουν βλάβη ενώ τα παρουσιάζει ως υγιή.

#### 4.1.5.2 Εκπαίδευση του συστήματος με χρονικούς δείκτες και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας

Για το σετ σημάτων της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης χρησιμοποιήσαμε σαν εκπαίδευση στον αλγόριθμο τα 30 training data από όλα τα σετ τη διαδικασία testing χρησιμοποιώντας τα testing data για το κάθε σετ σημάτων ξεχωριστά. Ο αλγόριθμος χρησιμοποιεί το Principal Component Analysis (pca) για το testing data. Με αυτό τον τρόπο διαλέγει από τα δεδομένα τα δύο με τη μεγαλύτερη τιμή της διακύμανσης, θεωρώντας ότι περιέχουν περισσότερες πληροφορίες για τη βλάβη και με βάση αυτά εκπαιδεύει το σύστημα όπου μέσω του GMM δημιουργεί το όριο καλής λειτουργίας. Η εκπαίδευση του συστήματος και η ανίχνευση της μη ομαλής λειτουργίας έγινε για τους χρονικούς δείκτες που συλλέξαμε χωρίς το κυρτώγραμμα αλλά και για αυτούς με την εφαρμογή του κυρτωγράμματος. Τα αποτελέσματα ενδεικτικά για 3 σετ (bearing 1\_7, bearing 2\_1, bearing 3\_2) παρουσιάζονται γραφικά παρακάτω. Τα γραφικά αποτελέσματα των υπόλοιπων 3 σετ σημάτων βρίσκονται στο Παράρτημα Γ.

Για το σετ σημάτων Bearing 1\_7

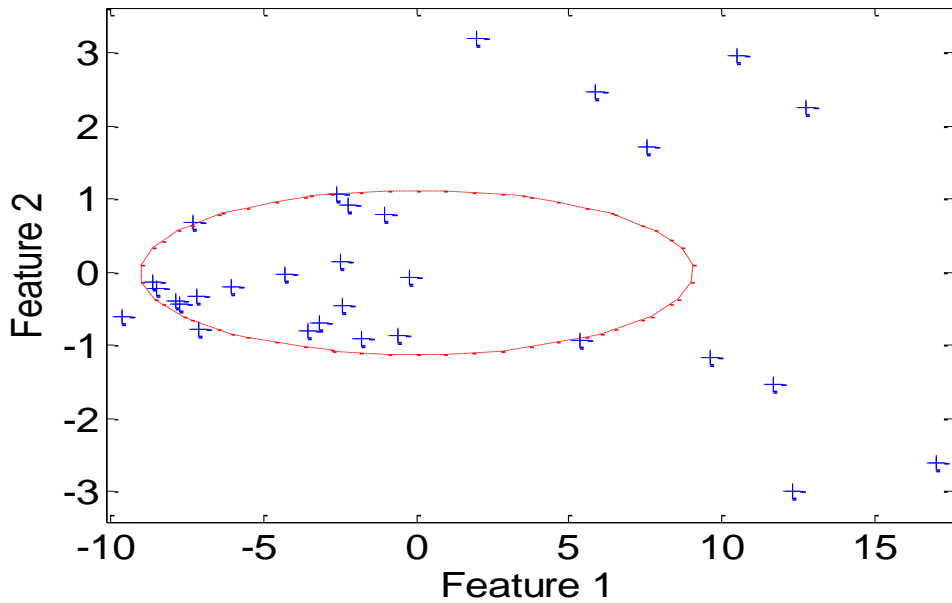
Χωρίς κυρτώγραμμα



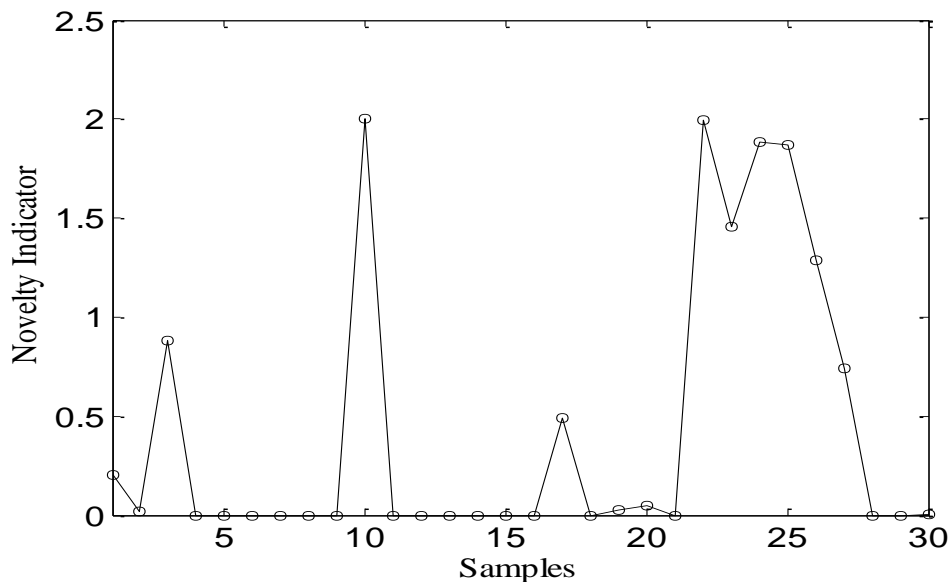
Σχήμα 4.1.19. Ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σετ Bearing 1\_7 με τη χρήση χρονικών δεικτών χωρίς κυρτώγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Σύμφωνα με το σχ 4.1.19 (α) έχουμε 27 σήματα με βλάβη. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το σχήμα 4.1.19(β) βλάβη εμφανίζουν τα σήματα 1 έως 19 και από 23 έως 30. Σύμφωνα με την ανάλυση μας τα σήματα 1 έως 19 είναι υγιή ενώ το σύστημα τα εντοπίζει ως μη υγιή ενώ τα σήματα 21 και 22 τα παρουσιάζει ως υγιή παρόλου που περιέχουν βλάβη.

Με κυρτόγραμμα



(α)



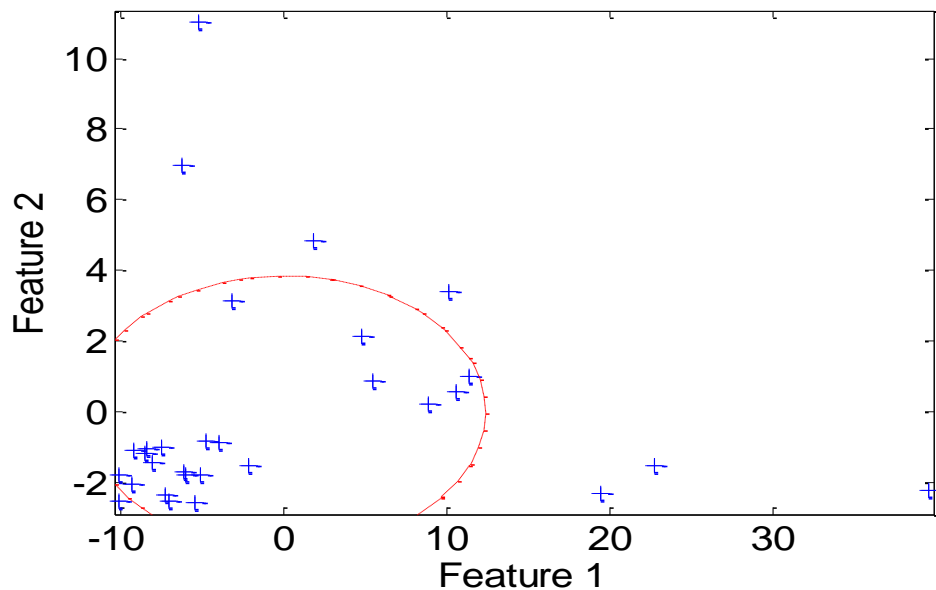
(β)

Σχήμα 4.1.20 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σετ Bearing 1\_7 με τη χρήση χρονικών δεικτών με κυρτόγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

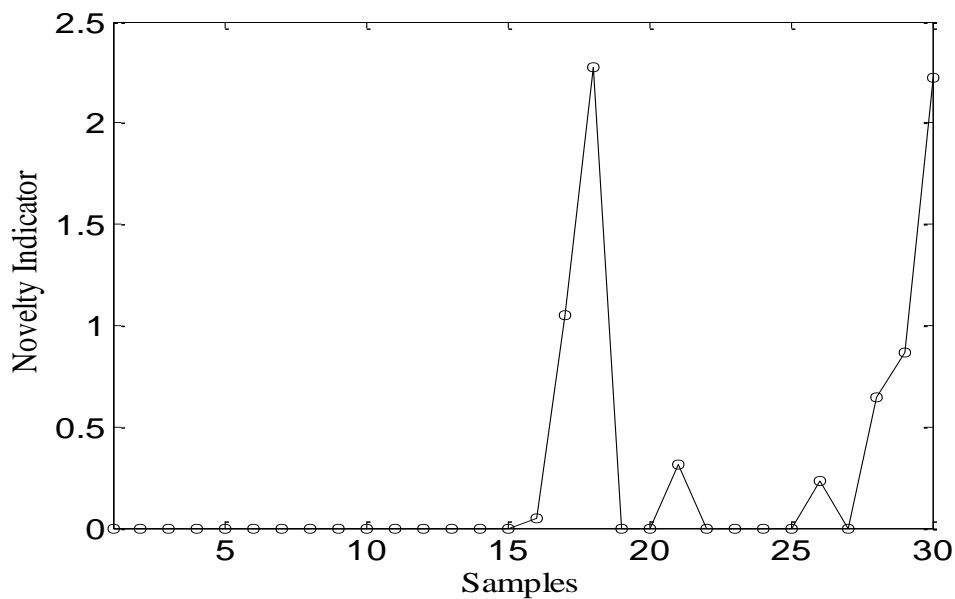
Σύμφωνα με το σχ 4.1.20 (α) έχουμε 11 σήματα με βλάβη. Συγκεκριμένα, σύμφωνα με το σχήμα 4.1.20 (β) βλάβη εμφανίζουν τα σήματα 1,2,3,10,17,19,20 και από 22 έως 27. Σύμφωνα με την ανάλυση μας τα σήματα 1,2,3,10,17,19,20 είναι υγιή ενώ το σύστημα μας τα παρουσιάζει ως σήματα με βλάβη ενώ τα σήματα 21, 28,29 και 30 τα παρουσιάζει ως υγιή παρόλου που περιέχουν βλάβη.



Για το σετ σημάτων Bearing 2\_1  
Χωρίς κυρτόγραμμα



(α)

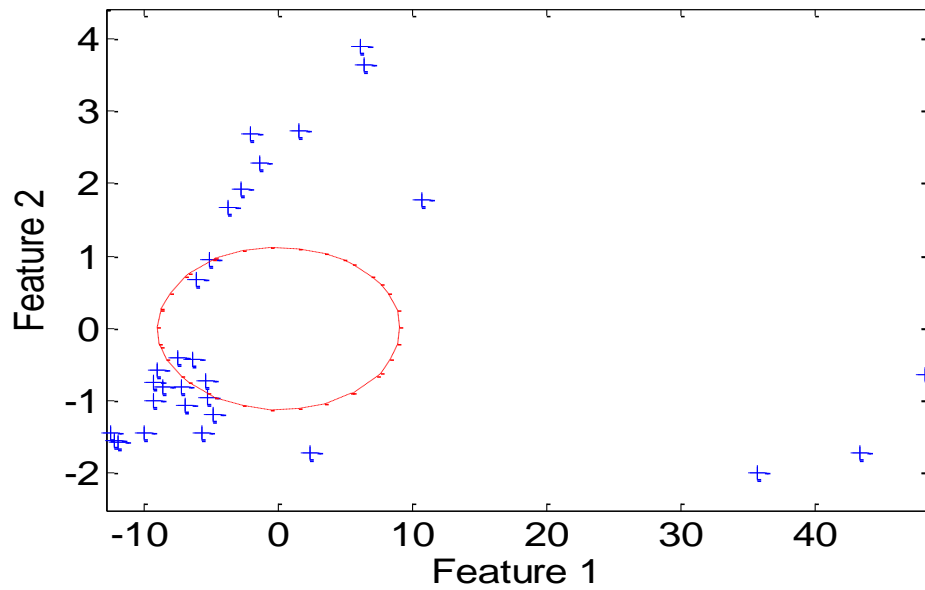


(β)

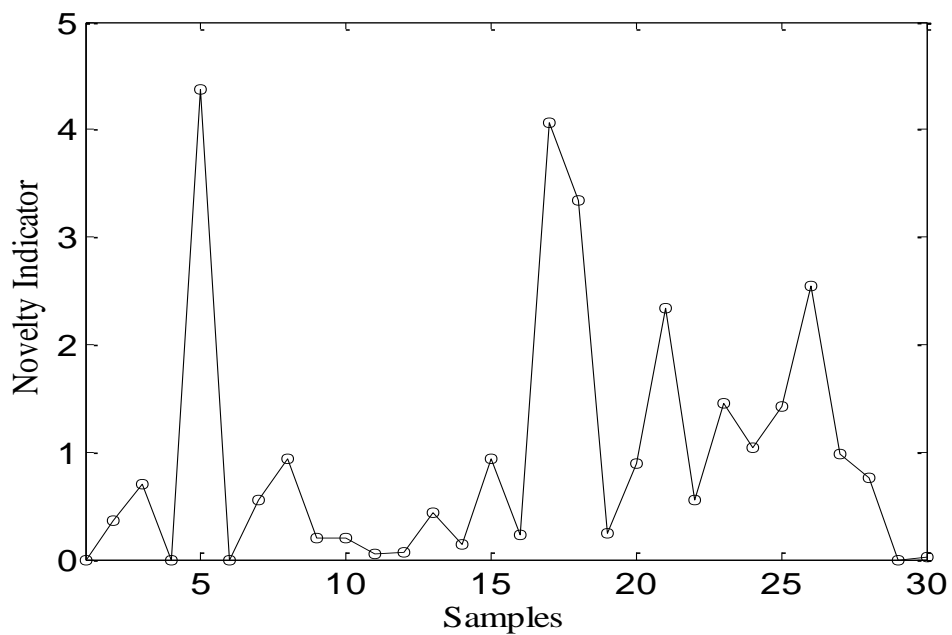
Σχήμα 4.1.21 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σετ Bearing 2\_1 με τη χρήση χρονικών δεικτών χωρίς κυρτόγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Τα δεδομένα για τη διαδικασία του testing που χρησιμοποιήσαμε είναι 20 καλής λειτουργίας και 10 κακής λειτουργίας. Σύμφωνα με το σχήμα 4.1.21 (α) έχουμε 8 σήματα κακής λειτουργίας. Στο σχήμα 4.1.21 (β) φαίνονται ότι αυτά τα σήματα είναι :16°,17,° και 18° και 21°,26°,28° έως 30°. Από αυτά το 16°, το 17° και το 18,° είναι ,σύμφωνα με την ανάλυσή μας, υγιή σήματα και τα 22°,23°,24°,25° και 27° σήματα που θεωρούνται από τον αλγόριθμο υγιή ,παρουσιάζουν βλάβη .

Με κυρτόγραμμα



(α)



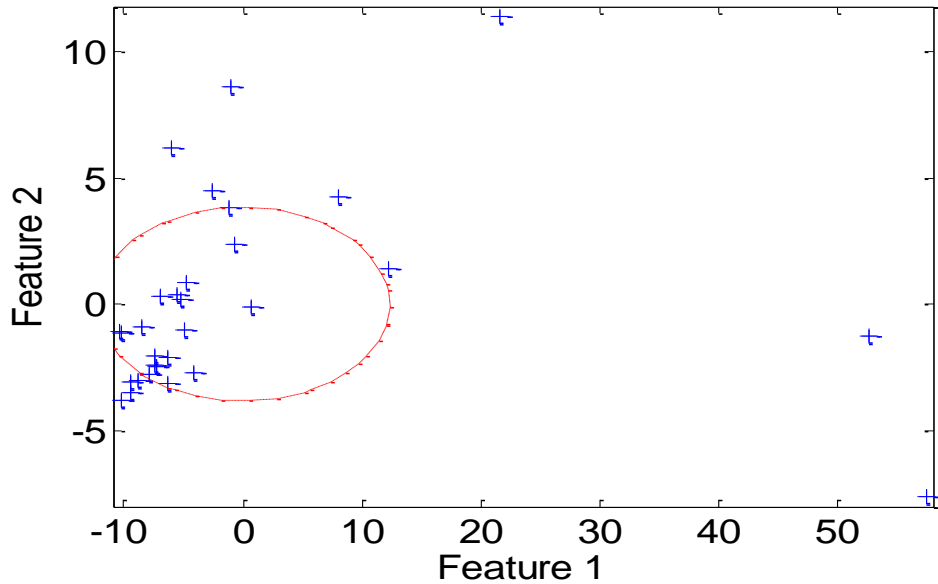
(β)

Σχήμα 4.1.22 Ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σει Bearing 2\_1 με τη χρήση χρονικών δεικτών με κυρτόγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

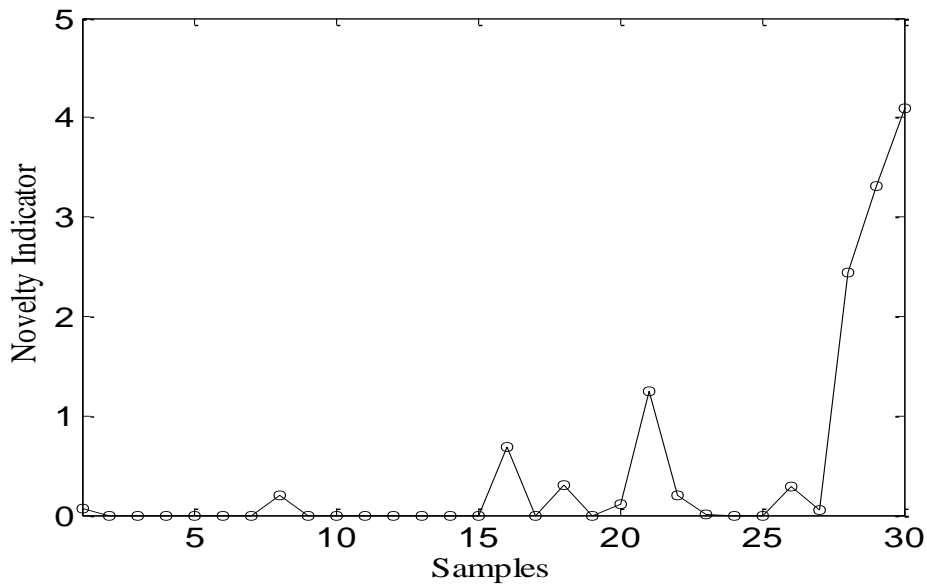
Σύμφωνα με το σχήμα 4.1.22 (α) έχουμε 25 σήματα κακής λειτουργίας. Στο σχήμα 4.1.22 (β) φαίνονται ότι αυτά τα σήματα είναι :2°,3° , και 5° ,7° έως 28° .Από αυτά το :2°,3° ,5° και 7° έως 20° είναι ,σύμφωνα με

την ανάλυσή μας, υγιή σήματα και το 29° και 30° σήμα που θεωρούνται από τον αλγόριθμο υγιή ,παρουσιάζουν βλάβη

Για το σετ σημάτων Bearing 3\_2  
Χωρίς κυρτώγραμμα



(α)

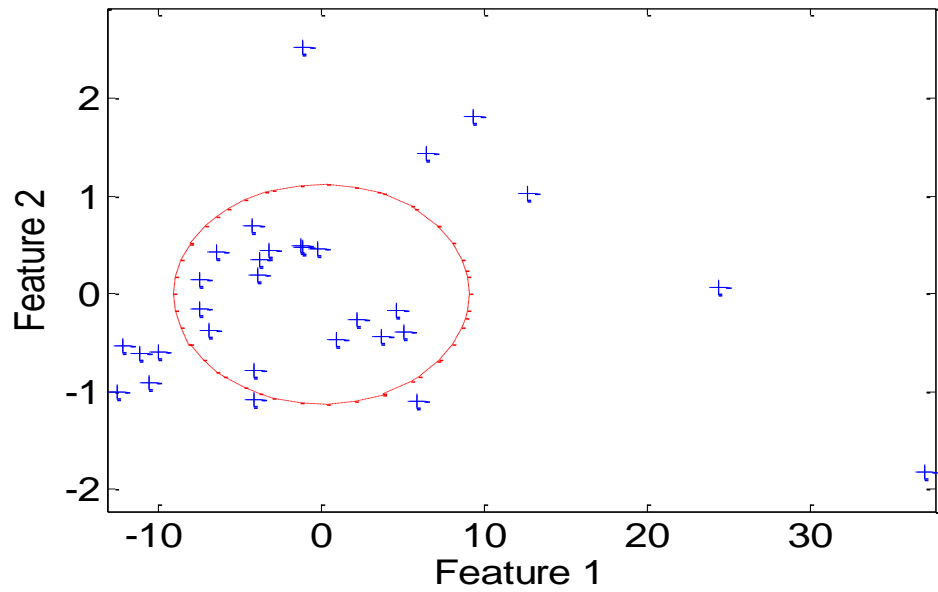


(β)

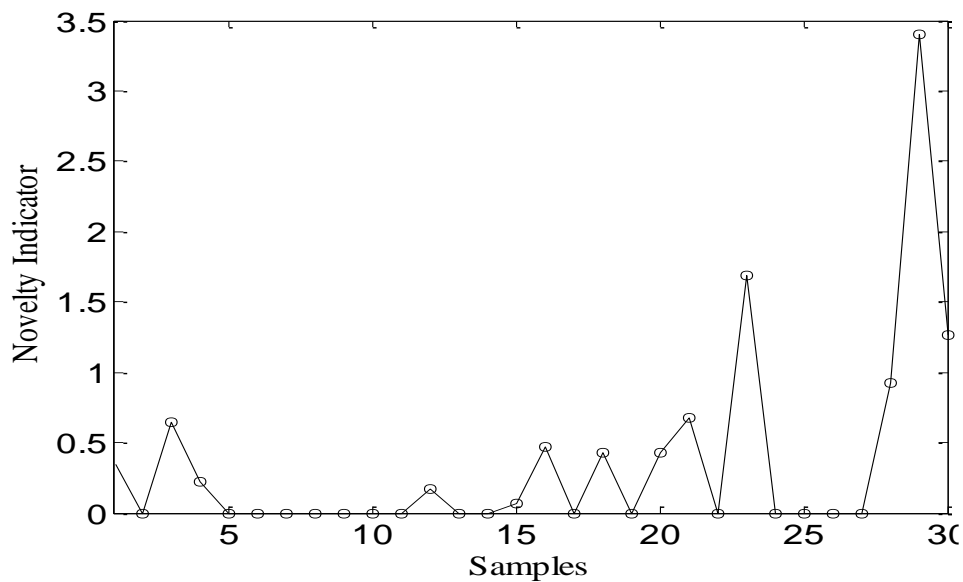
Σχήμα 4.1.23 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σετ Bearing 3\_2 με τη χρήση χρονικών δεικτών χωρίς κυρτώγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοιχισή κατάστασης με testing data

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για το testing είναι 20 υγιή και 10 με βλάβη. Σύμφωνα με το σχήμα 4.1.23(α) τα μη υγιή είναι 12 και ποιο συγκεκριμένα σύμφωνα με το σχ.4.1.23 (β) είναι τα 1°, 8°, 16°, 18°, 20° έως 22° και 26° έως 30°. Τα σήματα 1°, 8°, 16°, 18°, 20° είναι υγιή σύμφωνα με την ανάλυση μας ενώ ο αλγόριθμος τα έχει ανιχνεύσει ως σήματα κακής λειτουργίας. Ενώ τα σήματα 22° και 26° έως 30° τα έχει ανιχνεύσει σωστά ως σήματα με βλάβη. Ακόμη έχει θεωρήσει υγιή σήματα τα 23°, 24° και 25° που παρουσιάζουν βλάβη.

Με κυρτόγραμμα



(α)



(β)

Σχήμα 4.1.24 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του σετ Bearing 3\_2 με τη χρήση χρονικών δεικτών με κυρτόγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Σύμφωνα με το σχήμα 4.1.24 (α) έχουμε 12 σήματα κακής λειτουργίας. Στο σχήμα 4.1.21 (β) φαίνονται ότι αυτά τα σήματα είναι : 1°, 3°, 4°, 12°, 15°, 16°, 18°, 20°, 21°, 23° και 28° έως 30°. Από αυτά τα 1°, 2°, 3°, 12°, 15°, 16°, 18°, 20° είναι, σύμφωνα με την ανάλυσή μας, υγιή σήματα και τα 22°, 24° έως 27° σήματα που θεωρούνται από τον αλγόριθμο υγιή, παρουσιάζουν βλάβη.

#### 4.1.6 Ταξινόμηση βλάβης με τη χρήση των Mean Singular Values

Σε αντίθεση με τις άλλες μεθόδους, το Mean Singular Value μπορεί, εκτός από τον έγκυρο εντοπισμό βλάβης ρουλεμάν (εσωτερικού ή εξωτερικού δακτυλίου), να κάνει και την διάγνωσή της.

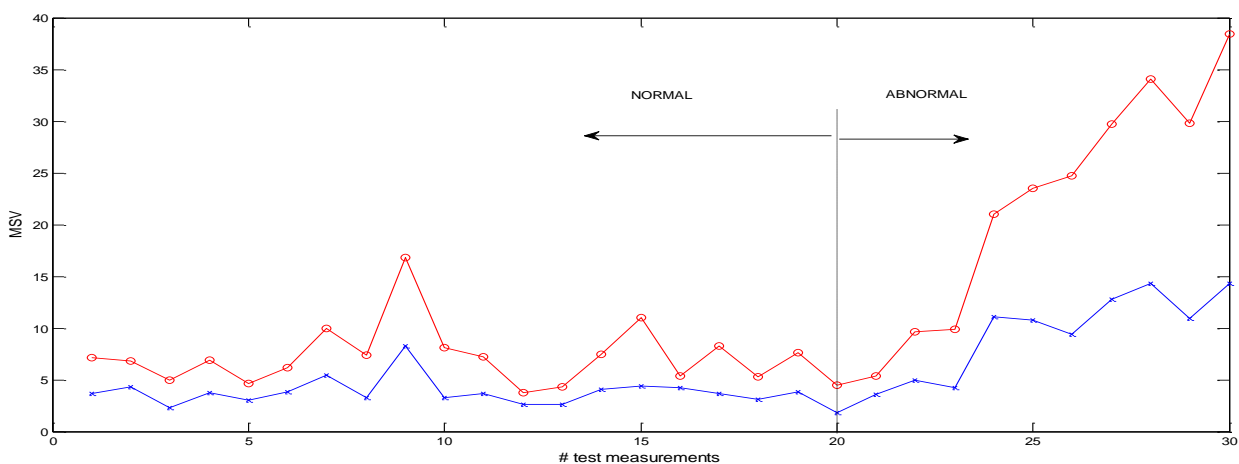
Η ταξινόμηση της βλάβης του ρουλεμάν με το Singular Value γίνεται πολύ εύκολα, απλά συγκρίνοντας την επιμέρους τιμή Mean Singular Value BPFO με το άθροισμα των τιμών Mean Singular Value BPFi και Mean Singular Value RPM.

- Αν η τιμή Mean Singular Value BPFO είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα των τιμών Mean Singular Value BPFi και Mean Singular Value RPM, τότε το σύστημα θεωρεί ότι η βλάβη οφείλεται στον εξωτερικό δακτύλιο

των ρουλεμάν, ενώ

- Αν η τιμή Mean Singular Value BPFO είναι μικρότερη από το άθροισμα των τιμών Singular Value BPFi και Mean Singular Value RPM, τότε το σύστημα θεωρεί ότι η βλάβη οφείλεται στον εσωτερικό δακτύλιο των ρουλεμάν.

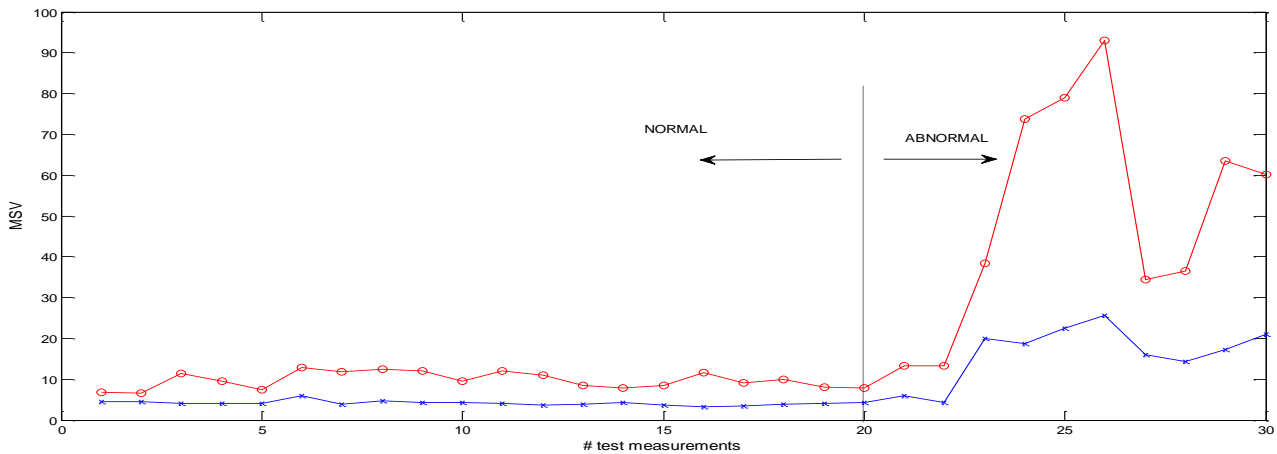
Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 1\_6



Σχήμα 4.1.25 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFi+Singular Value RPM του σετ Bearing 1\_6

Στο σχήμα 4.1.25 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 1\_6 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFi+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Από τα πρώτα σήματα που είναι υγιή φαίνεται ξεκάθαρα η σημαντική διαφορά που έχουν οι δύο αυτές τιμές. Μάλιστα όταν εμφανίζεται η βλάβη στο 21<sup>ο</sup> σήμα η διαφορά αυξάνεται πολύ περισσότερο. Άρα από την εμφάνιση της βλάβης μπορεί να ανιχνευτεί και το είδος της βλάβης που εδώ είναι στον εσωτερικό δακτύλιο.

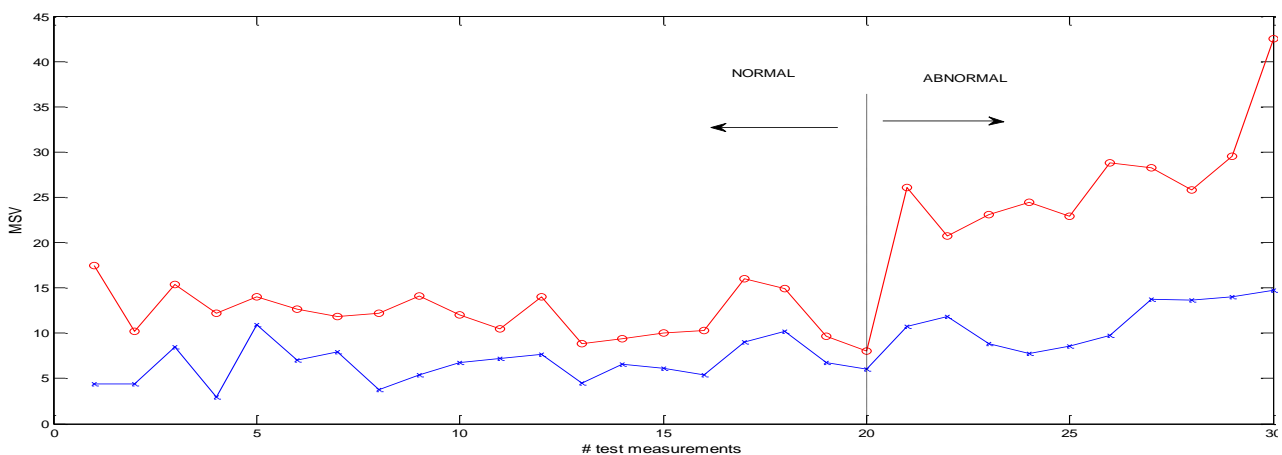
### Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 1\_7



Σχήμα 4.1.26 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFI+Singular Value RPM του σετ Bearing 1\_7

Στο σχήμα 4.1.26 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 1\_6 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Από τα πρώτα σήματα που είναι υγιή φαίνεται η διαφορά που έχουν οι δύο αυτές τιμές. Από την εμφάνιση της βλάβης στο 21<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM αυξάνει σημαντικά σε σχέση με αυτή της Mean Singular Values BPFO και όσο προχωράει η βλάβη η διαφορά αυξάνεται πολύ περισσότερο εκτός από τα σήματα 28 και 27 όπου μικραίνει αλλά και πάλι είναι σημαντική. Ακόμη στα σήματα που δεν παρουσιάζουν καμία φθορά και οι δύο τιμές παραμένουν περίπου σταθερές και πιο χαμηλές, σε σχέση με τα μη υγιή, πράγμα που δείχνει ότι δεν παρουσιάζεται βλάβη σε αυτά. Άρα από την εμφάνιση της βλάβης μπορεί να ανιχνευτεί και το είδος της βλάβης που εδώ είναι στον εσωτερικό δακτύλιο με σημαντικό βαθμό εμπιστοσύνης.

### Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 2\_1

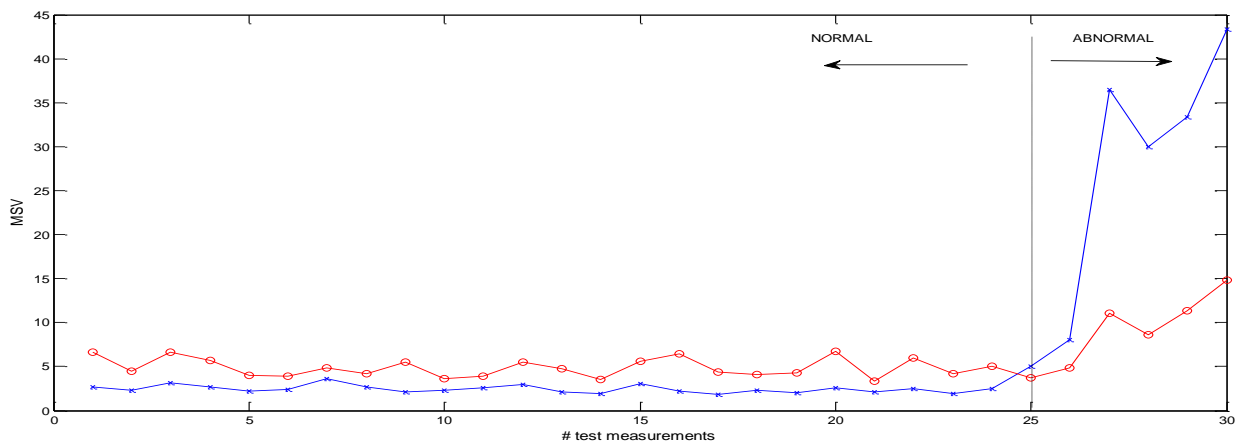


Σχήμα 4.1.27 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFI+Singular Value RPM του σετ Bearing 2\_1

Στο σχήμα 4.1.27 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 2\_1 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM

και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Από τα πρώτα σήματα που είναι υγιή φαίνεται η διαφορά που έχουν οι δύο αυτές τιμές. Από την εμφάνιση της βλάβης στο 21<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM αυξάνει σημαντικά σε σχέση με αυτή της Mean Singular Values BPFO και όσο προχωράει η βλάβη η διαφορά αυξάνεται πολύ περισσότερο. Άρα από την εμφάνιση της βλάβης μπορεί να ανιχνευτεί και το είδος της βλάβης που εδώ είναι στον εσωτερικό δακτύλιο με σημαντικό βαθμό εμπιστοσύνης.

#### Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 2\_4

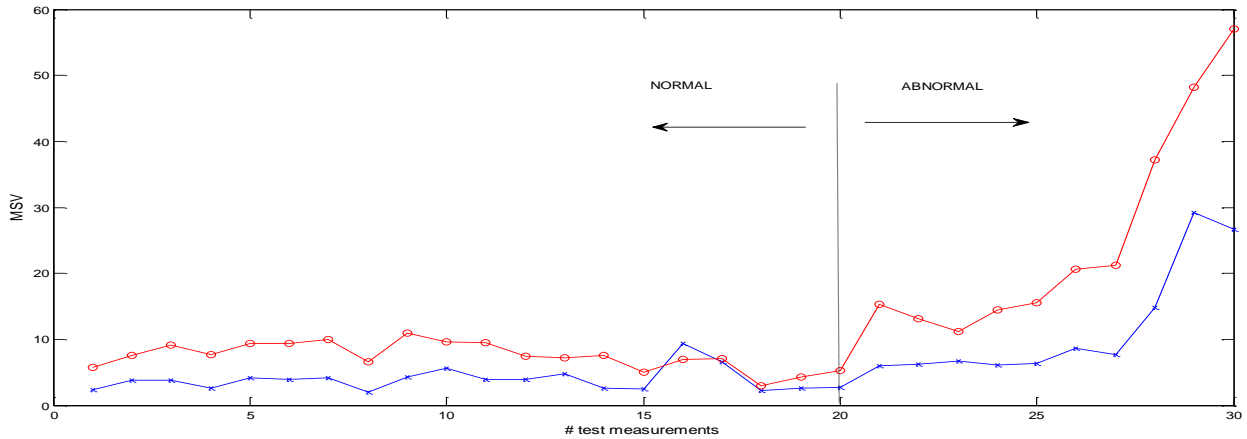


Σχήμα 4.1.28 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFI+Singular Value RPM του σετ Bearing 2\_4

Στο σχήμα 4.1.28 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 2\_4 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Από τα πρώτα σήματα που είναι υγιή φαίνεται η διαφορά που έχουν οι δύο αυτές τιμές. Από την εμφάνιση της βλάβης στο 21<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της Mean Singular Values BPFO αυξάνει σημαντικά σε σχέση με αυτή της Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και όσο προχωράει η βλάβη η διαφορά αυξάνεται πολύ περισσότερο εκτός από τα σήματα 28 και 29 όπου μικραίνει αλλά και πάλι παραμένει σημαντική. Άρα από την εμφάνιση της βλάβης μπορεί να ανιχνευτεί και το είδος της βλάβης που εδώ είναι στον εξωτερικό δακτύλιο. Ακόμη στα υγιή σήματα οι τιμές και των δύο παραμένουν σχετικά σταθερές κάτι που υποδεικνύει ότι δεν υπάρχει βλάβη ακόμη.

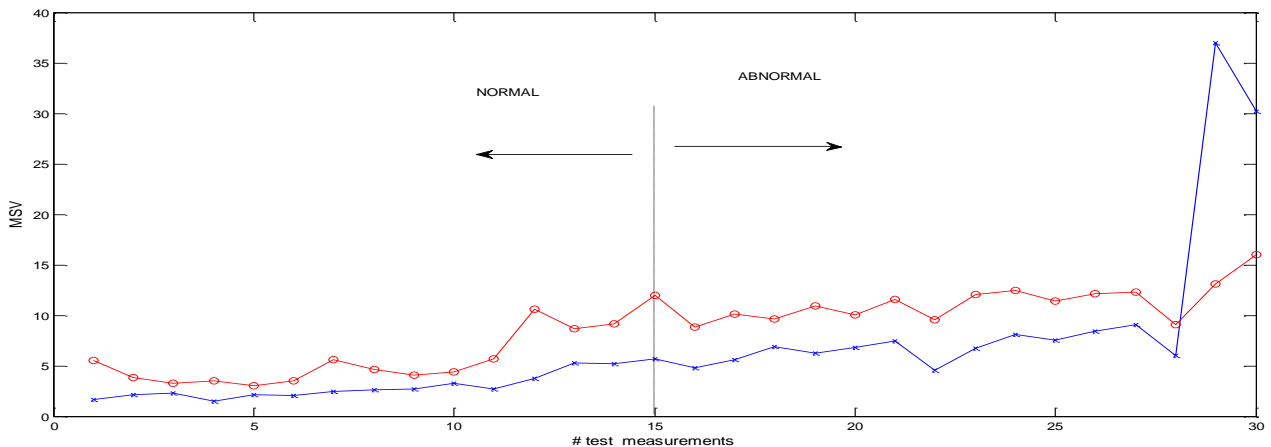
#### Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 3\_2

Στο σχήμα 4.1.29 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 3\_2 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Από τα πρώτα σήματα που είναι υγιή φαίνεται η διαφορά που έχουν οι δύο αυτές τιμές με την Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM μεγαλύτερη εκτός από το 16<sup>ο</sup> που είναι λίγο μεγαλύτερη η MSV BPFO. Από την εμφάνιση της βλάβης στο 21<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM αυξάνει σημαντικά σε σχέση με αυτή της Mean Singular Values BPFO και όσο προχωράει η βλάβη η διαφορά αυξάνεται πολύ περισσότερο εκτός από τα σήματα. Ακόμη στα σήματα που δεν παρουσιάζουν καμία φθορά και οι δύο τιμές παραμένουν περίπου σταθερές και πιο χαμηλές, σε σχέση με τα μη υγιή, πράγμα που δείχνει ότι δεν παρουσιάζεται βλάβη σε αυτά. Άρα από την εμφάνιση της βλάβης μπορεί να ανιχνευτεί και το είδος της βλάβης που εδώ είναι στον εσωτερικό δακτύλιο.



Σχήμα 4.1.29 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFI+Singular Value RPM του σετ Bearing 3\_2

### Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Bearing 3\_3



Σχήμα 4.1.30 Μεταβολή των Singular Value BPFO και Singular Value BPFI+Singular Value RPM του σετ Bearing 3\_3

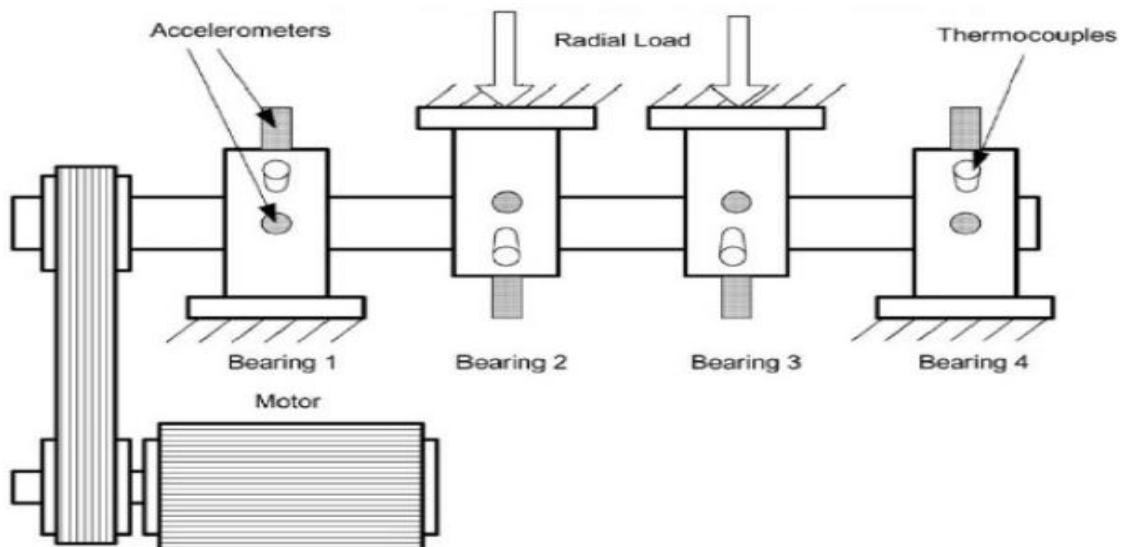
Στο σχήμα 4.1.30 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Bearing 3\_3 για τα 30 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Παρατηρούμε ότι από στα πρώτα 10 υγιή σήματα οι τιμές και των δύο παραμένουν σχετικά σταθερές. Από την εμφάνιση της βλάβης στο 16<sup>ο</sup> σήμα μέχρι και το 28<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν της Mean Singular Values BPFO και η διαφορά τους παραμένει σχετικά σταθερή. Στο 29<sup>ο</sup> και 30<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της MSV BPFO αυξάνει σημαντικά σε σχέση με αυτή της MSV BPFI+MSV RPM γεγονός που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι είναι βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν. Εδώ η ταξινόμηση της βλάβης γίνεται αφού έχει προχωρήσει η φθορά σε αντίθεση με τα προηγούμενα σετ που η ταξινόμηση γινόταν από τα αρχικά στάδια της βλάβης.



## 4.2 Δεύτερη πειραματική εγκατάσταση

### 4.2.1 Περιγραφή της δεύτερης πειραματικής εγκατάστασης

Η δεύτερη σειρά δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν set 1 και set 2, συλλέχτηκαν από την εγκατάσταση που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η εγκατάσταση αυτή συνίσταται από ένα άξονα πάνω στον οποίο έχουν συνδεθεί τέσσερα ρουλεμάν και στρέφεται με σταθερά 2000rpm ενώ δέχεται σταθερό ακτινικό φορτίο 6000 lbs. Τα ρουλεμάν είναι τύπου Rexnord ZA-2115 διπλής σειράς με 16 σφαίρες ανά σειρά, pitch διαμέτρου 2,815 in, διάμετρο σφαιρών 0,331 in και γωνία επαφής 15,17°. Ο άξονας είναι συνδεδεμένος με έναν κινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω ιμάντα. Ένα σύστημα κυκλοφορίας ρυθμίζει τη ροή και τη θερμοκρασία του λιπαντικού. Η συσσώρευση θραυσμάτων στο λιπαντικό παρακολουθείται κι όταν ένα όριο ξεπεραστεί το πείραμα θα σταματήσει.



Εικόνα 4.2.1 Δεύτερη πειραματική εγκατάσταση

Σε κάθε ρουλεμάν έχουν συνδεθεί δύο επιταχυνσιόμετρα τύπου PCB 353B33 High Sensitivity Quartz ICP με κατευθύνσεις: οριζοντίως X και καθέτως Y με αποτέλεσμα σε ολόκληρη την εγκατάσταση να έχουν συνδεθεί συνολικά οχτώ επιταχυνσιόμετρα.

### 4.2.2 Μετρήσεις

Το πρώτο μέρος του πειράματος ξεκίνησε στις 19 Δεκεμβρίου 2003 κι έληξε στις 30 Δεκεμβρίου 2003, κατά τη διάρκεια του οποίου, ελήφθησαν 2156 μετρήσεις σε σχετικά ισαπέχουσες χρονικές στιγμές, διάρκειας ενός δευτερολέπτου η κάθε μία. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων αυτών, φαίνεται η εξέλιξη της πρώτης βλάβης που αφορούσε τον εσωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν στη θέση 3. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν 2156 σήματα με 20.480 στοιχεία από κάθε ρουλεμάν με τη διάταξη που φαίνεται στον πίνακα 4.2.1

Στήλη	1	2	3	4	5	6	7	8
Θέση Επιταχ.	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>	5 <sup>η</sup>	6 <sup>η</sup>	7 <sup>η</sup>	8 <sup>η</sup>
Κατεύθυνση	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y

Πίνακας 4.2.1 Θέση και κατεύθυνση επιταχυνσιόμετρων

Όταν το ρουλεμάν στη θέση 3 ξεπέρασε σημαντικά το όριο της μηχανής, έληξε το πρώτο μέρος του πειράματος. Αφού ελέγχθηκε ότι δεν είχε εμφανιστεί καμία βλάβη στα ρουλεμάν των θέσεων 1, 2 και 4 κι αντικαταστάθηκε το φθαρμένο ρουλεμάν της θέσης 3, ξεκίνησε το δεύτερο (και τελευταίο) μέρος του πειράματος. Από αυτό το πρώτο μέρος προέκυψε το αρχικό set 1.

Στην περίοδο 12 Φεβρουαρίου 2004 με 19 Φεβρουαρίου 2004 ελήφθησαν 984 μετρήσεις διάρκειας ενός δευτερολέπτου η κάθε μία, όλες ισαπέχουσες χρονικά κατά 10 λεπτά. Με αυτόν τον τρόπο προέκυψαν 984 σήματα με 20.480 στοιχεία από κάθε ρουλεμάν. Έτσι αποκτήθηκαν οι μετρήσεις του set 2. Στις νέες αυτές μετρήσεις φαίνεται η εξέλιξη της δεύτερης βλάβης που αφορούσε τον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν στη θέση 1.

Στήλη	1	2	3	4
Θέση Επιταχ.	1 <sup>η</sup>	2 <sup>η</sup>	3 <sup>η</sup>	4 <sup>η</sup>
Κατεύθυνση	X	X	X	X

Πίνακας 4.2.2 Θέση και κατεύθυνση επιταχυνσιόμετρων

Για το set 1 έγινε επεξεργασία μόνο των δεδομένων που καταγράφηκαν από το επιταχυνσιόμετρο στην θέση 3 με κατεύθυνση X (5η στήλη) ενώ για το δεύτερο set μετρήσεων έγινε επεξεργασία μόνο των δεδομένων που καταγράφηκαν από το επιταχυνσιόμετρο στην θέση 1.

Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι  $f_s=20$  KHz και τα δύο set και οι θεωρητικές χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης που υπολογίστηκαν για τα set 1 και set2 είναι  $BPFO^{TH} = 236$  Hz ,  $BPF1^{TH} = 297$  Hz και η συχνότητα περιστροφής του άξονα  $f_{shaft} = 33,33$  Hz.

#### 4.2.3 Μελέτη σημάτων

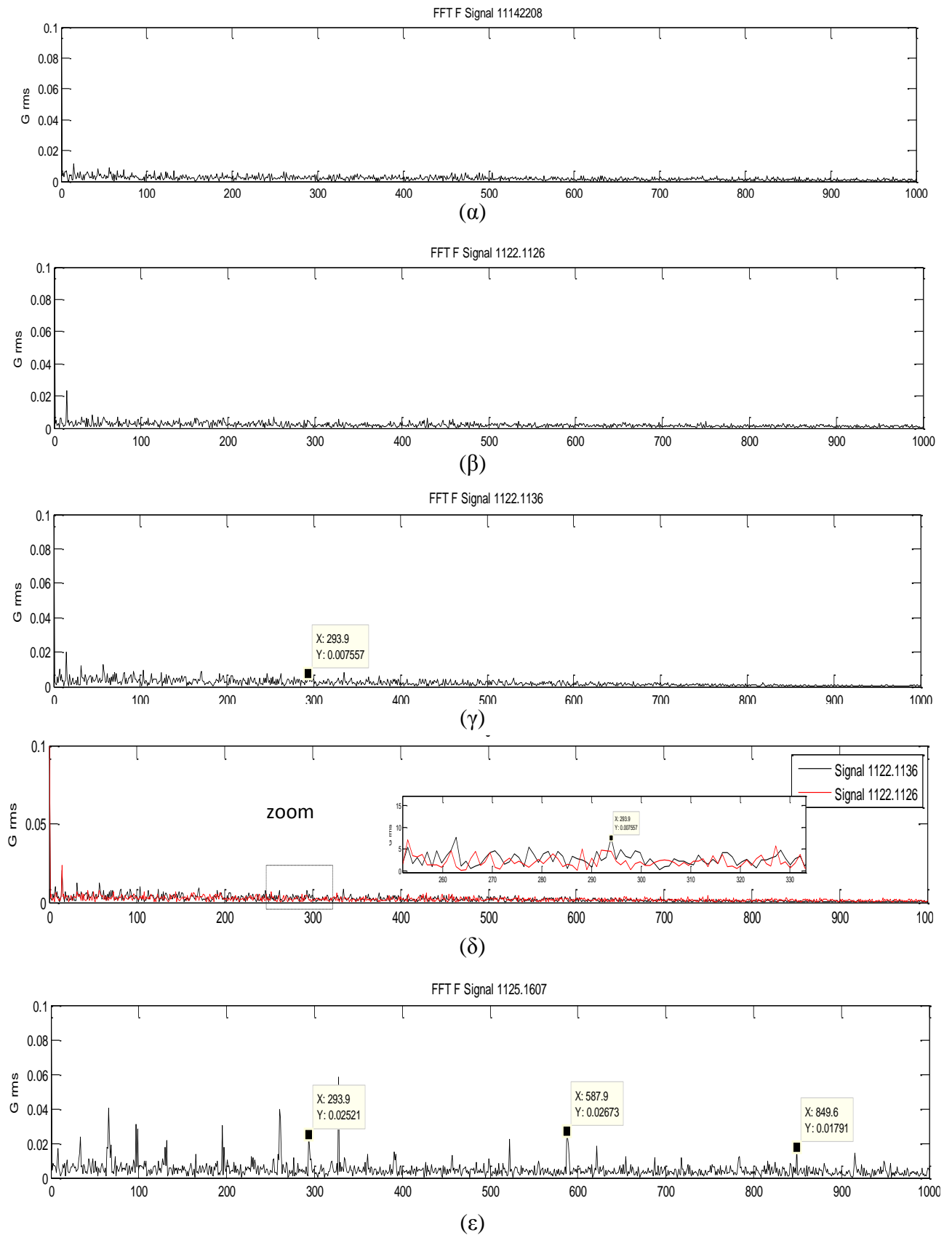
Και στα σήματα που προήλθαν από τη δεύτερη πειραματική εγκατάσταση ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία όπως και με τα σήματα από την πρώτη.

Μετρήσεις	Τύπος Βλάβης	Τελευταίο υγιές σήμα	Πρώτο σήμα με βλάβη
Set 1	Εξωτερικός δακτύλιος	1122_1126	1122_1136
Set 2	Εσωτερικός δακτύλιος	0216_302	0216_312

Πίνακας 4.2.3 Το τελευταίο υγιές σήμα και το πρώτο με βλάβη για τα set της δεύτερης πειραματικής εγκατάστασης

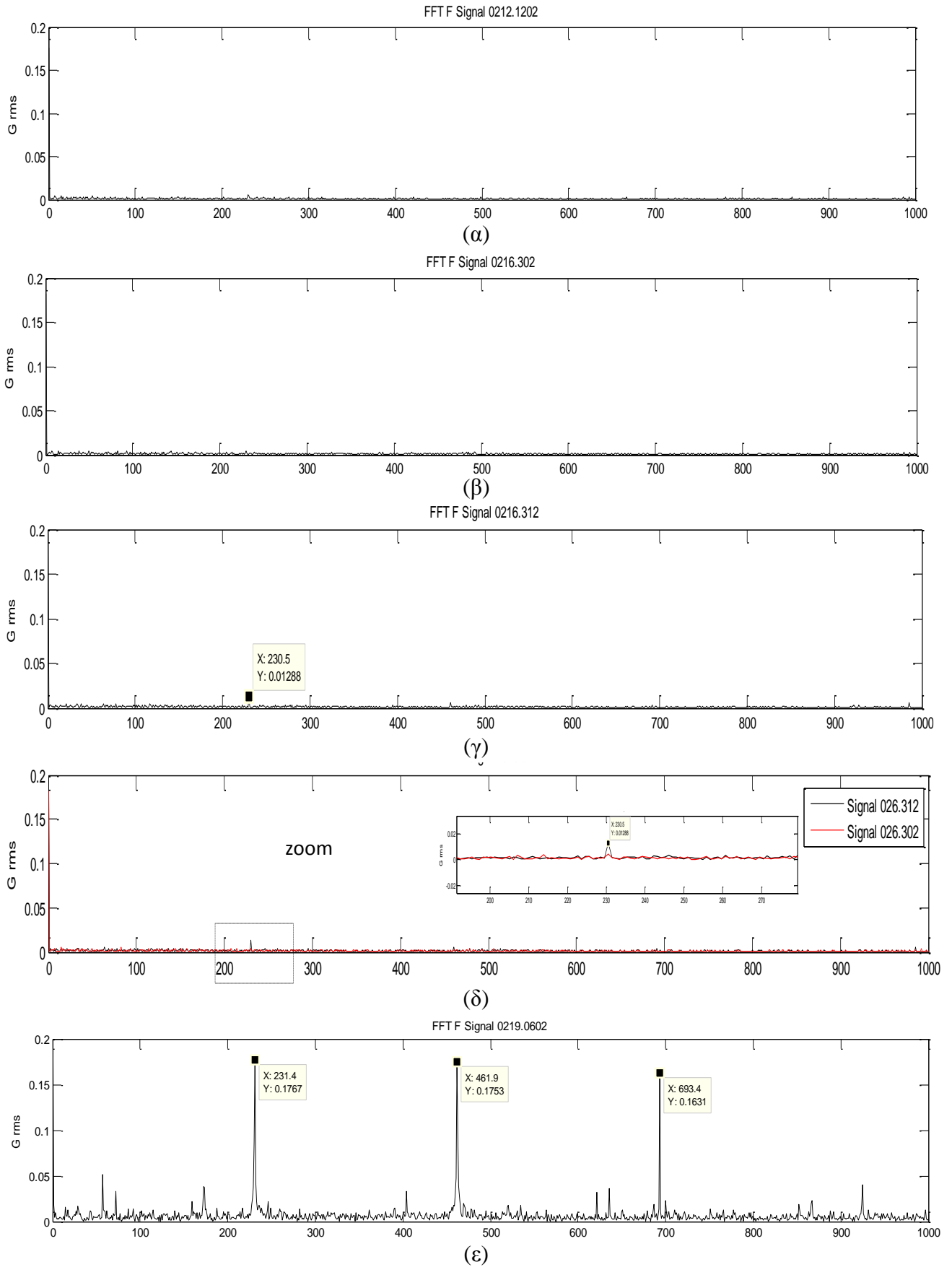
#### Set 1

Στα σχήματα 4.2.1(α),(β).(γ)(δ) παρουσιάζεται η πορεία της υγείας του ρουλεμάν με 2 υγιή σήματα (4.2.1 α,β) και 2 σήματα με βλάβη(4.2.1 γ,ε). Πιο συγκεκριμένα στο σχ.4.2.1(γ) βλέπουμε ότι έχει αρχίσει και εμφανίζεται η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BPF1 σε σχέση με το σχήμα 4.2.1(β) ενώ στο σχήμα 4.2.1(δ) φαίνεται ότι η βλάβη έχει προχωρήσει καθώς έχει αυξηθεί το πλάτος της BPF1 και έχουν εμφανιστεί και οι αρμονικές της.



Σχήμα 4.2.1 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του set1 (α) σήμα 1114\_2208 (β) σήμα 1122\_1126 (γ) σήμα 1122\_1136 (δ) σήμα 1122\_1126-1136 (ε) σήμα 1125\_0602

Set 2



Σχήμα4.2.2 Μορφολογικά αναλυόμενο φάσμα του set2 (α) σήμα 0212\_1202 (β) σήμα 0216\_302(γ) σήμα 0216\_312(δ) σήμα 0219\_0602

Στο σχ.4.2.2(γ) βλέπουμε ότι έχει αρχίσει και εμφανίζεται η χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BPFO σε σχέση με το σχήμα 4.2.2(β) ενώ στο σχήμα 4.2.2(δ) φαίνεται ότι η βλάβη έχει προχωρήσει καθώς έχει αυξηθεί το πλάτος της BPFO και έχουν εμφανιστεί και οι αρμονικές

Για τη διαδικασία της ανίχνευσης της μη ομαλής λειτουργίας της μηχανής διαλέξαμε έναν επαρκή αριθμό μετρήσεων από τα αρχικά σετ. Οι μετρήσεις αυτές διαλέχθηκαν έτσι ώστε να είναι αντιπροσωπευτικές του ποσοστού των σημάτων με βλάβη και αυτών χωρίς βλάβη. Τα υγιή σήματα ισαπέχουν χρονικά μεταξύ τους, όπως και τα σήματα με βλάβη. Στα σετ αυτά εμπεριέχονται και το τελευταίο υγιές σήμα καθώς και το πρώτο με βλάβη.

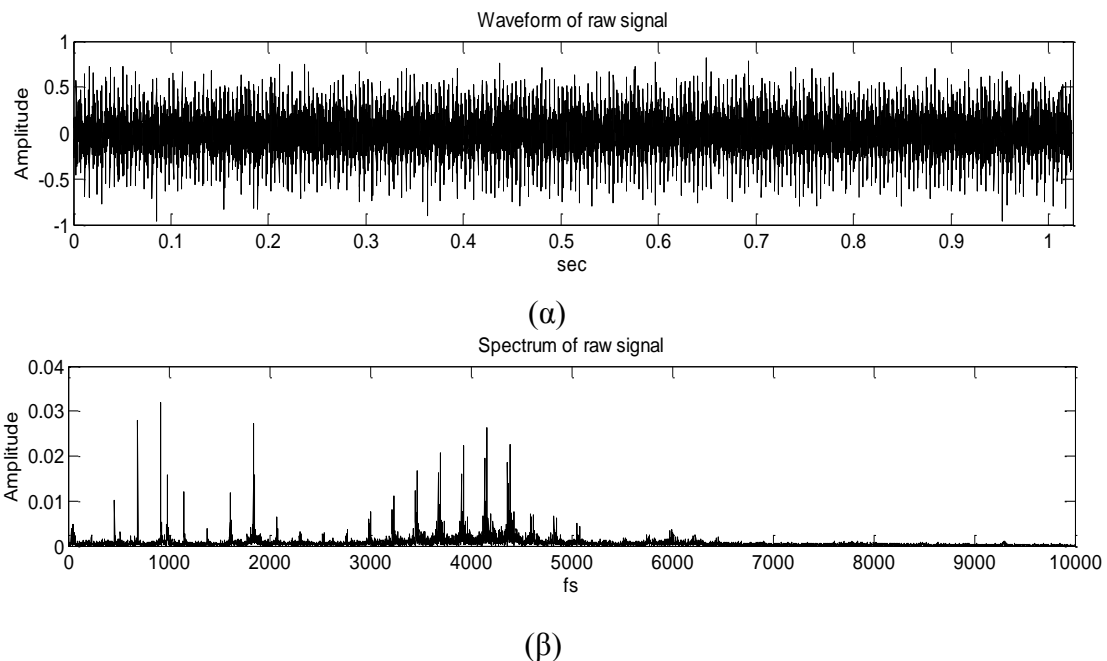
Σήμα	Training data	Testing data normal	Testing data abnormal	Σύνολο
Set1	30	10	22	62
Set2	30	15	16	61

Πίνακας 4.2.4 Πλήθος σημάτων προς επεξεργασία

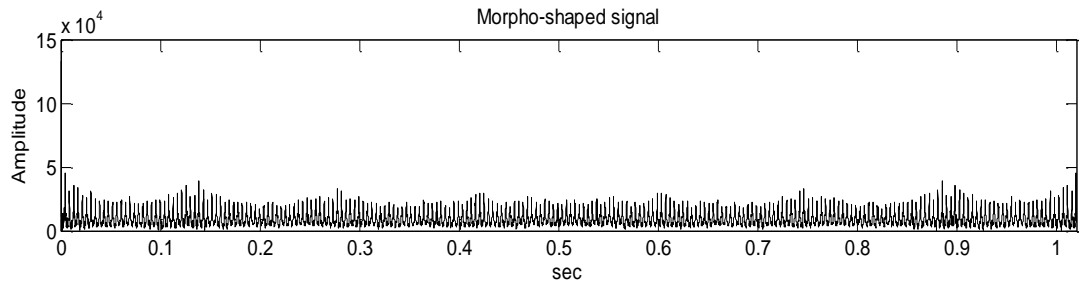
## 4.2.4 Εξαγωγή Χαρακτηριστικών Παραμέτρων

### 4.2.4.1 Εξαγωγή Singular Values

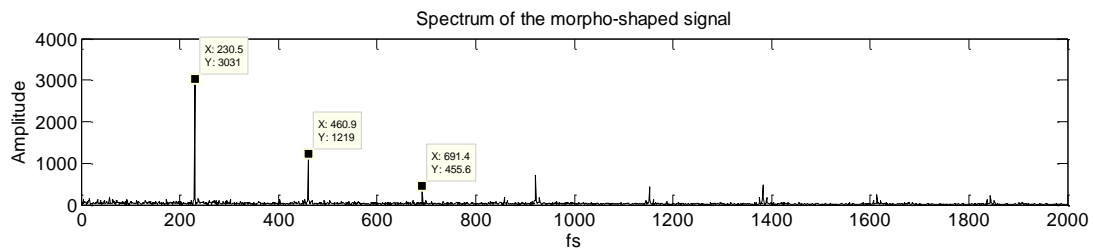
Για τη διαδικασία εξαγωγής των singular values ,αρχικά γίνεται ο μορφολογικός μετασχηματισμός των σημάτων μέσω της αλληλεπίδραση τους με το επίπεδο δομικό στοιχείο και τον τελεστή Beucher .Οι είσοδοι στον αλγόριθμο της μορφολογικής ανάλυσης είναι οι θεωρητικές χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης ,η θεωρητική συχνότητα περιστροφής του άξονα  $BPFO^{TH}$  ,  $BPFI^{TH}$  ,  $f_{shaft}$  και η συχνότητα δειγματοληψίας  $f_s$ . Έτσι έχουμε πλέον για εισαγωγή στο IFESIS ένα σήμα που περιέχει μόνο τις χαμηλόσυχνες περιοχές η οποίες είναι και αυτές που μας παρέχουν τις πληροφορίες για το μηχανισμό της βλάβης. Παρακάτω παρουσιάζεται η χρονική κυματομορφή και το φάσμα του ακατέργαστου σήματος 0218\_2252 του set2 καθώς και η μορφοποιημένη χρονική κυματομορφή και το μορφοποιημένο φάσμα του.



Σχημα 4.2.3 Ακατέργαστο σιμα 0218\_2252 του set2 (α)χρονική κυματομορφή(β)φάσμα



(α)



(β)

Σχήμα 2.2.4 Μορφοποιημένο σήμα 0218\_2252 του set2 (α)χρονική κυματομορφή(β)φάσμα

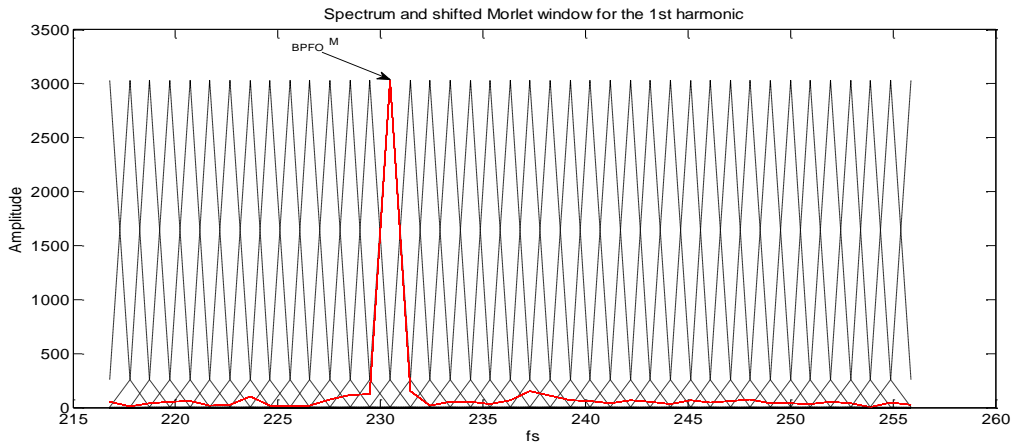
Από τα παραπάνω σχήματα σχ4.2.3 και σχ 4.2.4 βλέπουμε πως το φάσμα του μορφολογικά αναλυόμενου σήματος σχ4.2.4(β) σε σχέση με το φάσμα του ακατέργαστου σήματος (σχ.4.2.3 α)έχει κρατήσει τις πληροφορίες που βρίσκονται στη χαμηλόσυχη περιοχή και αφορούν την αιτία της βλάβης ενώ έχει απομακρυνθεί ο θόρυβος.Το σήμα 0218\_2252 παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιο και είναι φανερό από το μορφοποιημένο φάσμα του (σχ4.2.3) ότι η συχνότητα βλάβης είναι στα 230.5 Hz.Επίσης ξεχωρίζουν και οι αρμονικές της.

Στο σετ δεδομένων που συλλέκτηκαν από τη δεύτερη πειραματική εγκατάσταση ,set1 και set2, η διαδικασία εξαγωγής των singular values είναι η ίδια με αυτή που περιγράφηκε στο 4.3.1.1 για το σετ δεδομένων της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης.Οι παράμετροι είναι οι ίδιοι εκτός από την παράμετρο l,η οποία και για τις τρεις χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης τη θέσαμε ίση με l=20.

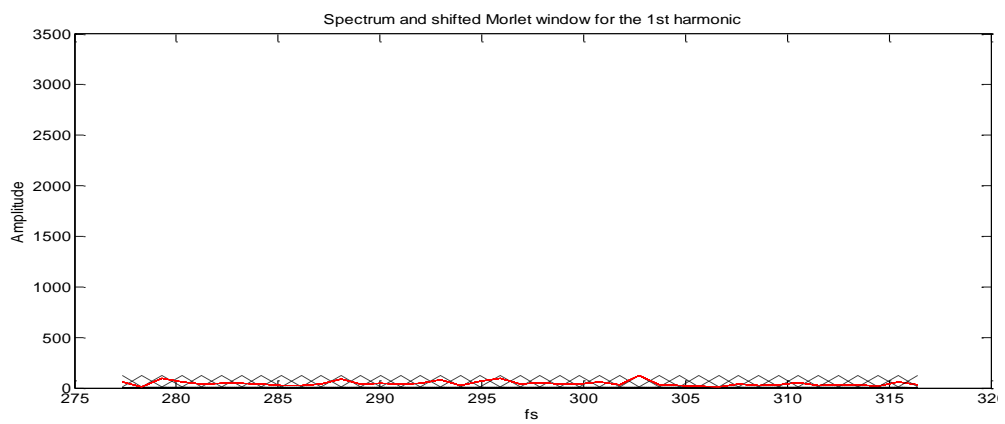
Η περίοδος της συχνότητας είναι:

$$df = \frac{fs}{L} = \frac{20000}{20480} = 0.9766$$

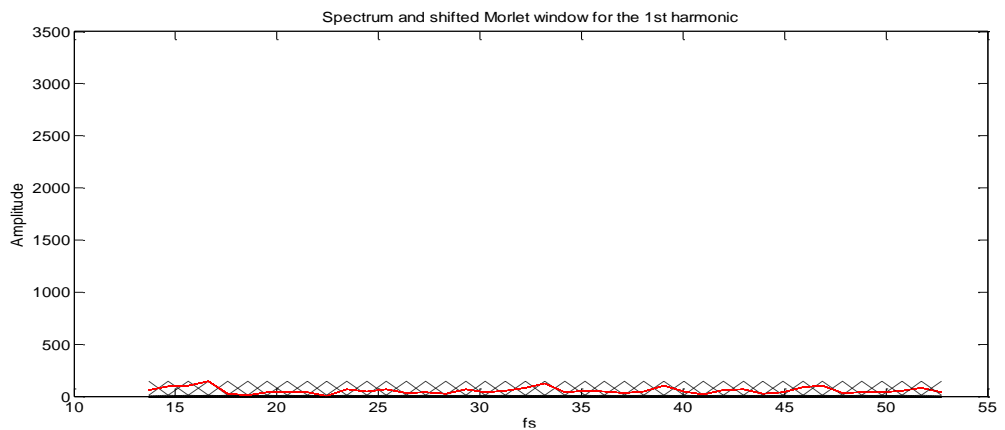
Οι αριθμητικές τιμές των Mean Singular Values που εξήχθησαν από αυτά τα σετ παρατίθενται στο ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.Παρακάτω παρουσιάζεται το μετατοπιζόμενο παράθυρο Morlet στο πρώτο εύρος συχνοτήτων για όλες τις θεωρητικές χαρακτηριστικές συχνότητες βλάβης στο μορφολογικό φάσμα του σήματος 0218\_2252 του set2 που παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιο.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 4.2.5 Μετατοπιζόμενο παράθυρο Morlet στο πρώτο ευρος συχνοτήτων στο μορφοποιημένο φάσμα του σήματος 1125\_2339 του set 1 για (α)  $F\_Fault=BPFO^{TH}$  (β)  $F\_Fault=BPFI^{TH}$  (γ)  $F\_Fault=RPM^{TH}$

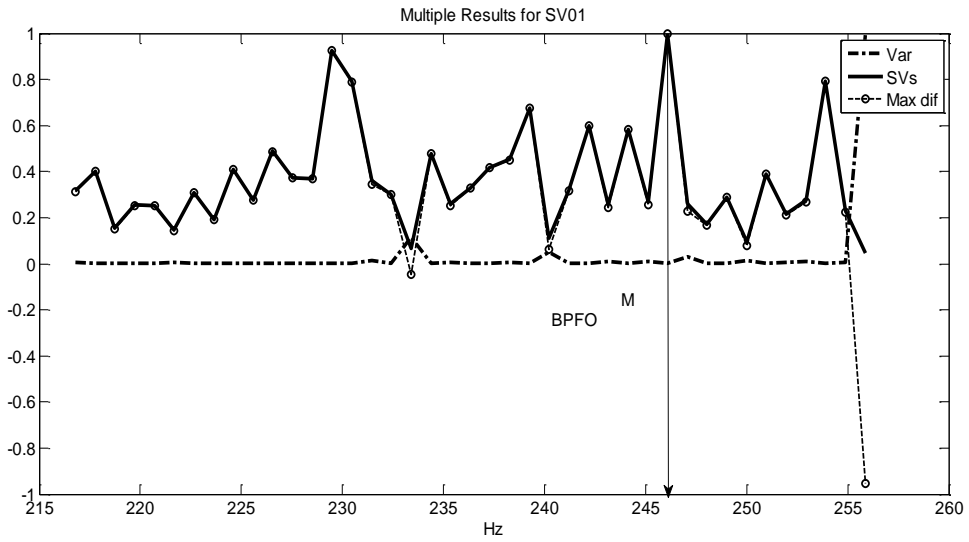
Στα σχήματα 4.2.5(α),(β),(γ) φαίνεται η μετατόπιση του κυματιδίου Morlet στο πρώτο εύρος συχνοτήτων όπου το παράθυρο ψάνει την αιχμή για την αρμονική της χαρακτηριστικής συχνότητας που του έχουμε θέσει κάθε φορά. Στο σχ4.2.5 (α) φαίνεται η μετατόπιση του παραθύρου με συχνότητα βλάβης BPF<sup>O</sup> που εντοπίζει αιχμή με το μεγαλύτερο πλάτος στα 230.5Hz, πολύ κοντά στη θεωρητική χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης που του έχουμε θέσει καθώς το ρουλεμάν παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό δακτύλιο του. Σε αντίθεση με τα σχήματα 4.2.5(β) και 4.2.5(γ) όπου για τις δύο χαρακτηριστικές συχνότητες BPF<sup>I</sup> και RPM αντίστοιχα στο πρώτο εύρος συχνοτήτων φαίνεται ότι δεν υπάρχει αιχμή. Ακόμη φαίνεται ότι το σήμα σε αυτό το εύρος στο φάσμα τους σχήματος 4.2.5(α) έχει σημαντικά μεγαλύτερο πλάτος από ότι στα άλλα δύο σχήματα.

Παρακάτω παρουσιάζονται σχηματικά τα αποτελέσματα του IFESIS για τη θεωρητική χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης BPF<sup>O</sup><sup>TH</sup>, πρώτα για το σήμα 0213\_0022 που είναι υγιές και μετά για το σήμα 0218\_2252 που όπως αναφέρθηκε και παραπάνω παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό του δακτύλιο και για το. Και τα 2 σήματα ανήκουν στο set2.

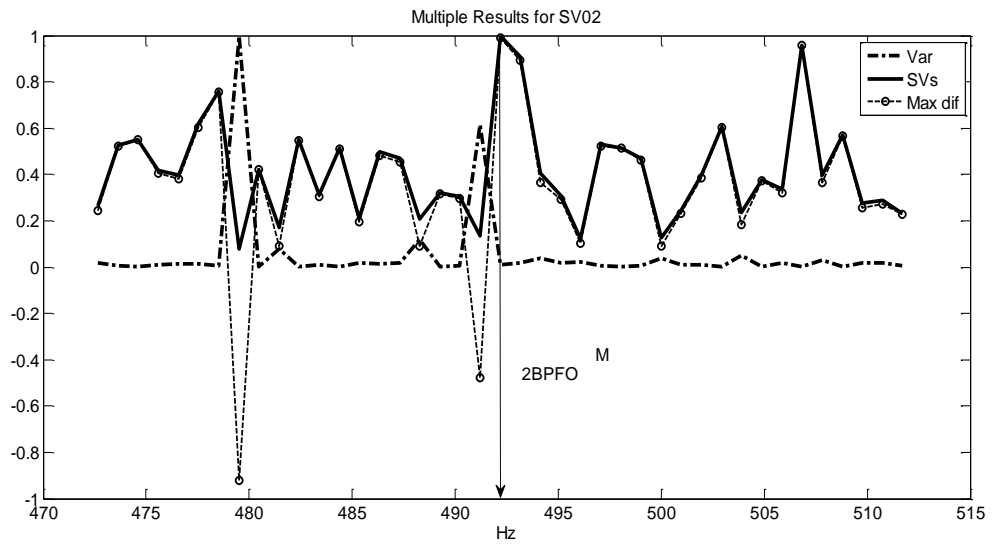
Για το σήμα 0213\_0022 στο σχ4.2.6(α) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα του εύρους την BPF<sup>O</sup><sup>TH</sup> και βρίσκει τη μεγαλύτερη διαφορά των κανονικοποιημένων MSV και IF στη συχνότητα 246 Hz .Αυτή τη συχνότητα τη θεωρεί ως πιθανή συχνότητα βλάβης και για το δεύτερο εύρος συχνοτήτων που ψάχνει για την αρμονική της χρησιμοποιεί τη διπλάσιά της 492 ως κεντρική συχνότητα για το αυτό.(σχ4.2.6β)Σε αυτό βρίσκει τη μέγιστη διαφορά στα 492.2 Hz και σε αυτό υπολογίζει την αντίστοιχη τιμή της MSV. Στο τρίτο εύρος χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα το τρίτο πολλαπλασίο της 246Hz ,738Hz στο οποίο εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά στα 754.9 Hz όπου σε αυτή τη συχνότητα υπολογίζει την αντίστοιχη MSV(σχ.4.2.6γ).Όπως φαίνεται η πρώτη συχνότητα που θεωρεί ως χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης απέχει από την θεωρητική συχνότητα βλάβης η οποία είναι ίση με 236 και οι συχνότητες που εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά δεν είναι πολλαπλασιά της.

Στη συνέχεια παρατίθενται τα σχήματα 4.2.7(α),(β),(γ) στα οποία παρουσιάζεται η διαδικασία εξαγωγής των MSVs στα 3 εύρη συχνοτήτων του σήματος 0218\_2252 που παρουσιάζει βλάβη στον εξωτερικό δακτύλιο. Πιο αναλυτικά, όπως φαίνεται σχ4.2.7(α) χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα του εύρους την BPF<sup>O</sup><sup>TH</sup> και βρίσκει τη μεγαλύτερη διαφορά των κανονικοποιημένων MSV και IF στη συχνότητα 230.5Hz .Αυτή τη συχνότητα τη θεωρεί ως πιθανή συχνότητα βλάβης και για το δεύτερο εύρος συχνοτήτων που ψάχνει για την αρμονική της χρησιμοποιεί τη διπλάσιά της 461 ως κεντρική συχνότητα για το αυτό. Σε αυτό βρίσκει τη μέγιστη διαφορά στα 460.93 Hz και σε αυτό υπολογίζει την αντίστοιχη τιμή της MSV(σχ.4.2.7β). Στο τρίτο εύρος χρησιμοποιεί ως κεντρική συχνότητα το τρίτο πολλαπλασίο της 230.5 Hz ,691.5Hz στο οποίο εντοπίζει τη μεγαλύτερη διαφορά στα 691.41 Hz όπου σε αυτή τη συχνότητα υπολογίζει την αντίστοιχη MSV(σχ.4.2.8γ).Όπως βλέπουμε σε αυτό το σήμα η συχνότητα που θεωρεί ως χαρακτηριστική συχνότητα βλάβης είναι κοντά στην θεωρητική και επιπλέον οι συχνότητες που βρίσκει τις μεγαλύτερες διαφορές είναι πολλαπλάσια της BPF<sup>O</sup><sup>M</sup> .Επομένως, σε σχέση με τα σχήματα 4.2.6 (α),(β),(γ) φαίνεται ότι το σήμα περιέχει βλάβη στον εξωτερικό δακτύλιο.

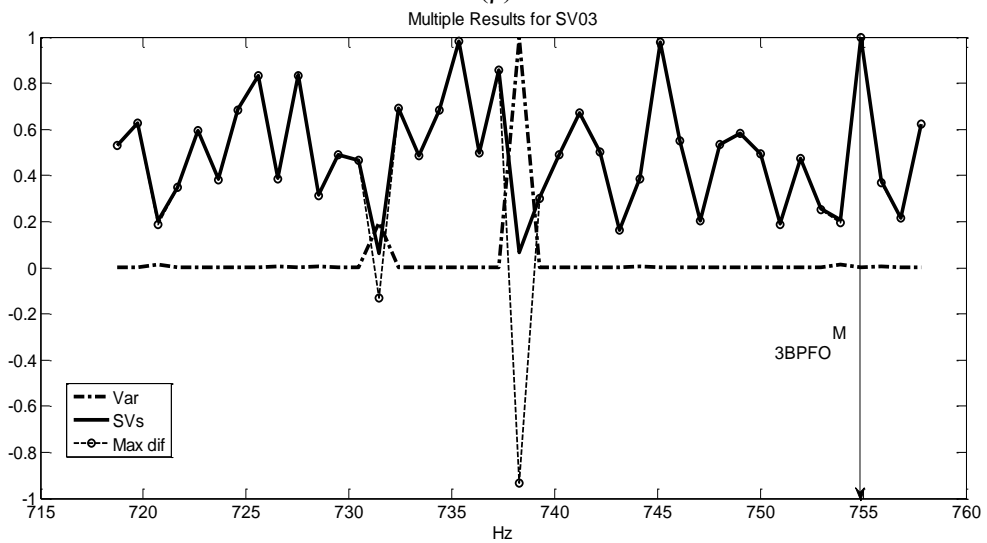




(α)

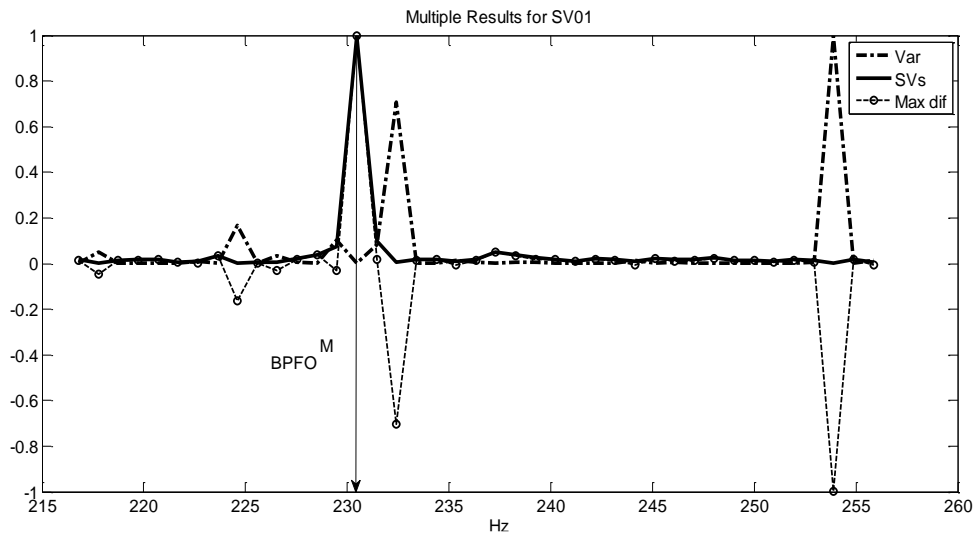


(β)

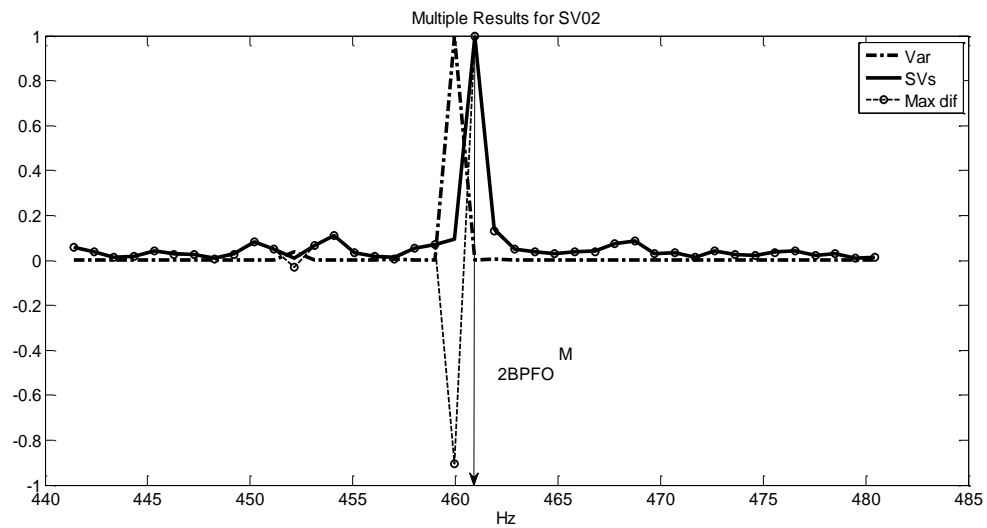


(γ)

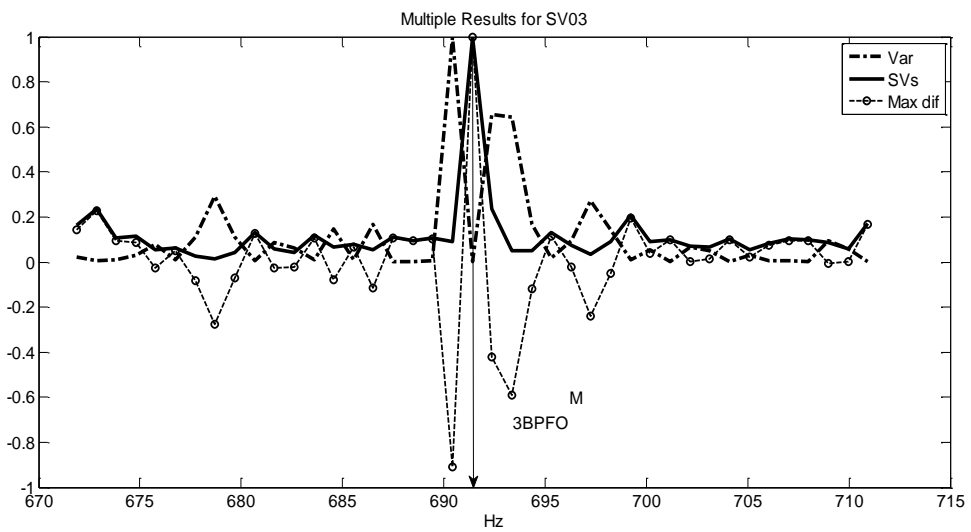
Σχήμα 4.2.6. Κανονικοποιημένα MSV οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες διασπορές της IF και η διαφορά τους για BPFO<sup>TH</sup> του υγιούς σήματος 0213\_0022 του set2 στο (α) πρώτο εύρος συχνοτήτων(β) δεύτερο εύρος συχνοτήτων (γ) τρίτο εύρος συχνοτήτων



(α)



(β)

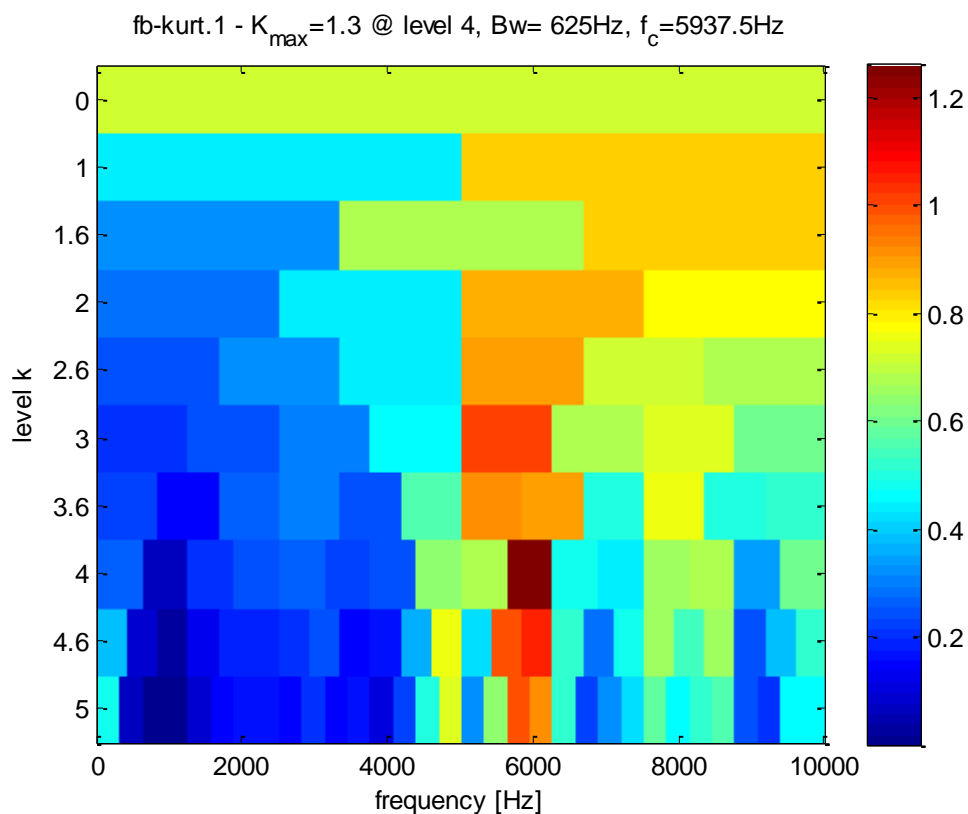


(γ)

Σχήμα 4.2.7. Κανονικοποιημένα MSV οι αντίστοιχες κανονικοποιημένες διασπορές της IF και η διαφορά τους για BPFO<sup>TH</sup> του μη υγιούς σήματος 0218\_2252 του set2 στο (α) πρώτο εύρος συχνοτήτων(β) δεύτερο εύρος συχνοτήτων (γ) τρίτο εύρος συχνοτήτων

#### 4.2.4.2 Εξαγωγή χρονικών δεικτών

Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η ίδια με αυτήν στην πρώτη εγκατάσταση. Εισάγουμε στον αλγόριθμο το σήμα προς επεξεργασία καθώς και τη συχνότητα δειγματοληψίας  $f_s=20\text{KHz}$ . Ο αλγόριθμος έχει ως αποτέλεσμα τους χρονικούς δείκτες του μετασχημασμένου σήματος (χωρίς θόρυβο) στη συνέχεια επιλέγουμε την βέλτιστη συχνότητα (κεντρική) που μας προτείνεται καθώς και το επίπεδο του φιλτραρίσματος και εξάγονται οι χρονικοί δείκτες. Οι χρονικοί δείκτες έχουν υπολογιστεί αρχικά και στο ακατέραγαστο σήμα. Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου του set 1 και set 2 παρατίθενται στο παράρτημα Β. Παρακάτω παρουσιάζεται ένα ενδεικτικό παράδειγμα του σήματος 0218\_2339 του set2.



Σχήμα 4.2.9 κυρτώγραμμα του σήματος 0218\_2339 του set 2

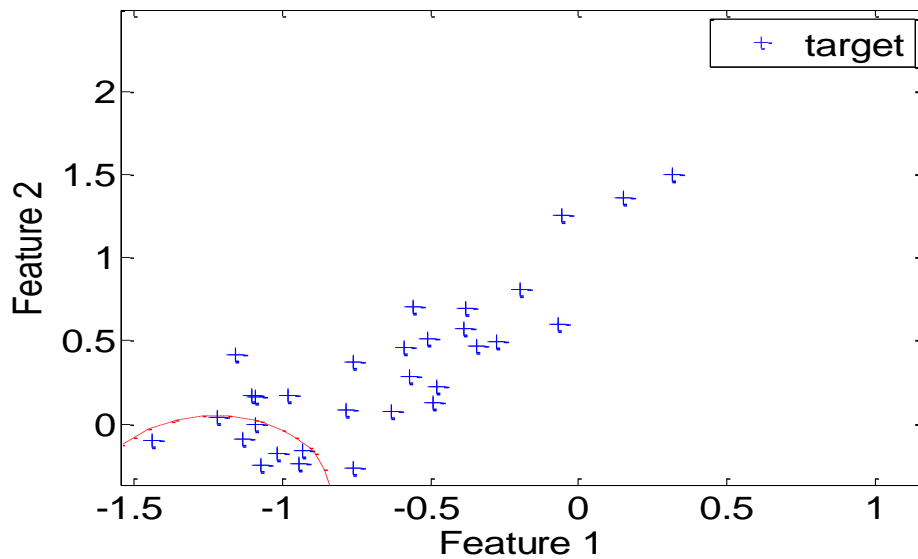
Εδώ το σχήμα 4.2.9 μας δείχνει το κυρτώγραμμα του προς επεξεργασία σήματος και μας υποδεικνύει τη βέλτιστη κεντρική συχνότητα που είναι  $f_c=5937.5\text{ Hz}$  καθώς και το επίπεδο του φιλτραρίσματος 4. Μετά από την εισαγωγή αυτών των δύο παραμέτρων ο αλγόριθμος κάνει το φιλτράρισμα και από το μετασχηματισμένο με Hilbert σήμα εξάγει τους χρονικούς δείκτες.

## 4.2.5 Εκπαίδευση του συστήματος και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας.

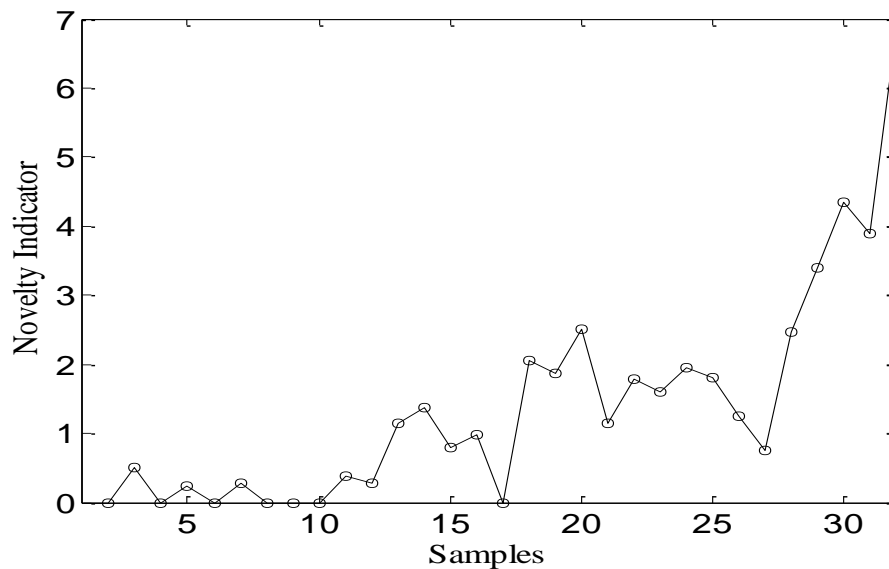
### 4.2.5.1 Εκπαίδευση του συστήματος με MSVs και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας

Για τα σετ σημάτων set1 και set2 της δεύτερης πειραματικής εγκατάστασης πήραμε για την εκπαίδευση του συστήματος τα training data και των 2 σετ (σύνολο 60 σήματα) και η διαδικασία του testing έγινε ξεχωριστά για κάθε σετ. Τα αποτελέσματα φαίνονται γραφικά παρακάτω.

Set1



(α)



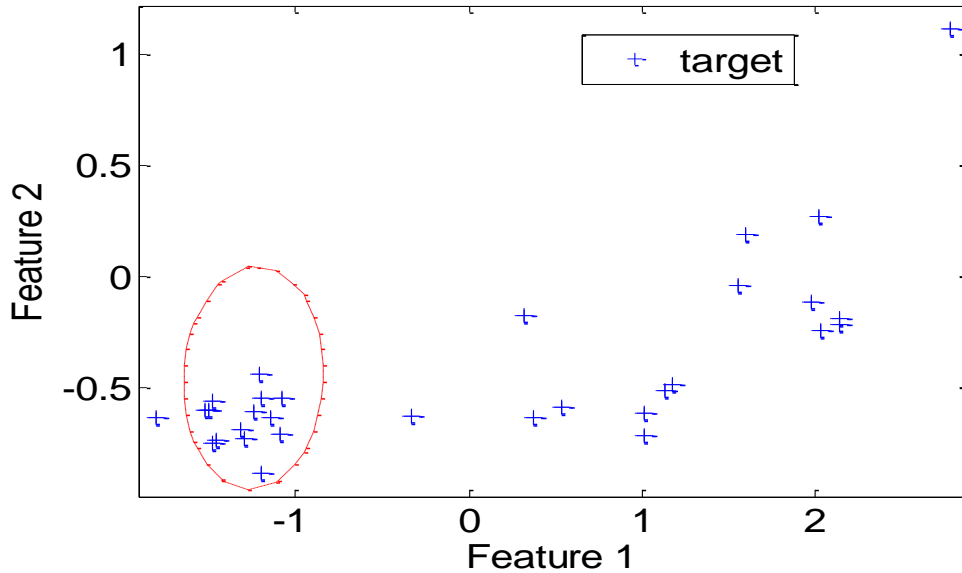
(β)

Σχήμα 4.2.10 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του set 1(α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

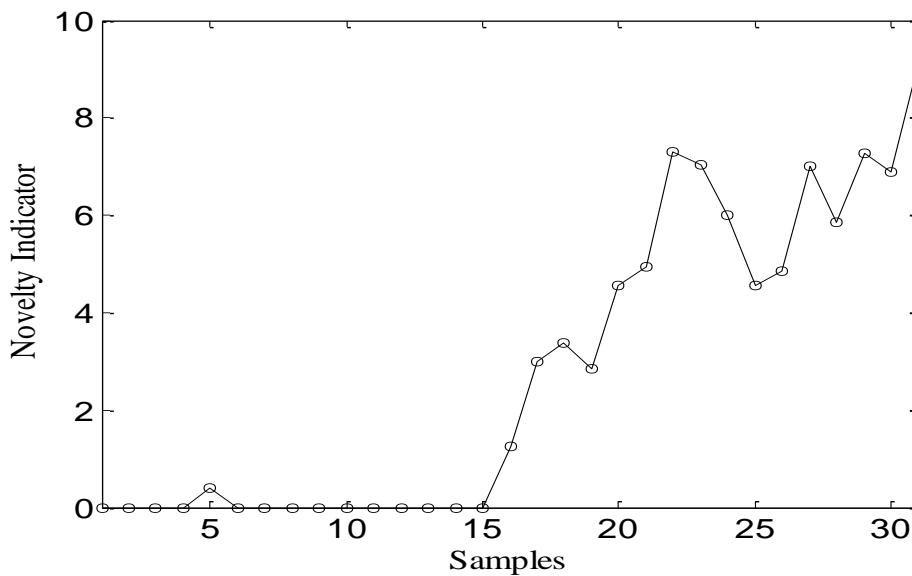
Στο σχήμα 4.2.10 (α) τα μη υγιή σήματα μας είναι 24 και συγκεκριμένα , στο σχ 4.2.10 (β) παρουσιάζονται μη υγιή τα: 3°, 5°, 7°, 11° έως 16° και 18° έως 30. Όμως, σύμφωνα με την ανάλυσή μας τα 10 πρώτα είναι υγιή και τα υπόλοιπα 22 παρουσιάζουν βλάβη. Επομένως, το σύστημα έχει θεωρήσει ως

σήμα με βλάβη το 3°, 5°, 7° σήμα που είναι υγιή ενώ τα υπόλοιπα τα έχει ανιχνεύσει σωστά. Επίσης το σήμα 17° που είναι μη υγιές το έχει ανιχνεύσει ως υγιές.

Για το Set 2



(α)



(β)

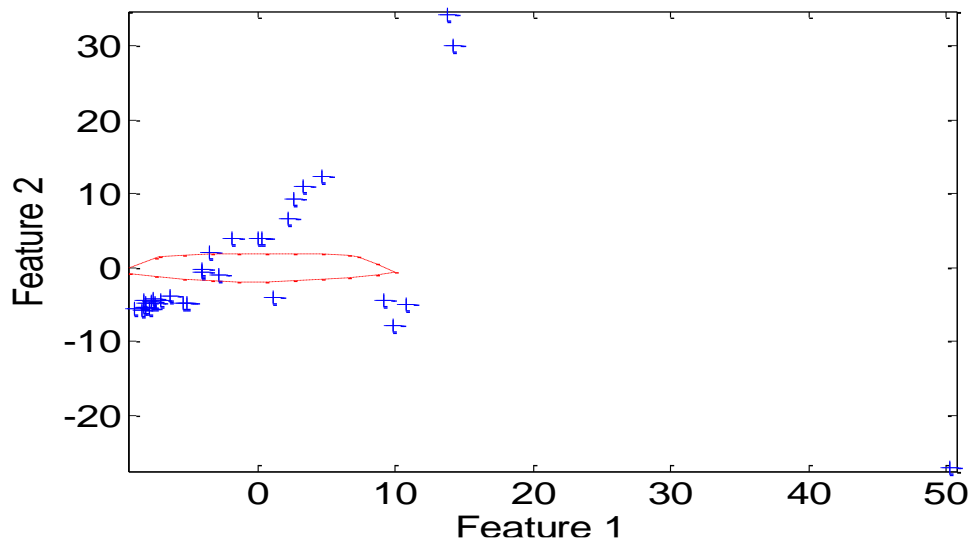
Σχήμα 4.2.11 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του set 2(α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Στο σχήμα 4.2.11 (α) τα μη υγιή σήματα μας είναι 17 και συγκεκριμένα, στο σχ 4.2.11 (β) παρουσιάζονται μη υγιή τα: 5°, 16° έως 30°. Όμως, σύμφωνα με την ανάλυσή μας τα 15 πρώτα είναι υγιή και τα υπόλοιπα 16 παρουσιάζουν βλάβη. Επομένως, το σύστημα έχει θεωρήσει ως σήμα με βλάβη το 5° σήμα που είναι υγιές ενώ τα υπόλοιπα τα έχει ανιχνεύσει σωστά.

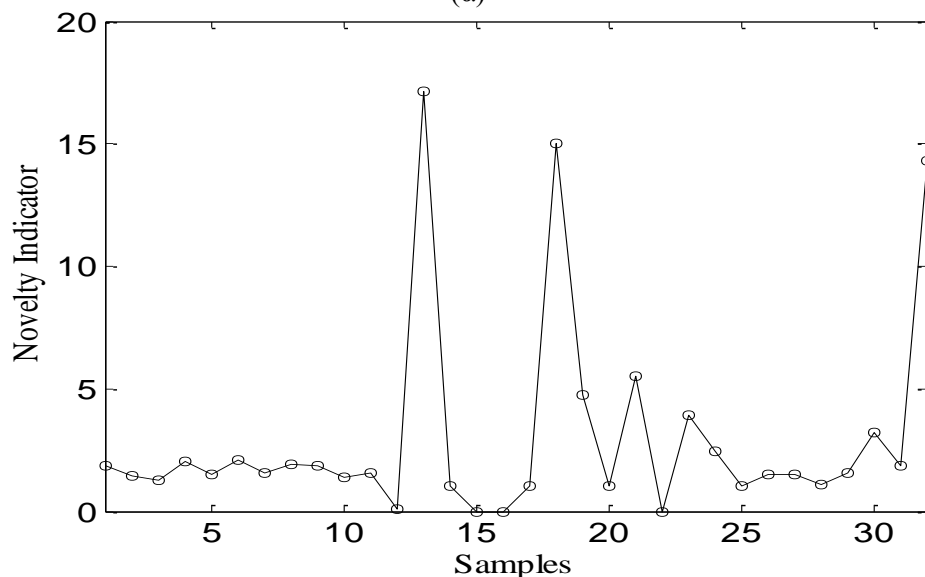
#### 4.2.5.2 Εκπαίδευση του συστήματος με χρονικούς δείκτες και ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας

Για το σετ σημάτων της δεύτερης εγκατάστασης χρησιμοποιήσαμε σαν εκπαίδευση τα 30 training data από τα 2 σετ (σύνολο 60) και μετά κάναμε το testing χρησιμοποιώντας τα testing data για το κάθε σετ σημάτων ξεχωριστά. Ακόμη και σε αυτούς όπως και στους χρονικούς δείκτες της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος pca και μετά με τους χρονικούς δείκτες που επιλέχτηκαν από αυτό, μέσω του GMM φτιάχτηκε η υπερσφαίρα καλής λειτουργίας. Τα αποτελέσματα ενδεικτικά για το set 1 παρουσιάζονται γραφικά παρακάτω. Τα γραφικά αποτελέσματα για το set 2 βρίσκονται στο Παράρτημα Γ.

Για το set 1  
Χωρίς κυρτώγραμμα



(α)



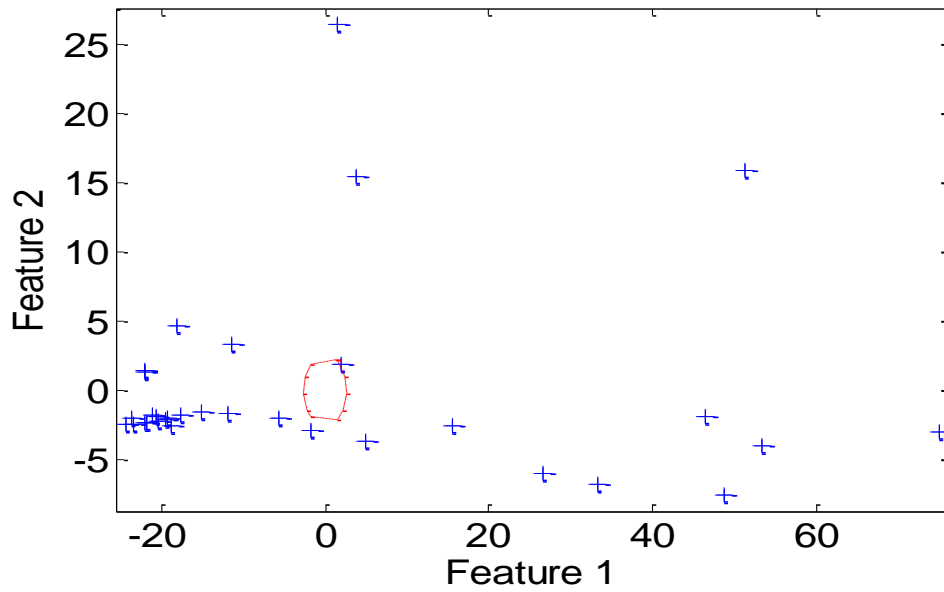
(β)

Σχήμα 4.2.12 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του set 1 με τη χρήση χρονικών δεικτών χωρίς κυρτώγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

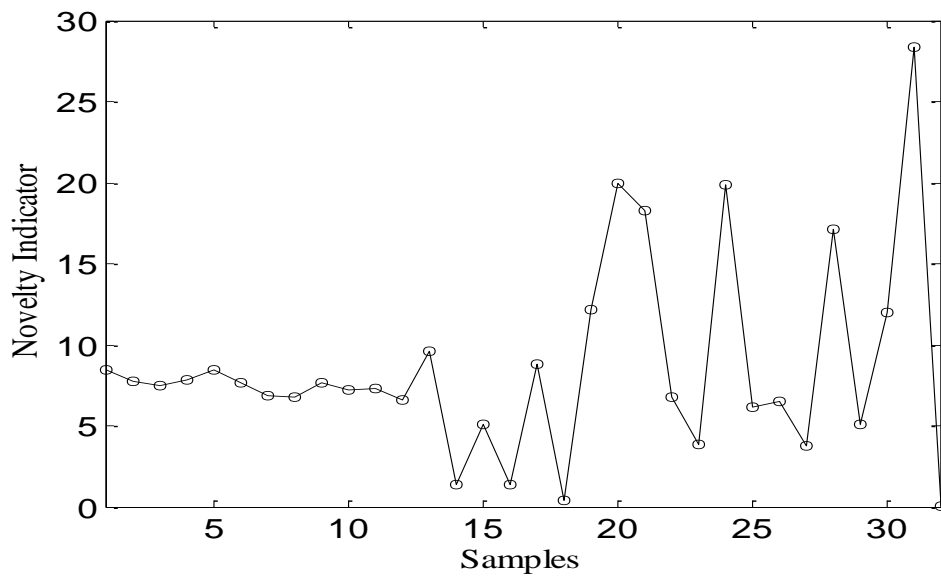
Σύμφωνα με το σχήμα 4.2.12(α) έχουμε 28 σήματα κακής λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.12(β) αυτά είναι τα 1 έως 14 και από 17 έως 21 και 23 έως 32. Τα σήματα 1 έως 10 είναι

σήμα καλής λειτουργίας ενώ ο αλγόριθμος το εντόπισε ως κακής και τα 15,16,22 είναι κακής λειτουργίας ενώ ο αλγόριθμος το εντόπισε ως καλής.

Με κυρτώγραμμα



(α)



(β)

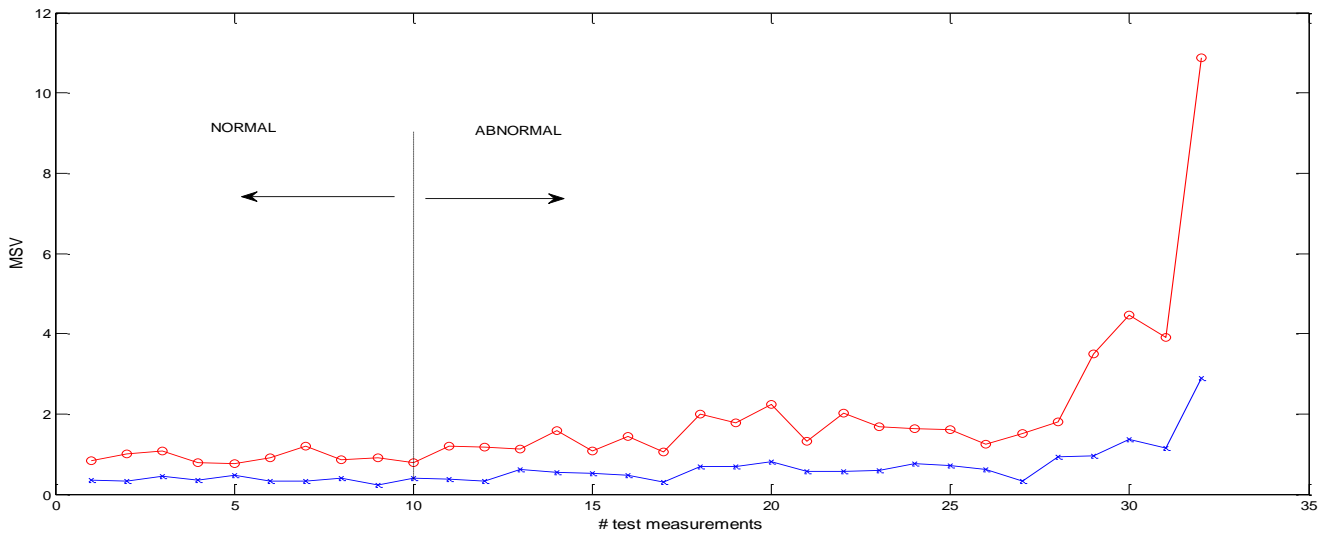
Σχήμα 4.2.13 ανίχνευση μη ομαλής λειτουργίας του set 1 με τη χρήση χρονικών δεικτών με κυρτώγραμμα (α) αναπαράσταση κατάστασης μέσω του ορίου (β) αντιστοίχιση κατάστασης με testing data

Σύμφωνα με το σχήμα 4.2.13(α) έχουμε 31 σήματα κακής λειτουργίας. Πιο συγκεκριμένα όπως φαίνεται στο σχήμα 4.2.13(β) αυτά είναι τα 1 έως 29. Τα σήματα 1 έως 10 είναι σήμα καλής λειτουργίας ενώ ο αλγόριθμος το εντόπισε ως κακής και το σήμα 32 είναι κακής λειτουργίας ενώ ο αλγόριθμος το εντόπισε ως καλής.

## 4.2.6 Ταξινόμηση βλάβης με τη χρήση των Mean Singular Values

Ακολουθείτε η ίδια διαδικασία όπως και με τα σετ σημάτων της πρώτης πειραματικής εγκατάστασης.

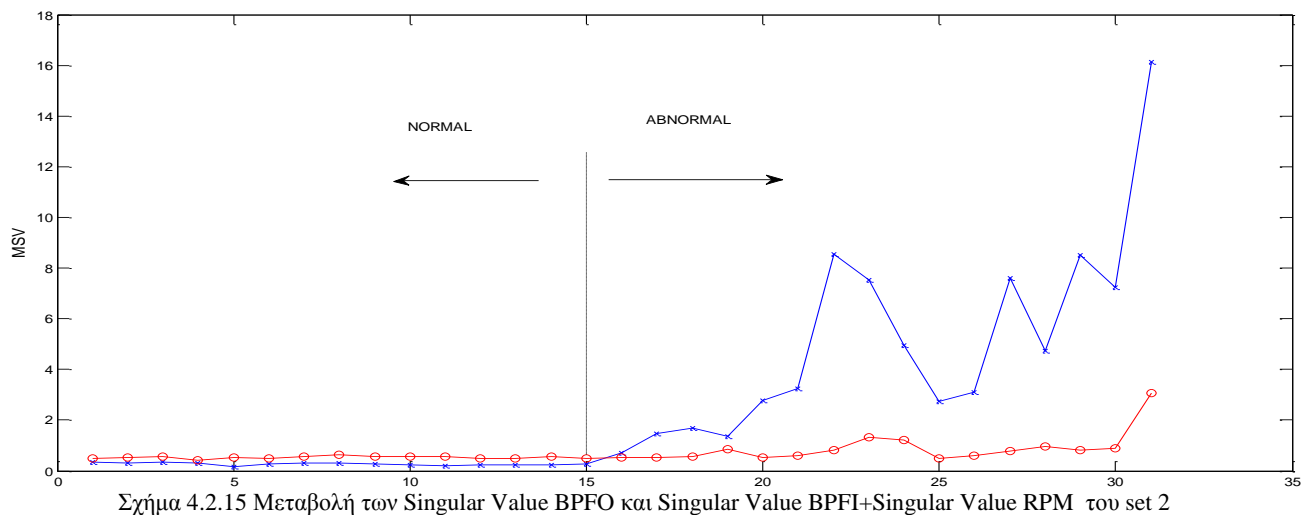
Ταξινόμηση βλάβης για το σετ Set 1



Σχήμα 4.2.14 Μεταβολή των Singular Value BPF και Singular Value BPF+Singular Value RPM του set 1

Στο σχήμα 4.2.14 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Set 1 για τα 32 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPF+Singular Value RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPF. Τα 10 πρώτα σήματα που είναι υγιή βλέπουμε ότι οι τιμές και των δύο παραμέτρων μας παραμένουν σταθερές με μεγαλύτερη την MSV BPF+MSV RPM, γεγονός που μας υποδεικνύει ότι αυτά τα σήματα δεν περιέχουν κάποια βλάβη που προφανώς ισχύει. Από το 11<sup>ο</sup> σήμα η τιμή της MSV BPF+MSV RPM αρχίζει και αυξάνει ενώ η τιμή της MSV BPF έχει αυξηθεί σε μικρότερο βαθμό και έτσι η διαφορά τους αυξάνει. Αυτό μας δείχνει ότι το ρουλεμάν παρουσιάζει βλάβη στον εσωτερικό του δακτύλιο πράγμα που ισχύει.

Ταξινόμηση βλάβης για το Set 2



Σχήμα 4.2.15 Μεταβολή των Singular Value BPF και Singular Value BPF+Singular Value RPM του set 2



Στο σχήμα 4.2.15 έχουμε τη μεταβολή των Mean Singular Values του σήματος Set 2 για τα 31 Testing data. Με κόκκινο είναι η μεταβολή των Mean Singular Values BPFI+Mean Singular Values RPM και με μπλε η μεταβολή των Mean Singular Values BPFO. Όπως βλέπουμε στα 15 πρώτα σήματα που είναι υγιή ότι οι τιμές και των δύο παραμέτρων μας παραμένουν σταθερές με μεγαλύτερη την MSV BPFI+MSV RPM, γεγονός που μας υποδεικνύει ότι αυτά τα σήματα δεν περιέχουν κάποια βλάβη που προφανώς ισχύει. Στο 16<sup>ο</sup> σήμα που είναι το πρώτο που αφορά σε ρουλεμάν με βλάβη οι τιμές των δύο είναι περίπου ίσες ενώ μετά από αυτό το σήμα η τιμή της MSV BPFO αυξάνει σημαντικά ενώ η τιμή της MSV BPFI+MSV RPM σε πολύ μικρό βαθμό. Έτσι συμπεραίνουμε ότι η βλάβη βρίσκεται στον εξωτερικό δακτύλιο του ρουλεμάν, πράγμα που ισχύει.

Συμπερασματικά, οι τιμές των Mean Singular Values μας δίνουν τη δυνατότητα να ταξινομήσουμε τη βλάβη του ρουλεμάν και μάλιστα στις περισσότερες περιπτώσεις, όπως διαπιστώθηκε και παραπάνω, από τα αρχικά στάδια εμφάνισής της.

### 4.3 Σύγκριση των αποτελεσμάτων των μεθόδων

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα με την χρησιμοποίηση των Mean Singular Values

	Bearing 1_6	Bearing 1_7	Bearing 2_1	Bearing 2_4	Bearing 3_2	Bearing 3_3	Set1	Set2
False alarm	1	1	11	1	3	1	3	1
Missed detection	3	1	0	0	2	8	1	0
Accuracy rate (%)	86.87	93.33	63.33	96.67	83.33	70	87.50	96.77

Πίνακας 4.3.1 Τα αποτελέσματα με τη χρήση των Mean Singular Values

Συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα με την χρησιμοποίηση των χρονικών δεικτών

Χωρίς κυρτώγραμμα

	Bearing 1_6	Bearing 1_7	Bearing 2_1	Bearing 2_4	Bearing 3_2	Bearing 3_3	Set1	Set2
False alarm	8	19	3	0	5	7	10	1
Missed detection	3	2	5	1	3	13	3	2
Accuracy rate (%)	63.33	30	73.33	96.67	73.33	33.33	59.37	90.32

Πίνακας 4.3.2 Αποτελέσματα με τη χρήση χρονικών δεικτών χωρίς κυρτώγραμμα

Με κυρτώγραμμα

	Bearing 1_6	Bearing 1_7	Bearing 2_1	Bearing 2_4	Bearing 3_2	Bearing 3_3	Set1	Set2
False alarm	8	7	17	1	8	3	10	5
Missed detection	3	4	2	4	5	10	1	3
Accuracy rate (%)	63.33	63.33	36.67	83.33	56.67	56.67	65.63	74.19

Πίνακας 4.3.4 Αποτελέσματα με τη χρήση χρονικών δεικτών με κυρτώγραμμα

Στον Πίνακα 4.3.5 φαίνονται συγκεντρωτικά για κάθε σετ σημάτων οι συνθήκες λειτουργίας(δύναμη και στροφές).

Σήμα		Bearing 1_6	Bearing 1_7	Bearing 2_1	Bearing 2_4	Bearing 3_2	Bearing 3_3	Set1	Set2
Συνθ. Λειτουργίας	Δύναμη (N)	4000	4000	4200	4200	5000	5000	26700	26700
	Στροφές (RPM)	1800	1800	1650	1650	1500	1500	2000	2000

Πίνακας 4.3.5 Συνθήκες λειτουργίας για κάθε τεστ σημάτων

Σήμα		Bearing 1_6	Bearing 1_7	Bearing 2_1	Bearing 2_4	Bearing 3_2	Bearing 3_3	Set1	Set2
MSVs		3	1	0	0	0	5	0	0
Time indices	Χωρίς κυρτόγρ.	3	2	0	1	0	12	0	10
	Με κυρτόγρ.	2	1	0	3	0	8	0	1

Πίνακας 4.3.6 Καθυστέρευση ανίχνευσης βλάβης για όλες τις μεθόδους

Από τα παραπάνω φαίνεται ξεκάθαρα ότι η ανίχνευση της βλάβης με τη χρησιμοποίηση των mean singular values είναι πολύ πιο αξιόπιστη σε σχέση με αυτή της χρησιμοποίησης των χρονικών δεικτών χωρίς κυρτόγραμμα αλλά και με αυτό. Ακόμη, από τον πίνακα 4.5.4 βλέπουμε τις διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας που συλλέχτηκαν οι μετρήσεις και σε όλες η μέθοδος εξαγωγής mean singular values αποδίδει καλύτερα από την μέθοδο εξαγωγής χρονικών δεικτών χωρίς την εφαρμογή του κυρτωγράμματος και με την εφαρμογή του. Εκτός από το σετ σημάτων Bearing 2\_1 όπου ο βαθμός του απόδοσης με τα MSVs είναι λίγο μικρότερος από αυτόν με τη χρήση των χρονικών δεικτών και συγκεκριμένα έχει ανιχνεύσει πολλά false alarm αλλά κανένα missed detection. Αυτό συμβαίνει, διότι τα πλάτη των σημάτων του συγκεκριμένου σετ που αφορούν σε υγιή κατάσταση έχουν μεγαλύτερο πλάτος από τα αντίστοιχα υγιή των άλλων σετ της ίδιας μηχανής, επομένως για αυτό υπάρχουν πολλά false alarm του συστήματος. Επιπρόσθετα, η ανίχνευση της βλάβης με τη χρησιμοποίηση των mean singular values όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.5.5, γίνεται σε πιο μικρό χρονικό διάστημα από ότι με τη χρησιμοποίηση των χρονικών δεικτών (με ή χωρίς κυρτόγραμμα). Πιο συγκεκριμένα, στις περισσότερες περιπτώσεις η μέθοδος με τα MSVs ανιχνεύει το σήμα αμέσως ή με μικρή καθυστέρηση σε αντίθεση με τη δεύτερη μέθοδο που στις περισσότερες περιπτώσεις το ανιχνεύει με μεγαλύτερη καθυστέρηση. Τέλος, όπως είδαμε και στα υποκεφάλαια 4.1.5 και 4.2.5 εκτός από την ανίχνευση της βλάβης σε πρώιμα στάδια τα MSVs μας δίνουν τη δυνατότητα να κατηγοριοποιήσουμε τη βλάβη στις περισσότερες περιπτώσεις από αυτά τα στάδια.

## Βιβλιογραφία

- Nikolaou N. G. and Antoniadis I. A., "Application of a morphological filter in bearing vibration signal analysis", 2002, Comadem International Conference, Birmingham, UK.
- Nikolaou N. G. and Antoniadis I. A., "Application of morphological operators as envelope extractors for impulsive-type periodic signals", 2003, Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 17, No 6, pp 1147-1162.
- M. Kang, J. Kim, Singular value decomposition based feature extraction approaches for classifying faults of induction motors, Mechanical Systems and Signal processing, 41 (2013), 348-356.
- B. Muruganatham. M. A. Sanjith, B. Krishnakumar, S. A. V. Satya Mutry, Roller element bearing fault diagnosis using singular spectrum analysis, Mechanical Systems and Signal processing, 35 (2013), 150-166.
- F. Cong, J. Chen, G. Dong, F. Zhao, Short-time matrix series based singular value decomposition for rolling bearing fault diagnosis, Mechanical Systems and Signal processing, 34 (2013), 218-230.
- B. Kilundu, X. Chiementin, P. Dehombreux, Singular spectrum analysis for bearing defect detection, Journal of Vibration and Acoustics, 133 (2011), 051007-1 - 051007-7.
- Gryllias K. C. and Antoniadis I. A., "Estimation of the instantaneous rotation speed using complex shifted Morlet wavelets", 2013, Mech. Syst. Signal Process. Vol. 38, pp 78-95
- Je'rome Antoni .Fast computation of the kurtogram for the detection of transient faults, Mechanical Systems and Signal processing, 21 (2007) pp.108-124
- N. Sawalhi\_, R.B. Randall, H. Endo. The enhancement of fault detection and diagnosis in rolling element bearings using minimum entropy deconvolution combined with spectral kurtosis, Mechanical Systems and Signal processing ,21 (2007) pp 2616-2633.
- T. Heyns, P. S. Heyns, J. P. de Villiers, Combining synchronous averaging with Gaussian mixture model novelty detection scheme for vibration-based condition monitoring of a gear box, Mechanical Systems and Signal Processing, 32 (2012), 200-215.
- W. Guo, P. W. Tse, A. Djordjevich, Faulty bearing signal recovery from large noise using a hybrid method based on spectral kurtosis and ensemble empirical mode decomposition, Measurement, 45 (2012), 1308–1322.
- S. Wang, J. Yu, E. Lapira, J. Lee, A modified support vector description based novelty detection approach for machinery components, Applied Soft Computing, 13 (2013), 1193-1205.
- Douglas Reynolds .Gaussian Mixture Models. MIT Lincoln Laboratory, 244 Wood St., Lexington, MA 02140, USA.
- J. Yu, Bearing performance degradation assessment using locality preserving projections and Gaussian mixture models, Mechanical Systems and Signal Processing, 25 (2011), 2573-2588

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Σε αυτό το παράρτημα παρατίθενται οι πίνακες που περιέχουν τις συγκεντρωτικές τιμές των Mean Singular Values για όλα τα σετ σημάτων για τις αντίστοιχες χαρακτηριστικές τους συχνότητες βλάβης για τις δύο πειραματικές εγκαταστάσεις. Η στήλη BPFO περιέχει το άθροισμα των 3 MSV από τις 3 αρμονικές, το ίδιο και η στήλη BPFI, ενώ η στήλη RPM περιέχει το άθροισμα των τιμών των 2 MSV από τις 2 αρμονικές.

- **Πρώτη πειραματική εγκατάσταση**

Bearing 1\_6

Training data	BPFO	BPFI	RPM	BPFI+RPM
b1_6_bpfi_acc_00100N	3,1856	1,8667	2,9538	4,8205
b1_6_bpfi_acc_00147N	3,7508	3,7967	3,2632	7,0599
b1_6_bpfi_acc_00194N	4,8447	4,7679	3,3439	8,1118
b1_6_bpfi_acc_00241N	3,7069	3,4300	2,0337	5,4637
b1_6_bpfi_acc_00288N	4,4145	3,9865	5,8447	9,8312
b1_6_bpfi_acc_00336N	4,4025	3,1393	3,8518	6,9911
b1_6_bpfi_acc_00383N	4,5090	3,5948	1,3227	4,9175
b1_6_bpfi_acc_00430N	5,8376	3,1298	5,5195	8,6493
b1_6_bpfi_acc_00478N	2,9129	2,8662	3,1342	6,0004
b1_6_bpfi_acc_00524N	2,6767	3,2195	3,9090	7,1285
b1_6_bpfi_acc_00571N	3,6014	2,7595	4,3895	7,1490
b1_6_bpfi_acc_00618N	3,6984	3,0801	4,1067	7,1868
b1_6_bpfi_acc_00665N	3,1787	3,1006	3,4054	6,5060
b1_6_bpfi_acc_00712N	4,5000	3,7081	2,3782	6,0863
b1_6_bpfi_acc_00759N	2,5463	2,8152	2,6136	5,4288
b1_6_bpfi_acc_00807N	1,6641	0,9067	5,4865	6,3932
b1_6_bpfi_acc_00854N	3,2608	2,7760	3,7441	6,5201
b1_6_bpfi_acc_00901N	4,3344	4,5590	4,8953	9,4543
b1_6_bpfi_acc_00948N	2,2932	2,4366	1,4974	3,9340
b1_6_bpfi_acc_00995N	2,4001	2,6618	2,5569	5,2187
b1_6_bpfi_acc_01042N	4,1029	2,8835	5,2693	8,1528
b1_6_bpfi_acc_01089N	2,5529	2,6113	2,3165	4,9278
b1_6_bpfi_acc_01136N	4,1777	3,3287	5,0597	8,3884
b1_6_bpfi_acc_01183N	2,8447	1,7222	2,1277	3,8499
b1_6_bpfi_acc_01230N	4,3616	3,4415	4,4606	7,9021
b1_6_bpfi_acc_01278N	3,1838	2,9343	2,1636	5,0979
b1_6_bpfi_acc_01325N	4,8218	3,1117	5,3401	8,4518
b1_6_bpfi_acc_01372N	4,3979	2,1814	2,4392	4,6206
b1_6_bpfi_acc_01419N	5,0245	3,7444	7,0808	10,8252
b1_6_bpfi_acc_01466N	3,8266	3,4745	4,5635	8,0380
<b>Testing data (normal)</b>				
b1_6_bpfi_acc_01513N	3,6394	3,5889	3,5775	7,1664
b1_6_bpfi_acc_01560N	4,2962	2,7759	4,0635	6,8394
b1_6_bpfi_acc_01607N	2,3091	3,1896	1,7586	4,9482
b1_6_bpfi_acc_01654N	3,7656	2,6439	4,2893	6,9332

b1_6_bpfi_acc_01702N	3,0455	2,1563	2,4768	4,6331
b1_6_bpfi_acc_01749N	3,8390	2,4847	3,7144	6,1991
b1_6_bpfi_acc_01796N	5,4149	4,2725	5,6759	9,9484
b1_6_bpfi_acc_01843N	3,2442	3,1180	4,2441	7,3621
b1_6_bpfi_acc_01890N	8,2800	7,9986	8,8352	16,8338
b1_6_bpfi_acc_01937N	3,2898	3,5958	4,4808	8,0766
b1_6_bpfi_acc_01984N	3,6756	2,8918	4,3304	7,2222
b1_6_bpfi_acc_02031N	2,6243	1,9873	1,7890	3,7763
b1_6_bpfi_acc_02078N	2,5965	2,1971	2,1369	4,3340
b1_6_bpfi_acc_02125N	4,0377	3,9730	3,5270	7,5000
b1_6_bpfi_acc_02173N	4,3661	4,6258	6,3612	10,9870
b1_6_bpfi_acc_02220N	4,2623	2,5024	2,8289	5,3313
b1_6_bpfi_acc_02267N	3,6879	3,6898	4,5452	8,2350
b1_6_bpfi_acc_02314N	3,0882	2,8556	2,4574	5,3130
b1_6_bpfi_acc_02361N	3,8560	2,0076	5,6227	7,6303
b1_6_bpfi_acc_02408N	1,8080	2,5075	1,9646	4,4721
<b>Testing data (abnormal)</b>				
b1_6_bpfi_acc_02409F	3,5562	2,2452	3,1151	5,3603
b1_6_bpfi_acc_02413F	4,9979	4,1806	5,4779	9,6585
b1_6_bpfi_acc_02417F	4,2601	4,8462	5,0297	9,8759
b1_6_bpfi_acc_02421F	11,1047	9,7713	11,2010	20,9723
b1_6_bpfi_acc_02425F	10,7604	10,9741	12,5266	23,5007
b1_6_bpfi_acc_02429F	9,3550	12,5987	12,0817	24,6804
b1_6_bpfi_acc_02433F	12,8046	15,7632	13,9861	29,7493
b1_6_bpfi_acc_02437F	14,3217	17,1501	16,9186	34,0687
b1_6_bpfi_acc_02441F	10,9364	12,3701	17,4158	29,7859
b1_6_bpfi_acc_02445F	14,3221	20,8031	17,6198	38,4229

#### Bearing 1\_7

<b>Training data</b>	<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>RPM</b>	<b>BPFI+RPM</b>
b1_7_bpfi_acc_00055N	4,3811	3,3761	4,2814	7,6575
b1_7_bpfi_acc_00099N	2,5902	2,4853	4,7251	7,2104
b1_7_bpfi_acc_00143N	4,0519	3,0665	2,0477	5,1142
b1_7_bpfi_acc_00186N	3,8938	2,2145	2,7095	4,9240
b1_7_bpfi_acc_00230N	2,9109	2,1194	1,9390	4,0584
b1_7_bpfi_acc_00274N	2,5753	2,1854	2,4177	4,6031
b1_7_bpfi_acc_00318N	2,4862	3,2918	3,0362	6,3280
b1_7_bpfi_acc_00362N	3,7819	3,2114	1,2836	4,4950
b1_7_bpfi_acc_00405N	2,2684	1,0607	2,5360	3,5967
b1_7_bpfi_acc_00449N	3,4847	2,6821	2,7349	5,4170
b1_7_bpfi_acc_00493N	2,5293	2,4480	0,8509	3,2989
b1_7_bpfi_acc_00536N	2,2008	1,3363	4,3764	5,7127
b1_7_bpfi_acc_00581N	2,2969	1,4766	3,0777	4,5543
b1_7_bpfi_acc_00624N	2,4932	2,1236	2,4575	4,5811

b1_7_bpfi_acc_00668N	2,3028	1,5653	2,1202	3,6855
b1_7_bpfi_acc_00712N	2,0582	1,4437	3,2117	4,6554
b1_7_bpfi_acc_00756N	3,6722	2,3333	1,3867	3,7200
b1_7_bpfi_acc_00800N	2,7493	2,2253	1,5283	3,7536
b1_7_bpfi_acc_00843N	2,9454	1,5601	2,0587	3,6188
b1_7_bpfi_acc_00887N	4,2690	2,8784	2,2497	5,1281
b1_7_bpfi_acc_00931N	3,4738	2,6058	3,2280	5,8338
b1_7_bpfi_acc_00975N	3,5958	2,6978	3,1959	5,8937
b1_7_bpfi_acc_01019N	3,4633	2,9752	3,4566	6,4318
b1_7_bpfi_acc_01062N	2,0784	1,4332	6,3446	7,7778
b1_7_bpfi_acc_01106N	3,2964	2,4339	4,1635	6,5974
b1_7_bpfi_acc_01150N	2,9957	2,4079	4,1913	6,5992
b1_7_bpfi_acc_01194N	2,7192	3,5711	4,5290	8,1001
b1_7_bpfi_acc_01238N	3,6741	3,9169	4,5383	8,4552
b1_7_bpfi_acc_01281N	3,0128	4,3703	4,7052	9,0755
b1_7_bpfi_acc_01325N	3,5747	5,2693	3,5489	8,8182
<b>Testing data(normal)</b>				
b1_7_bpfi_acc_01369N	4,5264	3,0764	3,7806	6,8570
b1_7_bpfi_acc_01413N	4,5699	2,8610	3,7182	6,5792
b1_7_bpfi_acc_01457N	4,0114	3,9315	7,4003	11,3318
b1_7_bpfi_acc_01500N	4,0945	4,0016	5,6061	9,6077
b1_7_bpfi_acc_01544N	4,0699	3,0392	4,4411	7,4803
b1_7_bpfi_acc_01588N	6,0120	5,1813	7,7337	12,9150
b1_7_bpfi_acc_01632N	3,8131	2,7015	9,1791	11,8806
b1_7_bpfi_acc_01675N	4,6414	4,5548	7,9455	12,5003
b1_7_bpfi_acc_01719N	4,2406	4,6692	7,2667	11,9359
b1_7_bpfi_acc_01763N	4,3757	3,3715	6,0967	9,4682
b1_7_bpfi_acc_01807N	3,9883	5,2257	6,7544	11,9801
b1_7_bpfi_acc_01851N	3,6777	4,4418	6,5486	10,9904
b1_7_bpfi_acc_01894N	3,9625	3,0863	5,4585	8,5448
b1_7_bpfi_acc_01938N	4,2974	2,4144	5,3880	7,8024
b1_7_bpfi_acc_01982N	3,7171	3,4935	5,0701	8,5636
b1_7_bpfi_acc_02026N	3,2427	4,5683	7,0043	11,5726
b1_7_bpfi_acc_02070N	3,5037	2,8710	6,2434	9,1144
b1_7_bpfi_acc_02113N	3,8757	3,1370	6,8424	9,9794
b1_7_bpfi_acc_02157N	4,1447	4,0896	3,8834	7,9730
b1_7_bpfi_acc_02201N	4,3599	3,9863	3,8219	7,8082
<b>Testing data(abnormal)</b>				
b1_7_bpfi_acc_02202F	5,9561	5,9574	7,3800	13,3374
b1_7_bpfi_acc_02207F	4,3344	8,6202	4,7102	13,3304
b1_7_bpfi_acc_02212F	20,0159	28,8144	9,5746	38,3890
b1_7_bpfi_acc_02217F	18,6407	49,6693	24,1346	73,8039
b1_7_bpfi_acc_02222F	22,5620	52,4634	26,5426	79,0060
b1_7_bpfi_acc_02227F	25,6318	57,3650	35,6014	92,9664

b1_7_bpfi_acc_02232F	15,9612	25,4505	8,9155	34,3660
b1_7_bpfi_acc_02237F	14,3866	21,3837	15,1160	36,4997
b1_7_bpfi_acc_02242F	17,3286	33,8161	29,6806	63,4967
b1_7_bpfi_acc_02247F	20,9501	31,2767	28,8848	60,1615

Bearing 2\_1

Training data	BPFO	BPFI	RPM	BPFI+RPM
b2_1_bpfi_acc_00010N	4,2263	3,7843	4,5144	8,2987
b2_1_bpfi_acc_00028N	2,9331	1,4996	6,4143	7,9139
b2_1_bpfi_acc_00045N	4,6697	3,4997	6,3734	9,8731
b2_1_bpfi_acc_00063N	2,8212	1,6554	4,4620	6,1174
b2_1_bpfi_acc_00081N	1,6483	0,9911	3,7912	4,7823
b2_1_bpfi_acc_00098N	3,6815	2,9416	3,9810	6,9226
b2_1_bpfi_acc_00116N	4,2202	4,4432	2,8012	7,2444
b2_1_bpfi_acc_00133N	3,0345	2,8032	6,7599	9,5631
b2_1_bpfi_acc_00151N	4,8022	3,0120	7,0069	10,0189
b2_1_bpfi_acc_00169N	4,5482	4,1733	3,6837	7,8570
b2_1_bpfi_acc_00186N	5,7627	4,7541	5,0606	9,8147
b2_1_bpfi_acc_00204N	3,3506	3,4648	4,8114	8,2762
b2_1_bpfi_acc_00222N	3,3013	2,4426	6,8328	9,2754
b2_1_bpfi_acc_00239N	5,5217	4,3628	3,5558	7,9186
b2_1_bpfi_acc_00257N	5,1792	8,1975	4,5412	12,7387
b2_1_bpfi_acc_00274N	5,8023	3,8014	5,1147	8,9161
b2_1_bpfi_acc_00292N	6,4361	6,9608	8,2267	15,1875
b2_1_bpfi_acc_00310N	9,1106	7,7212	9,3295	17,0507
b2_1_bpfi_acc_00327N	2,9937	1,8579	9,0726	10,9305
b2_1_bpfi_acc_00345N	7,3435	8,1421	8,2160	16,3581
b2_1_bpf_acc_00363N	6,4967	4,3657	8,6674	13,0331
b2_1_bpfi_acc_00380N	6,3515	4,4210	3,6687	8,0897
b2_1_bpfi_acc_00398N	5,7639	3,8846	4,5221	8,4067
b2_1_bpfi_acc_00416N	5,4314	4,6828	7,1724	11,8552
b2_1_bpfi_acc_00433N	5,8118	3,8076	6,7522	10,5598
b2_1_bpfi_acc_00451N	3,8832	2,6468	6,9669	9,6137
b2_1_bpfi_acc_00468N	5,2087	6,4540	4,2937	10,7477
b2_1_bpfi_acc_00486N	5,9075	5,0421	6,0363	11,0784
b2_1_bpfi_acc_00504N	5,2691	4,0349	4,6717	8,7066
b2_1_bpfi_acc_00521N	6,1745	5,0132	4,5089	9,5221
<b>Testing data (normal)</b>				0,0000
b2_1_bpfi_acc_00539N	4,3715	2,2984	15,1300	17,4284
b2_1_bpfi_acc_00557N	4,3803	1,4788	8,7079	10,1867
b2_1_bpfi_acc_00574N	8,4851	6,9409	8,4500	15,3909
b2_1_bpfi_acc_00592N	2,9385	2,0169	10,2201	12,2370
b2_1_bpfi_acc_00610N	10,9534	7,9575	6,0769	14,0344
b2_1_bpfi_acc_00627N	6,9978	6,4831	6,2093	12,6924
b2_1_bpfi_acc_00645N	7,9563	6,3281	5,5539	11,8820

b2_1_bpfi_acc_00662N	3,7879	3,0337	9,1947	12,2284
b2_1_bpfi_acc_00680N	5,3893	3,6421	10,4809	14,1230
b2_1_bpfi_acc_00698N	6,7689	4,9391	7,0936	12,0327
b2_1_bpfi_acc_00715N	7,1976	5,7324	4,7634	10,4958
b2_1_bpfi_acc_00733N	7,6679	6,6459	7,3977	14,0436
b2_1_bpfi_acc_00751N	4,5101	2,1910	6,6889	8,8799
b2_1_bpfi_acc_00768N	6,5407	5,9785	3,3833	9,3618
b2_1_bpfi_acc_00786N	6,1647	5,2473	4,7887	10,0360
b2_1_bpfi_acc_00803N	5,4364	5,1033	5,1690	10,2723
b2_1_bpfi_acc_00821N	9,0486	8,7895	7,1982	15,9877
b2_1_bpfi_acc_00839N	10,1686	8,3547	6,5749	14,9296
b2_1_bpfi_acc_00856N	6,7411	4,8717	4,8193	9,6910
b2_1_bpfi_acc_00874N	6,0368	6,3257	1,7172	8,0429
<b>Testing data(abnormal)</b>				
b2_1_bpfi_acc_00875F	10,7489	13,0931	12,9790	26,0721
b2_1_bpfi_acc_00878F	11,8700	9,7069	11,0470	20,7539
b2_1_bpfi_acc_00881F	8,8287	11,9848	11,1321	23,1169
b2_1_bpfi_acc_00884F	7,7712	12,9126	11,5791	24,4917
b2_1_bpfi_acc_00887F	8,5545	13,2463	9,6269	22,8732
b2_1_bpfi_acc_00890F	9,7793	15,1354	13,6248	28,7602
b2_1_bpfi_acc_00893F	13,7867	12,2304	16,0270	28,2574
b2_1_bpfi_acc_00896F	13,6917	12,8747	12,9149	25,7896
b2_1_bpfi_acc_00899F	13,9837	11,8902	17,6614	29,5516
b2_1_bpfi_acc_00902F	14,7581	15,3406	27,1467	42,4873

#### Bearing 2\_4

<b>Training data</b>	<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>RPM</b>	<b>BPFI+RPM</b>
b2_4_bpfo_acc_00005N	3,6998	2,9241	4,2840	7,2081
b2_4_bpfo_acc_00019N	3,2813	4,1723	1,8524	6,0247
b2_4_bpfo_acc_00033N	3,7604	2,0899	2,2053	4,2952
b2_4_bpfo_acc_00046N	1,9489	1,9767	3,3280	5,3047
b2_4_bpfo_acc_00060N	3,8442	2,7946	3,1901	5,9847
b2_4_bpfo_acc_00073N	3,8313	3,0491	3,2267	6,2758
b2_4_bpfo_acc_00087N	1,9885	1,2664	4,2931	5,5595
b2_4_bpfo_acc_00100N	2,9428	3,4001	3,2378	6,6379
b2_4_bpfo_acc_00114N	3,2135	3,3784	2,8557	6,2341
b2_4_bpfo_acc_00128N	1,6340	1,4014	4,5454	5,9468
b2_4_bpfo_acc_00141N	2,4871	1,4426	5,4545	6,8971
b2_4_bpfo_acc_00155N	3,6778	2,2908	2,3189	4,6097
b2_4_bpfo_acc_00169N	2,4202	3,2137	3,1800	6,3937
b2_4_bpfo_acc_00182N	3,6725	2,6068	3,0264	5,6332
b2_4_bpfo_acc_00196N	3,6366	2,4785	2,2568	4,7353
b2_4_bpfo_acc_00210N	2,9316	2,4292	2,8081	5,2373
b2_4_bpfo_acc_00223N	2,2745	1,0880	3,0592	4,1472
b2_4_bpfo_acc_00237N	4,1559	3,2899	3,1377	6,4276



b2_4_bpfo_acc_00251N	3,7533	3,2618	3,2529	6,5147
b2_4_bpfo_acc_00264N	2,7276	2,8412	1,9293	4,7705
b2_4_bpfo_acc_00278N	4,9279	3,7658	3,6381	7,4039
b2_4_bpfo_acc_00291N	3,0727	2,5976	2,2296	4,8272
b2_4_bpfo_acc_00305N	4,5389	4,2408	6,6091	10,8499
b2_4_bpfo_acc_00319N	5,8571	5,8167	11,8159	17,6326
b2_4_bpfo_acc_00332N	3,6324	2,2849	5,0484	7,3333
b2_4_bpfo_acc_00346N	2,6282	3,1867	1,8202	5,0069
b2_4_bpfo_acc_00360N	2,9732	3,7310	2,7639	6,4949
b2_4_bpfo_acc_00373N	2,5419	2,9574	2,1549	5,1123
b2_4_bpfo_acc_00387N	3,7979	2,0140	3,4633	5,4773
b2_4_bpfo_acc_00401N	4,5351	3,2605	3,4007	6,6612
<b>Testing data (normal)</b>				0,0000
b2_4_bpfo_acc_00414N	2,6994	3,2102	3,4191	6,6293
b2_4_bpfo_acc_00428N	2,3076	2,3234	2,1109	4,4343
b2_4_bpfo_acc_00442N	3,1675	2,8529	3,7951	6,6480
b2_4_bpfo_acc_00455N	2,7159	2,7817	2,9369	5,7186
b2_4_bpfo_acc_00469N	2,2024	1,8191	2,1468	3,9659
b2_4_bpfo_acc_00483N	2,4037	2,3808	1,5658	3,9466
b2_4_bpfo_acc_00496N	3,6196	2,2198	2,6242	4,8440
b2_4_bpfo_acc_00510N	2,7301	2,0498	2,1779	4,2277
b2_4_bpfo_acc_00524N	2,1222	2,5315	2,9403	5,4718
b2_4_bpfo_acc_00537N	2,2850	1,4881	2,1538	3,6419
b2_4_bpfo_acc_00551N	2,5667	1,8298	2,0972	3,9270
b2_4_bpfo_acc_00565N	2,9848	1,9031	3,5602	5,4633
b2_4_bpfo_acc_00578N	2,1037	2,0948	2,6146	4,7094
b2_4_bpfo_acc_00592N	1,9501	1,4494	2,0649	3,5143
b2_4_bpfo_acc_00605N	3,0498	2,6956	2,9049	5,6005
b2_4_bpfo_acc_00619N	2,2054	1,9186	4,5760	6,4946
b2_4_bpfo_acc_00633N	1,8135	2,0675	2,2927	4,3602
b2_4_bpfo_acc_00647N	2,3348	1,9465	2,1414	4,0879
b2_4_bpfo_acc_00660N	1,9818	2,1983	2,1296	4,3279
b2_4_bpfo_acc_00674N	2,6169	2,6075	4,1059	6,7134
b2_4_bpfo_acc_00687N	2,0948	2,0033	1,3424	3,3457
b2_4_bpfo_acc_00701N	2,4586	2,0036	3,9699	5,9735
b2_4_bpfo_acc_00715N	1,9551	1,9598	2,1889	4,1487
b2_4_bpfo_acc_00728N	2,5252	2,7548	2,2801	5,0349
b2_4_bpfo_acc_00742N	5,0137	1,9114	1,7736	3,6850
<b>Testing data(abnormal)</b>				
b2_4_bpfo_acc_00743F	8,0735	3,5304	1,2915	4,8219
b2_4_bpfo_acc_00745F	36,5193	6,4167	4,6772	11,0939
b2_4_bpfo_acc_00747F	30,0269	5,5829	3,0559	8,6388
b2_4_bpfo_acc_00749F	33,3688	6,0578	5,3087	11,3665
b2_4_bpfo_acc_00751F	43,3383	9,8670	4,9910	14,8580

Bearing 3\_2

<b>Training data</b>	<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>RPM</b>	<b>BPFI+RPM</b>
b3_2_bpfi_acc_00015N	5,0592	5,0592	2,5150	7,5742
b3_2_bpfi_acc_00047N	6,5843	5,6894	4,2957	9,9851
b3_2_bpfi_acc_00079N	6,7468	4,6647	3,2146	7,8793
b3_2_bpfi_acc_00111N	3,2267	2,5423	2,7725	5,3148
b3_2_bpfi_acc_00143N	2,6360	3,1332	2,0709	5,2041
b3_2_bpfi_acc_00175N	2,6321	2,3206	2,8597	5,1803
b3_2_bpfi_acc_00207N	2,6360	3,1332	2,0709	5,2041
b3_2_bpfi_acc_00239N	2,5058	2,5446	5,0399	7,5845
b3_2_bpfi_acc_00271N	2,7353	3,3947	3,5670	6,9617
b3_2_bpfi_acc_00303N	3,2191	3,1927	3,1046	6,2973
b3_2_bpfi_acc_00335N	4,4403	4,4403	3,8197	8,2600
b3_2_bpfi_acc_00367N	3,2872	3,2612	3,3486	6,6098
b3_2_bpfi_acc_00399N	3,2702	3,2702	5,1962	8,4664
b3_2_bpfi_acc_00431N	4,2287	3,5706	5,7544	9,3250
b3_2_bpfi_acc_00463N	3,7415	2,9452	2,8767	5,8219
b3_2_bpfi_acc_00495N	2,5321	2,9214	3,1085	6,0299
b3_2_bpfi_acc_00527N	2,4114	2,4114	4,0270	6,4384
b3_2_bpfi_acc_00559N	3,5069	3,3194	5,5035	8,8229
b3_2_bpfi_acc_00591N	2,6033	2,5971	3,2965	5,8936
b3_2_bpfi_acc_00623N	2,4184	2,3881	4,1282	6,5163
b3_2_bpfi_acc_00655N	4,1543	3,5443	5,0432	8,5875
b3_2_bpfi_acc_00687N	3,3482	2,6444	5,2570	7,9014
b3_2_bpfi_acc_00719N	3,2950	3,2630	3,3170	6,5800
b3_2_bpfi_acc_00751N	2,2951	3,2174	2,7110	5,9284
b3_2_bpfi_acc_00783N	3,1184	2,8666	2,9039	5,7705
b3_2_bpfi_acc_00815N	4,7030	3,3260	5,2785	8,6045
b3_2_bpfi_acc_00847N	3,2795	2,7586	4,2823	7,0409
b3_2_bpfi_acc_00880N	2,4247	2,5380	2,6384	5,1764
b3_2_bpfi_acc_00912N	5,3098	3,4531	6,0058	9,4589
b3_2_bpfi_acc_00944N	4,8291	2,3032	6,8761	9,1793
<b>Testing data(normal)</b>				0,0000
b3_2_bpfi_acc_00976N	2,3815	2,0679	3,7204	5,7883
b3_2_bpfi_acc_01008N	3,7826	2,5104	5,0911	7,6015
b3_2_bpfi_acc_01039N	3,8577	3,3296	5,8041	9,1337
b3_2_bpfi_acc_01071N	2,5903	2,9219	4,7138	7,6357
b3_2_bpfi_acc_01104N	4,1907	4,0370	5,3683	9,4053
b3_2_bpfi_acc_01136N	3,9323	3,5978	5,7626	9,3604
b3_2_bpfi_acc_01168N	4,1197	2,5731	7,4616	10,0347
b3_2_bpfi_acc_01199N	1,9902	2,2326	4,4183	6,6509
b3_2_bpfi_acc_01232N	4,3442	3,4557	7,4687	10,9244
b3_2_bpfi_acc_01264N	5,6061	3,6077	5,9954	9,6031
b3_2_bpfi_acc_01296N	3,9160	2,8455	6,6225	9,4680

b3_2_bpfi_acc_01328N	3,9426	2,8098	4,5867	7,3965
b3_2_bpfi_acc_01360N	4,7828	2,8814	4,3125	7,1939
b3_2_bpfi_acc_01392N	2,6228	3,0944	4,4852	7,5796
b3_2_bpfi_acc_01424N	2,4518	2,5600	2,4041	4,9641
b3_2_bpfi_acc_01456N	9,4317	3,7735	3,1653	6,9388
b3_2_bpfi_acc_01488N	6,5925	4,3576	2,6612	7,0188
b3_2_bpfi_acc_01520N	2,2769	1,7599	1,2007	2,9606
b3_2_bpfi_acc_01552N	2,6030	1,9055	2,4074	4,3129
b3_2_bpfi_acc_01584N	2,7817	2,6723	2,5372	5,2095
<b>Testing data (abnormal)</b>				
b3_2_bpfi_acc_01585F	5,9697	8,5237	6,7340	15,2577
b3_2_bpfi_acc_01590F	6,1759	7,3266	5,7671	13,0937
b3_2_bpfi_acc_01595F	6,6951	6,9810	4,2164	11,1974
b3_2_bpfi_acc_01600F	6,1091	7,7316	6,6804	14,4120
b3_2_bpfi_acc_01605F	6,3419	8,2649	7,2622	15,5271
b3_2_bpfi_acc_01610F	8,6055	11,8680	8,8000	20,6680
b3_2_bpfi_acc_01615F	7,7046	12,7755	8,4986	21,2741
b3_2_bpfi_acc_01620F	14,8501	22,5934	14,6374	37,2308
b3_2_bpfi_acc_01625F	29,1868	25,6374	22,5147	48,1521
b3_2_bpfi_acc_01630F	26,6812	31,2977	25,7074	57,0051

### Bearing 3\_3

<b>Training data</b>	<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>RPM</b>	<b>BPFI+RPM</b>
b3_3_bpfo_acc_00001N	3,7794	2,8458	2,2910	5,1368
b3_3_bpfo_acc_00009N	6,2496	3,7666	3,8653	7,6319
b3_3_bpfo_acc_00017N	3,0614	2,0673	1,9033	3,9706
b3_3_bpfo_acc_00024N	1,8338	1,7662	3,4050	5,1712
b3_3_bpfo_acc_00032N	3,0545	3,0578	4,0983	7,1561
b3_3_bpfo_acc_00040N	3,0963	3,3744	2,2641	5,6385
b3_3_bpfo_acc_00047N	1,4405	1,1477	3,1955	4,3432
b3_3_bpfo_acc_00055N	2,6648	3,2108	2,6159	5,8267
b3_3_bpfo_acc_00063N	2,8433	2,8433	1,6922	4,5355
b3_3_bpfo_acc_00071N	1,6877	1,4863	4,3602	5,8465
b3_3_bpfo_acc_00079N	2,5309	1,4246	1,7179	3,1425
b3_3_bpfo_acc_00086N	2,5062	2,2905	1,7311	4,0216
b3_3_bpfo_acc_00094N	1,6287	0,6288	2,2560	2,8848
b3_3_bpfo_acc_00102N	1,6215	0,8975	3,5082	4,4057
b3_3_bpfo_acc_00109N	1,9989	1,7902	2,2081	3,9983
b3_3_bpfo_acc_00117N	2,1850	2,1850	2,4508	4,6358
b3_3_bpfo_acc_00125N	2,2009	1,8051	2,1260	3,9311
b3_3_bpfo_acc_00133N	1,9773	2,1367	2,9648	5,1015
b3_3_bpfo_acc_00140N	3,1417	2,2320	2,4641	4,6961
b3_3_bpfo_acc_00148N	1,7935	2,2629	1,2947	3,5576
b3_3_bpfo_acc_00156N	2,1826	1,6390	2,6219	4,2609
b3_3_bpfo_acc_00164N	3,2356	2,5211	2,8147	5,3358

b3_3_bpfo_acc_00171N	1,3444	1,1554	2,9774	4,1328
b3_3_bpfo_acc_00179N	2,6423	2,4390	1,7487	4,1877
b3_3_bpfo_acc_00187N	1,5085	1,5279	2,1035	3,6314
b3_3_bpfo_acc_00195N	1,7751	2,4238	1,6487	4,0725
b3_3_bpfo_acc_00202N	1,2381	0,4623	4,1568	4,6191
b3_3_bpfo_acc_00210N	2,8343	2,5983	3,3726	5,9709
b3_3_bpfo_acc_00218N	2,0164	1,7872	1,0044	2,7916
b3_3_bpfo_acc_00226N	2,0369	2,0569	2,1653	4,2222
<b>Testing data(normal data)</b>				
b3_3_bpfo_acc_00233N	1,6280	2,2645	3,2889	5,5534
b3_3_bpfo_acc_00241N	2,1722	1,5763	2,2237	3,8000
b3_3_bpfo_acc_00249N	2,3278	1,6314	1,6019	3,2333
b3_3_bpfo_acc_00257N	1,4813	1,5292	1,9619	3,4911
b3_3_bpfo_acc_00264N	2,1139	1,7647	1,2862	3,0509
b3_3_bpfo_acc_00272N	2,0628	1,2261	2,3087	3,5348
b3_3_bpfo_acc_00280N	2,4561	1,9962	3,6263	5,6225
b3_3_bpfo_acc_00287N	2,6576	1,7753	2,8675	4,6428
b3_3_bpfo_acc_00295N	2,6654	2,3065	1,8030	4,1095
b3_3_bpfo_acc_00303N	3,2847	2,0477	2,3478	4,3955
b3_3_bpfo_acc_00311N	2,6716	1,8661	3,7937	5,6598
b3_3_bpfo_acc_00319N	3,7347	4,7556	5,8272	10,5828
b3_3_bpfo_acc_00326N	5,3015	3,5778	5,1125	8,6903
b3_3_bpfo_acc_00334N	5,2299	5,2299	3,8833	9,1132
b3_3_bpfo_acc_00342N	5,7062	5,7062	6,2944	12,0006
<b>Testing data (abnormal)</b>				
b3_3_bpfo_acc_00343F	4,7811	3,9610	4,8728	8,8338
b3_3_bpfo_acc_00349F	5,6353	6,6072	3,4747	10,0819
b3_3_bpfo_acc_00356F	6,8646	5,7738	3,8857	9,6595
b3_3_bpfo_acc_00362F	6,2486	4,3304	6,5642	10,8946
b3_3_bpfo_acc_00369F	6,8240	6,2550	3,7847	10,0397
b3_3_bpfo_acc_00375F	7,4561	5,8981	5,6494	11,5475
b3_3_bpfo_acc_00382F	4,5754	3,1442	6,4453	9,5895
b3_3_bpfo_acc_00389F	6,6947	6,6947	5,3554	12,0501
b3_3_bpfo_acc_00395F	8,1391	6,5407	5,9357	12,4764
b3_3_bpfo_acc_00401F	7,5403	7,2186	4,2245	11,4431
b3_3_bpfo_acc_00408F	8,3889	7,6033	4,5084	12,1117
b3_3_bpfo_acc_00414F	9,0636	7,4982	4,8028	12,3010
b3_3_bpfo_acc_00421F	5,9838	5,8231	3,2645	9,0876
b3_3_bpfo_acc_00427F	37,0110	7,0446	6,0311	13,0757
b3_3_bpfo_acc_00434F	30,1673	8,2653	7,7587	16,0240

- Δεύτερη πειραματική εγκατάσταση

Set 1

Training data	BPFO	BPFI	RPM	BPFI+RPM
S1_BPFI_1022_1944_C5_N	0,3095	0,2311	0,2979	0,5290
S1_BPFI_1023_0704_C5_N	0,1544	0,0916	0,4606	0,5522
S1_BPFI_1029_1439_C5_N	0,3478	0,2413	0,3054	0,5467
S1_BPFI_1029_2249_C5_N	0,3646	0,2837	0,3077	0,5914
S1_BPFI_1031_0629_C5_N	0,2703	0,1927	0,7194	0,9121
S1_BPFI_1031_1251_C5_N	0,1932	0,1107	0,5615	0,6722
S1_BPFI_1031_1941_C5_N	0,3170	0,3565	0,5105	0,8670
S1_BPFI_1101_0701_C5_N	0,2685	0,2439	0,4930	0,7369
S1_BPFI_1101_1241_C5_N	0,2813	0,1751	0,4873	0,6624
S1_BPFI_1101_1821_C5_N	0,2389	0,2067	0,5764	0,7831
S1_BPFI_1107_1601_C5_N	0,2758	0,2250	0,6876	0,9126
S1_BPFI_1107_2041_C5_N	0,2897	0,1350	0,8949	1,0299
S1_BPFI_1108_1451_C5_N	0,2365	0,1137	1,1667	1,2804
S1_BPFI_1109_0221_C5_N	0,2850	0,3049	0,2774	0,5823
S1_BPFI_1109_0751_C5_N	0,3148	0,2868	0,3602	0,6470
S1_BPFI_1109_1335_C5_N	0,3147	0,2863	0,4978	0,7841
S1_BPFI_1110_0425_C5_N	0,2691	0,1201	0,7607	0,8808
S1_BPFI_1110_1015_C5_N	0,2108	0,1257	0,7422	0,8679
S1_BPFI_1110_1555_C5_N	0,3690	0,2506	0,5207	0,7713
S1_BPFI_1114_2208_C5_N	0,4551	0,2859	0,4219	0,7078
S1_BPFI_1115_0558_C5_N	0,3736	0,3292	0,2362	0,5654
S1_BPFI_1115_0938_C5_N	0,3506	0,2804	0,3631	0,6435
S1_BPFI_1115_2058_C5_N	0,5733	0,3320	0,5536	0,8856
S1_BPFI_1116_0228_C5_N	0,4029	0,3783	0,4500	0,8283
S1_BPFI_1116_0818_C5_N	0,2731	0,2147	0,8106	1,0253
S1_BPFI_1116_1948_C5_N	0,3515	0,3470	0,3277	0,6747
S1_BPFI_1117_1018_C5_N	0,2561	0,1868	1,1037	1,2905
S1_BPFI_1117_2042_C5_N	0,2207	0,1108	0,7425	0,8533
S1_BPFI_1118_0812_C5_N	0,3818	0,3036	0,4779	0,7815
S1_BPFI_1118_1912_C5_N	0,2212	0,1655	0,5241	0,6896
<b>Testing data( normal)</b>				
S1_BPFI_1119_0912_C5_N	0,3624	0,3105	0,5298	0,8403
S1_BPFI_1119_2156_C5_N	0,3366	0,2788	0,7145	0,9933
S1_BPFI_1120_1150_C5_N	0,4560	0,3448	0,7392	1,0840
S1_BPFI_1120_1719_C5_N	0,3420	0,3380	0,4439	0,7819
S1_BPFI_1121_0404_C5_N	0,4685	0,2825	0,4874	0,7699
S1_BPFI_1121_1208_C5_N	0,3228	0,2369	0,6787	0,9156
S1_BPFI_1121_2006_C5_N	0,3318	0,2728	0,9128	1,1856
S1_BPFI_1122_0726_C5_N	0,3952	0,3261	0,5291	0,8552
S1_BPFI_1122_0926_C5_N	0,2376	0,1416	0,7647	0,9063
S1_BPFI_1122_1126_C5_N	0,3889	0,3251	0,4592	0,7843

<b>Testing data (abnormal)</b>				
S1_BPFI_1122_1136_C5_F	0,3756	0,4053	0,7857	1,1910
S1_BPFI_1122_1506_C5_F	0,3373	0,3094	0,8698	1,1792
S1_BPFI_1122_1846_C5_F	0,6125	0,6014	0,5335	1,1349
S1_BPFI_1123_0856_C5_F	0,5541	0,6250	0,9630	1,5880
S1_BPFI_1123_1516_C5_F	0,5317	0,5943	0,4869	1,0812
S1_BPFI_1123_2221_C5_F	0,4675	0,3724	1,0723	1,4447
S1_BPFI_1124_0121_C5_F	0,2963	0,2740	0,7676	1,0416
S1_BPFI_1124_0251_C5_F	0,6815	1,0467	0,9532	1,9999
S1_BPFI_1124_0411_C5_F	0,6778	1,0942	0,6771	1,7713
S1_BPFI_1124_0701_C5_F	0,8184	1,2391	1,0105	2,2496
S1_BPFI_1124_1002_C5_F	0,5647	0,7938	0,5312	1,3250
S1_BPFI_1124_1257_C5_F	0,5723	1,1011	0,9149	2,0160
S1_BPFI_1124_1547_C5_F	0,6023	0,8725	0,8007	1,6732
S1_BPFI_1124_1717_C5_F	0,7587	0,8866	0,7506	1,6372
S1_BPFI_1124_1847_C5_F	0,7099	0,6764	0,9262	1,6026
S1_BPFI_1124_2137_C5_F	0,6181	0,6252	0,6295	1,2547
S1_BPFI_1124_2357_C5_F	0,3154	0,1440	1,3719	1,5159
S1_BPFI_1125_1107_C5_F	0,9345	1,0037	0,8102	1,8139
S1_BPFI_1125_1357_C5_F	0,9463	2,0447	1,4460	3,4907
S1_BPFI_1125_1507_C5_F	1,3659	2,7293	1,7437	4,4730
S1_BPFI_1125_1607_C5_F	1,1612	1,9050	2,0037	3,9087
S1_BPFI_1125_2339_C5_F	2,8847	6,2950	4,5751	10,8701

Set2

<b>Training data</b>	<b>BPFO</b>	<b>BPFI</b>	<b>RPM</b>	<b>BPFI+RPM</b>
S2_BPFO_0212_1032_C1_N	0,2880	0,1761	0,2778	0,4539
S2_BPFO_0212_1202_C1_N	0,3404	0,2366	0,1999	0,4365
S2_BPFO_0212_1342_C1_N	0,2736	0,2393	0,2483	0,4876
S2_BPFO_0212_1642_C1_N	0,3413	0,2472	0,4309	0,6781
S2_BPFO_0212_1812_C1_N	0,2465	0,2284	0,2643	0,4927
S2_BPFO_0212_1952_C1_N	0,2778	0,2080	0,2454	0,4534
S2_BPFO_0212_2252_C1_N	0,2525	0,2439	0,2705	0,5144
S2_BPFO_0213_0022_C1_N	0,2368	0,2144	0,2801	0,4945
S2_BPFO_0213_0152_C1_N	0,2217	0,2159	0,2570	0,4729
S2_BPFO_0213_0452_C1_N	0,2595	0,2302	0,2352	0,4654
S2_BPFO_0213_0632_C1_N	0,3806	0,2538	0,3963	0,6501
S2_BPFO_0213_0752_C1_N	0,3452	0,2433	0,2303	0,4736
S2_BPFO_0213_1102_C1_N	0,2520	0,2288	0,3064	0,5352
S2_BPFO_0213_1232_C1_N	0,2962	0,2502	0,3309	0,5811
S2_BPFO_0213_1402_C1_N	0,2807	0,2239	0,3361	0,5600
S2_BPFO_0213_1702_C1_N	0,2732	0,2414	0,2684	0,5098
S2_BPFO_0213_1832_C1_N	0,3216	0,2051	0,4344	0,6395
S2_BPFO_0213_2002_C1_N	0,2531	0,2437	0,3958	0,6395
S2_BPFO_0213_2302_C1_N	0,2143	0,2288	0,3389	0,5677

S2_BPFO_0214_0031_C1_N	0,2446	0,2346	0,3286	0,5632
S2_BPFO_0214_0212_C1_N	0,2636	0,2198	0,2971	0,5169
S2_BPFO_0214_0512_C1_N	0,2781	0,2026	0,2578	0,4604
S2_BPFO_0214_0642_C1_N	0,2818	0,2497	0,3032	0,5529
S2_BPFO_0214_0812_C1_N	0,3238	0,1911	0,3255	0,5166
S2_BPFO_0214_1112_C1_N	0,3277	0,2273	0,3129	0,5402
S2_BPFO_0214_1242_C1_N	0,3099	0,2065	0,3895	0,5960
S2_BPFO_0214_1412_C1_N	0,2785	0,2201	0,3655	0,5856
S2_BPFO_0214_1722_C1_N	0,3281	0,2049	0,2610	0,4659
S2_BPFO_0214_1852_C1_N	0,2616	0,2281	0,2580	0,4861
S2_BPFO_0214_2022_C1_N	0,2897	0,2515	0,3180	0,5695
<b>testing data (normal)</b>				
S2_BPFO_0214_2322_C1_N	0,3360	0,2463	0,2460	0,4923
S2_BPFO_0215_0052_C1_N	0,3168	0,2543	0,2760	0,5303
S2_BPFO_0215_0222_C1_N	0,3378	0,2366	0,3412	0,5778
S2_BPFO_0215_0522_C1_N	0,3008	0,2090	0,2052	0,4142
S2_BPFO_0215_0652_C1_N	0,1644	0,1385	0,3905	0,5290
S2_BPFO_0215_0832_C1_N	0,2668	0,2082	0,2929	0,5011
S2_BPFO_0215_1132_C1_N	0,3021	0,2572	0,3226	0,5798
S2_BPFO_0215_1302_C1_N	0,2971	0,3419	0,3058	0,6477
S2_BPFO_0215_1432_C1_N	0,2879	0,2659	0,2796	0,5455
S2_BPFO_0215_1732_C1_N	0,2223	0,0621	0,4870	0,5491
S2_BPFO_0215_1902_C1_N	0,2177	0,2506	0,2986	0,5492
S2_BPFO_0215_2032_C1_N	0,2261	0,2209	0,2526	0,4735
S2_BPFO_0215_2342_C1_N	0,2326	0,2165	0,2628	0,4793
S2_BPFO_0216_0122_C1_N	0,2269	0,1406	0,4306	0,5712
S2_BPFO_0216_0302_C1_N	0,2739	0,2037	0,2787	0,4824
<b>Testing data (abnormal)</b>				
S2_BPFO_0216_0312_C1_F	0,7142	0,2285	0,3049	0,5334
S2_BPFO_0216_0652_C1_F	1,4538	0,2417	0,2897	0,5314
S2_BPFO_0216_1032_C1_F	1,7029	0,2892	0,2677	0,5569
S2_BPFO_0216_1802_C1_F	1,3772	0,1105	0,7317	0,8422
S2_BPFO_0216_2142_C1_F	2,7633	0,2816	0,2603	0,5419
S2_BPFO_0217_0132_C1_F	3,2605	0,2838	0,3315	0,6153
S2_BPFO_0217_0912_C1_F	8,5584	0,4556	0,3751	0,8307
S2_BPFO_0217_1252_C1_F	7,5326	0,6606	0,6521	1,3127
S2_BPFO_0217_1642_C1_F	4,9471	0,6259	0,5833	1,2092
S2_BPFO_0218_0012_C1_F	2,7519	0,2596	0,2308	0,4904
S2_BPFO_0218_0322_C1_F	3,1208	0,2669	0,3340	0,6009
S2_BPFO_0218_0742_C1_F	7,6202	0,4100	0,3764	0,7864
S2_BPFO_0218_1522_C1_F	4,7227	0,4945	0,4649	0,9594
S2_BPFO_0218_1902_C1_F	8,4948	0,4769	0,3302	0,8071
S2_BPFO_0218_2252_C1_F	7,2290	0,4330	0,4611	0,8941
S2_BPFO_0219_0602_C1_F	16,1341	0,9096	2,1423	3,0519

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β

Στο παράρτημα αυτό παρατίθενται οι τιμές των χρονικών δεικτών kurt, Rms, Imf, SpF, Sk, CF, RSS, Vr, St, Qr για όλα τα σετ σημάτων για τις δύο πειραματικές εγκαταστάσεις χωρίς την εφαρμογή του κυρτωγράμματος και με την εφαρμογή του.

- **Πρώτη πειραματική εγκατάσταση**

Bearing 1\_6

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b1_6_bpfi_acc_00100N	3,0752	0,4050	4,8596	1,2576	0,0392
b1_6_bpfi_acc_00147N	3,2681	0,4346	4,7648	1,2672	-0,0835
b1_6_bpfi_acc_00194N	3,7417	0,4460	5,5681	1,2895	0,0260
b1_6_bpfi_acc_00241N	3,4542	0,4045	5,6253	1,2643	-0,0437
b1_6_bpfi_acc_00288N	4,1967	0,4299	6,2605	1,3013	0,0105
b1_6_bpfi_acc_00336N	4,0726	0,4234	5,8408	1,3003	-0,0956
b1_6_bpfi_acc_00383N	3,5018	0,3779	5,0009	1,2752	-0,0456
b1_6_bpfi_acc_00430N	4,7469	0,3827	7,2677	1,3072	-0,0292
b1_6_bpfi_acc_00478N	3,0984	0,3827	4,4175	1,2646	-0,0194
b1_6_bpfi_acc_00524N	4,3485	0,3820	7,5939	1,2875	-0,3425
b1_6_bpfi_acc_00571N	3,8784	0,3898	6,1631	1,2889	-0,0125
b1_6_bpfi_acc_00618N	3,5902	0,3580	5,3328	1,2780	0,0448
b1_6_bpfi_acc_00665N	4,0496	0,3703	6,2818	1,2924	0,0023
b1_6_bpfi_acc_00712N	4,0092	0,3865	5,8905	1,2988	0,1093
b1_6_bpfi_acc_00759N	3,3168	0,3288	5,5030	1,2654	-0,0182
b1_6_bpfi_acc_00807N	3,5522	0,3501	5,4039	1,2852	0,0521
b1_6_bpfi_acc_00854N	3,6785	0,3613	5,8313	1,2814	-0,1223
b1_6_bpfi_acc_00901N	5,4297	0,3791	7,7320	1,3253	0,0552
b1_6_bpfi_acc_00948N	3,1000	0,3214	4,4493	1,2622	-0,1983
b1_6_bpfi_acc_00995N	3,3227	0,3270	4,6050	1,2763	-0,0361
b1_6_bpfi_acc_01042N	7,5432	0,3804	9,2853	1,3560	0,1042
b1_6_bpfi_acc_01089N	3,8932	0,3393	6,0758	1,2860	-0,0769
b1_6_bpfi_acc_01136N	5,5185	0,3589	8,0968	1,3239	0,0881
b1_6_bpfi_acc_01183N	3,9872	0,3421	6,3869	1,2882	-0,0469
b1_6_bpfi_acc_01230N	7,9501	0,3709	9,2251	1,3663	0,2017
b1_6_bpfi_acc_01278N	5,3481	0,3435	8,1119	1,3243	-0,0951
b1_6_bpfi_acc_01325N	4,3231	0,3483	7,2390	1,2977	-0,0358
b1_6_bpfi_acc_01372N	3,5956	0,3424	6,1043	1,2847	-0,0057
b1_6_bpfi_acc_01419N	6,7050	0,3844	7,6600	1,3697	-0,2234
b1_6_bpfi_acc_01466N	3,8397	0,3607	5,4579	1,2884	-0,1351
<b>Testing data (normal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_01513N	4,6046	0,3661	7,1981	1,2962	-0,1313



b1_6_bpfi_acc_01560N	5,6556	0,3636	6,9541	1,3408	-0,3400
b1_6_bpfi_acc_01607N	3,4792	0,3560	6,5117	1,2694	0,1442
b1_6_bpfi_acc_01654N	4,3887	0,3978	7,4585	1,3222	-0,1258
b1_6_bpfi_acc_01702N	3,2901	0,3054	5,6290	1,2678	-0,0484
b1_6_bpfi_acc_01749N	5,4516	0,3621	6,7031	1,3389	0,1342
b1_6_bpfi_acc_01796N	7,9838	0,3791	8,9875	1,3969	-0,0318
b1_6_bpfi_acc_01843N	6,5288	0,3453	9,8809	1,3218	0,1559
b1_6_bpfi_acc_01890N	56,5871	0,4529	25,2208	1,5612	-0,7190
b1_6_bpfi_acc_01937N	5,8976	0,3727	7,8782	1,3263	0,1879
b1_6_bpfi_acc_01984N	4,1772	0,3612	5,5347	1,3136	-0,0524
b1_6_bpfi_acc_02031N	3,2975	0,3238	5,0997	1,2722	-0,1589
b1_6_bpfi_acc_02078N	3,3156	0,3517	5,5256	1,2612	-0,1543
b1_6_bpfi_acc_02125N	4,3360	0,3340	5,9205	1,3164	-0,0649
b1_6_bpfi_acc_02173N	13,9179	0,3674	14,4899	1,3855	-0,2549
b1_6_bpfi_acc_02220N	4,1853	0,3329	6,1736	1,3055	-0,0294
b1_6_bpfi_acc_02267N	4,7612	0,3613	6,5018	1,3353	-0,2573
b1_6_bpfi_acc_02314N	5,4551	0,3241	8,9163	1,3092	0,0722
b1_6_bpfi_acc_02361N	3,9975	0,3194	6,1196	1,3030	-0,0540
b1_6_bpfi_acc_02408N	3,3245	0,3021	5,0743	1,2639	-0,0231
<b>Testing data (abnormal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_02409F	3,8746	0,3265	7,7625	1,2877	0,1149
b1_6_bpfi_acc_02413F	4,3657	0,3860	5,9737	1,3200	0,0050
b1_6_bpfi_acc_02417F	4,1756	0,4313	7,0229	1,3102	-0,0586
b1_6_bpfi_acc_02421F	5,3796	0,7843	7,8726	1,3455	-0,1389
b1_6_bpfi_acc_02425F	4,1979	0,8179	6,0567	1,3033	-0,0621
b1_6_bpfi_acc_02429F	4,9071	0,8566	6,8685	1,3222	-0,1671
b1_6_bpfi_acc_02433F	7,2969	1,0067	9,2682	1,3635	-0,0040
b1_6_bpfi_acc_02437F	7,2754	1,0531	10,1827	1,3848	-0,0468
b1_6_bpfi_acc_02441F	6,9096	1,1001	8,7981	1,3439	0,1093
b1_6_bpfi_acc_02445F	7,6063	1,2430	9,1609	1,3853	-0,0674

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b1_6_bpfi_acc_00100N	3,8642	20,4916	0,1637	0,4046	-0,2515
b1_6_bpfi_acc_00147N	3,7600	21,9877	0,1889	0,4346	-0,2890
b1_6_bpfi_acc_00194N	4,3180	22,5682	0,1988	0,4459	-0,2990
b1_6_bpfi_acc_00241N	4,4494	20,4686	0,1630	0,4037	-0,3040
b1_6_bpfi_acc_00288N	4,8108	21,7497	0,1848	0,4299	-0,2655
b1_6_bpfi_acc_00336N	4,4918	21,4246	0,1792	0,4233	-0,2415
b1_6_bpfi_acc_00383N	3,9215	19,1210	0,1428	0,3779	-0,2540
b1_6_bpfi_acc_00430N	5,5598	19,3657	0,1464	0,3826	-0,2420
b1_6_bpfi_acc_00478N	3,4933	19,3648	0,1465	0,3828	-0,2605
b1_6_bpfi_acc_00524N	5,8983	19,3265	0,1457	0,3817	-0,2220
b1_6_bpfi_acc_00571N	4,7817	19,7233	0,1520	0,3899	-0,2420
b1_6_bpfi_acc_00618N	4,1729	18,1147	0,1269	0,3563	-0,2720

b1_6_bpfi_acc_00665N	4,8604	18,7379	0,1366	0,3696	-0,2090
b1_6_bpfi_acc_00712N	4,5352	19,5571	0,1495	0,3866	-0,2330
b1_6_bpfi_acc_00759N	4,3487	16,6378	0,1080	0,3286	-0,2190
b1_6_bpfi_acc_00807N	4,2048	17,7127	0,1221	0,3494	-0,1970
b1_6_bpfi_acc_00854N	4,5508	18,2784	0,1293	0,3596	-0,1870
b1_6_bpfi_acc_00901N	5,8344	19,1828	0,1435	0,3788	-0,2450
b1_6_bpfi_acc_00948N	3,5249	16,2629	0,1033	0,3215	-0,2000
b1_6_bpfi_acc_00995N	3,6082	16,5467	0,1069	0,3269	-0,1990
b1_6_bpfi_acc_01042N	6,8473	19,2490	0,1448	0,3805	-0,2140
b1_6_bpfi_acc_01089N	4,7244	17,1674	0,1151	0,3393	-0,2010
b1_6_bpfi_acc_01136N	6,1158	18,1593	0,1288	0,3589	-0,2145
b1_6_bpfi_acc_01183N	4,9579	17,3081	0,1169	0,3420	-0,2000
b1_6_bpfi_acc_01230N	6,7518	18,7645	0,1373	0,3706	-0,1985
b1_6_bpfi_acc_01278N	6,1256	17,3788	0,1178	0,3432	-0,2200
b1_6_bpfi_acc_01325N	5,5784	17,6232	0,1214	0,3484	-0,2150
b1_6_bpfi_acc_01372N	4,7516	17,3248	0,1171	0,3422	-0,1970
b1_6_bpfi_acc_01419N	5,5924	19,4517	0,1478	0,3845	-0,2040
b1_6_bpfi_acc_01466N	4,2360	18,2509	0,1301	0,3677	-0,2335
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_01513N	5,5531	18,5233	0,1339	0,3660	-0,2150
b1_6_bpfi_acc_01560N	5,1864	18,3992	0,1320	0,3633	-0,1850
b1_6_bpfi_acc_01607N	5,1298	18,0102	0,1265	0,3557	-0,2560
b1_6_bpfi_acc_01654N	5,6410	20,1273	0,1583	0,3979	-0,2250
b1_6_bpfi_acc_01702N	4,4398	15,4531	0,0927	0,3045	-0,1760
b1_6_bpfi_acc_01749N	5,0065	18,3226	0,1312	0,3622	-0,2200
b1_6_bpfi_acc_01796N	6,4337	19,1810	0,1438	0,3792	-0,2100
b1_6_bpfi_acc_01843N	7,4753	17,4694	0,1181	0,3437	-0,1690
b1_6_bpfi_acc_01890N	16,1545	22,9140	0,2050	0,4528	-0,1990
b1_6_bpfi_acc_01937N	5,9401	18,8582	0,1389	0,3727	-0,2270
b1_6_bpfi_acc_01984N	4,2132	18,2776	0,1305	0,3613	-0,2140
b1_6_bpfi_acc_02031N	4,0086	16,3834	0,1048	0,3237	-0,2010
b1_6_bpfi_acc_02078N	4,3812	17,7961	0,1236	0,3515	-0,2090
b1_6_bpfi_acc_02125N	4,4974	16,8976	0,1115	0,3340	-0,1860
b1_6_bpfi_acc_02173N	10,4583	18,5873	0,1346	0,3669	-0,2280
b1_6_bpfi_acc_02220N	4,7288	16,8413	0,1108	0,3329	-0,1985
b1_6_bpfi_acc_02267N	4,8691	18,2783	0,1298	0,3603	-0,2395
b1_6_bpfi_acc_02314N	6,8102	16,3968	0,1047	0,3236	-0,1800
b1_6_bpfi_acc_02361N	4,6966	16,1594	0,1020	0,3194	-0,2090
b1_6_bpfi_acc_02408N	4,0149	15,2863	0,0913	0,3021	-0,1930
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_02409F	6,0283	16,5177	0,1066	0,3265	-0,2000
b1_6_bpfi_acc_02413F	4,5257	19,5311	0,1481	0,3848	-0,1940
b1_6_bpfi_acc_02417F	5,3604	21,8229	0,1861	0,4314	-0,2520
b1_6_bpfi_acc_02421F	5,8509	39,6843	0,6153	0,7844	-0,4365

b1_6_bpfi_acc_02425F	4,6473	41,3825	0,6691	0,8180	-0,4805
b1_6_bpfi_acc_02429F	5,1948	43,3426	0,7340	0,8567	-0,5055
b1_6_bpfi_acc_02433F	6,7972	50,9374	1,0137	1,0068	-0,5875
b1_6_bpfi_acc_02437F	7,3534	53,2841	1,1086	1,0529	-0,5435
b1_6_bpfi_acc_02441F	6,5467	55,6610	1,2103	1,1001	-0,6905
b1_6_bpfi_acc_02445F	6,6129	62,8930	1,5458	1,2433	-0,6870

Με κυρτώγραμμα

<b>Training data</b>	<b>kurt</b>	<b>Rms</b>	<b>Imf</b>	<b>SpF</b>	<b>Sk</b>
b1_6_bpfi_acc_00100N	6,3074	0,0558	3,9173	1,1993	1,6584
b1_6_bpfi_acc_00147N	6,8128	0,0689	4,1670	1,2140	1,6586
b1_6_bpfi_acc_00194N	6,5465	0,0558	3,8834	1,2142	1,6309
b1_6_bpfi_acc_00241N	9,9120	0,0552	4,7204	1,2094	2,1176
b1_6_bpfi_acc_00288N	14,7336	0,0549	6,2164	1,3047	2,8282
b1_6_bpfi_acc_00336N	13,1045	0,0641	5,3204	1,2625	2,6696
b1_6_bpfi_acc_00383N	8,6099	0,0528	4,2126	1,2339	2,0279
b1_6_bpfi_acc_00430N	11,9178	0,0602	5,2662	1,2460	2,3933
b1_6_bpfi_acc_00478N	5,0860	0,0611	3,5804	1,1979	1,3846
b1_6_bpfi_acc_00524N	11,2495	0,0617	5,2497	1,2123	2,0821
b1_6_bpfi_acc_00571N	5,1662	0,0525	3,6369	1,2001	1,4160
b1_6_bpfi_acc_00618N	7,8677	0,0503	4,5947	1,2364	1,8800
b1_6_bpfi_acc_00665N	10,0384	0,0582	5,2410	1,2465	2,1970
b1_6_bpfi_acc_00712N	11,1286	0,0548	5,7652	1,3538	2,5159
b1_6_bpfi_acc_00759N	13,0530	0,0484	4,8509	1,2277	2,4492
b1_6_bpfi_acc_00807N	3,9978	0,0484	3,4096	1,1894	1,0348
b1_6_bpfi_acc_00854N	8,6868	0,0490	4,7294	1,2278	1,9401
b1_6_bpfi_acc_00901N	9,7816	0,0494	5,1653	1,2731	2,2356
b1_6_bpfi_acc_00948N	4,8025	0,0471	3,6590	1,1746	1,0410
b1_6_bpfi_acc_00995N	5,8071	0,0478	3,7273	1,1902	1,3308
b1_6_bpfi_acc_01042N	16,7701	0,0501	6,8863	1,3621	3,1594
b1_6_bpfi_acc_01089N	7,1949	0,0501	4,5761	1,2917	1,8787
b1_6_bpfi_acc_01136N	20,8486	0,0479	6,2567	1,3288	3,7426
b1_6_bpfi_acc_01183N	10,3815	0,0571	4,7283	1,2378	2,1710
b1_6_bpfi_acc_01230N	24,3498	0,0491	8,1000	1,4476	4,1554
b1_6_bpfi_acc_01278N	16,0642	0,0465	7,2024	1,4231	3,2009
b1_6_bpfi_acc_01325N	7,6120	0,0473	4,2353	1,2244	1,8000
b1_6_bpfi_acc_01372N	5,2994	0,0455	3,8211	1,2225	1,4183
b1_6_bpfi_acc_01419N	8,5537	0,0591	4,7979	1,3292	2,2358
b1_6_bpfi_acc_01466N	9,4954	0,0567	5,0618	1,2361	2,0364
<b>Testing data (normal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_01513N	23,4106	0,0467	6,9724	1,2954	3,5478
b1_6_bpfi_acc_01560N	18,5681	0,0493	7,2080	1,3784	3,3950
b1_6_bpfi_acc_01607N	24,0889	0,0467	6,1419	1,2135	3,3584
b1_6_bpfi_acc_01654N	9,8551	0,0507	5,9450	1,3443	2,2739
b1_6_bpfi_acc_01702N	12,6209	0,0451	5,3522	1,2214	2,2095

b1_6_bpfi_acc_01749N	6,6126	0,0515	4,5740	1,2557	1,6962
b1_6_bpfi_acc_01796N	18,5697	0,0495	7,6778	1,5377	3,7070
b1_6_bpfi_acc_01843N	25,0673	0,0431	7,5034	1,3275	3,7222
b1_6_bpfi_acc_01890N	66,4840	0,0692	19,8537	2,3069	7,8919
b1_6_bpfi_acc_01937N	18,5896	0,0487	6,8906	1,3311	3,2464
b1_6_bpfi_acc_01984N	16,1930	0,0501	6,7280	1,3351	2,9932
b1_6_bpfi_acc_02031N	8,1757	0,0637	4,9326	1,2035	1,6248
b1_6_bpfi_acc_02078N	5,7680	0,0504	3,7388	1,1969	1,3935
b1_6_bpfi_acc_02125N	12,7507	0,0480	5,9674	1,3830	2,8158
b1_6_bpfi_acc_02173N	57,3095	0,0574	11,9230	1,5707	6,8548
b1_6_bpfi_acc_02220N	11,0926	0,0479	5,5581	1,3396	2,5040
b1_6_bpfi_acc_02267N	16,3849	0,0484	6,2896	1,2756	2,7895
b1_6_bpfi_acc_02314N	18,7448	0,0487	7,1126	1,3660	3,3552
b1_6_bpfi_acc_02361N	8,6154	0,0458	4,8909	1,2604	2,0477
b1_6_bpfi_acc_02408N	17,0556	0,0513	5,8885	1,2054	2,4548
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_02409F	11,1053	0,0496	5,3016	1,2534	2,2279
b1_6_bpfi_acc_02413F	14,4144	0,0513	5,3530	1,2781	2,9190
b1_6_bpfi_acc_02417F	14,6429	0,0686	6,1709	1,2589	2,5279
b1_6_bpfi_acc_02421F	9,6489	0,1248	5,6581	1,3841	2,3066
b1_6_bpfi_acc_02425F	7,2139	0,1382	4,4446	1,3197	1,9087
b1_6_bpfi_acc_02429F	8,1387	0,1482	4,6937	1,3148	2,1247
b1_6_bpfi_acc_02433F	14,5914	0,1565	6,9784	1,5652	3,2833
b1_6_bpfi_acc_02437F	12,0631	0,1652	6,8040	1,5200	2,8903
b1_6_bpfi_acc_02441F	14,8137	0,1925	7,1501	1,5774	3,2811
b1_6_bpfi_acc_02445F	12,1231	0,2390	6,1338	1,4486	2,8576

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b1_6_bpfi_acc_00100N	3,2663	0,6532	0,0010	0,0309	0,0253
b1_6_bpfi_acc_00147N	3,4326	0,9275	0,0015	0,0392	0,0300
b1_6_bpfi_acc_00194N	3,1983	0,6527	0,0010	0,0317	0,0254
b1_6_bpfi_acc_00241N	3,9032	0,6462	0,0010	0,0312	0,0236
b1_6_bpfi_acc_00288N	4,7645	0,6425	0,0013	0,0354	0,0187
b1_6_bpfi_acc_00336N	4,2141	0,8622	0,0015	0,0392	0,0266
b1_6_bpfi_acc_00383N	3,4139	0,6182	0,0010	0,0311	0,0209
b1_6_bpfi_acc_00430N	4,2264	0,8092	0,0013	0,0360	0,0245
b1_6_bpfi_acc_00478N	2,9889	0,8217	0,0011	0,0337	0,0286
b1_6_bpfi_acc_00524N	4,3302	0,8304	0,0012	0,0350	0,0256
b1_6_bpfi_acc_00571N	3,0305	0,6167	0,0008	0,0291	0,0249
b1_6_bpfi_acc_00618N	3,7163	0,5882	0,0009	0,0297	0,0203
b1_6_bpfi_acc_00665N	4,2047	0,7823	0,0012	0,0348	0,0272
b1_6_bpfi_acc_00712N	4,2585	0,6410	0,0014	0,0371	0,0182
b1_6_bpfi_acc_00759N	3,9512	0,5664	0,0008	0,0282	0,0206
b1_6_bpfi_acc_00807N	2,8668	0,5691	0,0007	0,0263	0,0205

b1_6_bpfi_acc_00854N	3,8518	0,5736	0,0008	0,0285	0,0218
b1_6_bpfi_acc_00901N	4,0572	0,5780	0,0009	0,0307	0,0179
b1_6_bpfi_acc_00948N	3,1152	0,5530	0,0006	0,0248	0,0206
b1_6_bpfi_acc_00995N	3,1318	0,5612	0,0007	0,0260	0,0199
b1_6_bpfi_acc_01042N	5,0557	0,5864	0,0012	0,0341	0,0184
b1_6_bpfi_acc_01089N	3,5428	0,5869	0,0010	0,0319	0,0167
b1_6_bpfi_acc_01136N	4,7086	0,5625	0,0010	0,0316	0,0196
b1_6_bpfi_acc_01183N	3,8200	0,7686	0,0011	0,0338	0,0225
b1_6_bpfi_acc_01230N	5,5954	0,5769	0,0013	0,0356	0,0160
b1_6_bpfi_acc_01278N	5,0611	0,5441	0,0011	0,0332	0,0150
b1_6_bpfi_acc_01325N	3,4592	0,5532	0,0007	0,0274	0,0202
b1_6_bpfi_acc_01372N	3,1257	0,5330	0,0007	0,0263	0,0193
b1_6_bpfi_acc_01419N	3,6095	0,7947	0,0015	0,0390	0,0210
b1_6_bpfi_acc_01466N	4,0949	0,7632	0,0011	0,0334	0,0248
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_01513N	5,3822	0,5482	0,0009	0,0298	0,0181
b1_6_bpfi_acc_01560N	5,2293	0,5769	0,0012	0,0340	0,0179
b1_6_bpfi_acc_01607N	5,0613	0,5483	0,0007	0,0265	0,0211
b1_6_bpfi_acc_01654N	4,4225	0,5931	0,0012	0,0340	0,0154
b1_6_bpfi_acc_01702N	4,3821	0,5280	0,0007	0,0260	0,0192
b1_6_bpfi_acc_01749N	3,6425	0,6934	0,0010	0,0313	0,0202
b1_6_bpfi_acc_01796N	4,9931	0,5791	0,0014	0,0377	0,0145
b1_6_bpfi_acc_01843N	5,6523	0,5044	0,0008	0,0284	0,0171
b1_6_bpfi_acc_01890N	8,6061	0,8100	0,0039	0,0626	0,0136
b1_6_bpfi_acc_01937N	5,1765	0,5702	0,0010	0,0323	0,0185
b1_6_bpfi_acc_01984N	5,0393	0,5859	0,0011	0,0333	0,0190
b1_6_bpfi_acc_02031N	4,0986	1,0870	0,0013	0,0355	0,0275
b1_6_bpfi_acc_02078N	3,1238	0,6779	0,0008	0,0278	0,0231
b1_6_bpfi_acc_02125N	4,3147	0,5624	0,0011	0,0333	0,0153
b1_6_bpfi_acc_02173N	7,5909	0,6743	0,0020	0,0444	0,0188
b1_6_bpfi_acc_02220N	4,1490	0,5612	0,0010	0,0320	0,0152
b1_6_bpfi_acc_02267N	4,9309	0,5660	0,0009	0,0301	0,0189
b1_6_bpfi_acc_02314N	5,2069	0,5696	0,0011	0,0333	0,0173
b1_6_bpfi_acc_02361N	3,8805	0,5361	0,0008	0,0280	0,0178
b1_6_bpfi_acc_02408N	4,8851	0,6907	0,0008	0,0287	0,0219
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_6_bpfi_acc_02409F	4,2298	0,5823	0,0009	0,0300	0,0197
b1_6_bpfi_acc_02413F	4,1883	0,6028	0,0010	0,0321	0,0219
b1_6_bpfi_acc_02417F	4,9020	0,9226	0,0017	0,0418	0,0273
b1_6_bpfi_acc_02421F	4,0878	1,4660	0,0075	0,0866	0,0310
b1_6_bpfi_acc_02425F	3,3679	1,6173	0,0082	0,0905	0,0414
b1_6_bpfi_acc_02429F	3,5699	1,7343	0,0093	0,0966	0,0510
b1_6_bpfi_acc_02433F	4,4585	1,8385	0,0146	0,1208	0,0399
b1_6_bpfi_acc_02437F	4,4764	1,9405	0,0156	0,1249	0,0431

b1_6_bpfi_acc_02441F	4,5329	2,2610	0,0223	0,1494	0,0422
b1_6_bpfi_acc_02445F	4,2344	3,2159	0,0301	0,1734	0,0676

Bearing 1\_7  
Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b1_7_bpfi_acc_00055N	3,1387	0,4433	5,4833	1,2530	0,0381
b1_7_bpfi_acc_00099N	3,2232	0,4351	6,2132	1,2673	0,1513
b1_7_bpfi_acc_00143N	3,3053	0,4178	5,4008	1,2707	0,0606
b1_7_bpfi_acc_00186N	3,2874	0,3840	5,1874	1,2623	-0,0511
b1_7_bpfi_acc_00230N	3,0540	0,3609	4,9332	1,2581	0,0598
b1_7_bpfi_acc_00274N	3,0328	0,3389	4,6715	1,2585	0,1182
b1_7_bpfi_acc_00318N	3,3649	0,3513	4,7916	1,2725	-0,0343
b1_7_bpfi_acc_00362N	3,9226	0,3507	6,2493	1,2901	-0,1064
b1_7_bpfi_acc_00405N	2,9798	0,3284	5,2695	1,2513	0,0196
b1_7_bpfi_acc_00449N	3,0818	0,3296	4,6290	1,2619	-0,0061
b1_7_bpfi_acc_00493N	2,9736	0,3109	5,2309	1,2489	0,0037
b1_7_bpfi_acc_00536N	3,5567	0,3357	6,3182	1,2800	-0,0027
b1_7_bpfi_acc_00581N	3,1215	0,3106	4,8857	1,2550	0,0168
b1_7_bpfi_acc_00624N	3,7349	0,3089	6,0812	1,2710	0,0390
b1_7_bpfi_acc_00668N	3,3296	0,3188	5,1512	1,2699	0,0047
b1_7_bpfi_acc_00712N	3,1391	0,3054	4,9558	1,2601	-0,0193
b1_7_bpfi_acc_00756N	3,2742	0,3221	5,7284	1,2594	0,1558
b1_7_bpfi_acc_00800N	3,5190	0,3311	5,5683	1,2778	0,0713
b1_7_bpfi_acc_00843N	3,0049	0,3120	4,2066	1,2546	0,0297
b1_7_bpfi_acc_00887N	3,5366	0,3296	6,2061	1,2759	0,1688
b1_7_bpfi_acc_00931N	3,5276	0,3312	5,4329	1,2808	0,1591
b1_7_bpfi_acc_00975N	3,3913	0,3366	5,2906	1,2703	0,1129
b1_7_bpfi_acc_01019N	3,3074	0,3574	5,3121	1,2732	0,0189
b1_7_bpfi_acc_01062N	3,3030	0,3629	5,3209	1,2713	0,1748
b1_7_bpfi_acc_01106N	3,3248	0,3728	5,6138	1,2708	-0,0284
b1_7_bpfi_acc_01150N	3,4312	0,3700	5,7416	1,2631	0,0260
b1_7_bpfi_acc_01194N	4,0180	0,3780	6,3517	1,3086	-0,1242
b1_7_bpfi_acc_01238N	3,4343	0,3927	4,8978	1,2814	0,0466
b1_7_bpfi_acc_01281N	3,3828	0,4066	5,1350	1,2793	-0,1282
b1_7_bpfi_acc_01325N	3,3722	0,3857	4,9790	1,2801	-0,0638
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_01369N	3,9447	0,3797	5,9005	1,2973	-0,0033
b1_7_bpfi_acc_01413N	3,8010	0,3773	5,3709	1,2950	0,0028
b1_7_bpfi_acc_01457N	4,9721	0,4136	6,9863	1,3100	-0,1009
b1_7_bpfi_acc_01500N	3,5203	0,3987	4,8845	1,2913	-0,0607
b1_7_bpfi_acc_01544N	3,2878	0,3824	4,6644	1,2785	0,0636
b1_7_bpfi_acc_01588N	6,3282	0,4277	8,4645	1,3484	-0,1210

b1_7_bpfi_acc_01632N	4,2925	0,4237	6,7754	1,3013	-0,1470
b1_7_bpfi_acc_01675N	4,6888	0,4248	6,5300	1,3227	-0,2508
b1_7_bpfi_acc_01719N	4,6782	0,4102	6,7197	1,3196	-0,2162
b1_7_bpfi_acc_01763N	3,5621	0,4203	5,1647	1,2906	-0,0205
b1_7_bpfi_acc_01807N	4,6602	0,4028	6,7228	1,3125	-0,0429
b1_7_bpfi_acc_01851N	3,7537	0,3928	5,6809	1,2868	-0,1683
b1_7_bpfi_acc_01894N	3,7115	0,3723	4,9682	1,2916	3,8374
b1_7_bpfi_acc_01938N	4,3588	0,4008	6,3107	1,3098	-0,1826
b1_7_bpfi_acc_01982N	3,9980	0,3827	7,2732	1,2984	-0,1261
b1_7_bpfi_acc_02026N	4,3023	0,3735	6,4657	1,3098	-0,2568
b1_7_bpfi_acc_02070N	3,6917	0,3996	5,5840	1,2869	-0,0181
b1_7_bpfi_acc_02113N	3,8224	0,4530	5,8977	1,2957	-0,0360
b1_7_bpfi_acc_02157N	5,2586	0,4448	9,0929	1,2983	-0,1984
b1_7_bpfi_acc_02201N	3,5857	0,5073	5,7863	1,2746	-0,1020
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_02202F	4,3625	0,5029	5,8827	1,2987	-0,0231
b1_7_bpfi_acc_02207F	5,1030	0,5282	8,0572	1,3201	-0,0486
b1_7_bpfi_acc_02212F	14,5829	0,8060	13,0628	1,5503	-0,0434
b1_7_bpfi_acc_02217F	16,0805	1,2909	13,6527	1,6500	-0,0310
b1_7_bpfi_acc_02222F	16,4793	1,3641	13,5613	1,6513	0,0147
b1_7_bpfi_acc_02227F	18,0271	1,5907	15,6743	1,7344	0,0849
b1_7_bpfi_acc_02232F	6,5195	1,3014	8,9798	1,3633	-0,0717
b1_7_bpfi_acc_02237F	4,8321	1,5274	6,5126	1,3454	-0,1800
b1_7_bpfi_acc_02242F	7,4870	1,7789	9,1569	1,4065	0,1554
b1_7_bpfi_acc_02247F	6,9635	1,7641	8,4681	1,3862	0,1000

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b1_7_bpfi_acc_00055N	4,3762	22,4300	0,1965	0,4433	-0,3050
b1_7_bpfi_acc_00099N	4,9027	22,0129	0,1893	0,4351	-0,3000
b1_7_bpfi_acc_00143N	4,2504	21,1414	0,1746	0,4179	-0,2660
b1_7_bpfi_acc_00186N	4,1093	19,4294	0,1474	0,3840	-0,2370
b1_7_bpfi_acc_00230N	3,9212	18,2583	0,1300	0,3606	-0,2570
b1_7_bpfi_acc_00274N	3,7120	17,1471	0,1140	0,3377	-0,2000
b1_7_bpfi_acc_00318N	3,7656	17,7766	0,1235	0,3514	-0,2310
b1_7_bpfi_acc_00362N	4,8441	17,7459	0,1227	0,3504	-0,2000
b1_7_bpfi_acc_00405N	4,2112	16,6165	0,1064	0,3262	-0,2580
b1_7_bpfi_acc_00449N	3,6682	16,6759	0,1087	0,3297	-0,2150
b1_7_bpfi_acc_00493N	4,1884	15,7282	0,0966	0,3108	-0,1990
b1_7_bpfi_acc_00536N	4,9361	16,9847	0,1125	0,3354	-0,2030
b1_7_bpfi_acc_00581N	3,8928	15,7138	0,0965	0,3106	-0,2130
b1_7_bpfi_acc_00624N	4,7848	15,6290	0,0949	0,3080	-0,1835
b1_7_bpfi_acc_00668N	4,0564	16,1280	0,1016	0,3188	-0,2120
b1_7_bpfi_acc_00712N	3,9328	15,4513	0,0932	0,3052	-0,2240
b1_7_bpfi_acc_00756N	4,5485	16,2964	0,1035	0,3217	-0,2320
b1_7_bpfi_acc_00800N	4,3577	16,7546	0,1095	0,3310	-0,1970

b1_7_bpfi_acc_00843N	3,3530	15,7839	0,0973	0,3120	-0,2200
b1_7_bpfi_acc_00887N	4,8640	16,6746	0,1084	0,3293	-0,2010
b1_7_bpfi_acc_00931N	4,2419	16,7584	0,1094	0,3308	-0,1940
b1_7_bpfi_acc_00975N	4,1650	17,0317	0,1124	0,3353	-0,1960
b1_7_bpfi_acc_01019N	4,1723	18,0811	0,1277	0,3574	-0,2260
b1_7_bpfi_acc_01062N	4,1855	18,3625	0,1318	0,3630	-0,2495
b1_7_bpfi_acc_01106N	4,4175	18,8641	0,1386	0,3724	-0,2240
b1_7_bpfi_acc_01150N	4,5455	18,7226	0,1369	0,3701	-0,2545
b1_7_bpfi_acc_01194N	4,8539	19,1277	0,1430	0,3781	-0,2240
b1_7_bpfi_acc_01238N	3,8223	19,8688	0,1542	0,3927	-0,2580
b1_7_bpfi_acc_01281N	4,0139	20,5720	0,1653	0,4066	-0,2640
b1_7_bpfi_acc_01325N	3,8894	19,5130	0,1487	0,3856	-0,2490
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_01369N	4,5484	19,2111	0,1441	0,3795	-0,2180
b1_7_bpfi_acc_01413N	4,1474	19,0921	0,1415	0,3762	-0,2550
b1_7_bpfi_acc_01457N	5,3330	20,9291	0,1711	0,4137	-0,2505
b1_7_bpfi_acc_01500N	3,7827	20,1706	0,1589	0,3987	-0,2280
b1_7_bpfi_acc_01544N	3,6483	19,3465	0,1463	0,3824	-0,2440
b1_7_bpfi_acc_01588N	6,2773	21,6418	0,1827	0,4275	-0,2170
b1_7_bpfi_acc_01632N	5,2067	21,4369	0,1796	0,4238	-0,2470
b1_7_bpfi_acc_01675N	4,9367	21,4924	0,1805	0,4249	-0,2470
b1_7_bpfi_acc_01719N	5,0923	20,7561	0,1682	0,4101	-0,2620
b1_7_bpfi_acc_01763N	4,0019	21,2658	0,1767	0,4204	-0,2640
b1_7_bpfi_acc_01807N	5,1219	20,3792	0,1622	0,4027	-0,2520
b1_7_bpfi_acc_01851N	4,4148	19,8728	0,1542	0,3926	-0,2560
b1_7_bpfi_acc_01894N	3,8466	18,8358	0,1384	0,3720	-0,2180
b1_7_bpfi_acc_01938N	4,8183	20,2774	0,1607	0,4008	-0,2390
b1_7_bpfi_acc_01982N	5,6018	19,3650	0,1465	0,3828	-0,2380
b1_7_bpfi_acc_02026N	4,9365	18,9002	0,1396	0,3736	-0,2250
b1_7_bpfi_acc_02070N	4,3389	20,2203	0,1595	0,3994	-0,2665
b1_7_bpfi_acc_02113N	4,5516	22,9214	0,2053	0,4531	-0,2860
b1_7_bpfi_acc_02157N	7,0039	22,5030	0,1970	0,4439	-0,2415
b1_7_bpfi_acc_02201N	4,5397	25,6678	0,2574	0,5073	-0,3290
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_02202F	4,5296	25,4458	0,2528	0,5028	-0,3265
b1_7_bpfi_acc_02207F	6,1036	26,7255	0,2791	0,5283	-0,2995
b1_7_bpfi_acc_02212F	8,4260	40,7788	0,6497	0,8061	-0,3665
b1_7_bpfi_acc_02217F	8,2743	65,3132	1,6670	1,2911	-0,5070
b1_7_bpfi_acc_02222F	8,2126	69,0194	1,8615	1,3644	-0,5090
b1_7_bpfi_acc_02227F	9,0374	80,4850	2,5310	1,5999	-0,5760
b1_7_bpfi_acc_02232F	6,5867	65,8469	1,6940	1,3015	-0,7305
b1_7_bpfi_acc_02237F	4,8408	77,2824	2,3337	1,5276	-0,8400
b1_7_bpfi_acc_02242F	6,5103	90,0050	3,1654	1,7792	-0,9400
b1_7_bpfi_acc_02247F	6,1087	89,2548	3,1131	1,7644	-0,9700



Με κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b1_7_bpfi_acc_00055N	4,4500	0,0564	3,3785	1,1872	1,1619
b1_7_bpfi_acc_00099N	3,8089	0,0801	3,3976	1,1912	1,0440
b1_7_bpfi_acc_00143N	4,3289	0,0643	3,3967	1,1796	1,0433
b1_7_bpfi_acc_00186N	6,3908	0,0540	4,1648	1,1867	1,3501
b1_7_bpfi_acc_00230N	4,8898	0,0520	3,4180	1,1771	1,1930
b1_7_bpfi_acc_00274N	3,4098	0,0719	2,9648	1,1576	0,8149
b1_7_bpfi_acc_00318N	11,3838	0,0516	4,8189	1,1923	2,0660
b1_7_bpfi_acc_00362N	10,2577	0,0522	5,1176	1,2423	2,2162
b1_7_bpfi_acc_00405N	6,4777	0,0514	3,7215	1,1623	1,6106
b1_7_bpfi_acc_00449N	8,0917	0,0515	4,2816	1,1827	1,7043
b1_7_bpfi_acc_00493N	2,6050	0,0500	2,5921	1,1551	0,5792
b1_7_bpfi_acc_00536N	10,1151	0,0501	4,4359	1,1977	2,0256
b1_7_bpfi_acc_00581N	6,3927	0,0562	3,9822	1,2042	1,4118
b1_7_bpfi_acc_00624N	3,8407	0,0463	3,4186	1,1899	1,0087
b1_7_bpfi_acc_00668N	7,0594	0,0566	3,8854	1,1861	1,5174
b1_7_bpfi_acc_00712N	5,9097	0,0533	4,1971	1,1737	1,0601
b1_7_bpfi_acc_00756N	3,7288	0,0465	3,2206	1,1749	1,0564
b1_7_bpfi_acc_00800N	7,7469	0,0467	4,2354	1,1940	1,6418
b1_7_bpfi_acc_00843N	12,6912	0,0542	5,5071	1,2299	2,4898
b1_7_bpfi_acc_00887N	10,3778	0,0597	5,4399	1,3251	2,3144
b1_7_bpfi_acc_00931N	8,6876	0,0589	5,0069	1,2779	2,1104
b1_7_bpfi_acc_00975N	6,9354	0,0572	4,7792	1,2870	1,8547
b1_7_bpfi_acc_01019N	7,5315	0,0613	5,0697	1,4030	2,1072
b1_7_bpfi_acc_01062N	8,2657	0,0496	5,2145	1,3395	2,1482
b1_7_bpfi_acc_01106N	5,6403	0,0648	4,5754	1,3300	1,6194
b1_7_bpfi_acc_01150N	5,1987	0,0620	4,7001	1,3180	1,5111
b1_7_bpfi_acc_01194N	15,6719	0,0567	6,4083	1,3351	3,1074
b1_7_bpfi_acc_01238N	6,9788	0,0689	4,8509	1,2924	1,8509
b1_7_bpfi_acc_01281N	7,0242	0,1129	5,2787	1,2653	1,7561
b1_7_bpfi_acc_01325N	14,8123	0,0571	6,0527	1,2977	2,8083
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_01369N	5,0823	0,0587	4,0399	1,2635	1,4002
b1_7_bpfi_acc_01413N	6,9816	0,0819	5,5651	1,3256	1,8683
b1_7_bpfi_acc_01457N	25,7729	0,0592	8,1971	1,3739	3,6393
b1_7_bpfi_acc_01500N	10,9025	0,0580	5,2892	1,3342	2,5577
b1_7_bpfi_acc_01544N	12,6196	0,0569	5,5780	1,2673	2,4620
b1_7_bpfi_acc_01588N	9,9601	0,0583	5,9646	1,3953	2,4010
b1_7_bpfi_acc_01632N	6,0340	0,0625	4,7462	1,3000	1,6391
b1_7_bpfi_acc_01675N	6,7966	0,0565	4,7529	1,4023	1,9719
b1_7_bpfi_acc_01719N	11,8789	0,0592	5,9227	1,4018	2,6914
b1_7_bpfi_acc_01763N	26,7555	0,0613	6,6904	1,2901	4,0188

b1_7_bpfi_acc_01807N	6,6616	0,0585	4,7354	1,3558	1,8760
b1_7_bpfi_acc_01851N	5,9664	0,0812	4,3874	1,2670	1,6360
b1_7_bpfi_acc_01894N	13,9007	0,0645	6,7315	1,3589	2,8625
b1_7_bpfi_acc_01938N	11,7581	0,0844	6,0720	1,3305	2,5724
b1_7_bpfi_acc_01982N	13,7576	0,0563	5,9170	1,2901	2,7199
b1_7_bpfi_acc_02026N	7,3136	0,0699	4,7991	1,3593	2,0531
b1_7_bpfi_acc_02070N	23,6971	0,0664	7,9196	1,3372	3,5111
b1_7_bpfi_acc_02113N	8,3531	0,0643	5,3145	1,3420	2,0444
b1_7_bpfi_acc_02157N	19,4541	0,0587	7,2826	1,4490	3,6218
b1_7_bpfi_acc_02201N	7,5344	0,0737	4,3043	1,2802	1,9986
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_02202F	11,2339	0,0659	5,4404	1,3553	2,5779
b1_7_bpfi_acc_02207F	31,2139	0,0803	8,0305	1,3494	4,5208
b1_7_bpfi_acc_02212F	25,8114	0,1300	11,7170	1,7358	4,4231
b1_7_bpfi_acc_02217F	23,7182	0,2308	10,5004	1,7570	4,3284
b1_7_bpfi_acc_02222F	15,2294	0,1826	10,0182	1,8409	3,3936
b1_7_bpfi_acc_02227F	19,1636	0,1747	10,1923	1,7884	3,8642
b1_7_bpfi_acc_02232F	21,1754	0,2449	8,4607	1,3777	3,5080
b1_7_bpfi_acc_02237F	11,8781	0,1972	6,4754	1,4542	2,7995
b1_7_bpfi_acc_02242F	13,0705	0,2126	6,5446	1,5597	3,0905
b1_7_bpfi_acc_02247F	11,4927	0,2116	6,4540	1,4797	2,7543

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b1_7_bpfi_acc_00055N	2,8459	0,6625	0,0009	0,0305	0,0254
b1_7_bpfi_acc_00099N	2,8521	1,3668	0,0019	0,0436	0,0340
b1_7_bpfi_acc_00143N	2,8794	0,8656	0,0012	0,0342	0,0279
b1_7_bpfi_acc_00186N	3,5095	0,6349	0,0009	0,0292	0,0236
b1_7_bpfi_acc_00230N	2,9037	0,6086	0,0008	0,0275	0,0240
b1_7_bpfi_acc_00274N	2,5611	1,2257	0,0013	0,0363	0,0345
b1_7_bpfi_acc_00318N	4,0417	0,6043	0,0008	0,0282	0,0242
b1_7_bpfi_acc_00362N	4,1193	0,6104	0,0010	0,0311	0,0223
b1_7_bpfi_acc_00405N	3,2018	0,6017	0,0007	0,0263	0,0266
b1_7_bpfi_acc_00449N	3,6203	0,6024	0,0008	0,0276	0,0243
b1_7_bpfi_acc_00493N	2,2440	0,5858	0,0006	0,0251	0,0211
b1_7_bpfi_acc_00536N	3,7038	0,5883	0,0008	0,0277	0,0237
b1_7_bpfi_acc_00581N	3,3070	0,7555	0,0010	0,0314	0,0248
b1_7_bpfi_acc_00624N	2,8731	0,5422	0,0006	0,0252	0,0181
b1_7_bpfi_acc_00668N	3,2759	0,7621	0,0009	0,0305	0,0260
b1_7_bpfi_acc_00712N	3,5760	0,7171	0,0008	0,0280	0,0244
b1_7_bpfi_acc_00756N	2,7412	0,5444	0,0006	0,0245	0,0235
b1_7_bpfi_acc_00800N	3,5472	0,5482	0,0007	0,0256	0,0213
b1_7_bpfi_acc_00843N	4,4778	0,7291	0,0010	0,0316	0,0258
b1_7_bpfi_acc_00887N	4,1054	0,8030	0,0015	0,0393	0,0198
b1_7_bpfi_acc_00931N	3,9181	0,7922	0,0014	0,0368	0,0220
b1_7_bpfi_acc_00975N	3,7134	0,7700	0,0013	0,0361	0,0212

b1_7_bpfi_acc_01019N	3,6135	0,8243	0,0019	0,0431	0,0163
b1_7_bpfi_acc_01062N	3,8928	0,5805	0,0011	0,0331	0,0170
b1_7_bpfi_acc_01106N	3,4401	0,8717	0,0018	0,0428	0,0178
b1_7_bpfi_acc_01150N	3,5660	0,8348	0,0016	0,0405	0,0171
b1_7_bpfi_acc_01194N	4,7999	0,6639	0,0014	0,0377	0,0219
b1_7_bpfi_acc_01238N	3,7535	0,9271	0,0019	0,0438	0,0245
b1_7_bpfi_acc_01281N	4,1717	2,7666	0,0048	0,0693	0,0410
b1_7_bpfi_acc_01325N	4,6643	0,6688	0,0013	0,0365	0,0200
<b>Testing data(normal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_01369N	3,1974	0,7896	0,0013	0,0360	0,0207
b1_7_bpfi_acc_01413N	4,1982	1,4000	0,0029	0,0539	0,0261
b1_7_bpfi_acc_01457N	5,9662	0,6950	0,0017	0,0407	0,0179
b1_7_bpfi_acc_01500N	3,9642	0,6788	0,0015	0,0385	0,0214
b1_7_bpfi_acc_01544N	4,4014	0,6655	0,0012	0,0351	0,0226
b1_7_bpfi_acc_01588N	4,2748	0,6845	0,0017	0,0408	0,0175
b1_7_bpfi_acc_01632N	3,6509	0,7320	0,0016	0,0401	0,0187
b1_7_bpfi_acc_01675N	3,3895	0,6635	0,0016	0,0397	0,0154
b1_7_bpfi_acc_01719N	4,2252	0,6958	0,0017	0,0417	0,0179
b1_7_bpfi_acc_01763N	5,1861	0,7171	0,0015	0,0388	0,0262
b1_7_bpfi_acc_01807N	3,4926	0,6847	0,0016	0,0396	0,0169
b1_7_bpfi_acc_01851N	3,4628	1,3856	0,0025	0,0500	0,0297
b1_7_bpfi_acc_01894N	4,9537	0,8672	0,0019	0,0438	0,0225
b1_7_bpfi_acc_01938N	4,5638	1,4398	0,0031	0,0558	0,0285
b1_7_bpfi_acc_01982N	4,5864	0,6616	0,0013	0,0357	0,0205
b1_7_bpfi_acc_02026N	3,5306	0,9409	0,0023	0,0475	0,0209
b1_7_bpfi_acc_02070N	5,9225	0,8932	0,0020	0,0442	0,0216
b1_7_bpfi_acc_02113N	3,9601	0,7526	0,0019	0,0430	0,0193
b1_7_bpfi_acc_02157N	5,0258	0,6892	0,0018	0,0426	0,0170
b1_7_bpfi_acc_02201N	3,3622	0,9919	0,0021	0,0462	0,0279
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b1_7_bpfi_acc_02202F	4,0143	0,7716	0,0020	0,0447	0,0217
b1_7_bpfi_acc_02207F	5,9513	1,0801	0,0029	0,0541	0,0314
b1_7_bpfi_acc_02212F	6,7502	2,2175	0,0113	0,1064	0,0306
b1_7_bpfi_acc_02217F	5,9762	4,5346	0,0361	0,1900	0,0510
b1_7_bpfi_acc_02222F	5,4419	2,4568	0,0236	0,1537	0,0301
b1_7_bpfi_acc_02227F	5,6990	2,3507	0,0211	0,1453	0,0370
b1_7_bpfi_acc_02232F	6,1410	4,1846	0,0285	0,1687	0,0846
b1_7_bpfi_acc_02237F	4,4528	2,3165	0,0206	0,1437	0,0589
b1_7_bpfi_acc_02242F	4,1962	2,4970	0,0268	0,1637	0,0508
b1_7_bpfi_acc_02247F	4,3618	2,4854	0,0245	0,1565	0,0515

Bearing 2\_1  
Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b2_1_bpfi_acc_00010N	3,0180	0,4489	4,6289	1,2601	0,0869
b2_1_bpfi_acc_00028N	3,0542	0,4891	5,0903	1,2479	0,0227
b2_1_bpfi_acc_00045N	2,9698	0,5495	4,7168	1,2515	0,0224
b2_1_bpfi_acc_00063N	3,2262	0,3359	4,5719	1,2660	-0,0842
b2_1_bpfi_acc_00081N	2,9913	0,3430	4,6425	1,2587	0,0472
b2_1_bpfi_acc_00098N	2,9532	0,3852	4,8233	1,2452	0,0293
b2_1_bpfi_acc_00116N	3,2404	0,3677	4,9065	1,2607	0,1181
b2_1_bpfi_acc_00133N	3,7665	0,3642	6,8198	1,2835	-0,0354
b2_1_bpfi_acc_00151N	3,2069	0,4778	4,7556	1,2701	-0,0236
b2_1_bpfi_acc_00169N	2,9587	0,5333	4,2522	1,2495	-0,0208
b2_1_bpfi_acc_00186N	3,2245	0,5849	4,6456	1,2733	0,0532
b2_1_bpfi_acc_00204N	3,1445	0,6177	5,6650	1,2556	-0,0791
b2_1_bpfi_acc_00222N	2,9302	0,6777	4,4516	1,2550	0,0526
b2_1_bpfi_acc_00239N	3,0307	0,6248	4,5605	1,2547	-0,0418
b2_1_bpfi_acc_00257N	2,9804	0,7590	3,8949	1,2525	-0,0178
b2_1_bpfi_acc_00274N	2,8981	0,6810	4,4481	1,2470	-0,0433
b2_1_bpfi_acc_00292N	3,0720	0,7454	5,3483	1,2559	0,0305
b2_1_bpfi_acc_00310N	3,2443	0,7348	5,2391	1,2623	0,0038
b2_1_bpfi_acc_00327N	2,8476	0,7542	4,2214	1,2475	-0,0192
b2_1_bpfi_acc_00345N	2,9893	0,7642	4,3235	1,2539	-0,0357
b2_1_bpfi_acc_00363N	2,9578	0,6962	4,6898	1,2552	-0,0371
b2_1_bpfi_acc_00380N	3,0474	0,5917	5,0575	1,2531	0,0470
b2_1_bpfi_acc_00398N	3,1188	0,5787	4,7389	1,2609	0,0422
b2_1_bpfi_acc_00416N	3,3564	0,5929	5,3842	1,2774	-0,1546
b2_1_bpfi_acc_00433N	3,0625	0,5720	4,4603	1,2568	0,0428
b2_1_bpfi_acc_00451N	3,2199	0,5272	4,8265	1,2690	-0,0509
b2_1_bpfi_acc_00468N	3,2597	0,5920	4,4903	1,2707	-0,0087
b2_1_bpfi_acc_00486N	3,2334	0,6296	5,2926	1,2708	-0,1026
b2_1_bpfi_acc_00504N	3,0265	0,5667	4,4199	1,2537	-0,0399
b2_1_bpfi_acc_00521N	3,0758	0,5745	4,7218	1,2530	-0,0794
<b>Testing data(normal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00539N	3,4987	0,6712	5,9774	1,2879	-0,0551
b2_1_bpfi_acc_00557N	3,2338	0,6496	5,1447	1,2703	-0,0335
b2_1_bpfi_acc_00574N	3,1592	0,7086	5,5742	1,2623	0,0484
b2_1_bpfi_acc_00592N	3,2320	0,6555	6,0390	1,2654	-0,0247
b2_1_bpfi_acc_00610N	6,0207	0,6831	8,5264	1,3059	-0,0259
b2_1_bpfi_acc_00627N	3,2377	0,6451	4,3847	1,2674	-0,0359
b2_1_bpfi_acc_00645N	3,2305	0,6317	5,0917	1,2734	-0,0196
b2_1_bpfi_acc_00662N	3,3183	0,5844	5,6083	1,2713	-0,0850
b2_1_bpfi_acc_00680N	3,4930	0,6016	5,6398	1,2847	-0,0177
b2_1_bpfi_acc_00698N	3,2856	0,6080	4,4917	1,2797	-0,1416
b2_1_bpfi_acc_00715N	3,4701	0,5691	5,4788	1,2809	-0,0830

b2_1_bpfi_acc_00733N	3,4319	0,6288	5,0977	1,2780	-0,0327
b2_1_bpfi_acc_00751N	3,0956	0,6131	4,4222	1,2598	-0,0508
b2_1_bpfi_acc_00768N	3,2156	0,5922	5,2964	1,2592	-0,0855
b2_1_bpfi_acc_00786N	3,3562	0,5825	5,4843	1,2815	-0,1258
b2_1_bpfi_acc_00803N	3,1549	0,5515	4,2376	1,2702	0,0037
b2_1_bpfi_acc_00821N	7,4199	0,6169	11,2688	1,3085	-0,0195
b2_1_bpfi_acc_00839N	10,6450	0,6322	13,6472	1,3421	-0,4197
b2_1_bpfi_acc_00856N	3,1731	0,5665	4,6803	1,2639	-0,0549
b2_1_bpfi_acc_00874N	3,2008	0,5512	4,8579	1,2601	-0,0439
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00875F	6,8264	0,7797	10,1452	1,3622	-0,2803
b2_1_bpfi_acc_00878F	5,5874	0,8408	8,3412	1,3338	-0,3004
b2_1_bpfi_acc_00881F	5,1676	0,8552	7,3783	1,3276	-0,3373
b2_1_bpfi_acc_00884F	4,7238	0,9226	7,1213	1,3099	-0,1938
b2_1_bpfi_acc_00887F	4,7996	0,9571	7,5369	1,3154	-0,2673
b2_1_bpfi_acc_00890F	6,2351	0,9442	9,5014	1,3396	-0,1831
b2_1_bpfi_acc_00893F	4,8713	0,9708	7,9213	1,3030	0,0281
b2_1_bpfi_acc_00896F	3,8306	1,1345	5,7742	1,2745	0,0028
b2_1_bpfi_acc_00899F	3,9371	1,1991	6,6375	1,2930	-0,0499
b2_1_bpfi_acc_00902F	4,5558	1,5317	6,7202	1,3195	-0,1323

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b2_1_bpfi_acc_00010N	3,6734	22,7132	0,2012	0,4486	-0,2830
b2_1_bpfi_acc_00028N	4,0790	24,7460	0,2392	0,4891	-0,3490
b2_1_bpfi_acc_00045N	3,7690	27,8022	0,3021	0,5496	-0,3685
b2_1_bpfi_acc_00063N	3,6112	16,9953	0,1128	0,3359	-0,2150
b2_1_bpfi_acc_00081N	3,6885	17,3525	0,1169	0,3420	-0,2580
b2_1_bpfi_acc_00098N	3,8734	19,4892	0,1484	0,3852	-0,2780
b2_1_bpfi_acc_00116N	3,8920	18,6030	0,1352	0,3677	-0,2440
b2_1_bpfi_acc_00133N	5,3133	18,4264	0,1321	0,3634	-0,2540
b2_1_bpfi_acc_00151N	3,7442	24,1755	0,2272	0,4767	-0,3425
b2_1_bpfi_acc_00169N	3,4031	26,9853	0,2841	0,5330	-0,3395
b2_1_bpfi_acc_00186N	3,6484	29,5944	0,3423	0,5850	-0,3720
b2_1_bpfi_acc_00204N	4,5118	31,2543	0,3814	0,6176	-0,4350
b2_1_bpfi_acc_00222N	3,5471	34,2913	0,4594	0,6778	-0,4660
b2_1_bpfi_acc_00239N	3,6347	31,6132	0,3905	0,6249	-0,4155
b2_1_bpfi_acc_00257N	3,1096	38,4003	0,5762	0,7591	-0,5250
b2_1_bpfi_acc_00274N	3,5670	34,4542	0,4634	0,6808	-0,4890
b2_1_bpfi_acc_00292N	4,2584	37,7123	0,5555	0,7453	-0,5050
b2_1_bpfi_acc_00310N	4,1505	37,1806	0,5399	0,7348	-0,5020
b2_1_bpfi_acc_00327N	3,3838	38,1585	0,5675	0,7533	-0,5350
b2_1_bpfi_acc_00345N	3,4480	38,6659	0,5833	0,7638	-0,4635
b2_1_bpfi_acc_00363N	3,7361	35,2239	0,4842	0,6959	-0,4420
b2_1_bpfi_acc_00380N	4,0359	29,9377	0,3498	0,5915	-0,4220
b2_1_bpfi_acc_00398N	3,7585	29,2797	0,3349	0,5787	-0,3970

b2_1_bpfi_acc_00416N	4,2149	29,9985	0,3516	0,5930	-0,3620
b2_1_bpfi_acc_00433N	3,5489	28,9416	0,3273	0,5721	-0,3870
b2_1_bpfi_acc_00451N	3,8034	26,6725	0,2780	0,5272	-0,3470
b2_1_bpfi_acc_00468N	3,5338	29,9529	0,3503	0,5918	-0,3670
b2_1_bpfi_acc_00486N	4,1647	31,8542	0,3961	0,6294	-0,3845
b2_1_bpfi_acc_00504N	3,5254	28,6752	0,3213	0,5669	-0,3730
b2_1_bpfi_acc_00521N	3,7684	29,0688	0,3301	0,5745	-0,3820
<b>Testing data(normal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00539N	4,6411	33,9593	0,4505	0,6712	-0,4060
b2_1_bpfi_acc_00557N	4,0501	32,8680	0,4221	0,6497	-0,4120
b2_1_bpfi_acc_00574N	4,4160	35,8509	0,5016	0,7082	-0,4410
b2_1_bpfi_acc_00592N	4,7723	33,1637	0,4297	0,6555	-0,4245
b2_1_bpfi_acc_00610N	6,5292	34,5619	0,4661	0,6827	-0,4570
b2_1_bpfi_acc_00627N	3,4597	32,6421	0,4164	0,6453	-0,4180
b2_1_bpfi_acc_00645N	3,9986	31,9627	0,3992	0,6318	-0,4175
b2_1_bpfi_acc_00662N	4,4116	29,5673	0,3412	0,5841	-0,3590
b2_1_bpfi_acc_00680N	4,3901	30,4378	0,3620	0,6017	-0,3725
b2_1_bpfi_acc_00698N	3,5099	30,7624	0,3698	0,6081	-0,3745
b2_1_bpfi_acc_00715N	4,2772	28,7924	0,3237	0,5690	-0,3445
b2_1_bpfi_acc_00733N	3,9887	31,8135	0,3955	0,6289	-0,4105
b2_1_bpfi_acc_00751N	3,5102	31,0189	0,3756	0,6128	-0,3790
b2_1_bpfi_acc_00768N	4,2063	29,9637	0,3508	0,5923	-0,4000
b2_1_bpfi_acc_00786N	4,2796	29,4738	0,3392	0,5824	-0,3360
b2_1_bpfi_acc_00803N	3,3361	27,9060	0,3043	0,5516	-0,3585
b2_1_bpfi_acc_00821N	8,6122	31,2136	0,3799	0,6164	-0,4240
b2_1_bpfi_acc_00839N	10,1684	31,9847	0,3998	0,6323	-0,3830
b2_1_bpfi_acc_00856N	3,7032	28,6650	0,3210	0,5665	-0,3500
b2_1_bpfi_acc_00874N	3,8552	27,8886	0,3030	0,5504	-0,3380
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00875F	7,4478	39,4499	0,6082	0,7798	-0,4380
b2_1_bpfi_acc_00878F	6,2537	42,5406	0,7072	0,8409	-0,4950
b2_1_bpfi_acc_00881F	5,5578	43,2695	0,7316	0,8553	-0,5020
b2_1_bpfi_acc_00884F	5,4367	46,6815	0,8514	0,9227	-0,5725
b2_1_bpfi_acc_00887F	5,7296	48,4279	0,9163	0,9572	-0,5970
b2_1_bpfi_acc_00890F	7,0927	47,7736	0,8918	0,9444	-0,5370
b2_1_bpfi_acc_00893F	6,0794	49,1202	0,9428	0,9710	-0,5875
b2_1_bpfi_acc_00896F	4,5306	57,4015	1,2875	1,1347	-0,7260
b2_1_bpfi_acc_00899F	5,1332	60,6679	1,4380	1,1992	-0,7380
b2_1_bpfi_acc_00902F	5,0932	77,4964	2,3468	1,5319	-0,9155

Με κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b2_1_bpfi_acc_00010N	4,6721	0,0392	3,1303	1,1568	1,0880
b2_1_bpfi_acc_00028N	5,1772	0,0986	4,6797	1,1718	1,1529
b2_1_bpfi_acc_00045N	16,1462	0,0427	5,8331	1,2331	2,5569

b2_1_bpfi_acc_00063N	6,2238	0,0441	3,6827	1,1817	1,3725
b2_1_bpfi_acc_00081N	6,6413	0,0462	4,1977	1,1706	1,3256
b2_1_bpfi_acc_00098N	2,7501	0,0397	2,7790	1,1735	0,6979
b2_1_bpfi_acc_00116N	30,8990	0,0418	9,5305	1,4691	4,3922
b2_1_bpfi_acc_00133N	17,9639	0,0492	9,1622	1,6117	3,5486
b2_1_bpfi_acc_00151N	4,1354	0,0592	3,6091	1,2467	1,1362
b2_1_bpfi_acc_00169N	11,3569	0,0681	4,8114	1,2048	2,2797
b2_1_bpfi_acc_00186N	4,8606	0,0843	3,9119	1,2006	1,2555
b2_1_bpfi_acc_00204N	3,8872	0,0841	3,1623	1,1725	0,9231
b2_1_bpfi_acc_00222N	4,9003	0,0825	3,4177	1,2150	1,3517
b2_1_bpfi_acc_00239N	3,7919	0,0726	3,3487	1,1966	1,0488
b2_1_bpfi_acc_00257N	5,3956	0,0775	3,2351	1,1839	1,3779
b2_1_bpfi_acc_00274N	4,0821	0,0719	3,2195	1,1932	1,1440
b2_1_bpfi_acc_00292N	5,4189	0,0725	3,7628	1,2041	1,3806
b2_1_bpfi_acc_00310N	4,3893	0,0976	3,4622	1,1792	1,0988
b2_1_bpfi_acc_00327N	2,3621	0,0717	2,5375	1,1849	0,6402
b2_1_bpfi_acc_00345N	4,2838	0,0747	3,3796	1,1930	1,1385
b2_1_bpfi_acc_00363N	3,7190	0,0680	3,1830	1,2067	1,0470
b2_1_bpfi_acc_00380N	4,1262	0,0623	3,1473	1,1635	0,9701
b2_1_bpfi_acc_00398N	3,8127	0,0610	3,0081	1,2019	1,0931
b2_1_bpfi_acc_00416N	7,5563	0,0661	4,7730	1,2310	1,6088
b2_1_bpfi_acc_00433N	3,8285	0,0623	3,0204	1,1993	1,0891
b2_1_bpfi_acc_00451N	3,9570	0,0634	3,4428	1,2042	1,0082
b2_1_bpfi_acc_00468N	4,3703	0,1518	4,0735	1,1695	1,0262
b2_1_bpfi_acc_00486N	5,5731	0,0684	3,9022	1,1822	1,3690
b2_1_bpfi_acc_00504N	11,1318	0,0588	5,0189	1,2083	2,0010
b2_1_bpfi_acc_00521N	5,7891	0,0616	3,9290	1,2037	1,3847
testing data(normal)					
b2_1_bpfi_acc_00539N	11,3607	0,0659	5,4468	1,2551	2,2367
b2_1_bpfi_acc_00557N	7,6245	0,0740	4,5484	1,2094	1,7219
b2_1_bpfi_acc_00574N	7,0517	0,0689	4,1207	1,2281	1,6872
b2_1_bpfi_acc_00592N	10,2502	0,0744	5,4967	1,2841	2,2331
b2_1_bpfi_acc_00610N	63,7737	0,0760	14,4529	1,7413	7,2690
b2_1_bpfi_acc_00627N	9,2830	0,0738	5,3627	1,2447	1,8885
b2_1_bpfi_acc_00645N	19,0351	0,0627	5,7040	1,2338	3,1668
b2_1_bpfi_acc_00662N	5,1171	0,0614	3,7350	1,2075	1,4411
b2_1_bpfi_acc_00680N	11,9423	0,0593	5,1088	1,2498	2,4727
b2_1_bpfi_acc_00698N	8,2303	0,0735	4,8081	1,2128	1,7673
b2_1_bpfi_acc_00715N	11,4322	0,0598	5,2437	1,2434	2,2844
b2_1_bpfi_acc_00733N	9,6371	0,0591	5,1395	1,2317	1,8442
b2_1_bpfi_acc_00751N	11,2159	0,0583	4,7726	1,2310	2,3308
b2_1_bpfi_acc_00768N	7,7052	0,0718	4,9838	1,3020	1,9878
b2_1_bpfi_acc_00786N	4,8765	0,0607	3,7283	1,2122	1,3416
b2_1_bpfi_acc_00803N	9,9369	0,0582	4,9357	1,2556	2,1618

b2_1_bpfi_acc_00821N	59,2529	0,0719	12,4942	1,5818	6,7069
b2_1_bpfi_acc_00839N	51,7214	0,0702	10,9638	1,6165	6,6716
b2_1_bpfi_acc_00856N	7,4873	0,0738	4,7706	1,2233	1,6320
b2_1_bpfi_acc_00874N	4,5413	0,0699	3,7346	1,2181	1,1759
testing data(abnormal)					
b2_1_bpfi_acc_00875F	21,9661	0,1135	11,3896	1,7537	3,9242
b2_1_bpfi_acc_00878F	12,5206	0,1124	7,9494	1,6884	3,0617
b2_1_bpfi_acc_00881F	17,4615	0,1461	9,6488	1,7652	3,6093
b2_1_bpfi_acc_00884F	14,6834	0,1454	8,6698	1,6331	3,2202
b2_1_bpfi_acc_00887F	13,9882	0,1465	8,9920	1,7046	3,2206
b2_1_bpfi_acc_00890F	21,7400	0,1520	11,4660	1,7762	3,9901
b2_1_bpfi_acc_00893F	26,6365	0,1451	10,1736	1,5907	4,2999
b2_1_bpfi_acc_00896F	13,4340	0,1961	7,8516	1,4665	2,7559
b2_1_bpfi_acc_00899F	10,4356	0,2133	6,0672	1,3420	2,4031
b2_1_bpfi_acc_00902F	11,2832	0,2095	6,6080	1,4535	2,6965

Training data	CF	RSS	Vr	St	Qr
b2_1_bpfi_acc_00010N	2,7061	0,4601	0,0004	0,0198	0,0190
b2_1_bpfi_acc_00028N	3,9937	2,7824	0,0026	0,0514	0,0473
b2_1_bpfi_acc_00045N	4,7305	0,5022	0,0006	0,0251	0,0184
b2_1_bpfi_acc_00063N	3,1164	0,5164	0,0006	0,0236	0,0217
b2_1_bpfi_acc_00081N	3,5860	0,6210	0,0006	0,0241	0,0213
b2_1_bpfi_acc_00098N	2,3682	0,4641	0,0004	0,0208	0,0169
b2_1_bpfi_acc_00116N	6,4872	0,4906	0,0009	0,0307	0,0129
b2_1_bpfi_acc_00133N	5,6849	0,6614	0,0015	0,0387	0,0128
b2_1_bpfi_acc_00151N	2,8948	0,6924	0,0013	0,0355	0,0188
b2_1_bpfi_acc_00169N	3,9935	0,7967	0,0015	0,0381	0,0337
b2_1_bpfi_acc_00186N	3,2583	1,1343	0,0022	0,0468	0,0325
b2_1_bpfi_acc_00204N	2,6971	1,1319	0,0019	0,0440	0,0399
b2_1_bpfi_acc_00222N	2,8130	0,9692	0,0022	0,0470	0,0378
b2_1_bpfi_acc_00239N	2,7986	0,8528	0,0016	0,0400	0,0295
b2_1_bpfi_acc_00257N	2,7326	0,9067	0,0017	0,0416	0,0338
b2_1_bpfi_acc_00274N	2,6982	0,8420	0,0016	0,0394	0,0331
b2_1_bpfi_acc_00292N	3,1250	0,8482	0,0016	0,0405	0,0314
b2_1_bpfi_acc_00310N	2,9360	1,6651	0,0027	0,0518	0,0425
b2_1_bpfi_acc_00327N	2,1415	0,8419	0,0015	0,0386	0,0273
b2_1_bpfi_acc_00345N	2,8329	0,8740	0,0017	0,0409	0,0302
b2_1_bpfi_acc_00363N	2,6379	0,7961	0,0015	0,0382	0,0269
b2_1_bpfi_acc_00380N	2,7050	0,7292	0,0010	0,0320	0,0301
b2_1_bpfi_acc_00398N	2,5028	0,7139	0,0012	0,0340	0,0246
b2_1_bpfi_acc_00416N	3,8774	0,7738	0,0015	0,0387	0,0242
b2_1_bpfi_acc_00433N	2,5184	0,7289	0,0012	0,0345	0,0263
b2_1_bpfi_acc_00451N	2,8591	0,7422	0,0013	0,0355	0,0252
b2_1_bpfi_acc_00468N	3,4830	4,2823	0,0062	0,0788	0,0696



b2_1_bpfi_acc_00486N	3,3009	0,8002	0,0013	0,0366	0,0316
b2_1_bpfi_acc_00504N	4,1535	0,6881	0,0011	0,0331	0,0243
b2_1_bpfi_acc_00521N	3,2642	0,7205	0,0012	0,0344	0,0271
<b>Testing data(normal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00539N	4,3398	0,7708	0,0016	0,0399	0,0296
b2_1_bpfi_acc_00557N	3,7609	0,9957	0,0017	0,0417	0,0321
b2_1_bpfi_acc_00574N	3,3553	0,8065	0,0016	0,0401	0,0262
b2_1_bpfi_acc_00592N	4,2805	1,0007	0,0022	0,0468	0,0267
b2_1_bpfi_acc_00610N	8,2998	0,8894	0,0039	0,0624	0,0237
b2_1_bpfi_acc_00627N	4,3085	0,9925	0,0019	0,0440	0,0296
b2_1_bpfi_acc_00645N	4,6229	0,7341	0,0014	0,0369	0,0254
b2_1_bpfi_acc_00662N	3,0932	0,7186	0,0012	0,0345	0,0260
b2_1_bpfi_acc_00680N	4,0876	0,6941	0,0013	0,0357	0,0253
b2_1_bpfi_acc_00698N	3,9646	0,9888	0,0017	0,0417	0,0315
b2_1_bpfi_acc_00715N	4,2174	0,7000	0,0013	0,0357	0,0239
b2_1_bpfi_acc_00733N	4,1727	0,6923	0,0012	0,0347	0,0241
b2_1_bpfi_acc_00751N	3,8771	0,6821	0,0012	0,0341	0,0253
b2_1_bpfi_acc_00768N	3,8279	0,9657	0,0021	0,0461	0,0244
b2_1_bpfi_acc_00786N	3,0757	0,7102	0,0012	0,0344	0,0256
b2_1_bpfi_acc_00803N	3,9308	0,6816	0,0012	0,0353	0,0227
b2_1_bpfi_acc_00821N	7,8985	0,8443	0,0031	0,0559	0,0231
b2_1_bpfi_acc_00839N	6,7823	0,8217	0,0031	0,0554	0,0206
b2_1_bpfi_acc_00856N	3,8997	0,9932	0,0018	0,0426	0,0272
b2_1_bpfi_acc_00874N	3,0659	0,9406	0,0016	0,0400	0,0261
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_1_bpfi_acc_00875F	6,4946	1,5271	0,0087	0,0935	0,0212
b2_1_bpfi_acc_00878F	4,7082	1,3199	0,0083	0,0909	0,0227
b2_1_bpfi_acc_00881F	5,4661	1,9657	0,0146	0,1207	0,0272
b2_1_bpfi_acc_00884F	5,3088	1,9561	0,0133	0,1153	0,0294
b2_1_bpfi_acc_00887F	5,2753	1,9703	0,0141	0,1189	0,0278
b2_1_bpfi_acc_00890F	6,4554	2,0448	0,0159	0,1260	0,0276
b2_1_bpfi_acc_00893F	6,3956	1,7040	0,0128	0,1132	0,0373
b2_1_bpfi_acc_00896F	5,3541	2,6382	0,0207	0,1438	0,0496
b2_1_bpfi_acc_00899F	4,5209	2,8693	0,0203	0,1426	0,0771
b2_1_bpfi_acc_00902F	4,5461	2,4605	0,0233	0,1526	0,0566

Bearing 2\_4

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b2_4_bpfo_acc_00005N	3,3157	0,3512	5,6775	1,2686	-0,0211
b2_4_bpfo_acc_00019N	3,1783	0,3568	4,8706	1,2639	0,0736
b2_4_bpfo_acc_00033N	2,9391	0,3477	4,4311	1,2484	-0,0308
b2_4_bpfo_acc_00046N	2,8260	0,3637	4,6374	1,2522	-0,0598
b2_4_bpfo_acc_00060N	3,1978	0,3710	4,8016	1,2607	-0,0776

b2_4_bpfo_acc_00073N	3,0344	0,3816	4,6891	1,2565	0,0462
b2_4_bpfo_acc_00087N	2,9722	0,3825	5,5831	1,2577	-0,0569
b2_4_bpfo_acc_00100N	2,9825	0,3707	4,5533	1,2458	-0,0058
b2_4_bpfo_acc_00114N	2,8838	0,3655	4,1804	1,2441	-0,0059
b2_4_bpfo_acc_00128N	3,0101	0,3734	4,3897	1,2637	0,0113
b2_4_bpfo_acc_00141N	2,9953	0,3904	4,8929	1,2543	0,0042
b2_4_bpfo_acc_00155N	3,1624	0,3602	5,0801	1,2551	-0,0403
b2_4_bpfo_acc_00169N	3,2761	0,3593	4,9229	1,2753	0,0065
b2_4_bpfo_acc_00182N	3,0255	0,3695	4,7317	1,2588	-0,0284
b2_4_bpfo_acc_00196N	3,1403	0,3434	4,9326	1,2649	-0,0950
b2_4_bpfo_acc_00210N	2,8546	0,3601	4,8284	1,2481	-0,0667
b2_4_bpfo_acc_00223N	2,7523	0,3750	3,8835	1,2448	-0,0184
b2_4_bpfo_acc_00237N	3,0265	0,3749	4,5976	1,2535	-0,0148
b2_4_bpfo_acc_00251N	3,3172	0,3529	5,0619	1,2707	-0,1340
b2_4_bpfo_acc_00264N	2,9382	0,3473	4,0777	1,2509	-0,0536
b2_4_bpfo_acc_00278N	4,5928	0,3554	6,8369	1,2965	-0,2584
b2_4_bpfo_acc_00291N	2,9203	0,3332	4,2343	1,2495	-0,0466
b2_4_bpfo_acc_00305N	5,2430	0,3853	7,3667	1,3178	-0,2350
b2_4_bpfo_acc_00319N	12,8424	0,4808	11,7246	1,4451	-1,2516
b2_4_bpfo_acc_00332N	4,6021	0,3440	7,4493	1,2904	-0,2925
b2_4_bpfo_acc_00346N	5,5160	0,3571	8,3195	1,3012	-0,5206
b2_4_bpfo_acc_00360N	4,4194	0,3575	7,6150	1,2848	-0,3341
b2_4_bpfo_acc_00373N	3,7144	0,3279	7,3747	1,2659	-0,2246
b2_4_bpfo_acc_00387N	3,5953	0,3269	4,8358	1,2800	-0,0266
b2_4_bpfo_acc_00401N	5,2334	0,3392	8,2636	1,2864	-0,4478
<b>Testing data (normal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00414N	4,2958	0,3212	7,8264	1,2877	-0,3539
b2_4_bpfo_acc_00428N	3,0689	0,2932	4,9367	1,2654	-0,0422
b2_4_bpfo_acc_00442N	3,2288	0,3222	5,3982	1,2595	0,0139
b2_4_bpfo_acc_00455N	3,1346	0,3091	4,9779	1,2663	0,0059
b2_4_bpfo_acc_00469N	2,9155	0,3053	4,2226	1,2575	-0,0515
b2_4_bpfo_acc_00483N	2,9238	0,2900	4,3332	1,2479	0,0875
b2_4_bpfo_acc_00496N	3,2722	0,2998	5,9785	1,2660	0,0071
b2_4_bpfo_acc_00510N	3,2218	0,3114	4,8626	1,2692	-0,1105
b2_4_bpfo_acc_00524N	3,7302	0,3227	6,0520	1,2831	-0,1815
b2_4_bpfo_acc_00537N	3,0446	0,2998	4,9421	1,2599	-0,0440
b2_4_bpfo_acc_00551N	2,9782	0,3117	4,7114	1,2496	0,0616
b2_4_bpfo_acc_00565N	3,5214	0,2978	5,8774	1,2729	-0,1048
b2_4_bpfo_acc_00578N	3,1760	0,3054	5,1763	1,2568	-0,0995
b2_4_bpfo_acc_00592N	3,0188	0,2819	4,8659	1,2526	-0,1606
b2_4_bpfo_acc_00605N	4,0157	0,3150	6,7660	1,2869	-0,2951
b2_4_bpfo_acc_00619N	3,2919	0,3146	6,2205	1,2643	-0,1903
b2_4_bpfo_acc_00633N	3,1154	0,2736	4,5418	1,2580	0,0109
b2_4_bpfo_acc_00647N	3,0139	0,2830	5,3708	1,2458	-0,1361

b2_4_bpfo_acc_00660N	3,1173	0,3146	4,7701	1,2623	-0,0233
b2_4_bpfo_acc_00674N	3,4091	0,2921	5,9565	1,2756	-0,2440
b2_4_bpfo_acc_00687N	2,9537	0,2800	4,2022	1,2503	-0,0295
b2_4_bpfo_acc_00701N	3,3011	0,3010	4,8262	1,2598	-0,0974
b2_4_bpfo_acc_00715N	3,0757	0,2643	4,6828	1,2642	0,0063
b2_4_bpfo_acc_00728N	3,2888	0,2835	4,8730	1,2697	-0,1205
b2_4_bpfo_acc_00742N	3,1307	0,2924	4,4399	1,2615	0,0239
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00743F	3,7200	0,3159	5,8713	1,2909	-0,1181
b2_4_bpfo_acc_00745F	4,4476	1,1326	5,8683	1,3561	-0,1991
b2_4_bpfo_acc_00747F	4,0053	1,0856	6,0656	1,3225	-0,0812
b2_4_bpfo_acc_00749F	4,7639	1,1976	6,6148	1,3450	-0,3010
b2_4_bpfo_acc_00751F	5,4945	1,5632	7,2556	1,3328	-0,6643

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b2_4_bpfo_acc_00005N	4,4755	17,7718	0,1234	0,3513	-0,2240
b2_4_bpfo_acc_00019N	3,8536	18,0531	0,1273	0,3569	-0,2360
b2_4_bpfo_acc_00033N	3,5493	17,5913	0,1209	0,3477	-0,2435
b2_4_bpfo_acc_00046N	3,7034	18,4030	0,1323	0,3637	-0,2360
b2_4_bpfo_acc_00060N	3,8088	18,7705	0,1374	0,3707	-0,2240
b2_4_bpfo_acc_00073N	3,7319	19,3066	0,1456	0,3816	-0,2525
b2_4_bpfo_acc_00087N	4,4393	19,3529	0,1464	0,3826	-0,2520
b2_4_bpfo_acc_00100N	3,6549	18,7578	0,1374	0,3707	-0,2605
b2_4_bpfo_acc_00114N	3,3602	18,4906	0,1335	0,3653	-0,2640
b2_4_bpfo_acc_00128N	3,4738	18,8910	0,1392	0,3732	-0,2320
b2_4_bpfo_acc_00141N	3,9011	19,7531	0,1524	0,3904	-0,2815
b2_4_bpfo_acc_00155N	4,0478	18,2248	0,1298	0,3603	-0,2480
b2_4_bpfo_acc_00169N	3,8601	18,1803	0,1291	0,3593	-0,2245
b2_4_bpfo_acc_00182N	3,7588	18,6969	0,1366	0,3696	-0,2360
b2_4_bpfo_acc_00196N	3,8997	17,3730	0,1177	0,3431	-0,2060
b2_4_bpfo_acc_00210N	3,8688	18,2179	0,1291	0,3594	-0,2600
b2_4_bpfo_acc_00223N	3,1198	18,9748	0,1390	0,3729	-0,3005
b2_4_bpfo_acc_00237N	3,6677	18,9683	0,1406	0,3750	-0,2500
b2_4_bpfo_acc_00251N	3,9836	17,8579	0,1238	0,3518	-0,2560
b2_4_bpfo_acc_00264N	3,2598	17,5704	0,1206	0,3472	-0,2225
b2_4_bpfo_acc_00278N	5,2733	17,9807	0,1263	0,3554	-0,2110
b2_4_bpfo_acc_00291N	3,3887	16,8571	0,1110	0,3332	-0,2310
b2_4_bpfo_acc_00305N	5,5902	19,4956	0,1475	0,3840	-0,2015
b2_4_bpfo_acc_00319N	8,1133	24,3276	0,2312	0,4808	-0,2405
b2_4_bpfo_acc_00332N	5,7730	17,4060	0,1183	0,3440	-0,2285
b2_4_bpfo_acc_00346N	6,3939	18,0659	0,1260	0,3549	-0,2605
b2_4_bpfo_acc_00360N	5,9271	18,0887	0,1277	0,3574	-0,2410
b2_4_bpfo_acc_00373N	5,8256	16,5886	0,1075	0,3279	-0,2060
b2_4_bpfo_acc_00387N	3,7780	16,5397	0,1068	0,3269	-0,2155

b2_4_bpfo_acc_00401N	6,4237	17,1630	0,1142	0,3379	-0,1785
<b>Testing data (normal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00414N	6,0780	16,2494	0,1030	0,3210	-0,1900
b2_4_bpfo_acc_00428N	3,9012	14,8372	0,0857	0,2928	-0,2080
b2_4_bpfo_acc_00442N	4,2860	16,3026	0,1038	0,3222	-0,2260
b2_4_bpfo_acc_00455N	3,9311	15,6378	0,0952	0,3086	-0,2275
b2_4_bpfo_acc_00469N	3,3578	15,4449	0,0932	0,3052	-0,1990
b2_4_bpfo_acc_00483N	3,4724	14,6728	0,0838	0,2895	-0,1810
b2_4_bpfo_acc_00496N	4,7225	15,1710	0,0897	0,2995	-0,1820
b2_4_bpfo_acc_00510N	3,8312	15,7553	0,0969	0,3113	-0,2060
b2_4_bpfo_acc_00524N	4,7166	16,3268	0,1039	0,3223	-0,1870
b2_4_bpfo_acc_00537N	3,9227	15,1687	0,0899	0,2998	-0,1870
b2_4_bpfo_acc_00551N	3,7702	15,7685	0,0972	0,3117	-0,2105
b2_4_bpfo_acc_00565N	4,6174	15,0668	0,0886	0,2977	-0,1850
b2_4_bpfo_acc_00578N	4,1186	15,4542	0,0931	0,3052	-0,2155
b2_4_bpfo_acc_00592N	3,8847	14,2620	0,0791	0,2813	-0,2050
b2_4_bpfo_acc_00605N	5,2577	15,9361	0,0992	0,3150	-0,1980
b2_4_bpfo_acc_00619N	4,9200	15,9193	0,0987	0,3141	-0,2195
b2_4_bpfo_acc_00633N	3,6105	13,8455	0,0749	0,2736	-0,1860
b2_4_bpfo_acc_00647N	4,3110	14,3185	0,0796	0,2822	-0,2090
b2_4_bpfo_acc_00660N	3,7791	15,9191	0,0987	0,3142	-0,2325
b2_4_bpfo_acc_00674N	4,6696	14,7793	0,0853	0,2921	-0,1840
b2_4_bpfo_acc_00687N	3,3609	14,1664	0,0784	0,2800	-0,1870
b2_4_bpfo_acc_00701N	3,8310	15,2278	0,0906	0,3010	-0,1880
b2_4_bpfo_acc_00715N	3,7043	13,3720	0,0698	0,2643	-0,1780
b2_4_bpfo_acc_00728N	3,8380	14,3432	0,0803	0,2835	-0,1930
b2_4_bpfo_acc_00742N	3,5194	14,7933	0,0854	0,2923	-0,1970
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00743F	4,5482	15,9859	0,0998	0,3160	-0,1990
b2_4_bpfo_acc_00745F	4,3273	57,3039	1,2832	1,1328	-0,6010
b2_4_bpfo_acc_00747F	4,5864	54,9278	1,1789	1,0858	-0,6240
b2_4_bpfo_acc_00749F	4,9181	60,5946	1,4343	1,1976	-0,6370
b2_4_bpfo_acc_00751F	5,4441	79,0908	2,4439	1,5633	-0,8375

Με κυρτώγραμμα

<b>Training data</b>	<b>kurt</b>	<b>Rms</b>	<b>Imf</b>	<b>SpF</b>	<b>Sk</b>
b2_4_bpfo_acc_00005N	5,8869	0,0385	4,1837	1,1972	1,2297
b2_4_bpfo_acc_00019N	6,4371	0,0448	3,9765	1,2239	1,5729
b2_4_bpfo_acc_00033N	5,3796	0,0594	3,7557	1,1781	1,2614
b2_4_bpfo_acc_00046N	4,0112	0,0492	2,9409	1,1522	1,0387
b2_4_bpfo_acc_00060N	3,6568	0,0414	3,1467	1,1782	0,8333
b2_4_bpfo_acc_00073N	9,6668	0,0493	4,9491	1,1885	1,6738
b2_4_bpfo_acc_00087N	12,6495	0,0494	5,2265	1,2010	2,2495
b2_4_bpfo_acc_00100N	3,6264	0,0478	2,7721	1,1607	1,0144

b2_4_bpfo_acc_00114N	4,3550	0,0475	3,3537	1,1619	1,0601
b2_4_bpfo_acc_00128N	4,2178	0,0482	3,0744	1,1848	1,1157
b2_4_bpfo_acc_00141N	3,7991	0,0440	3,1058	1,1775	1,0255
b2_4_bpfo_acc_00155N	4,5114	0,0442	3,1743	1,1657	1,1047
b2_4_bpfo_acc_00169N	6,1205	0,0433	3,6874	1,2076	1,5846
b2_4_bpfo_acc_00182N	6,3511	0,0475	4,4319	1,2045	1,4636
b2_4_bpfo_acc_00196N	6,1070	0,0502	4,0791	1,2018	1,5634
b2_4_bpfo_acc_00210N	3,5565	0,0449	3,0337	1,1705	0,8440
b2_4_bpfo_acc_00223N	3,0262	0,0429	2,9906	1,1793	0,7635
b2_4_bpfo_acc_00237N	12,9413	0,0451	5,3452	1,2271	2,3955
b2_4_bpfo_acc_00251N	20,7948	0,0644	6,2868	1,2446	3,2902
b2_4_bpfo_acc_00264N	10,1473	0,0528	4,4149	1,1790	2,0469
b2_4_bpfo_acc_00278N	17,9130	0,0645	7,2402	1,3590	3,3487
b2_4_bpfo_acc_00291N	3,2236	0,0415	3,0561	1,1915	0,9226
b2_4_bpfo_acc_00305N	29,5726	0,0442	8,3237	1,4612	4,5979
b2_4_bpfo_acc_00319N	22,4032	0,0566	10,0156	1,7330	4,0598
b2_4_bpfo_acc_00332N	13,1732	0,0489	5,8663	1,2962	2,6417
b2_4_bpfo_acc_00346N	14,2858	0,0458	5,9325	1,4308	3,2657
b2_4_bpfo_acc_00360N	16,0810	0,0535	5,8153	1,3233	3,1121
b2_4_bpfo_acc_00373N	10,4012	0,0416	5,2119	1,2517	2,2339
b2_4_bpfo_acc_00387N	7,6401	0,0487	5,1534	1,3091	2,0256
b2_4_bpfo_acc_00401N	18,7245	0,0404	6,3083	1,3201	3,4771
<b>Testing data (normal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00414N	26,9094	0,0612	7,9890	1,3203	3,8675
b2_4_bpfo_acc_00428N	4,8390	0,0372	3,3120	1,1978	1,2966
b2_4_bpfo_acc_00442N	7,5995	0,0391	3,8027	1,2192	1,9961
b2_4_bpfo_acc_00455N	5,8288	0,0474	4,2972	1,2705	1,6335
b2_4_bpfo_acc_00469N	6,2295	0,0455	3,9636	1,2118	1,6311
b2_4_bpfo_acc_00483N	4,5865	0,0367	3,6364	1,1865	1,0954
b2_4_bpfo_acc_00496N	3,5323	0,0381	3,1335	1,2207	1,0885
b2_4_bpfo_acc_00510N	7,1698	0,0484	4,0826	1,2065	1,5870
b2_4_bpfo_acc_00524N	7,7563	0,0408	4,4801	1,2595	1,9876
b2_4_bpfo_acc_00537N	7,1606	0,0388	4,0567	1,1796	1,4982
b2_4_bpfo_acc_00551N	5,0141	0,0404	3,5491	1,2139	1,2736
b2_4_bpfo_acc_00565N	5,9247	0,0455	3,7128	1,1872	1,4619
b2_4_bpfo_acc_00578N	5,3418	0,0547	3,6955	1,1867	1,3607
b2_4_bpfo_acc_00592N	3,7956	0,0389	3,0156	1,1699	1,0029
b2_4_bpfo_acc_00605N	9,5935	0,0467	4,9582	1,2959	2,2556
b2_4_bpfo_acc_00619N	10,1429	0,0422	4,8851	1,2284	2,1412
b2_4_bpfo_acc_00633N	4,5120	0,0452	3,3987	1,1944	1,1244
b2_4_bpfo_acc_00647N	15,1622	0,0463	5,5985	1,2472	2,7015
b2_4_bpfo_acc_00660N	4,7770	0,0393	3,3855	1,2590	1,5141
b2_4_bpfo_acc_00674N	7,4240	0,0455	4,1937	1,2357	1,8733
b2_4_bpfo_acc_00687N	3,5359	0,0381	3,1105	1,1887	1,0078

b2_4_bpfo_acc_00701N	4,3522	0,0475	3,2021	1,1802	1,1450
b2_4_bpfo_acc_00715N	5,1176	0,0368	3,6535	1,1836	1,2402
b2_4_bpfo_acc_00728N	4,0083	0,0451	3,4531	1,1749	0,9322
b2_4_bpfo_acc_00742N	3,9405	0,0487	3,4479	1,1988	1,0298
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00743F	6,1342	0,0441	4,3212	1,2802	1,7034
b2_4_bpfo_acc_00745F	5,4215	0,1117	4,3086	1,3891	1,8215
b2_4_bpfo_acc_00747F	5,4898	0,1076	4,6003	1,2948	1,5519
b2_4_bpfo_acc_00749F	4,5949	0,1273	3,5090	1,2642	1,4841
b2_4_bpfo_acc_00751F	5,6159	0,1651	4,3854	1,3176	1,7086

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b2_4_bpfo_acc_00005N	3,4945	0,4525	0,0005	0,0213	0,0137
b2_4_bpfo_acc_00019N	3,2490	0,6023	0,0007	0,0259	0,0177
b2_4_bpfo_acc_00033N	3,1878	1,0149	0,0010	0,0315	0,0275
b2_4_bpfo_acc_00046N	2,5523	0,6613	0,0006	0,0245	0,0249
b2_4_bpfo_acc_00060N	2,6708	0,4858	0,0005	0,0219	0,0184
b2_4_bpfo_acc_00073N	4,1642	0,6629	0,0007	0,0267	0,0222
b2_4_bpfo_acc_00087N	4,3519	0,6650	0,0008	0,0274	0,0243
b2_4_bpfo_acc_00100N	2,3883	0,6429	0,0006	0,0243	0,0238
b2_4_bpfo_acc_00114N	2,8863	0,6391	0,0006	0,0243	0,0232
b2_4_bpfo_acc_00128N	2,5948	0,6485	0,0007	0,0259	0,0220
b2_4_bpfo_acc_00141N	2,6378	0,5149	0,0005	0,0233	0,0203
b2_4_bpfo_acc_00155N	2,7231	0,5187	0,0005	0,0228	0,0216
b2_4_bpfo_acc_00169N	3,0535	0,5091	0,0006	0,0244	0,0208
b2_4_bpfo_acc_00182N	3,6795	0,6392	0,0007	0,0266	0,0194
b2_4_bpfo_acc_00196N	3,3941	0,6749	0,0008	0,0279	0,0220
b2_4_bpfo_acc_00210N	2,5917	0,5252	0,0005	0,0234	0,0222
b2_4_bpfo_acc_00223N	2,5359	0,5025	0,0005	0,0228	0,0191
b2_4_bpfo_acc_00237N	4,3560	0,5274	0,0007	0,0262	0,0190
b2_4_bpfo_acc_00251N	5,0510	1,0989	0,0015	0,0384	0,0303
b2_4_bpfo_acc_00264N	3,7447	0,7106	0,0008	0,0281	0,0271
b2_4_bpfo_acc_00278N	5,3276	1,1005	0,0019	0,0438	0,0244
b2_4_bpfo_acc_00291N	2,5650	0,4855	0,0005	0,0226	0,0173
b2_4_bpfo_acc_00305N	5,6965	0,5187	0,0010	0,0323	0,0145
b2_4_bpfo_acc_00319N	5,7792	0,7617	0,0021	0,0464	0,0112
b2_4_bpfo_acc_00332N	4,5257	0,6572	0,0010	0,0312	0,0172
b2_4_bpfo_acc_00346N	4,1462	0,5378	0,0011	0,0329	0,0148
b2_4_bpfo_acc_00360N	4,3946	0,7193	0,0012	0,0351	0,0200
b2_4_bpfo_acc_00373N	4,1637	0,4873	0,0006	0,0251	0,0169
b2_4_bpfo_acc_00387N	3,9367	0,6550	0,0010	0,0315	0,0173
b2_4_bpfo_acc_00401N	4,7785	0,4725	0,0007	0,0264	0,0161
<b>Testing data (normal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00414N	6,0507	1,0435	0,0016	0,0400	0,0227
b2_4_bpfo_acc_00428N	2,7651	0,4357	0,0004	0,0206	0,0171

b2_4_bpfo_acc_00442N	3,1191	0,4577	0,0005	0,0225	0,0186
b2_4_bpfo_acc_00455N	3,3822	0,6383	0,0009	0,0294	0,0174
b2_4_bpfo_acc_00469N	3,2708	0,6119	0,0007	0,0258	0,0215
b2_4_bpfo_acc_00483N	3,0648	0,4290	0,0004	0,0198	0,0155
b2_4_bpfo_acc_00496N	2,5670	0,4455	0,0005	0,0219	0,0141
b2_4_bpfo_acc_00510N	3,3838	0,6506	0,0007	0,0271	0,0209
b2_4_bpfo_acc_00524N	3,5571	0,4779	0,0006	0,0249	0,0157
b2_4_bpfo_acc_00537N	3,4392	0,4541	0,0004	0,0207	0,0198
b2_4_bpfo_acc_00551N	2,9236	0,4725	0,0005	0,0230	0,0156
b2_4_bpfo_acc_00565N	3,1273	0,6115	0,0006	0,0246	0,0208
b2_4_bpfo_acc_00578N	3,1142	0,9323	0,0009	0,0295	0,0253
b2_4_bpfo_acc_00592N	2,5776	0,4552	0,0004	0,0203	0,0179
b2_4_bpfo_acc_00605N	3,8260	0,6280	0,0009	0,0298	0,0169
b2_4_bpfo_acc_00619N	3,9767	0,4958	0,0006	0,0246	0,0175
b2_4_bpfo_acc_00633N	2,8456	0,6079	0,0006	0,0248	0,0191
b2_4_bpfo_acc_00647N	4,4890	0,6226	0,0008	0,0277	0,0193
b2_4_bpfo_acc_00660N	2,6890	0,4597	0,0006	0,0240	0,0157
b2_4_bpfo_acc_00674N	3,3937	0,6120	0,0007	0,0268	0,0204
b2_4_bpfo_acc_00687N	2,6168	0,4472	0,0004	0,0207	0,0173
b2_4_bpfo_acc_00701N	2,7131	0,6385	0,0006	0,0253	0,0219
b2_4_bpfo_acc_00715N	3,0868	0,4309	0,0004	0,0198	0,0170
b2_4_bpfo_acc_00728N	2,9391	0,6063	0,0006	0,0237	0,0204
b2_4_bpfo_acc_00742N	2,8761	0,6555	0,0007	0,0269	0,0211
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b2_4_bpfo_acc_00743F	3,3753	0,5183	0,0008	0,0277	0,0138
b2_4_bpfo_acc_00745F	3,1017	1,3123	0,0061	0,0778	0,0351
b2_4_bpfo_acc_00747F	3,5528	1,2639	0,0047	0,0686	0,0362
b2_4_bpfo_acc_00749F	2,7757	1,4959	0,0061	0,0782	0,0487
b2_4_bpfo_acc_00751F	3,3283	1,9389	0,0116	0,1079	0,0559

### Bearing 3\_2

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b3_2_bpfi_acc_00015N	3,0286	0,4069	5,1335	1,2523	-0,0110
b3_2_bpfi_acc_00047N	3,3844	0,4502	5,1732	1,2671	-0,0473
b3_2_bpfi_acc_00079N	4,5038	0,4458	8,9827	1,2528	-0,1884
b3_2_bpfi_acc_00111N	3,5235	0,2908	5,4981	1,2813	0,0337
b3_2_bpfi_acc_00143N	3,9346	0,3067	7,4143	1,2840	-0,1351
b3_2_bpfi_acc_00175N	3,4375	0,2689	5,1084	1,2720	-0,0227
b3_2_bpfi_acc_00207N	3,9346	0,3067	7,4143	1,2840	-0,1351
b3_2_bpfi_acc_00239N	3,7117	0,3338	5,6994	1,2923	0,1259
b3_2_bpfi_acc_00271N	4,3507	0,3180	7,2943	1,3023	-0,1751
b3_2_bpfi_acc_00303N	3,9514	0,3020	5,9712	1,3022	0,0782
b3_2_bpfi_acc_00335N	5,0428	0,3415	8,7703	1,3210	-0,0840

b3_2_bpfi_acc_00367N	4,2656	0,3248	6,8770	1,3146	-0,0063
b3_2_bpfi_acc_00399N	6,3695	0,3254	9,2179	1,3445	-0,4270
b3_2_bpfi_acc_00431N	5,0703	0,3355	7,1507	1,3462	-0,0368
b3_2_bpfi_acc_00463N	4,3581	0,2996	7,2936	1,3045	-0,1989
b3_2_bpfi_acc_00495N	4,9147	0,2666	7,2035	1,3083	-0,1076
b3_2_bpfi_acc_00527N	4,3494	0,3027	6,2430	1,2986	0,0738
b3_2_bpfi_acc_00559N	3,9624	0,2962	6,6175	1,2897	0,0232
b3_2_bpfi_acc_00591N	4,9031	0,2836	8,2582	1,3004	-0,3281
b3_2_bpfi_acc_00623N	4,0342	0,2886	6,1908	1,2956	-0,0754
b3_2_bpfi_acc_00655N	4,9422	0,3175	6,3800	1,3264	-0,0326
b3_2_bpfi_acc_00687N	4,6583	0,2992	6,0306	1,3181	-0,0038
b3_2_bpfi_acc_00719N	4,9966	0,2697	7,7158	1,3214	-0,1519
b3_2_bpfi_acc_00751N	3,9150	0,2751	6,1107	1,2893	-0,0246
b3_2_bpfi_acc_00783N	4,6971	0,2950	7,2770	1,3076	-0,3219
b3_2_bpfi_acc_00815N	5,8981	0,3431	7,1973	1,3570	-0,1594
b3_2_bpfi_acc_00847N	3,5759	0,3083	5,8003	1,2847	-0,1197
b3_2_bpfi_acc_00880N	3,6408	0,2680	5,1933	1,2853	0,1022
b3_2_bpfi_acc_00912N	4,2019	0,3589	5,4254	1,3273	-0,0742
b3_2_bpfi_acc_00944N	4,5761	0,3495	5,8218	1,3422	0,0285
<b>Testing data (normal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_00976N	4,0850	0,2801	5,9688	1,2989	0,0978
b3_2_bpfi_acc_01008N	4,9014	0,3033	6,7333	1,3246	-0,1081
b3_2_bpfi_acc_01039N	4,5948	0,3262	7,3721	1,3212	-0,2255
b3_2_bpfi_acc_01071N	4,5917	0,3071	6,5279	1,3267	-0,1168
b3_2_bpfi_acc_01104N	6,7851	0,3024	7,9980	1,3721	-0,2662
b3_2_bpfi_acc_01136N	6,1417	0,3368	9,0954	1,3646	-0,3852
b3_2_bpfi_acc_01168N	7,3179	0,3290	7,9540	1,4022	-0,2875
b3_2_bpfi_acc_01199N	3,6224	0,2711	5,5992	1,2844	0,0162
b3_2_bpfi_acc_01232N	4,6723	0,3697	6,9882	1,3297	-0,1058
b3_2_bpfi_acc_01264N	5,7256	0,3490	7,9988	1,3599	-0,3023
b3_2_bpfi_acc_01296N	4,6236	0,3294	5,9142	1,3372	-0,1196
b3_2_bpfi_acc_01328N	5,5475	0,2787	7,3547	1,3390	-0,2489
b3_2_bpfi_acc_01360N	4,6816	0,3065	6,5206	1,3167	-0,1266
b3_2_bpfi_acc_01392N	4,8084	0,2979	5,7558	1,3481	0,0754
b3_2_bpfi_acc_01424N	4,1165	0,2414	8,0765	1,2878	-0,1258
b3_2_bpfi_acc_01456N	11,0181	0,2992	11,6917	1,3994	-0,2681
b3_2_bpfi_acc_01488N	6,7545	0,3435	9,2981	1,2936	-0,1773
b3_2_bpfi_acc_01520N	3,2462	0,2547	5,3704	1,2641	-0,0492
b3_2_bpfi_acc_01552N	3,8635	0,2463	8,3291	1,2594	-0,1074
b3_2_bpfi_acc_01584N	3,6054	0,2699	6,1806	1,2696	-0,0787
<b>Testing data (abnormal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_01585F	14,1412	0,3846	12,7211	1,3968	-0,8577
b3_2_bpfi_acc_01590F	10,2469	0,3707	11,0889	1,3748	-0,5740
b3_2_bpfi_acc_01595F	9,4455	0,4024	11,4988	1,3677	-0,4745



b3_2_bpfi_acc_01600F	9,0119	0,4161	10,0534	1,3723	-0,3801
b3_2_bpfi_acc_01605F	7,4128	0,4530	8,8844	1,3840	-0,1689
b3_2_bpfi_acc_01610F	12,4729	0,5786	11,3096	1,4744	-0,5211
b3_2_bpfi_acc_01615F	10,0599	0,6699	11,2387	1,4232	0,2129
b3_2_bpfi_acc_01620F	21,5118	0,8135	14,8442	1,5646	-0,7548
b3_2_bpfi_acc_01625F	15,3853	1,4628	13,0419	1,5570	0,0322
b3_2_bpfi_acc_01630F	9,9954	1,5800	26 11,5977	1,4583	0,1739

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b3_2_bpfi_acc_00015N	4,0991	20,5884	0,1656	0,4070	-0,2790
b3_2_bpfi_acc_00047N	4,0829	22,7771	0,2026	0,4501	-0,3010
b3_2_bpfi_acc_00079N	7,1699	22,5535	0,1988	0,4458	-0,3215
b3_2_bpfi_acc_00111N	4,2912	14,7150	0,0846	0,2909	-0,1870
b3_2_bpfi_acc_00143N	5,7742	15,5184	0,0941	0,3067	-0,1900
b3_2_bpfi_acc_00175N	4,0161	13,6063	0,0723	0,2689	-0,1650
b3_2_bpfi_acc_00207N	5,7742	15,5184	0,0941	0,3067	-0,1900
b3_2_bpfi_acc_00239N	4,4103	16,8872	0,1113	0,3337	-0,2170
b3_2_bpfi_acc_00271N	5,6013	16,0877	0,1011	0,3180	-0,1970
b3_2_bpfi_acc_00303N	4,5856	15,2818	0,0909	0,3015	-0,1660
b3_2_bpfi_acc_00335N	6,6392	17,2766	0,1166	0,3415	-0,2070
b3_2_bpfi_acc_00367N	5,2314	16,4322	0,1053	0,3245	-0,2080
b3_2_bpfi_acc_00399N	6,8560	16,4645	0,1053	0,3245	-0,1645
b3_2_bpfi_acc_00431N	5,3118	16,9739	0,1120	0,3347	-0,1640
b3_2_bpfi_acc_00463N	5,5912	15,1576	0,0898	0,2996	-0,1790
b3_2_bpfi_acc_00495N	5,5062	13,4895	0,0711	0,2667	-0,1690
b3_2_bpfi_acc_00527N	4,8075	15,3131	0,0912	0,3020	-0,1720
b3_2_bpfi_acc_00559N	5,1310	14,9886	0,0878	0,2963	-0,1880
b3_2_bpfi_acc_00591N	6,3505	14,3492	0,0804	0,2836	-0,1780
b3_2_bpfi_acc_00623N	4,7783	14,6018	0,0831	0,2882	-0,2010
b3_2_bpfi_acc_00655N	4,8100	16,0625	0,1007	0,3173	-0,1980
b3_2_bpfi_acc_00687N	4,5752	15,1396	0,0894	0,2989	-0,1620
b3_2_bpfi_acc_00719N	5,8389	13,6480	0,0728	0,2698	-0,1610
b3_2_bpfi_acc_00751N	4,7396	13,9206	0,0751	0,2741	-0,1495
b3_2_bpfi_acc_00783N	5,5652	14,9285	0,0867	0,2944	-0,1980
b3_2_bpfi_acc_00815N	5,3040	17,3616	0,1177	0,3431	-0,1830
b3_2_bpfi_acc_00847N	4,5150	15,5992	0,0951	0,3083	-0,1965
b3_2_bpfi_acc_00880N	4,0406	13,5614	0,0714	0,2671	-0,1460
b3_2_bpfi_acc_00912N	4,0875	18,1592	0,1281	0,3579	-0,1770
b3_2_bpfi_acc_00944N	4,3374	17,6842	0,1221	0,3495	-0,1885
<b>Testing data (normal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_00976N	4,5953	14,1706	0,0784	0,2800	-0,1700
b3_2_bpfi_acc_01008N	5,0834	15,3481	0,0910	0,3017	-0,1500
b3_2_bpfi_acc_01039N	5,5797	16,5036	0,1064	0,3262	-0,1910
b3_2_bpfi_acc_01071N	4,9205	15,5372	0,0943	0,3070	-0,1750
b3_2_bpfi_acc_01104N	5,8291	15,3027	0,0914	0,3023	-0,1785

b3_2_bpfi_acc_01136N	6,6655	17,0414	0,1132	0,3364	-0,1670
b3_2_bpfi_acc_01168N	5,6723	16,6446	0,1081	0,3288	-0,1780
b3_2_bpfi_acc_01199N	4,3595	13,7182	0,0733	0,2708	-0,1610
b3_2_bpfi_acc_01232N	5,2554	18,7062	0,1365	0,3695	-0,2005
b3_2_bpfi_acc_01264N	5,8821	17,6594	0,1213	0,3483	-0,1640
b3_2_bpfi_acc_01296N	4,4228	16,6681	0,1084	0,3293	-0,1735
b3_2_bpfi_acc_01328N	5,4928	14,1027	0,0776	0,2786	-0,1520
b3_2_bpfi_acc_01360N	4,9524	15,5088	0,0938	0,3063	-0,1955
b3_2_bpfi_acc_01392N	4,2695	15,0739	0,0887	0,2978	-0,1615
b3_2_bpfi_acc_01424N	6,2715	12,2145	0,0581	0,2411	-0,1630
b3_2_bpfi_acc_01456N	8,3549	15,1398	0,0894	0,2990	-0,1540
b3_2_bpfi_acc_01488N	7,1877	17,3801	0,1027	0,3204	-0,0660
b3_2_bpfi_acc_01520N	4,2484	12,8860	0,0648	0,2545	-0,1780
b3_2_bpfi_acc_01552N	6,6134	12,4628	0,0606	0,2462	-0,1560
b3_2_bpfi_acc_01584N	4,8682	13,6567	0,0726	0,2695	-0,1850
<b>Testing data (abnormal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_01585F	9,1072	19,4615	0,1459	0,3819	-0,1640
b3_2_bpfi_acc_01590F	8,0659	18,7559	0,1369	0,3700	-0,1850
b3_2_bpfi_acc_01595F	8,4074	20,3593	0,1620	0,4024	-0,2270
b3_2_bpfi_acc_01600F	7,3258	21,0513	0,1699	0,4122	-0,1750
b3_2_bpfi_acc_01605F	6,4195	22,9199	0,2051	0,4529	-0,2565
b3_2_bpfi_acc_01610F	7,6707	29,2732	0,3347	0,5786	-0,2960
b3_2_bpfi_acc_01615F	7,8967	33,8947	0,4489	0,6700	-0,3675
b3_2_bpfi_acc_01620F	9,4873	41,1607	0,6615	0,8133	-0,3475
b3_2_bpfi_acc_01625F	8,3764	74,0126	2,1406	1,4631	-0,6545
b3_2_bpfi_acc_01630F	7,9528	0,0732	2,5019	1,5817	-0,8195

Με κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b3_2_bpfi_acc_00015N	3,2023	0,0334	3,3010	1,1758	0,7149
b3_2_bpfi_acc_00047N	8,1313	0,0608	5,0604	1,1960	1,6067
b3_2_bpfi_acc_00079N	10,3806	0,0452	5,1052	1,2130	2,1138
b3_2_bpfi_acc_00111N	9,1100	0,0499	5,1497	1,1976	1,7262
b3_2_bpfi_acc_00143N	3,9171	0,0417	3,3515	1,1882	0,9781
b3_2_bpfi_acc_00175N	4,5549	0,0569	3,7561	1,1882	1,1048
b3_2_bpfi_acc_00207N	3,9171	0,0417	3,3515	1,1882	0,9781
b3_2_bpfi_acc_00239N	10,8878	0,0359	4,7916	1,2353	2,4224
b3_2_bpfi_acc_00271N	6,5408	0,0373	4,2302	1,2128	1,6308
b3_2_bpfi_acc_00303N	12,2333	0,0388	5,5536	1,2880	2,5416
b3_2_bpfi_acc_00335N	12,0604	0,0411	4,8872	1,2714	2,6914
b3_2_bpfi_acc_00367N	9,3765	0,0532	5,3045	1,2502	2,0429
b3_2_bpfi_acc_00399N	6,3182	0,0437	4,0514	1,2204	1,6428
b3_2_bpfi_acc_00431N	7,4157	0,0387	4,2638	1,3030	2,0617

b3_2_bpfi_acc_00463N	6,1303	0,0355	4,1306	1,2544	1,6942
b3_2_bpfi_acc_00495N	13,0006	0,0339	5,4530	1,2454	2,4707
b3_2_bpfi_acc_00527N	12,2790	0,0369	5,3284	1,2884	2,5892
b3_2_bpfi_acc_00559N	8,6763	0,0345	4,1629	1,2174	2,0825
b3_2_bpfi_acc_00591N	20,0070	0,0396	6,5092	1,2404	2,9866
b3_2_bpfi_acc_00623N	7,2977	0,0358	4,4359	1,2279	1,7259
b3_2_bpfi_acc_00655N	10,9586	0,0357	4,7569	1,2680	2,4112
b3_2_bpfi_acc_00687N	14,7808	0,0356	5,7409	1,2448	2,6433
b3_2_bpfi_acc_00719N	14,2505	0,0371	5,5148	1,2997	2,9097
b3_2_bpfi_acc_00751N	6,3966	0,0393	4,2339	1,2351	1,5912
b3_2_bpfi_acc_00783N	11,9734	0,0498	6,0035	1,2421	2,2370
b3_2_bpfi_acc_00815N	7,1695	0,0415	4,4643	1,2437	1,8043
b3_2_bpfi_acc_00847N	8,5078	0,0420	4,9704	1,2953	2,1071
b3_2_bpfi_acc_00880N	5,4162	0,0334	4,0285	1,2217	1,4069
b3_2_bpfi_acc_00912N	9,3226	0,0366	5,1736	1,3245	2,2728
b3_2_bpfi_acc_00944N	16,2708	0,0323	5,5541	1,2322	2,8941
<b>Testing data (normal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_00976N	5,5152	0,0403	4,0163	1,2333	1,4837
b3_2_bpfi_acc_01008N	9,5201	0,0411	4,9395	1,2376	2,1404
b3_2_bpfi_acc_01039N	4,2461	0,0347	3,4947	1,2367	1,2062
b3_2_bpfi_acc_01071N	6,6473	0,0370	4,2622	1,2376	1,6737
b3_2_bpfi_acc_01104N	18,2893	0,0400	6,7306	1,3934	3,5722
b3_2_bpfi_acc_01136N	21,1204	0,0352	7,2213	1,3229	3,2565
b3_2_bpfi_acc_01168N	15,8787	0,0360	7,0125	1,3964	3,0914
b3_2_bpfi_acc_01199N	8,8854	0,0407	5,3208	1,2597	1,9826
b3_2_bpfi_acc_01232N	9,8931	0,0556	5,6744	1,2691	2,1413
b3_2_bpfi_acc_01264N	12,3689	0,0390	6,0777	1,3214	2,4726
b3_2_bpfi_acc_01296N	17,1590	0,0400	6,3547	1,3499	3,2042
b3_2_bpfi_acc_01328N	22,1123	0,0351	6,7377	1,3401	3,5799
b3_2_bpfi_acc_01360N	8,9172	0,0363	5,0873	1,2621	2,0477
b3_2_bpfi_acc_01392N	12,3522	0,0347	6,2422	1,3189	2,4226
b3_2_bpfi_acc_01424N	12,3570	0,0330	4,8398	1,2423	2,5671
b3_2_bpfi_acc_01456N	22,0819	0,0542	9,2084	1,5716	3,9726
b3_2_bpfi_acc_01488N	19,8706	0,0538	6,8332	1,3312	3,4879
b3_2_bpfi_acc_01520N	4,5230	0,0640	3,7561	1,1828	1,0669
b3_2_bpfi_acc_01552N	12,3916	0,0398	5,1472	1,2038	2,1126
b3_2_bpfi_acc_01584N	6,1450	0,0518	3,8147	1,1805	1,4106
<b>Testing data (abnormal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_01585F	28,2315	0,0831	9,7216	1,4656	4,4113
b3_2_bpfi_acc_01590F	14,8357	0,0664	6,7028	1,4013	3,1358
b3_2_bpfi_acc_01595F	39,8541	0,1009	10,9605	1,4212	5,0446
b3_2_bpfi_acc_01600F	20,6161	0,0725	7,1825	1,3992	3,6508
b3_2_bpfi_acc_01605F	12,9611	0,0694	6,3492	1,4383	2,9249
b3_2_bpfi_acc_01610F	14,8954	0,0808	6,7587	1,5276	3,2802

b3_2_bpfi_acc_01615F	11,9468	0,1025	6,3438	1,5049	2,8715
b3_2_bpfi_acc_01620F	24,8556	0,1454	9,7971	1,5992	4,2258
b3_2_bpfi_acc_01625F	52,5916	0,2085	11,7022	1,5807	6,4991
b3_2_bpfi_acc_01630F	14,5315	0,2291	8,3316	1,7034	3,2305

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b3_2_bpfi_acc_00015N	2,8075	0,3909	0,0003	0,0176	0,0142
b3_2_bpfi_acc_00047N	4,2311	1,1951	0,0011	0,0334	0,0257
b3_2_bpfi_acc_00079N	4,2086	0,6082	0,0007	0,0257	0,0202
b3_2_bpfi_acc_00111N	4,2999	0,8530	0,0008	0,0275	0,0220
b3_2_bpfi_acc_00143N	2,8206	0,5616	0,0005	0,0226	0,0185
b3_2_bpfi_acc_00175N	3,1610	1,1182	0,0009	0,0308	0,0252
b3_2_bpfi_acc_00207N	2,8206	0,5616	0,0005	0,0226	0,0185
b3_2_bpfi_acc_00239N	3,8790	0,4212	0,0004	0,0211	0,0163
b3_2_bpfi_acc_00271N	3,4879	0,4378	0,0004	0,0212	0,0157
b3_2_bpfi_acc_00303N	4,3120	0,4538	0,0006	0,0245	0,0153
b3_2_bpfi_acc_00335N	3,8438	0,4833	0,0007	0,0255	0,0177
b3_2_bpfi_acc_00367N	4,2430	0,9084	0,0010	0,0320	0,0214
b3_2_bpfi_acc_00399N	3,3196	0,5881	0,0006	0,0251	0,0184
b3_2_bpfi_acc_00431N	3,2724	0,4534	0,0006	0,0249	0,0149
b3_2_bpfi_acc_00463N	3,2929	0,4158	0,0005	0,0215	0,0137
b3_2_bpfi_acc_00495N	4,3784	0,3982	0,0004	0,0203	0,0151
b3_2_bpfi_acc_00527N	4,1356	0,4317	0,0005	0,0233	0,0130
b3_2_bpfi_acc_00559N	3,4195	0,4056	0,0004	0,0198	0,0148
b3_2_bpfi_acc_00591N	5,2475	0,5330	0,0006	0,0235	0,0175
b3_2_bpfi_acc_00623N	3,6125	0,4191	0,0004	0,0209	0,0147
b3_2_bpfi_acc_00655N	3,7516	0,4181	0,0005	0,0220	0,0146
b3_2_bpfi_acc_00687N	4,6121	0,4179	0,0005	0,0213	0,0146
b3_2_bpfi_acc_00719N	4,2431	0,4337	0,0006	0,0238	0,0145
b3_2_bpfi_acc_00751N	3,4280	0,5284	0,0005	0,0231	0,0148
b3_2_bpfi_acc_00783N	4,8333	0,8511	0,0009	0,0296	0,0205
b3_2_bpfi_acc_00815N	3,5895	0,5588	0,0006	0,0248	0,0163
b3_2_bpfi_acc_00847N	3,8373	0,5645	0,0007	0,0267	0,0150
b3_2_bpfi_acc_00880N	3,2973	0,3906	0,0004	0,0192	0,0143
b3_2_bpfi_acc_00912N	3,9060	0,4297	0,0006	0,0241	0,0124
b3_2_bpfi_acc_00944N	4,5073	0,3796	0,0004	0,0189	0,0148
<b>Testing data (normal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_00976N	3,2566	0,5420	0,0006	0,0236	0,0169
b3_2_bpfi_acc_01008N	3,9913	0,5532	0,0006	0,0243	0,0177
b3_2_bpfi_acc_01039N	2,8259	0,4056	0,0004	0,0205	0,0117
b3_2_bpfi_acc_01071N	3,4439	0,4333	0,0005	0,0219	0,0144
b3_2_bpfi_acc_01104N	4,8304	0,5382	0,0008	0,0279	0,0146
b3_2_bpfi_acc_01136N	5,4588	0,4130	0,0005	0,0231	0,0125
b3_2_bpfi_acc_01168N	5,0218	0,4210	0,0006	0,0252	0,0103

b3_2_bpfi_acc_01199N	4,2237	0,5481	0,0006	0,0248	0,0153
b3_2_bpfi_acc_01232N	4,4711	0,9505	0,0012	0,0343	0,0214
b3_2_bpfi_acc_01264N	4,5995	0,4562	0,0007	0,0256	0,0121
b3_2_bpfi_acc_01296N	4,7077	0,4680	0,0007	0,0270	0,0145
b3_2_bpfi_acc_01328N	5,0278	0,4106	0,0005	0,0234	0,0118
b3_2_bpfi_acc_01360N	4,0308	0,4244	0,0005	0,0222	0,0137
b3_2_bpfi_acc_01392N	4,7329	0,4060	0,0005	0,0227	0,0107
b3_2_bpfi_acc_01424N	3,8957	0,3882	0,0004	0,0197	0,0156
b3_2_bpfi_acc_01456N	5,8591	0,6373	0,0018	0,0420	0,0155
b3_2_bpfi_acc_01488N	5,1332	0,6322	0,0013	0,0357	0,0202
b3_2_bpfi_acc_01520N	3,1756	1,2571	0,0012	0,0342	0,0278
b3_2_bpfi_acc_01552N	4,2759	0,4658	0,0005	0,0222	0,0164
b3_2_bpfi_acc_01584N	3,2315	0,6967	0,0008	0,0276	0,0217
<b>Testing data (abnormal)</b>					
b3_2_bpfi_acc_01585F	6,6334	1,4195	0,0037	0,0608	0,0280
b3_2_bpfi_acc_01590F	4,7831	0,8932	0,0022	0,0466	0,0213
b3_2_bpfi_acc_01595F	7,7123	1,9821	0,0052	0,0718	0,0357
b3_2_bpfi_acc_01600F	5,1334	0,9753	0,0026	0,0508	0,0255
b3_2_bpfi_acc_01605F	4,4143	0,8155	0,0025	0,0501	0,0190
b3_2_bpfi_acc_01610F	4,4243	0,9490	0,0038	0,0613	0,0223
b3_2_bpfi_acc_01615F	4,2155	1,2037	0,0059	0,0768	0,0264
b3_2_bpfi_acc_01620F	6,1264	1,9558	0,0129	0,1138	0,0392
b3_2_bpfi_acc_01625F	7,4030	2,4405	0,0263	0,1621	0,0637
b3_2_bpfi_acc_01630F	4,8911	2,6909	0,0346	0,1861	0,0374

### Bearing 3\_3

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
b3_3_bpfo_acc_00001N	3,3546	0,2879	5,5938	1,2613	-0,0166
b3_3_bpfo_acc_00009N	3,3867	0,3668	5,8590	1,2666	0,0351
b3_3_bpfo_acc_00017N	3,2026	0,2914	5,9714	1,2610	0,0064
b3_3_bpfo_acc_00024N	3,0765	0,2829	4,6117	1,2556	-0,0364
b3_3_bpfo_acc_00032N	3,4607	0,2924	5,4529	1,2727	0,0408
b3_3_bpfo_acc_00040N	3,1369	0,2943	4,4801	1,2582	-0,0037
b3_3_bpfo_acc_00047N	3,2839	0,2594	5,7010	1,2534	0,1524
b3_3_bpfo_acc_00055N	3,8717	0,2822	6,1529	1,2873	-0,0710
b3_3_bpfo_acc_00063N	3,7207	0,2759	5,7696	1,2786	0,0829
b3_3_bpfo_acc_00071N	3,5990	0,2481	6,0606	1,2830	-0,0275
b3_3_bpfo_acc_00079N	3,0714	0,2558	4,9558	1,2663	-0,0787
b3_3_bpfo_acc_00086N	2,9932	0,2835	4,4121	1,2534	-0,0346
b3_3_bpfo_acc_00094N	3,0496	0,2664	5,1911	1,2570	0,0028
b3_3_bpfo_acc_00102N	3,1999	0,2674	5,4733	1,2585	-0,0448
b3_3_bpfo_acc_00109N	3,1190	0,2681	4,5669	1,2609	0,0590
b3_3_bpfo_acc_00117N	3,3906	0,2610	5,0186	1,2742	-0,0384
b3_3_bpfo_acc_00125N	3,3811	0,2660	6,1376	1,2579	0,0563

b3_3_bpfo_acc_00133N	3,3821	0,2770	5,4456	1,2687	0,0896
b3_3_bpfo_acc_00140N	3,3263	0,2583	5,8067	1,2648	-0,0442
b3_3_bpfo_acc_00148N	3,1185	0,2567	4,5394	1,2528	-0,0683
b3_3_bpfo_acc_00156N	3,1285	0,2541	4,6413	1,2639	0,0088
b3_3_bpfo_acc_00164N	4,7880	0,2695	8,1141	1,2820	-0,0767
b3_3_bpfo_acc_00171N	2,9717	0,2620	4,4005	1,2561	-0,1218
b3_3_bpfo_acc_00179N	3,3184	0,2645	5,0875	1,2731	-0,0216
b3_3_bpfo_acc_00187N	3,0888	0,2355	5,0215	1,2541	-0,0307
b3_3_bpfo_acc_00195N	3,4331	0,2456	5,4522	1,2815	0,0314
b3_3_bpfo_acc_00202N	3,2357	0,2479	4,8920	1,2618	-0,0566
b3_3_bpfo_acc_00210N	4,3609	0,2785	6,9878	1,2991	-0,0596
b3_3_bpfo_acc_00218N	3,2517	0,2283	4,6959	1,2642	-0,0461
b3_3_bpfo_acc_00226N	3,3607	0,2490	4,9055	1,2658	0,0343
<b>Testing data(normal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00233N	3,5546	0,2455	5,3192	1,2830	0,0133
b3_3_bpfo_acc_00241N	3,1556	0,2497	4,9387	1,2560	-0,0198
b3_3_bpfo_acc_00249N	3,2542	0,2393	4,7483	1,2639	0,0048
b3_3_bpfo_acc_00257N	3,3222	0,2457	4,6864	1,2652	0,0418
b3_3_bpfo_acc_00264N	3,2839	0,2111	4,8507	1,2686	-0,0564
b3_3_bpfo_acc_00272N	3,0995	0,2328	4,6405	1,2649	-0,0354
b3_3_bpfo_acc_00280N	4,4430	0,2319	7,1942	1,2874	-0,0722
b3_3_bpfo_acc_00287N	3,6189	0,2435	5,9509	1,2846	-0,0445
b3_3_bpfo_acc_00295N	3,7162	0,2320	5,8326	1,2873	-0,1352
b3_3_bpfo_acc_00303N	3,6605	0,2394	5,7846	1,2858	-0,1003
b3_3_bpfo_acc_00311N	3,4645	0,2630	5,8385	1,2724	0,0005
b3_3_bpfo_acc_00319N	4,2083	0,3316	6,1033	1,3118	-0,0587
b3_3_bpfo_acc_00326N	4,8220	0,3663	6,9338	1,3325	-0,1742
b3_3_bpfo_acc_00334N	3,4472	0,4153	5,3576	1,2832	-0,0597
b3_3_bpfo_acc_00342N	3,3521	0,4704	4,6646	1,2757	-0,0423
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00343F	3,2190	0,4617	4,4781	1,2700	-0,0654
b3_3_bpfo_acc_00349F	3,7290	0,5014	5,5303	1,2897	-0,0404
b3_3_bpfo_acc_00356F	3,4733	0,5238	5,2251	1,2712	-0,0062
b3_3_bpfo_acc_00362F	3,0587	0,5955	4,8790	1,2551	-0,0303
b3_3_bpfo_acc_00369F	3,1961	0,5786	5,2412	1,2682	-0,0280
b3_3_bpfo_acc_00375F	3,2989	0,6358	4,8873	1,2746	-0,0444
b3_3_bpfo_acc_00382F	3,3185	0,5878	4,6472	1,2806	-0,0279
b3_3_bpfo_acc_00389F	3,0903	0,6187	4,3226	1,2574	-0,1060
b3_3_bpfo_acc_00395F	3,5197	0,6559	5,1040	1,2826	-0,1624
b3_3_bpfo_acc_00401F	3,5014	0,6427	5,7206	1,2819	-0,0900
b3_3_bpfo_acc_00408F	3,4653	0,6762	5,4735	1,2754	-0,1856
b3_3_bpfo_acc_00414F	3,2292	0,6780	4,8802	1,2634	-0,1442
b3_3_bpfo_acc_00421F	3,0736	0,6904	4,4556	1,2571	-0,0716
b3_3_bpfo_acc_00427F	5,7310	1,2481	8,3066	1,3437	-0,6663

b3_3_bpfo_acc_00434F	4,1865	1,2960	5,8947	1,3032	-0,3976
----------------------	--------	--------	--------	--------	---------

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b3_3_bpfo_acc_00001N	4,4348	14,5691	0,0829	0,2880	-0,1855
b3_3_bpfo_acc_00009N	4,6259	18,5611	0,1335	0,3653	-0,2030
b3_3_bpfo_acc_00017N	4,7353	14,7453	0,0842	0,2902	-0,1650
b3_3_bpfo_acc_00024N	3,6729	14,3129	0,0774	0,2783	-0,1340
b3_3_bpfo_acc_00032N	4,2846	14,7965	0,0834	0,2888	-0,2390
b3_3_bpfo_acc_00040N	3,5608	14,8914	0,0815	0,2855	-0,2630
b3_3_bpfo_acc_00047N	4,5483	13,1266	0,0667	0,2584	-0,1980
b3_3_bpfo_acc_00055N	4,7798	14,2799	0,0789	0,2810	-0,2100
b3_3_bpfo_acc_00063N	4,5124	13,9600	0,0733	0,2707	-0,1220
b3_3_bpfo_acc_00071N	4,7238	12,5532	0,0610	0,2470	-0,1800
b3_3_bpfo_acc_00079N	3,9137	12,9409	0,0616	0,2482	-0,2270
b3_3_bpfo_acc_00086N	3,5201	14,3449	0,0799	0,2826	-0,2120
b3_3_bpfo_acc_00094N	4,1299	13,4765	0,0703	0,2651	-0,1490
b3_3_bpfo_acc_00102N	4,3490	13,5305	0,0713	0,2671	-0,1630
b3_3_bpfo_acc_00109N	3,6219	13,5644	0,0719	0,2681	-0,1690
b3_3_bpfo_acc_00117N	3,9387	13,2058	0,0674	0,2595	-0,1940
b3_3_bpfo_acc_00125N	4,8794	13,4596	0,0708	0,2660	-0,1820
b3_3_bpfo_acc_00133N	4,2924	14,0153	0,0768	0,2771	-0,1770
b3_3_bpfo_acc_00140N	4,5912	13,0701	0,0664	0,2578	-0,1830
b3_3_bpfo_acc_00148N	3,6234	12,9864	0,0659	0,2567	-0,1770
b3_3_bpfo_acc_00156N	3,6721	12,8553	0,0646	0,2541	-0,1710
b3_3_bpfo_acc_00164N	6,3293	13,6377	0,0726	0,2695	-0,1785
b3_3_bpfo_acc_00171N	3,5033	13,2584	0,0685	0,2618	-0,1825
b3_3_bpfo_acc_00179N	3,9961	13,3830	0,0682	0,2612	-0,2180
b3_3_bpfo_acc_00187N	4,0039	11,9163	0,0550	0,2346	-0,1770
b3_3_bpfo_acc_00195N	4,2545	12,4275	0,0593	0,2435	-0,1220
b3_3_bpfo_acc_00202N	3,8769	12,5418	0,0613	0,2476	-0,1730
b3_3_bpfo_acc_00210N	5,3789	14,0910	0,0749	0,2737	-0,1145
b3_3_bpfo_acc_00218N	3,7144	11,5512	0,0521	0,2283	-0,1500
b3_3_bpfo_acc_00226N	3,8753	12,5991	0,0516	0,2272	-0,2530
<b>Testing data(normal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00233N	4,1459	12,4235	0,0603	0,2455	-0,1610
b3_3_bpfo_acc_00241N	3,9320	12,6364	0,0598	0,2446	-0,2130
b3_3_bpfo_acc_00249N	3,7569	12,1074	0,0520	0,2280	-0,0750
b3_3_bpfo_acc_00257N	3,7042	12,4300	0,0555	0,2355	-0,2250
b3_3_bpfo_acc_00264N	3,8236	10,6787	0,0443	0,2105	-0,1540
b3_3_bpfo_acc_00272N	3,6686	11,7782	0,0537	0,2318	-0,1740
b3_3_bpfo_acc_00280N	5,5880	11,7345	0,0531	0,2304	-0,1210
b3_3_bpfo_acc_00287N	4,6324	12,3202	0,0591	0,2430	-0,1370
b3_3_bpfo_acc_00295N	4,5311	11,7361	0,0538	0,2320	-0,1490
b3_3_bpfo_acc_00303N	4,4990	12,1122	0,0572	0,2391	-0,1290
b3_3_bpfo_acc_00311N	4,5888	13,3086	0,0678	0,2604	-0,1270

b3_3_bpfo_acc_00319N	4,6525	16,7802	0,1092	0,3304	-0,1670
b3_3_bpfo_acc_00326N	5,2037	18,5322	0,1338	0,3658	-0,2220
b3_3_bpfo_acc_00334N	4,1750	21,0141	0,1722	0,4150	-0,2740
b3_3_bpfo_acc_00342N	3,6565	23,8003	0,2212	0,4703	-0,3120
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00343F	3,5259	23,3616	0,2114	0,4598	-0,3445
b3_3_bpfo_acc_00349F	4,2881	25,3682	0,2442	0,4941	-0,3945
b3_3_bpfo_acc_00356F	4,1105	26,5014	0,2737	0,5232	-0,3190
b3_3_bpfo_acc_00362F	3,8875	30,1302	0,3545	0,5954	-0,3810
b3_3_bpfo_acc_00369F	4,1327	29,2728	0,3316	0,5759	-0,4390
b3_3_bpfo_acc_00375F	3,8344	32,1705	0,4025	0,6345	-0,4520
b3_3_bpfo_acc_00382F	3,6288	29,7406	0,3456	0,5879	-0,3660
b3_3_bpfo_acc_00389F	3,4376	31,3061	0,3816	0,6177	-0,3710
b3_3_bpfo_acc_00395F	3,9792	33,1863	0,4303	0,6560	-0,3895
b3_3_bpfo_acc_00401F	4,4625	32,5175	0,4033	0,6351	-0,5060
b3_3_bpfo_acc_00408F	4,2917	34,2126	0,4574	0,6763	-0,4320
b3_3_bpfo_acc_00414F	3,8626	34,3061	0,4566	0,6758	-0,4900
b3_3_bpfo_acc_00421F	3,5444	34,9310	0,4754	0,6895	-0,4290
b3_3_bpfo_acc_00427F	6,1821	63,1508	1,5580	1,2482	-0,7015
b3_3_bpfo_acc_00434F	4,5233	65,5710	1,6778	1,2953	-0,6965

Με κυρτώγραμμα

<b>Training data</b>	<b>kurt</b>	<b>Rms</b>	<b>Imf</b>	<b>SpF</b>	<b>Sk</b>
b3_3_bpfo_acc_00001N	8,4038	0,0336	4,4863	1,2109	1,8188
b3_3_bpfo_acc_00009N	6,6537	0,0351	3,9614	1,2239	1,6635
b3_3_bpfo_acc_00017N	7,6926	0,0408	4,7183	1,1961	1,4826
b3_3_bpfo_acc_00024N	6,2398	0,0386	3,7227	1,1712	1,3938
b3_3_bpfo_acc_00032N	3,7121	0,0315	2,8815	1,1929	1,1039
b3_3_bpfo_acc_00040N	3,9281	0,0374	3,3529	1,1702	0,9500
b3_3_bpfo_acc_00047N	6,1225	0,0315	4,0391	1,2251	1,5774
b3_3_bpfo_acc_00055N	11,9118	0,0413	4,6769	1,2498	2,5865
b3_3_bpfo_acc_00063N	11,1691	0,0340	4,5155	1,2170	2,3523
b3_3_bpfo_acc_00071N	13,1512	0,0437	5,8226	1,2557	2,5093
b3_3_bpfo_acc_00079N	3,7592	0,0426	3,0880	1,1663	0,9597
b3_3_bpfo_acc_00086N	4,6808	0,0496	3,3086	1,1623	1,1373
b3_3_bpfo_acc_00094N	4,1702	0,0663	3,6168	1,1608	0,9566
b3_3_bpfo_acc_00102N	7,3523	0,0446	4,2519	1,2311	1,8436
b3_3_bpfo_acc_00109N	4,7267	0,0459	3,4686	1,1738	1,0889
b3_3_bpfo_acc_00117N	7,1005	0,0513	4,2351	1,2235	1,7294
b3_3_bpfo_acc_00125N	5,8417	0,0464	3,6841	1,2299	1,5557
b3_3_bpfo_acc_00133N	17,4571	0,0461	5,9602	1,2417	2,8966
b3_3_bpfo_acc_00140N	7,8186	0,0615	4,8542	1,1919	1,4825
b3_3_bpfo_acc_00148N	7,1853	0,0433	3,7610	1,2108	1,8193
b3_3_bpfo_acc_00156N	7,3247	0,0593	4,5175	1,1796	1,5426
b3_3_bpfo_acc_00164N	26,0948	0,0434	7,5674	1,3651	4,1797



b3_3_bpfo_acc_00171N	6,9958	0,0440	4,0765	1,1943	1,6294
b3_3_bpfo_acc_00179N	5,6754	0,0433	4,0559	1,2233	1,4688
b3_3_bpfo_acc_00187N	5,0207	0,0400	3,7639	1,1839	1,2186
b3_3_bpfo_acc_00195N	7,7358	0,0405	4,0723	1,1917	1,6969
b3_3_bpfo_acc_00202N	7,5429	0,0476	4,2189	1,2325	1,8379
b3_3_bpfo_acc_00210N	13,9800	0,0412	5,3239	1,2926	2,9046
b3_3_bpfo_acc_00218N	4,4776	0,0411	3,4115	1,1819	1,1250
b3_3_bpfo_acc_00226N	4,8919	0,0470	3,6273	1,1850	1,1812
<b>Testing data(normal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00233N	5,8614	0,0477	3,9969	1,2083	1,4470
b3_3_bpfo_acc_00241N	4,2744	0,0389	3,5329	1,1795	0,9993
b3_3_bpfo_acc_00249N	13,7084	0,0387	5,0201	1,1801	2,1662
b3_3_bpfo_acc_00257N	4,5901	0,0477	3,4810	1,1917	1,1818
b3_3_bpfo_acc_00264N	7,0908	0,0427	4,3541	1,1705	1,2645
b3_3_bpfo_acc_00272N	3,6074	0,0374	3,2620	1,1858	0,9571
b3_3_bpfo_acc_00280N	8,2288	0,0562	5,0749	1,1936	1,6227
b3_3_bpfo_acc_00287N	5,3683	0,0477	4,1799	1,2270	1,4267
b3_3_bpfo_acc_00295N	18,1270	0,0468	5,6431	1,2114	2,8310
b3_3_bpfo_acc_00303N	5,5457	0,0496	4,1182	1,2283	1,4607
b3_3_bpfo_acc_00311N	9,1166	0,0420	4,4407	1,2620	2,1057
b3_3_bpfo_acc_00319N	5,4352	0,0547	4,4140	1,2858	1,5128
b3_3_bpfo_acc_00326N	6,4030	0,0602	5,0273	1,3380	1,7568
b3_3_bpfo_acc_00334N	5,0945	0,0519	3,6913	1,2351	1,4870
b3_3_bpfo_acc_00342N	4,6705	0,0584	3,7780	1,2428	1,3971
<b>Testing data(abnormal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00343F	4,1117	0,0591	4,0175	1,2554	1,1482
b3_3_bpfo_acc_00349F	10,3374	0,0785	5,4567	1,2519	2,1102
b3_3_bpfo_acc_00356F	5,7298	0,0749	4,2616	1,2182	1,4069
b3_3_bpfo_acc_00362F	5,1089	0,0694	4,2323	1,2348	1,3037
b3_3_bpfo_acc_00369F	4,2350	0,0842	3,5031	1,2468	1,2761
b3_3_bpfo_acc_00375F	4,2597	0,0736	3,5601	1,2143	1,1822
b3_3_bpfo_acc_00382F	5,6245	0,0850	4,2748	1,2405	1,4637
b3_3_bpfo_acc_00389F	4,9527	0,0806	3,6756	1,2252	1,3207
b3_3_bpfo_acc_00395F	6,0823	0,1172	4,4687	1,2270	1,5009
b3_3_bpfo_acc_00401F	15,3136	0,0742	5,2474	1,2142	2,7346
b3_3_bpfo_acc_00408F	10,6244	0,2424	6,0688	1,2013	1,9770
b3_3_bpfo_acc_00414F	13,7598	0,1661	6,2814	1,2120	2,3159
b3_3_bpfo_acc_00421F	8,2523	0,0862	4,4549	1,2171	1,8417
b3_3_bpfo_acc_00427F	11,6519	0,2372	6,1188	1,4539	2,8074
b3_3_bpfo_acc_00434F	9,9055	0,3530	5,2261	1,3456	2,4589

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
b3_3_bpfo_acc_00001N	3,7048	0,3942	0,0004	0,0190	0,0150
b3_3_bpfo_acc_00009N	3,2366	0,4107	0,0004	0,0203	0,0149
b3_3_bpfo_acc_00017N	3,9447	0,5495	0,0005	0,0225	0,0191

b3_3_bpfo_acc_00024N	3,1785	0,5189	0,0004	0,0201	0,0191
b3_3_bpfo_acc_00032N	2,4155	0,3697	0,0003	0,0172	0,0148
b3_3_bpfo_acc_00040N	2,8653	0,5037	0,0004	0,0195	0,0170
b3_3_bpfo_acc_00047N	3,2970	0,3701	0,0003	0,0183	0,0140
b3_3_bpfo_acc_00055N	3,7422	0,5559	0,0006	0,0249	0,0193
b3_3_bpfo_acc_00063N	3,7103	0,3977	0,0004	0,0194	0,0151
b3_3_bpfo_acc_00071N	4,6368	0,5875	0,0007	0,0265	0,0186
b3_3_bpfo_acc_00079N	2,6476	0,5005	0,0005	0,0220	0,0205
b3_3_bpfo_acc_00086N	2,8467	0,5822	0,0006	0,0254	0,0244
b3_3_bpfo_acc_00094N	3,1157	1,1331	0,0011	0,0337	0,0319
b3_3_bpfo_acc_00102N	3,4537	0,5219	0,0007	0,0261	0,0206
b3_3_bpfo_acc_00109N	2,9550	0,5371	0,0006	0,0241	0,0201
b3_3_bpfo_acc_00117N	3,4615	0,6896	0,0009	0,0296	0,0209
b3_3_bpfo_acc_00125N	2,9953	0,5432	0,0007	0,0271	0,0196
b3_3_bpfo_acc_00133N	4,8000	0,5401	0,0008	0,0275	0,0211
b3_3_bpfo_acc_00140N	4,0727	1,0491	0,0011	0,0335	0,0276
b3_3_bpfo_acc_00148N	3,1063	0,5070	0,0006	0,0245	0,0192
b3_3_bpfo_acc_00156N	3,8295	1,0117	0,0010	0,0315	0,0280
b3_3_bpfo_acc_00164N	5,5436	0,5085	0,0009	0,0297	0,0164
b3_3_bpfo_acc_00171N	3,4134	0,5148	0,0006	0,0241	0,0184
b3_3_bpfo_acc_00179N	3,3155	0,5073	0,0006	0,0251	0,0187
b3_3_bpfo_acc_00187N	3,1792	0,4695	0,0005	0,0215	0,0174
b3_3_bpfo_acc_00195N	3,4172	0,4746	0,0005	0,0221	0,0184
b3_3_bpfo_acc_00202N	3,4230	0,6398	0,0008	0,0279	0,0195
b3_3_bpfo_acc_00210N	4,1187	0,4821	0,0007	0,0262	0,0167
b3_3_bpfo_acc_00218N	2,8863	0,4807	0,0005	0,0220	0,0183
b3_3_bpfo_acc_00226N	3,0611	0,6321	0,0006	0,0253	0,0208
<b>Testing data(normal)</b>					
b3_3_bpfo_acc_00233N	3,3079	0,6422	0,0007	0,0269	0,0205
b3_3_bpfo_acc_00241N	2,9953	0,4547	0,0004	0,0207	0,0171
b3_3_bpfo_acc_00249N	4,2538	0,4549	0,0004	0,0206	0,0188
b3_3_bpfo_acc_00257N	2,9211	0,6419	0,0007	0,0260	0,0208
b3_3_bpfo_acc_00264N	3,7199	0,5742	0,0005	0,0222	0,0211
b3_3_bpfo_acc_00272N	2,7509	0,4394	0,0004	0,0202	0,0156
b3_3_bpfo_acc_00280N	4,2518	0,9602	0,0009	0,0307	0,0269
b3_3_bpfo_acc_00287N	3,4066	0,6423	0,0008	0,0277	0,0200
b3_3_bpfo_acc_00295N	4,6583	0,6291	0,0007	0,0265	0,0211
b3_3_bpfo_acc_00303N	3,3528	0,6679	0,0008	0,0289	0,0189
b3_3_bpfo_acc_00311N	3,5187	0,4937	0,0007	0,0257	0,0155
b3_3_bpfo_acc_00319N	3,4329	0,7357	0,0012	0,0345	0,0183
b3_3_bpfo_acc_00326N	3,7573	0,8098	0,0016	0,0401	0,0181
b3_3_bpfo_acc_00334N	2,9886	0,6077	0,0009	0,0306	0,0211
b3_3_bpfo_acc_00342N	3,0400	0,6864	0,0012	0,0348	0,0220
<b>Testing data(abnormal)</b>					

b3_3_bpfo_acc_00343F	3,2002	0,6939	0,0013	0,0358	0,0180
b3_3_bpfo_acc_00349F	4,3588	1,0565	0,0022	0,0474	0,0292
b3_3_bpfo_acc_00356F	3,4983	1,0072	0,0018	0,0429	0,0316
b3_3_bpfo_acc_00362F	3,4275	0,8122	0,0017	0,0409	0,0261
b3_3_bpfo_acc_00369F	2,8097	1,1332	0,0025	0,0504	0,0317
b3_3_bpfo_acc_00375F	2,9319	0,8644	0,0018	0,0419	0,0291
b3_3_bpfo_acc_00382F	3,4461	1,1431	0,0025	0,0504	0,0300
b3_3_bpfo_acc_00389F	2,9999	0,9436	0,0022	0,0468	0,0299
b3_3_bpfo_acc_00395F	3,6420	1,9987	0,0046	0,0680	0,0476
b3_3_bpfo_acc_00401F	4,3218	0,8684	0,0018	0,0422	0,0334
b3_3_bpfo_acc_00408F	5,0520	8,4457	0,0181	0,1344	0,1115
b3_3_bpfo_acc_00414F	5,1829	4,0646	0,0088	0,0939	0,0776
b3_3_bpfo_acc_00421F	3,6603	1,0090	0,0024	0,0493	0,0351
b3_3_bpfo_acc_00427F	4,2087	4,0456	0,0297	0,1724	0,0673
b3_3_bpfo_acc_00434F	3,8840	6,9356	0,0559	0,2365	0,1174

- Δεύτερη πειραματική εγκατάσταση

Set 1

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
S1_BPFI_1022_1944_C5_N	3,2659	0,1303	5,1337	1,2078	0,0481
S1_BPFI_1023_0704_C5_N	3,4487	0,1306	5,9636	1,2136	0,0464
S1_BPFI_1029_1439_C5_N	3,3184	0,1597	4,6892	1,2120	-0,0098
S1_BPFI_1029_2249_C5_N	3,3189	0,1594	5,3244	1,2107	0,0066
S1_BPFI_1031_0629_C5_N	3,4157	0,1609	5,4684	1,2085	0,0542
S1_BPFI_1031_1251_C5_N	3,3576	0,1600	5,5298	1,2086	0,0241
S1_BPFI_1031_1941_C5_N	3,4264	0,1613	5,0571	1,2101	0,0151
S1_BPFI_1101_0701_C5_N	3,4705	0,1585	5,5001	1,2105	0,0023
S1_BPFI_1101_1241_C5_N	3,3280	0,1584	5,3213	1,2107	-0,0236
S1_BPFI_1101_1821_C5_N	3,4807	0,1596	6,0824	1,2091	-0,0765
S1_BPFI_1107_1601_C5_N	3,4880	0,1582	5,7065	1,2089	-0,0247
S1_BPFI_1107_2041_C5_N	3,8501	0,1598	6,8059	1,2113	0,0175
S1_BPFI_1108_1451_C5_N	3,7518	0,1587	6,9125	1,2106	-0,0279
S1_BPFI_1109_0221_C5_N	3,4018	0,1578	4,4604	1,2075	0,0113
S1_BPFI_1109_0751_C5_N	3,3937	0,1590	4,6571	1,2077	0,0110
S1_BPFI_1109_1335_C5_N	3,6201	0,1575	4,8887	1,2084	0,0437
S1_BPFI_1110_0425_C5_N	4,0823	0,1584	8,2573	1,2118	0,0123
S1_BPFI_1110_1015_C5_N	3,6803	0,1595	6,0353	1,2095	-0,0163
S1_BPFI_1110_1555_C5_N	3,4575	0,1577	6,0103	1,2089	-0,0083
S1_BPFI_1114_2208_C5_N	3,8430	0,1613	6,1917	1,2136	-0,0096
S1_BPFI_1115_0558_C5_N	3,5648	0,1595	5,2096	1,2110	0,0171
S1_BPFI_1115_0938_C5_N	3,8368	0,1599	6,2330	1,2109	0,0164
S1_BPFI_1115_2058_C5_N	4,0537	0,1627	5,8159	1,2145	-0,0480
S1_BPFI_1116_0228_C5_N	3,6785	0,1610	5,5038	1,2102	0,0589
S1_BPFI_1116_0818_C5_N	3,9189	0,1609	8,1652	1,2145	-0,0447

S1_BPFI_1116_1948_C5_N	3,5433	0,1576	4,5754	1,2059	0,0339
S1_BPFI_1117_1018_C5_N	4,2375	0,1611	7,4568	1,2185	0,0397
S1_BPFI_1117_2042_C5_N	3,7272	0,1598	7,5164	1,2056	0,0267
S1_BPFI_1118_0812_C5_N	3,6159	0,1603	6,2813	1,2087	-0,0040
S1_BPFI_1118_1912_C5_N	3,5720	0,1590	5,5059	1,2078	0,0078
<b>Testing data (normal)</b>					
S1_BPFI_1119_0912_C5_N	3,7204	0,1612	5,3145	1,2104	0,0534
S1_BPFI_1119_2156_C5_N	3,6936	0,1585	6,3417	1,2064	0,0046
S1_BPFI_1120_1150_C5_N	4,0603	0,1613	6,7638	1,2173	-0,0269
S1_BPFI_1120_1719_C5_N	3,4804	0,1584	4,8035	1,2081	0,0261
S1_BPFI_1121_0404_C5_N	3,9239	0,1624	6,3319	1,2168	-0,0241
S1_BPFI_1121_1208_C5_N	3,4508	0,1621	4,9846	1,2115	0,0061
S1_BPFI_1121_2006_C5_N	3,7574	0,1601	6,1118	1,2111	-0,0008
S1_BPFI_1122_0726_C5_N	3,6356	0,1645	5,5196	1,2154	0,0109
S1_BPFI_1122_0926_C5_N	3,5391	0,1623	5,5966	1,2111	0,0653
S1_BPFI_1122_1126_C5_N	3,7120	0,1652	7,1733	1,2231	-0,0724
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S1_BPFI_1122_1136_C5_F	4,0630	0,1643	6,1092	1,2168	0,0217
S1_BPFI_1122_1506_C5_F	6,3059	0,1642	14,2540	1,2227	-0,2093
S1_BPFI_1122_1846_C5_F	40,5814	0,1672	25,9192	1,2447	-1,4903
S1_BPFI_1123_0856_C5_F	10,5205	0,1693	12,8557	1,2370	-0,0865
S1_BPFI_1123_1516_C5_F	6,0882	0,1705	11,0614	1,2345	-0,2066
S1_BPFI_1123_2221_C5_F	6,6893	0,1695	10,7932	1,2302	-0,0689
S1_BPFI_1124_0121_C5_F	3,7919	0,1676	8,3596	1,2259	-0,0868
S1_BPFI_1124_0251_C5_F	40,9630	0,1845	21,1427	1,2818	1,1245
S1_BPFI_1124_0411_C5_F	15,6822	0,1772	19,0055	1,2517	-0,5465
S1_BPFI_1124_0701_C5_F	12,4159	0,1815	12,2048	1,2600	0,1733
S1_BPFI_1124_1002_C5_F	18,1147	0,1810	18,8474	1,2539	-0,1770
S1_BPFI_1124_1257_C5_F	7,1434	0,1799	10,3861	1,2521	-0,0610
S1_BPFI_1124_1547_C5_F	13,6847	0,1774	18,7963	1,2497	-0,5341
S1_BPFI_1124_1717_C5_F	11,3212	0,1840	17,8427	1,2544	-0,2410
S1_BPFI_1124_1847_C5_F	10,1183	0,1822	14,8652	1,2490	0,0345
S1_BPFI_1124_2137_C5_F	3,7796	0,1771	7,7451	1,2324	-0,0292
S1_BPFI_1124_2357_C5_F	4,0724	0,1782	7,6037	1,2328	0,0967
S1_BPFI_1125_1107_C5_F	5,9703	0,2146	10,4149	1,2701	0,0127
S1_BPFI_1125_1357_C5_F	8,2040	0,2646	12,8706	1,3133	-0,1582
S1_BPFI_1125_1507_C5_F	6,1923	0,2804	11,4530	1,3194	-0,1542
S1_BPFI_1125_1607_C5_F	7,1506	0,2756	14,4719	1,3135	-0,0896
S1_BPFI_1125_2339_C5_F	8,9027	0,5936	11,4048	1,3540	0,0672

Training data	CF	RSS	Vr	St	Qr
S1_BPFI_1022_1944_C5_N	4,2504	18,6528	0,0084	0,0918	-0,1540

S1_BPFI_1023_0704_C5_N	4,9141	18,6962	0,0085	0,0922	-0,1540
S1_BPFI_1029_1439_C5_N	3,8691	22,8584	0,0127	0,1127	-0,1860
S1_BPFI_1029_2249_C5_N	4,3977	22,8115	0,0126	0,1123	-0,1860
S1_BPFI_1031_0629_C5_N	4,5250	23,0241	0,0128	0,1134	-0,1880
S1_BPFI_1031_1251_C5_N	4,5754	22,8955	0,0124	0,1115	-0,1880
S1_BPFI_1031_1941_C5_N	4,1790	23,0811	0,0127	0,1127	-0,1880
S1_BPFI_1101_0701_C5_N	4,5436	22,6774	0,0122	0,1105	-0,1830
S1_BPFI_1101_1241_C5_N	4,3952	22,6617	0,0121	0,1098	-0,1860
S1_BPFI_1101_1821_C5_N	5,0304	22,8442	0,0121	0,1098	-0,1880
S1_BPFI_1107_1601_C5_N	4,7206	22,6459	0,0121	0,1098	-0,1860
S1_BPFI_1107_2041_C5_N	5,6187	22,8719	0,0127	0,1125	-0,1860
S1_BPFI_1108_1451_C5_N	5,7101	22,7064	0,0124	0,1112	-0,1860
S1_BPFI_1109_0221_C5_N	3,6938	22,5872	0,0117	0,1083	-0,1860
S1_BPFI_1109_0751_C5_N	3,8560	22,7504	0,0121	0,1101	-0,1860
S1_BPFI_1109_1335_C5_N	4,0455	22,5336	0,0118	0,1088	-0,1860
S1_BPFI_1110_0425_C5_N	6,8140	22,6614	0,0122	0,1106	-0,1860
S1_BPFI_1110_1015_C5_N	4,9899	22,8289	0,0123	0,1107	-0,1860
S1_BPFI_1110_1555_C5_N	4,9715	22,5678	0,0119	0,1093	-0,1830
S1_BPFI_1114_2208_C5_N	5,1021	23,0842	0,0128	0,1131	-0,1880
S1_BPFI_1115_0558_C5_N	4,3017	22,8215	0,0123	0,1109	-0,1860
S1_BPFI_1115_0938_C5_N	5,1474	22,8810	0,0125	0,1117	-0,1860
S1_BPFI_1115_2058_C5_N	4,7886	23,2804	0,0130	0,1140	-0,1880
S1_BPFI_1116_0228_C5_N	4,5479	23,0339	0,0128	0,1129	-0,1860
S1_BPFI_1116_0818_C5_N	6,7229	23,0321	0,0128	0,1132	-0,1860
S1_BPFI_1116_1948_C5_N	3,7941	22,5558	0,0118	0,1085	-0,1860
S1_BPFI_1117_1018_C5_N	6,1195	23,0583	0,0131	0,1145	-0,1860
S1_BPFI_1117_2042_C5_N	6,2346	22,8623	0,0122	0,1102	-0,1880
S1_BPFI_1118_0812_C5_N	5,1966	22,9397	0,0123	0,1111	-0,1880
S1_BPFI_1118_1912_C5_N	4,5586	22,7597	0,0121	0,1102	-0,1860
<b>Testing data (normal)</b>					
S1_BPFI_1119_0912_C5_N	4,3908	23,0755	0,0128	0,1131	-0,1880
S1_BPFI_1119_2156_C5_N	5,2568	22,6772	0,0120	0,1097	-0,1830
S1_BPFI_1120_1150_C5_N	5,5562	23,0777	0,0132	0,1148	-0,1880
S1_BPFI_1120_1719_C5_N	3,9762	22,6747	0,0119	0,1092	-0,1860
S1_BPFI_1121_0404_C5_N	5,2036	23,2389	0,0132	0,1147	-0,1880
S1_BPFI_1121_1208_C5_N	4,1145	23,1990	0,0132	0,1149	-0,1880
S1_BPFI_1121_2006_C5_N	5,0463	22,9143	0,0126	0,1121	-0,1860
S1_BPFI_1122_0726_C5_N	4,5416	23,5386	0,0137	0,1171	-0,1900
S1_BPFI_1122_0926_C5_N	4,6211	23,2264	0,0132	0,1151	-0,1880
S1_BPFI_1122_1126_C5_N	5,8650	23,6439	0,0140	0,1183	-0,1930
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S1_BPFI_1122_1136_C5_F	5,0206	23,5161	0,0138	0,1176	-0,1880
S1_BPFI_1122_1506_C5_F	11,6581	23,4952	0,0140	0,1182	-0,1900
S1_BPFI_1122_1846_C5_F	20,8240	23,9225	0,0149	0,1223	-0,1880

S1_BPFI_1123_0856_C5_F	10,3927	24,2352	0,0157	0,1252	-0,1930
S1_BPFI_1123_1516_C5_F	8,9606	24,4035	0,0158	0,1255	-0,1930
S1_BPFI_1123_2221_C5_F	8,7735	24,2551	0,0156	0,1249	-0,1930
S1_BPFI_1124_0121_C5_F	6,8194	23,9863	0,0149	0,1219	-0,1930
S1_BPFI_1124_0251_C5_F	16,4945	26,4102	0,0209	0,1445	-0,2000
S1_BPFI_1124_0411_C5_F	15,1843	25,3526	0,0182	0,1349	-0,1950
S1_BPFI_1124_0701_C5_F	9,6866	25,9724	0,0196	0,1401	-0,1980
S1_BPFI_1124_1002_C5_F	15,0305	25,8976	0,0191	0,1383	-0,2000
S1_BPFI_1124_1257_C5_F	8,2948	25,7412	0,0193	0,1390	-0,1980
S1_BPFI_1124_1547_C5_F	15,0407	25,3853	0,0183	0,1354	-0,1980
S1_BPFI_1124_1717_C5_F	14,2246	26,3287	0,0207	0,1440	-0,2030
S1_BPFI_1124_1847_C5_F	11,9020	26,0679	0,0201	0,1417	-0,2000
S1_BPFI_1124_2137_C5_F	6,2844	25,3454	0,0181	0,1347	-0,2015
S1_BPFI_1124_2357_C5_F	6,1678	25,4995	0,0188	0,1370	-0,2000
S1_BPFI_1125_1107_C5_F	8,1998	30,7166	0,0331	0,1819	-0,2270
S1_BPFI_1125_1357_C5_F	9,8002	37,8647	0,0569	0,2385	-0,2490
S1_BPFI_1125_1507_C5_F	8,6803	40,1282	0,0652	0,2554	-0,2590
S1_BPFI_1125_1607_C5_F	11,0178	39,4471	0,0626	0,2502	-0,2590
S1_BPFI_1125_2339_C5_F	8,4230	84,9505	0,3357	0,5794	-0,2170

Με κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
S1_BPFI_1022_1944_C5_N	6,8051	0,0107	4,4539	1,2657	1,8710
S1_BPFI_1023_0704_C5_N	5,9495	0,0125	4,5806	1,2006	1,4556
S1_BPFI_1029_1439_C5_N	7,5233	0,0135	5,6247	1,2183	1,6221
S1_BPFI_1029_2249_C5_N	4,8004	0,0134	3,8288	1,1961	1,2332
S1_BPFI_1031_0629_C5_N	6,9978	0,0141	4,5328	1,2021	1,5411
S1_BPFI_1031_1251_C5_N	7,7009	0,0141	4,4746	1,2016	1,6866
S1_BPFI_1031_1941_C5_N	7,3072	0,0142	5,3316	1,2198	1,6778
S1_BPFI_1101_0701_C5_N	5,2338	0,0164	4,4860	1,1960	1,2877
S1_BPFI_1101_1241_C5_N	5,3428	0,0131	4,1965	1,2032	1,3661
S1_BPFI_1101_1821_C5_N	5,4202	0,0132	3,9588	1,1871	1,3197
S1_BPFI_1107_1601_C5_N	6,2481	0,0138	4,3919	1,1937	1,4909
S1_BPFI_1107_2041_C5_N	5,7468	0,0135	4,3470	1,1859	1,3546
S1_BPFI_1108_1451_C5_N	6,2934	0,0140	4,3096	1,1947	1,4949
S1_BPFI_1109_0221_C5_N	7,0911	0,0135	5,0857	1,1988	1,5922
S1_BPFI_1109_0751_C5_N	6,2315	0,0132	4,6016	1,1883	1,4059
S1_BPFI_1109_1335_C5_N	6,6477	0,0161	5,0236	1,1771	1,4276
S1_BPFI_1110_0425_C5_N	6,7658	0,0155	4,5926	1,1893	1,4959
S1_BPFI_1110_1015_C5_N	9,6910	0,0138	5,6963	1,2254	2,0366
S1_BPFI_1110_1555_C5_N	5,3720	0,0138	3,8908	1,1975	1,3410
S1_BPFI_1114_2208_C5_N	6,4115	0,0579	6,3623	1,1731	1,3114
S1_BPFI_1115_0558_C5_N	6,4069	0,0158	4,8547	1,1846	1,4043
S1_BPFI_1115_0938_C5_N	5,1787	0,0141	3,8504	1,1960	1,3476
S1_BPFI_1115_2058_C5_N	6,9387	0,0146	4,8386	1,1979	1,6175

S1_BPFI_1116_0228_C5_N	6,6386	0,0143	4,5579	1,1981	1,4691
S1_BPFI_1116_0818_C5_N	4,3863	0,0135	3,4685	1,1887	1,1911
S1_BPFI_1116_1948_C5_N	8,7618	0,0131	4,8507	1,1736	1,6662
S1_BPFI_1117_1018_C5_N	13,8774	0,0203	6,3300	1,1817	2,1011
S1_BPFI_1117_2042_C5_N	10,6857	0,0140	5,6056	1,1734	1,7606
S1_BPFI_1118_0812_C5_N	4,9198	0,0142	3,9832	1,1774	1,1578
S1_BPFI_1118_1912_C5_N	5,8334	0,0137	3,7980	1,1821	1,4987
<b>Testing data (normal)</b>					
S1_BPFI_1119_0912_C5_N	4,3927	0,0144	4,2189	1,1912	1,1649
S1_BPFI_1119_2156_C5_N	6,2899	0,0139	4,3482	1,2025	1,5475
S1_BPFI_1120_1150_C5_N	6,7564	0,0161	5,0688	1,1852	1,4636
S1_BPFI_1120_1719_C5_N	6,1162	0,0155	4,0204	1,1849	1,4676
S1_BPFI_1121_0404_C5_N	4,6947	0,0137	3,6031	1,1939	1,2218
S1_BPFI_1121_1208_C5_N	5,5790	0,0474	5,1953	1,1743	1,2669
S1_BPFI_1121_2006_C5_N	8,4126	0,0134	5,1693	1,1968	1,7508
S1_BPFI_1122_0726_C5_N	8,4247	0,0147	5,2344	1,1907	1,7074
S1_BPFI_1122_0926_C5_N	5,4864	0,0474	4,9851	1,1721	1,2435
S1_BPFI_1122_1126_C5_N	7,5789	0,0141	4,7179	1,1868	1,6530
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S1_BPFI_1122_1136_C5_F	7,2151	0,0146	5,1046	1,1917	1,5379
S1_BPFI_1122_1506_C5_F	9,1403	0,0139	4,7239	1,1846	1,8331
S1_BPFI_1122_1846_C5_F	53,9081	0,0176	11,3817	1,2874	5,4326
S1_BPFI_1123_0856_C5_F	32,3545	0,0153	9,2794	1,2701	4,0223
S1_BPFI_1123_1516_C5_F	12,3451	0,0176	6,7582	1,1950	1,9905
S1_BPFI_1123_2221_C5_F	21,6574	0,0219	8,3101	1,2202	2,9157
S1_BPFI_1124_0121_C5_F	3,8756	0,0154	3,3477	1,1673	0,9790
S1_BPFI_1124_0251_C5_F	25,5413	0,0176	8,6631	1,3274	3,7124
S1_BPFI_1124_0411_C5_F	60,6203	0,0194	11,6678	1,2377	4,8441
S1_BPFI_1124_0701_C5_F	79,6051	0,0493	17,3045	1,2463	5,5201
S1_BPFI_1124_1002_C5_F	75,9315	0,0282	13,8604	1,2549	5,8227
S1_BPFI_1124_1257_C5_F	27,9554	0,1176	16,5690	1,3321	2,9384
S1_BPFI_1124_1547_C5_F	15,3802	0,0194	7,5432	1,2226	2,4279
S1_BPFI_1124_1717_C5_F	73,2281	0,1193	29,2340	1,3336	4,0899
S1_BPFI_1124_1847_C5_F	9,9734	0,0172	6,0282	1,2151	1,9194
S1_BPFI_1124_2137_C5_F	8,6324	0,0670	7,1970	1,1709	1,5152
S1_BPFI_1124_2357_C5_F	15,0416	0,0556	9,6634	1,1831	2,0209
S1_BPFI_1125_1107_C5_F	72,3800	0,0624	17,4533	1,2517	5,0856
S1_BPFI_1125_1357_C5_F	42,2024	0,0459	11,8929	1,3093	4,6372
S1_BPFI_1125_1507_C5_F	24,5276	0,1999	17,7129	1,4017	3,1150
S1_BPFI_1125_1607_C5_F	101,1134	0,0953	19,2103	1,3196	6,5745
S1_BPFI_1125_2339_C5_F	27,8150	0,0846	14,2397	1,5903	4,2960

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
S1_BPFI_1022_1944_C5_N	3,5188	0,2676	0,0000	0,0066	0,0044
S1_BPFI_1023_0704_C5_N	3,8153	0,3604	0,0000	0,0069	0,0056

S1_BPFI_1029_1439_C5_N	4,6170	0,3357	0,0001	0,0077	0,0055
S1_BPFI_1029_2249_C5_N	3,2012	0,3349	0,0001	0,0074	0,0060
S1_BPFI_1031_0629_C5_N	3,7709	0,3514	0,0001	0,0078	0,0061
S1_BPFI_1031_1251_C5_N	3,7240	0,3513	0,0001	0,0078	0,0064
S1_BPFI_1031_1941_C5_N	4,3709	0,3526	0,0001	0,0081	0,0058
S1_BPFI_1101_0701_C5_N	3,7510	0,4697	0,0001	0,0090	0,0073
S1_BPFI_1101_1241_C5_N	3,4877	0,3273	0,0001	0,0073	0,0055
S1_BPFI_1101_1821_C5_N	3,3349	0,3298	0,0001	0,0071	0,0059
S1_BPFI_1107_1601_C5_N	3,6794	0,3435	0,0001	0,0075	0,0063
S1_BPFI_1107_2041_C5_N	3,6656	0,3363	0,0001	0,0073	0,0062
S1_BPFI_1108_1451_C5_N	3,6073	0,3475	0,0001	0,0076	0,0063
S1_BPFI_1109_0221_C5_N	4,2425	0,3374	0,0001	0,0075	0,0060
S1_BPFI_1109_0751_C5_N	3,8723	0,3289	0,0001	0,0071	0,0059
S1_BPFI_1109_1335_C5_N	4,2678	0,4635	0,0001	0,0085	0,0077
S1_BPFI_1110_0425_C5_N	3,8616	0,4443	0,0001	0,0084	0,0074
S1_BPFI_1110_1015_C5_N	4,6483	0,3437	0,0001	0,0080	0,0060
S1_BPFI_1110_1555_C5_N	3,2490	0,3439	0,0001	0,0076	0,0060
S1_BPFI_1114_2208_C5_N	5,4233	5,8439	0,0009	0,0303	0,0271
S1_BPFI_1115_0558_C5_N	4,0982	0,4551	0,0001	0,0085	0,0071
S1_BPFI_1115_0938_C5_N	3,2194	0,3505	0,0001	0,0077	0,0065
S1_BPFI_1115_2058_C5_N	4,0394	0,3626	0,0001	0,0080	0,0066
S1_BPFI_1116_0228_C5_N	3,8043	0,3549	0,0001	0,0079	0,0062
S1_BPFI_1116_0818_C5_N	2,9180	0,3368	0,0001	0,0073	0,0061
S1_BPFI_1116_1948_C5_N	4,1332	0,3252	0,0000	0,0068	0,0063
S1_BPFI_1117_1018_C5_N	5,3569	0,7184	0,0001	0,0108	0,0096
S1_BPFI_1117_2042_C5_N	4,7771	0,3497	0,0001	0,0073	0,0068
S1_BPFI_1118_0812_C5_N	3,3832	0,3528	0,0001	0,0075	0,0067
S1_BPFI_1118_1912_C5_N	3,2129	0,3402	0,0001	0,0073	0,0067
<b>Testing data (normal)</b>					
S1_BPFI_1119_0912_C5_N	3,5418	0,3579	0,0001	0,0078	0,0062
S1_BPFI_1119_2156_C5_N	3,6158	0,3457	0,0001	0,0077	0,0064
S1_BPFI_1120_1150_C5_N	4,2768	0,4628	0,0001	0,0087	0,0073
S1_BPFI_1120_1719_C5_N	3,3931	0,4450	0,0001	0,0083	0,0073
S1_BPFI_1121_0404_C5_N	3,0181	0,3424	0,0001	0,0075	0,0060
S1_BPFI_1121_1208_C5_N	4,4240	3,8991	0,0006	0,0248	0,0226
S1_BPFI_1121_2006_C5_N	4,3191	0,3350	0,0001	0,0074	0,0061
S1_BPFI_1122_0726_C5_N	4,3959	0,3667	0,0001	0,0080	0,0069
S1_BPFI_1122_0926_C5_N	4,2531	3,8969	0,0006	0,0247	0,0226
S1_BPFI_1122_1126_C5_N	3,9752	0,3510	0,0001	0,0076	0,0066
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S1_BPFI_1122_1136_C5_F	4,2834	0,3639	0,0001	0,0080	0,0066
S1_BPFI_1122_1506_C5_F	3,9878	0,3460	0,0001	0,0074	0,0068
S1_BPFI_1122_1846_C5_F	8,8410	0,5042	0,0001	0,0111	0,0076
S1_BPFI_1123_0856_C5_F	7,3059	0,3801	0,0001	0,0094	0,0063



S1_BPFI_1123_1516_C5_F	5,6553	0,5066	0,0001	0,0097	0,0078
S1_BPFI_1123_2221_C5_F	6,8103	0,7757	0,0002	0,0125	0,0097
S1_BPFI_1124_0121_C5_F	2,8680	0,3828	0,0001	0,0079	0,0070
S1_BPFI_1124_0251_C5_F	6,5261	0,4390	0,0001	0,0116	0,0063
S1_BPFI_1124_0411_C5_F	9,4273	0,5577	0,0001	0,0114	0,0087
S1_BPFI_1124_0701_C5_F	13,8848	3,5134	0,0009	0,0294	0,0218
S1_BPFI_1124_1002_C5_F	11,0454	1,1523	0,0003	0,0170	0,0125
S1_BPFI_1124_1257_C5_F	12,4379	16,7818	0,0060	0,0777	0,0335
S1_BPFI_1124_1547_C5_F	6,1697	0,5568	0,0001	0,0112	0,0085
S1_BPFI_1124_1717_C5_F	21,9214	17,0346	0,0062	0,0789	0,0341
S1_BPFI_1124_1847_C5_F	4,9611	0,4289	0,0001	0,0098	0,0076
S1_BPFI_1124_2137_C5_F	6,1466	6,7598	0,0012	0,0349	0,0321
S1_BPFI_1124_2357_C5_F	8,1682	4,5757	0,0009	0,0297	0,0263
S1_BPFI_1125_1107_C5_F	13,9437	4,4445	0,0014	0,0375	0,0269
S1_BPFI_1125_1357_C5_F	9,0830	1,8792	0,0009	0,0297	0,0179
S1_BPFI_1125_1507_C5_F	12,6365	28,5343	0,0196	0,1401	0,0497
S1_BPFI_1125_1607_C5_F	14,5572	7,8416	0,0039	0,0622	0,0369
S1_BPFI_1125_2339_C5_F	8,9538	3,0009	0,0043	0,0658	0,0219

Set 2

Χωρίς κυρτώγραμμα

Training data	kurt	Rms	Imf	SpF	Sk
S2_BPFO_0212_1032_C1_N	3,6288	0,0742	7,7830	1,2717	0,0840
S2_BPFO_0212_1202_C1_N	3,3252	0,0757	6,3113	1,2642	0,0463
S2_BPFO_0212_1342_C1_N	3,5964	0,0789	7,6161	1,2764	-0,0321
S2_BPFO_0212_1642_C1_N	3,5707	0,0799	7,2904	1,2741	-0,0098
S2_BPFO_0212_1812_C1_N	3,3565	0,0789	5,8457	1,2673	0,0684
S2_BPFO_0212_1952_C1_N	3,4843	0,0774	7,5673	1,2702	-0,0106
S2_BPFO_0212_2252_C1_N	3,3948	0,0788	7,0605	1,2735	-0,0052
S2_BPFO_0213_0022_C1_N	3,3194	0,0768	6,1582	1,2645	0,0069
S2_BPFO_0213_0152_C1_N	3,3582	0,0767	6,3721	1,2663	-0,0057
S2_BPFO_0213_0452_C1_N	3,4765	0,0765	6,0069	1,2730	-0,0058
S2_BPFO_0213_0632_C1_N	3,4041	0,0767	6,9649	1,2657	0,0203
S2_BPFO_0213_0752_C1_N	3,3801	0,0764	6,6438	1,2682	-0,0091
S2_BPFO_0213_1102_C1_N	3,4161	0,0756	7,5746	1,2673	0,0412
S2_BPFO_0213_1232_C1_N	3,6057	0,0785	7,2833	1,2787	-0,0262
S2_BPFO_0213_1402_C1_N	3,4409	0,0776	7,1659	1,2670	-0,0559
S2_BPFO_0213_1702_C1_N	3,3541	0,0781	5,4273	1,2689	0,0079
S2_BPFO_0213_1832_C1_N	3,2877	0,0774	5,7544	1,2661	0,0020
S2_BPFO_0213_2002_C1_N	3,5425	0,0770	7,3023	1,2726	-0,0197
S2_BPFO_0213_2302_C1_N	3,3903	0,0785	5,8149	1,2707	-0,0124
S2_BPFO_0214_0031_C1_N	3,4037	0,0782	7,0705	1,2713	-0,0079
S2_BPFO_0214_0212_C1_N	3,5063	0,0774	8,5735	1,2713	-0,0021
S2_BPFO_0214_0512_C1_N	3,4292	0,0767	6,4664	1,2679	0,0431

S2_BPFO_0214_0642_C1_N	3,3615	0,0786	7,3789	1,2689	0,0221
S2_BPFO_0214_0812_C1_N	3,4253	0,0782	5,9190	1,2720	-0,0150
S2_BPFO_0214_1112_C1_N	3,3312	0,0777	6,2138	1,2665	0,0039
S2_BPFO_0214_1242_C1_N	3,5002	0,0754	7,6355	1,2678	-0,0380
S2_BPFO_0214_1412_C1_N	3,4626	0,0782	6,6260	1,2707	-0,0346
S2_BPFO_0214_1722_C1_N	3,4207	0,0783	6,8513	1,2714	0,0577
S2_BPFO_0214_1852_C1_N	3,3481	0,0780	6,2049	1,2704	0,0210
S2_BPFO_0214_2022_C1_N	3,5519	0,0787	7,4359	1,2695	-0,0409
<b>Testing data (normal)</b>					
S2_BPFO_0214_2322_C1_N	3,4050	0,0767	6,6685	1,2686	0,0342
S2_BPFO_0215_0052_C1_N	3,3199	0,0778	6,0878	1,2659	0,0022
S2_BPFO_0215_0222_C1_N	3,3113	0,0770	6,3034	1,2675	0,0080
S2_BPFO_0215_0522_C1_N	3,3873	0,0754	6,8150	1,2680	0,0155
S2_BPFO_0215_0652_C1_N	3,4057	0,0771	6,6350	1,2691	-0,0300
S2_BPFO_0215_0832_C1_N	3,4209	0,0764	7,5131	1,2700	-0,0077
S2_BPFO_0215_1132_C1_N	3,4387	0,0782	6,3033	1,2708	0,0307
S2_BPFO_0215_1302_C1_N	3,6568	0,0786	8,9028	1,2752	-0,0068
S2_BPFO_0215_1432_C1_N	3,4890	0,0777	6,4248	1,2696	0,0040
S2_BPFO_0215_1732_C1_N	3,3059	0,0785	7,3964	1,2647	-0,0084
S2_BPFO_0215_1902_C1_N	3,4047	0,0755	6,5662	1,2677	-0,0252
S2_BPFO_0215_2032_C1_N	3,5218	0,0779	6,5483	1,2750	0,0180
S2_BPFO_0215_2342_C1_N	3,3030	0,0775	5,9684	1,2643	-0,0021
S2_BPFO_0216_0122_C1_N	3,4434	0,0765	6,6233	1,2731	0,0264
S2_BPFO_0216_0302_C1_N	3,3938	0,0771	6,5386	1,2670	0,0048
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S2_BPFO_0216_0312_C1_F	3,5004	0,0823	7,0703	1,2727	-0,0072
S2_BPFO_0216_0652_C1_F	3,4444	0,0876	6,3222	1,2732	0,0275
S2_BPFO_0216_1032_C1_F	3,5135	0,0882	6,8905	1,2821	0,0240
S2_BPFO_0216_1802_C1_F	3,6142	0,0985	7,2051	1,2852	0,0071
S2_BPFO_0216_2142_C1_F	3,6552	0,0981	5,4498	1,2938	-0,0316
S2_BPFO_0217_0132_C1_F	3,9260	0,1069	6,5090	1,3074	-0,0244
S2_BPFO_0217_0912_C1_F	5,2488	0,1688	7,2635	1,4310	-0,0388
S2_BPFO_0217_1252_C1_F	5,3978	0,1568	7,9062	1,4103	-0,0824
S2_BPFO_0217_1642_C1_F	4,9975	0,1259	7,2881	1,3573	-0,1075
S2_BPFO_0218_0012_C1_F	3,9433	0,1064	6,4587	1,3036	0,0237
S2_BPFO_0218_0322_C1_F	4,0037	0,1112	7,3170	1,3125	-0,0533
S2_BPFO_0218_0742_C1_F	5,0488	0,1642	7,3540	1,4059	-0,0726
S2_BPFO_0218_1522_C1_F	4,7284	0,1320	7,2028	1,3331	-0,1839
S2_BPFO_0218_1902_C1_F	4,8301	0,1930	7,0814	1,3725	-0,3603
S2_BPFO_0218_2252_C1_F	4,1907	0,1956	6,4968	1,3182	-0,1275
S2_BPFO_0219_0602_C1_F	7,8918	0,4838	10,5271	1,3781	-0,3771

Training data	CF	RSS	Vr	St	Qr
S2_BPFO_0212_1032_C1_N	6,1203	10,6156	0,0054	0,0735	-0,0590

S2_BPFO_0212_1202_C1_N	4,9922	10,8358	0,0057	0,0757	-0,0510
S2_BPFO_0212_1342_C1_N	5,9671	11,2960	0,0062	0,0789	-0,0540
S2_BPFO_0212_1642_C1_N	5,7221	11,4294	0,0064	0,0798	-0,0540
S2_BPFO_0212_1812_C1_N	4,6127	11,2931	0,0062	0,0789	-0,0510
S2_BPFO_0212_1952_C1_N	5,9576	11,0738	0,0060	0,0773	-0,0540
S2_BPFO_0212_2252_C1_N	5,5442	11,2799	0,0062	0,0788	-0,0540
S2_BPFO_0213_0022_C1_N	4,8702	10,9899	0,0059	0,0768	-0,0510
S2_BPFO_0213_0152_C1_N	5,0319	10,9780	0,0059	0,0767	-0,0510
S2_BPFO_0213_0452_C1_N	4,7187	10,9483	0,0058	0,0765	-0,0510
S2_BPFO_0213_0632_C1_N	5,5027	10,9750	0,0059	0,0767	-0,0510
S2_BPFO_0213_0752_C1_N	5,2389	10,9266	0,0058	0,0763	-0,0510
S2_BPFO_0213_1102_C1_N	5,9768	10,8226	0,0057	0,0756	-0,0510
S2_BPFO_0213_1232_C1_N	5,6957	11,2312	0,0062	0,0785	-0,0510
S2_BPFO_0213_1402_C1_N	5,6556	11,1084	0,0060	0,0776	-0,0540
S2_BPFO_0213_1702_C1_N	4,2770	11,1755	0,0061	0,0781	-0,0510
S2_BPFO_0213_1832_C1_N	4,5450	11,0835	0,0060	0,0774	-0,0540
S2_BPFO_0213_2002_C1_N	5,7383	11,0232	0,0059	0,0770	-0,0510
S2_BPFO_0213_2302_C1_N	4,5761	11,2271	0,0062	0,0784	-0,0540
S2_BPFO_0214_0031_C1_N	5,5615	11,1934	0,0061	0,0782	-0,0540
S2_BPFO_0214_0212_C1_N	6,7441	11,0767	0,0060	0,0774	-0,0510
S2_BPFO_0214_0512_C1_N	5,1003	10,9710	0,0059	0,0766	-0,0510
S2_BPFO_0214_0642_C1_N	5,8152	11,2465	0,0062	0,0785	-0,0540
S2_BPFO_0214_0812_C1_N	4,6533	11,1945	0,0061	0,0782	-0,0540
S2_BPFO_0214_1112_C1_N	4,9063	11,1130	0,0060	0,0776	-0,0540
S2_BPFO_0214_1242_C1_N	6,0227	10,7877	0,0057	0,0754	-0,0510
S2_BPFO_0214_1412_C1_N	5,2144	11,1976	0,0061	0,0782	-0,0510
S2_BPFO_0214_1722_C1_N	5,3887	11,2071	0,0061	0,0783	-0,0540
S2_BPFO_0214_1852_C1_N	4,8842	11,1635	0,0061	0,0780	-0,0510
S2_BPFO_0214_2022_C1_N	5,8573	11,2634	0,0062	0,0787	-0,0540
<b>Testing data (normal)</b>					
S2_BPFO_0214_2322_C1_N	5,2567	10,9713	0,0059	0,0766	-0,0510
S2_BPFO_0215_0052_C1_N	4,8089	11,1298	0,0060	0,0777	-0,0510
S2_BPFO_0215_0222_C1_N	4,9730	11,0216	0,0059	0,0770	-0,0540
S2_BPFO_0215_0522_C1_N	5,3746	10,7839	0,0057	0,0753	-0,0510
S2_BPFO_0215_0652_C1_N	5,2280	11,0316	0,0059	0,0771	-0,0540
S2_BPFO_0215_0832_C1_N	5,9159	10,9340	0,0058	0,0764	-0,0510
S2_BPFO_0215_1132_C1_N	4,9600	11,1948	0,0061	0,0782	-0,0540
S2_BPFO_0215_1302_C1_N	6,9817	11,2533	0,0062	0,0786	-0,0510
S2_BPFO_0215_1432_C1_N	5,0607	11,1135	0,0060	0,0776	-0,0510
S2_BPFO_0215_1732_C1_N	5,8483	11,2318	0,0062	0,0785	-0,0540
S2_BPFO_0215_1902_C1_N	5,1796	10,8031	0,0057	0,0755	-0,0510
S2_BPFO_0215_2032_C1_N	5,1361	11,1453	0,0061	0,0779	-0,0510
S2_BPFO_0215_2342_C1_N	4,7208	11,0951	0,0060	0,0775	-0,0510
S2_BPFO_0216_0122_C1_N	5,2024	10,9481	0,0058	0,0765	-0,0510

S2_BPFO_0216_0302_C1_N	5,1608	11,0365	0,0059	0,0771	-0,0510
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S2_BPFO_0216_0312_C1_F	5,5552	11,7728	0,0068	0,0822	-0,0560
S2_BPFO_0216_0652_C1_F	4,9655	12,5369	0,0077	0,0876	-0,0590
S2_BPFO_0216_1032_C1_F	5,3744	12,6215	0,0078	0,0882	-0,0590
S2_BPFO_0216_1802_C1_F	5,6060	14,0912	0,0097	0,0985	-0,0630
S2_BPFO_0216_2142_C1_F	4,2121	14,0320	0,0096	0,0980	-0,0610
S2_BPFO_0217_0132_C1_F	4,9786	15,2920	0,0114	0,1068	-0,0630
S2_BPFO_0217_0912_C1_F	5,0759	24,1620	0,0285	0,1688	-0,0780
S2_BPFO_0217_1252_C1_F	5,6062	22,4380	0,0246	0,1568	-0,0760
S2_BPFO_0217_1642_C1_F	5,3697	18,0162	0,0158	0,1259	-0,0710
S2_BPFO_0218_0012_C1_F	4,9544	15,2224	0,0113	0,1063	-0,0680
S2_BPFO_0218_0322_C1_F	5,5749	15,9155	0,0124	0,1112	-0,0660
S2_BPFO_0218_0742_C1_F	5,2308	23,5010	0,0270	0,1642	-0,0810
S2_BPFO_0218_1522_C1_F	5,4029	18,8854	0,0174	0,1319	-0,0780
S2_BPFO_0218_1902_C1_F	5,1596	27,6253	0,0373	0,1930	-0,1000
S2_BPFO_0218_2252_C1_F	4,9285	27,9916	0,0383	0,1956	-0,1150
S2_BPFO_0219_0602_C1_F	7,6390	69,2409	0,2341	0,4838	-0,2600

Με κυρτώγραμμα

<b>Training data</b>	<b>kurt</b>	<b>Rms</b>	<b>Imf</b>	<b>SpF</b>	<b>Sk</b>
S2_BPFO_0212_1032_C1_N	8,1244	0,0256	8,1530	1,2087	1,6132
S2_BPFO_0212_1202_C1_N	7,1568	0,0253	6,5306	1,2021	1,5899
S2_BPFO_0212_1342_C1_N	6,2847	0,0261	5,5033	1,1964	1,4552
S2_BPFO_0212_1642_C1_N	5,9383	0,0262	4,9135	1,1985	1,4091
S2_BPFO_0212_1812_C1_N	6,4243	0,0318	5,5206	1,1907	1,4549
S2_BPFO_0212_1952_C1_N	6,2865	0,0257	5,4641	1,1966	1,4462
S2_BPFO_0212_2252_C1_N	5,8338	0,0264	5,5850	1,1898	1,3581
S2_BPFO_0213_0022_C1_N	6,1677	0,0253	5,2471	1,1938	1,4146
S2_BPFO_0213_0152_C1_N	6,7873	0,0218	6,9138	1,1900	1,4566
S2_BPFO_0213_0452_C1_N	5,1874	0,0254	4,8632	1,1850	1,2631
S2_BPFO_0213_0632_C1_N	6,1272	0,0253	5,1754	1,1863	1,3967
S2_BPFO_0213_0752_C1_N	6,0038	0,0251	5,1372	1,1853	1,3720
S2_BPFO_0213_1102_C1_N	6,8064	0,0251	6,0544	1,1894	1,4735
S2_BPFO_0213_1232_C1_N	6,0915	0,0263	5,8288	1,1936	1,4039
S2_BPFO_0213_1402_C1_N	5,8805	0,0254	5,3864	1,1908	1,3909
S2_BPFO_0213_1702_C1_N	5,5425	0,0315	5,2056	1,1818	1,3152
S2_BPFO_0213_1832_C1_N	7,1783	0,0252	7,1509	1,1937	1,5051
S2_BPFO_0213_2002_C1_N	6,7795	0,0310	5,8566	1,1845	1,4666
S2_BPFO_0213_2302_C1_N	6,4473	0,0259	5,7254	1,1976	1,4791
S2_BPFO_0214_0031_C1_N	5,6704	0,0257	4,8139	1,1840	1,3392
S2_BPFO_0214_0212_C1_N	5,9771	0,0253	5,4908	1,1884	1,3919
S2_BPFO_0214_0512_C1_N	6,1511	0,0255	5,2925	1,1869	1,4228
S2_BPFO_0214_0642_C1_N	5,5153	0,0316	4,8969	1,1833	1,3058
S2_BPFO_0214_0812_C1_N	6,3944	0,0259	4,8750	1,1900	1,4291

S2_BPFO_0214_1112_C1_N	6,6282	0,0253	5,2522	1,1912	1,4985
S2_BPFO_0214_1242_C1_N	6,4476	0,0250	5,5292	1,1896	1,4580
S2_BPFO_0214_1412_C1_N	5,7528	0,0259	4,7555	1,1857	1,3500
S2_BPFO_0214_1722_C1_N	6,1275	0,0313	5,4252	1,1885	1,4068
S2_BPFO_0214_1852_C1_N	5,1702	0,0254	5,2962	1,1872	1,2663
S2_BPFO_0214_2022_C1_N	6,7190	0,0254	5,4490	1,1888	1,4578
<b>Testing data (normal)</b>					
S2_BPFO_0214_2322_C1_N	6,5068	0,0253	5,6721	1,1919	1,4828
S2_BPFO_0215_0052_C1_N	4,6794	0,0255	4,5686	1,1834	1,1688
S2_BPFO_0215_0222_C1_N	6,5213	0,0307	5,7745	1,1844	1,4332
S2_BPFO_0215_0522_C1_N	6,2079	0,0247	5,5455	1,1833	1,3929
S2_BPFO_0215_0652_C1_N	6,2498	0,0252	5,4836	1,1920	1,4450
S2_BPFO_0215_0832_C1_N	6,7683	0,0251	5,8606	1,1903	1,4765
S2_BPFO_0215_1132_C1_N	5,3495	0,0182	5,0250	1,1800	1,2650
S2_BPFO_0215_1302_C1_N	6,6989	0,0259	5,9446	1,1845	1,4423
S2_BPFO_0215_1432_C1_N	5,6757	0,0253	5,0426	1,1801	1,2885
S2_BPFO_0215_1732_C1_N	6,3252	0,0255	5,5479	1,1914	1,4378
S2_BPFO_0215_1902_C1_N	7,1616	0,0074	5,0433	1,1787	1,4914
S2_BPFO_0215_2032_C1_N	6,2804	0,0314	5,4289	1,1836	1,4165
S2_BPFO_0215_2342_C1_N	5,7415	0,0256	5,2276	1,1772	1,3038
S2_BPFO_0216_0122_C1_N	6,1354	0,0251	5,0074	1,1860	1,4123
S2_BPFO_0216_0302_C1_N	5,7298	0,0254	4,9528	1,1850	1,3167
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S2_BPFO_0216_0312_C1_F	5,8837	0,0262	5,1643	1,1858	1,3829
S2_BPFO_0216_0652_C1_F	5,4400	0,0331	5,0401	1,1806	1,2702
S2_BPFO_0216_1032_C1_F	7,7072	0,0265	7,7993	1,1856	1,4957
S2_BPFO_0216_1802_C1_F	5,9181	0,0085	4,8300	1,1859	1,3368
S2_BPFO_0216_2142_C1_F	5,7368	0,0193	5,4406	1,1861	1,3376
S2_BPFO_0217_0132_C1_F	5,9867	0,0200	4,9682	1,2000	1,4609
S2_BPFO_0217_0912_C1_F	17,4039	0,0444	8,2303	1,3221	3,0797
S2_BPFO_0217_1252_C1_F	16,5365	0,0434	8,3067	1,2968	2,9156
S2_BPFO_0217_1642_C1_F	13,7244	0,0406	9,0684	1,2539	2,4491
S2_BPFO_0218_0012_C1_F	10,7046	0,0285	6,2834	1,2620	2,3200
S2_BPFO_0218_0322_C1_F	12,0916	0,0286	8,0877	1,2657	2,4384
S2_BPFO_0218_0742_C1_F	13,7345	0,0334	9,2297	1,3805	2,8998
S2_BPFO_0218_1522_C1_F	12,0851	0,0365	7,1513	1,2694	2,3816
S2_BPFO_0218_1902_C1_F	10,4472	0,0162	6,8634	1,3341	2,3061
S2_BPFO_0218_2252_C1_F	10,1121	0,0441	9,3498	1,2621	2,0303
S2_BPFO_0219_0602_C1_F	18,2127	0,1394	8,6347	1,4349	3,4906

<b>Training data</b>	<b>CF</b>	<b>RSS</b>	<b>Vr</b>	<b>St</b>	<b>Qr</b>
S2_BPFO_0212_1032_C1_N	6,7454	2,1074	0,0002	0,0144	0,0110
S2_BPFO_0212_1202_C1_N	5,4326	2,0806	0,0002	0,0140	0,0113
S2_BPFO_0212_1342_C1_N	4,6000	2,1513	0,0002	0,0144	0,0117
S2_BPFO_0212_1642_C1_N	4,0997	2,1581	0,0002	0,0145	0,0115

S2_BPFO_0212_1812_C1_N	4,6366	3,2029	0,0003	0,0172	0,0144
S2_BPFO_0212_1952_C1_N	4,5664	2,1139	0,0002	0,0141	0,0113
S2_BPFO_0212_2252_C1_N	4,6942	2,1710	0,0002	0,0143	0,0118
S2_BPFO_0213_0022_C1_N	4,3952	2,0830	0,0002	0,0138	0,0113
S2_BPFO_0213_0152_C1_N	5,8099	1,5529	0,0001	0,0118	0,0100
S2_BPFO_0213_0452_C1_N	4,1041	2,0902	0,0002	0,0136	0,0116
S2_BPFO_0213_0632_C1_N	4,3625	2,0781	0,0002	0,0136	0,0115
S2_BPFO_0213_0752_C1_N	4,3343	2,0688	0,0002	0,0135	0,0115
S2_BPFO_0213_1102_C1_N	5,0903	2,0645	0,0002	0,0136	0,0114
S2_BPFO_0213_1232_C1_N	4,8834	2,1623	0,0002	0,0143	0,0118
S2_BPFO_0213_1402_C1_N	4,5235	2,0882	0,0002	0,0138	0,0114
S2_BPFO_0213_1702_C1_N	4,4049	3,1758	0,0003	0,0168	0,0147
S2_BPFO_0213_1832_C1_N	5,9906	2,0760	0,0002	0,0138	0,0114
S2_BPFO_0213_2002_C1_N	4,9445	3,1232	0,0003	0,0166	0,0145
S2_BPFO_0213_2302_C1_N	4,7808	2,1282	0,0002	0,0142	0,0115
S2_BPFO_0214_0031_C1_N	4,0659	2,1173	0,0002	0,0138	0,0117
S2_BPFO_0214_0212_C1_N	4,6203	2,0785	0,0002	0,0137	0,0115
S2_BPFO_0214_0512_C1_N	4,4589	2,0958	0,0002	0,0137	0,0117
S2_BPFO_0214_0642_C1_N	4,1383	3,1833	0,0003	0,0169	0,0145
S2_BPFO_0214_0812_C1_N	4,0965	2,1335	0,0002	0,0141	0,0118
S2_BPFO_0214_1112_C1_N	4,4093	2,0797	0,0002	0,0137	0,0116
S2_BPFO_0214_1242_C1_N	4,6481	2,0571	0,0002	0,0135	0,0114
S2_BPFO_0214_1412_C1_N	4,0107	2,1290	0,0002	0,0139	0,0119
S2_BPFO_0214_1722_C1_N	4,5648	3,1551	0,0003	0,0169	0,0143
S2_BPFO_0214_1852_C1_N	4,4612	2,0909	0,0002	0,0137	0,0114
S2_BPFO_0214_2022_C1_N	4,5837	2,0923	0,0002	0,0138	0,0116
<b>Testing data (normal)</b>					
S2_BPFO_0214_2322_C1_N	4,7591	2,0829	0,0002	0,0138	0,0114
S2_BPFO_0215_0052_C1_N	3,8605	2,0964	0,0002	0,0136	0,0116
S2_BPFO_0215_0222_C1_N	4,8757	3,0976	0,0003	0,0165	0,0141
S2_BPFO_0215_0522_C1_N	4,6865	2,0304	0,0002	0,0132	0,0114
S2_BPFO_0215_0652_C1_N	4,6004	2,0768	0,0002	0,0137	0,0114
S2_BPFO_0215_0832_C1_N	4,9238	2,0635	0,0002	0,0136	0,0116
S2_BPFO_0215_1132_C1_N	4,2584	1,0545	0,0001	0,0096	0,0085
S2_BPFO_0215_1302_C1_N	5,0186	2,1316	0,0002	0,0139	0,0119
S2_BPFO_0215_1432_C1_N	4,2728	2,0779	0,0002	0,0134	0,0117
S2_BPFO_0215_1732_C1_N	4,6567	2,0999	0,0002	0,0139	0,0116
S2_BPFO_0215_1902_C1_N	4,2787	0,1847	0,0000	0,0039	0,0035
S2_BPFO_0215_2032_C1_N	4,5866	3,1625	0,0003	0,0168	0,0145
S2_BPFO_0215_2342_C1_N	4,4406	2,1100	0,0002	0,0135	0,0119
S2_BPFO_0216_0122_C1_N	4,2220	2,0674	0,0002	0,0135	0,0114
S2_BPFO_0216_0302_C1_N	4,1795	2,0881	0,0002	0,0136	0,0115
<b>Testing data (abnormal)</b>					
S2_BPFO_0216_0312_C1_F	4,3551	2,1560	0,0002	0,0141	0,0121

S2_BPFO_0216_0652_C1_F	4,2690	3,3365	0,0003	0,0176	0,0153
S2_BPFO_0216_1032_C1_F	6,5786	2,1820	0,0002	0,0142	0,0121
S2_BPFO_0216_1802_C1_F	4,0730	0,2117	0,0000	0,0046	0,0039
S2_BPFO_0216_2142_C1_F	4,5872	1,1212	0,0001	0,0104	0,0089
S2_BPFO_0217_0132_C1_F	4,1400	1,1631	0,0001	0,0111	0,0088
S2_BPFO_0217_0912_C1_F	6,2253	4,4799	0,0008	0,0291	0,0162
S2_BPFO_0217_1252_C1_F	6,4054	4,3775	0,0008	0,0276	0,0165
S2_BPFO_0217_1642_C1_F	7,2323	4,0937	0,0006	0,0245	0,0163
S2_BPFO_0218_0012_C1_F	4,9788	2,0346	0,0003	0,0174	0,0116
S2_BPFO_0218_0322_C1_F	6,3901	2,0396	0,0003	0,0175	0,0114
S2_BPFO_0218_0742_C1_F	6,6858	2,3774	0,0005	0,0230	0,0113
S2_BPFO_0218_1522_C1_F	5,6338	3,0026	0,0005	0,0225	0,0143
S2_BPFO_0218_1902_C1_F	5,1446	0,5732	0,0001	0,0107	0,0053
S2_BPFO_0218_2252_C1_F	7,4079	3,6283	0,0007	0,0269	0,0169
S2_BPFO_0219_0602_C1_F	6,0174	9,9336	0,0100	0,1000	0,0447

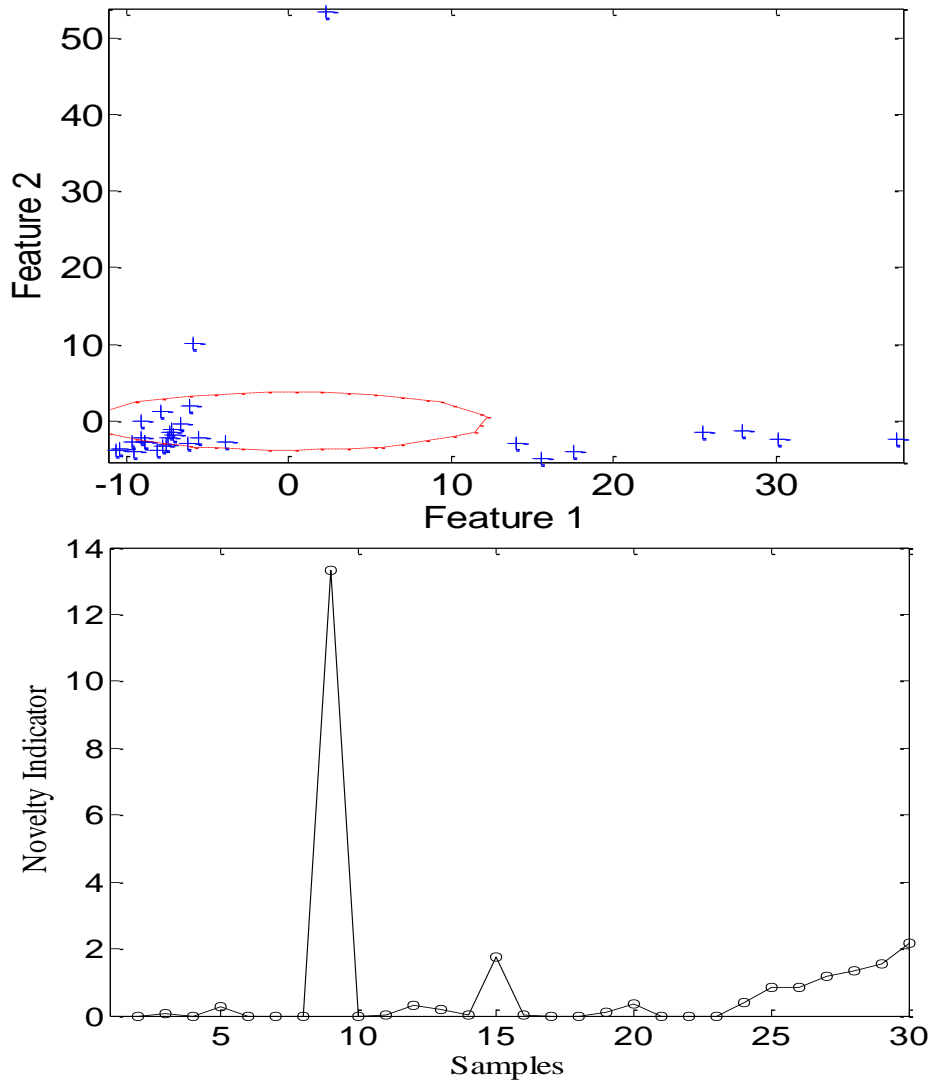
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Γ

Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζονται τα αποτελέσματα του συστήματος διάγνωσης βλαβών των με χρονικούς δείκτες με και χωρίς την εφαρμογή κυρτογράμματος για τα σετ δεδομένων που δεν απεικονίστηκαν στα αντίστοιχα υποκεφάλαια.

Πρώτη πειραμαντική εγκατάσταση

Bearing 1\_6

Χωρίς κυρτώγραμμα

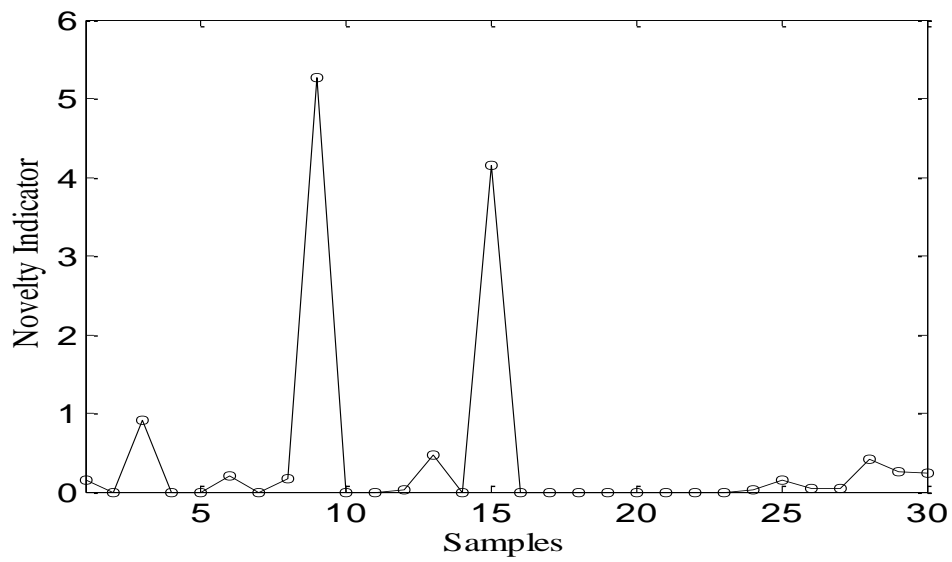
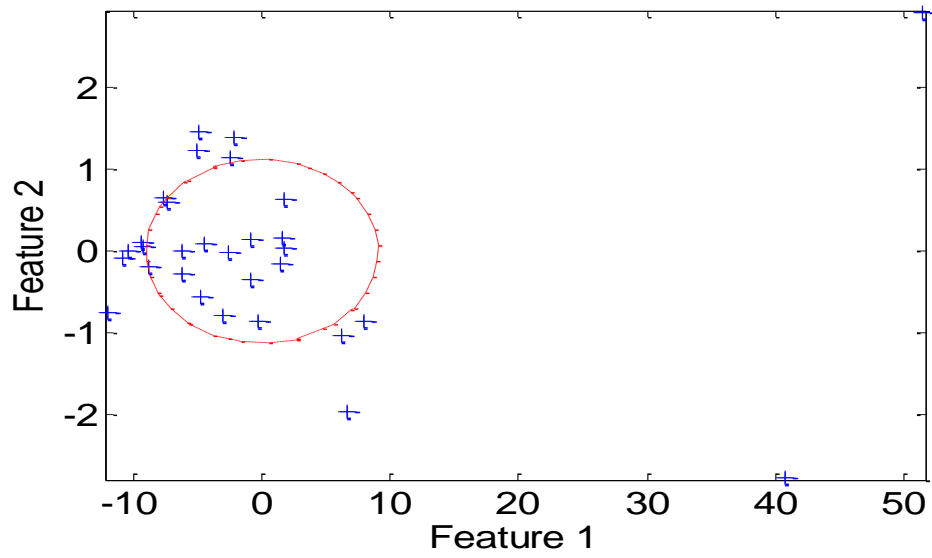


False alarm 3,5 9,12,13,15,19,20

Missed detection 21,22,23



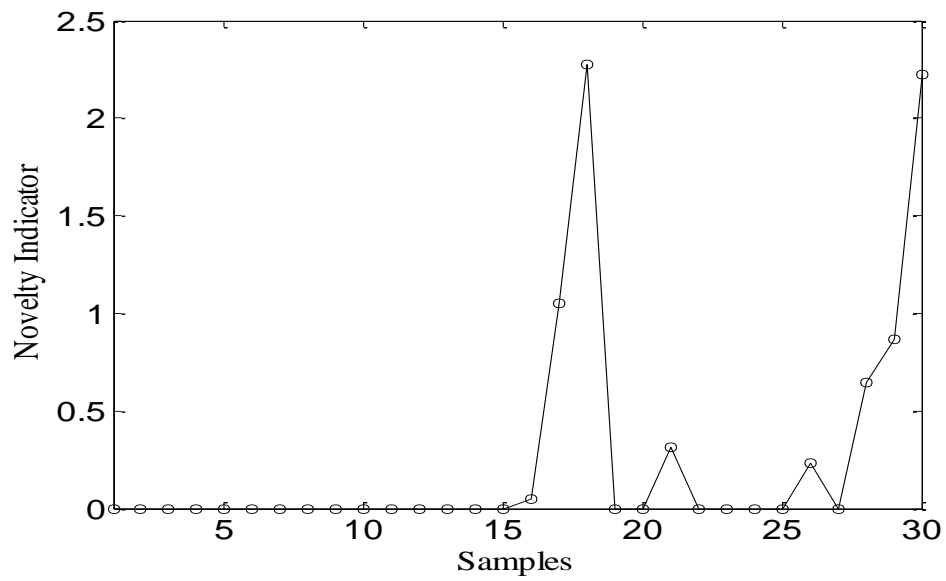
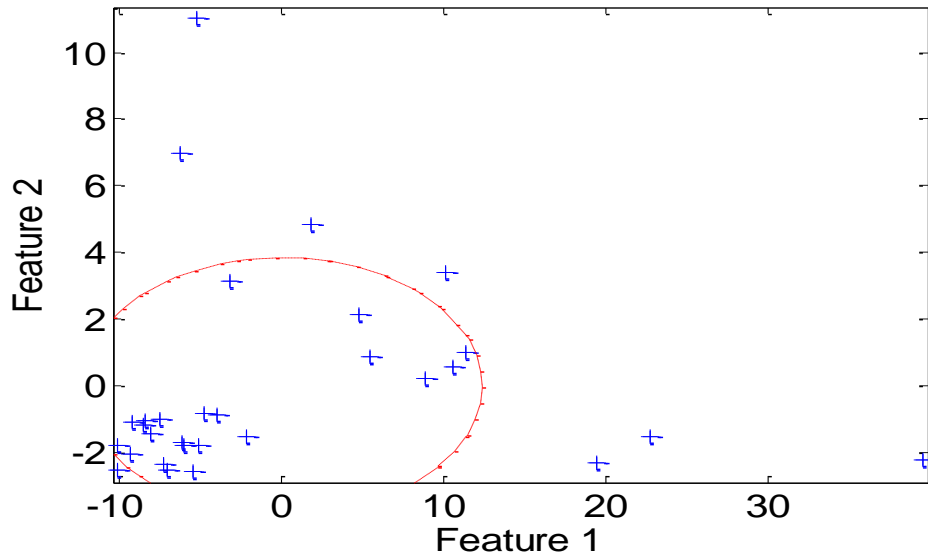
Με κυρτόγραμμα



False alarm 1,3,6,8 ,9,12,13,15  
Missed detection 21,22,23

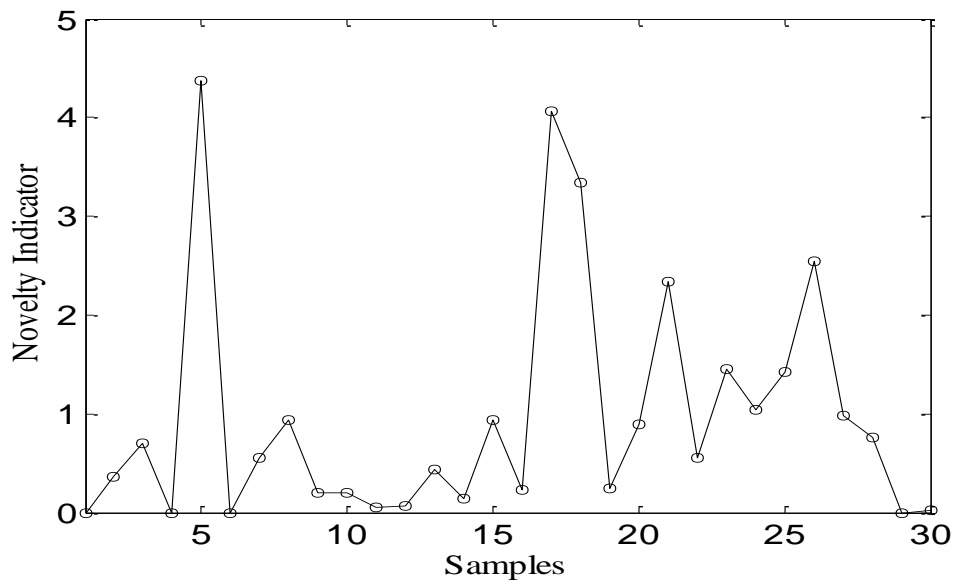
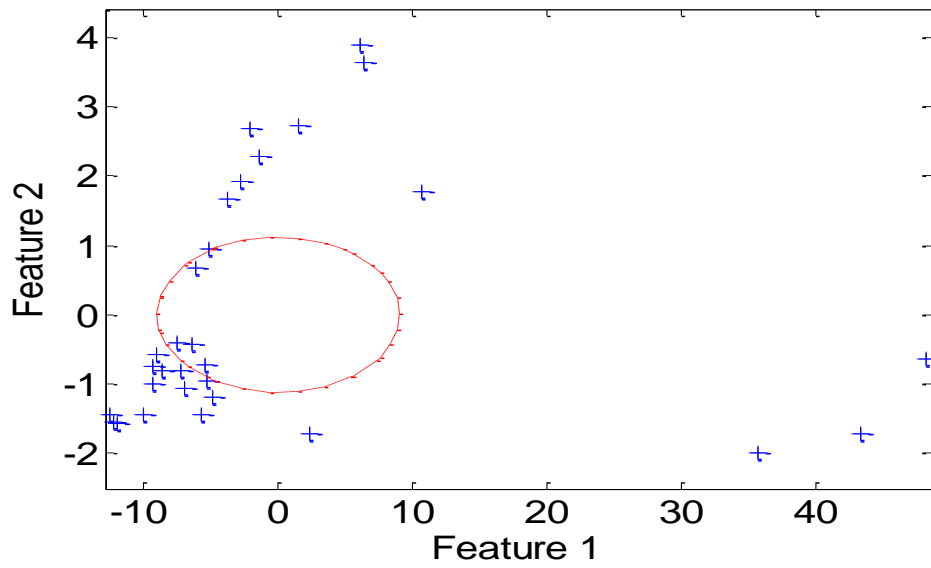
Bearing 2\_1

Χωρίς κυρτόγραμμα



False alarm 16,17,18  
Missed detection 22-25,27

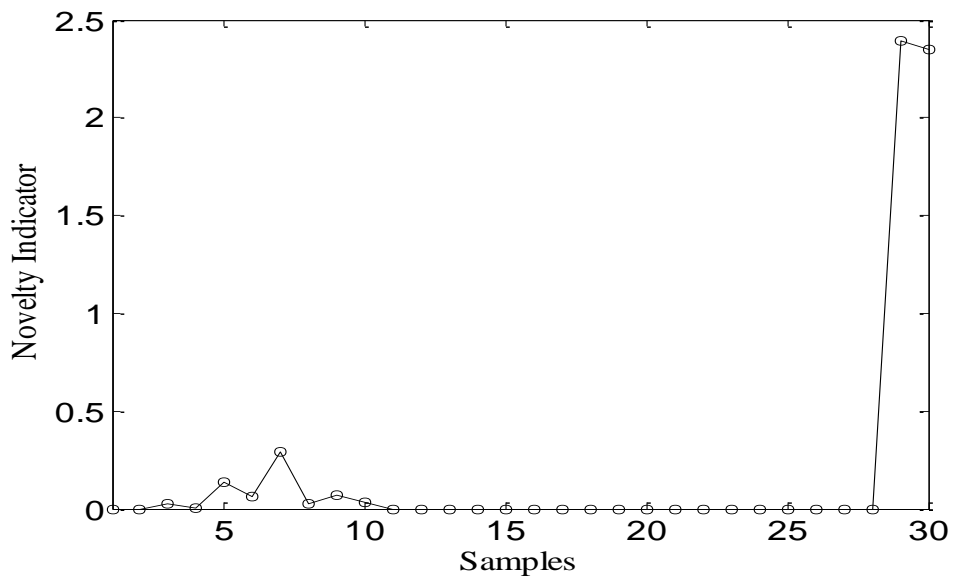
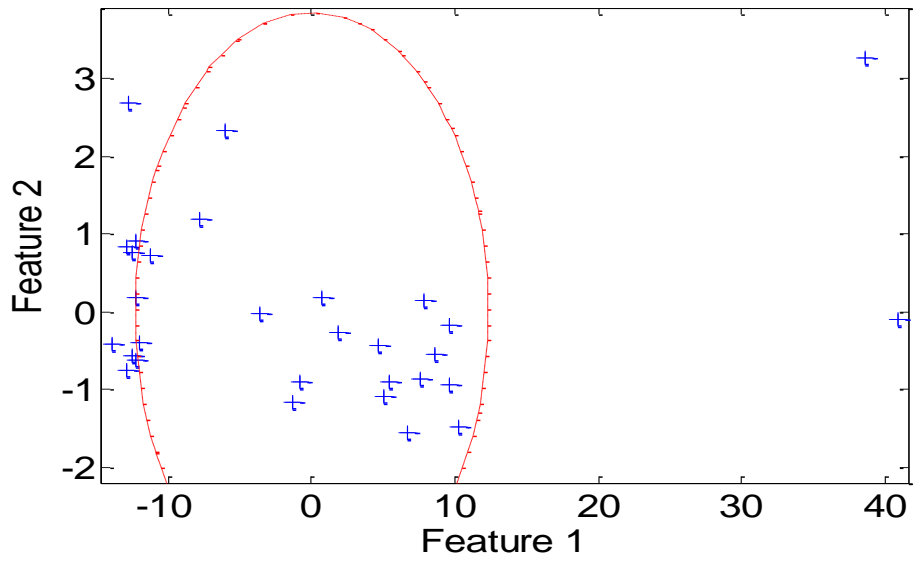
Με κυρτόγραμμα



False alarm 2,3,5,7-20  
Missed detection 29,30

Bearing 3\_3

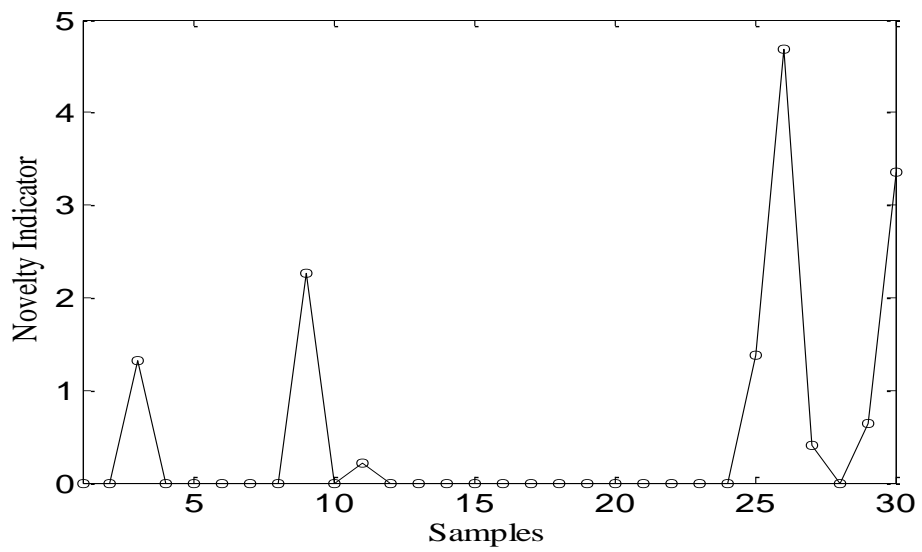
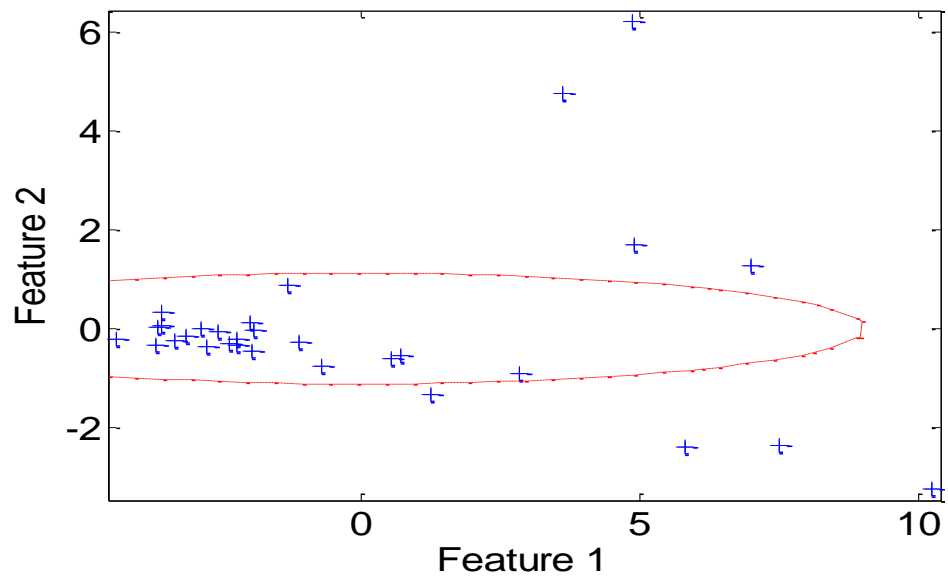
Χωρίς κυρτόγραμμα



False alarm 3,5,6,7,8,9,10

Missed detection 16-28

Με κυρτόγραμμα

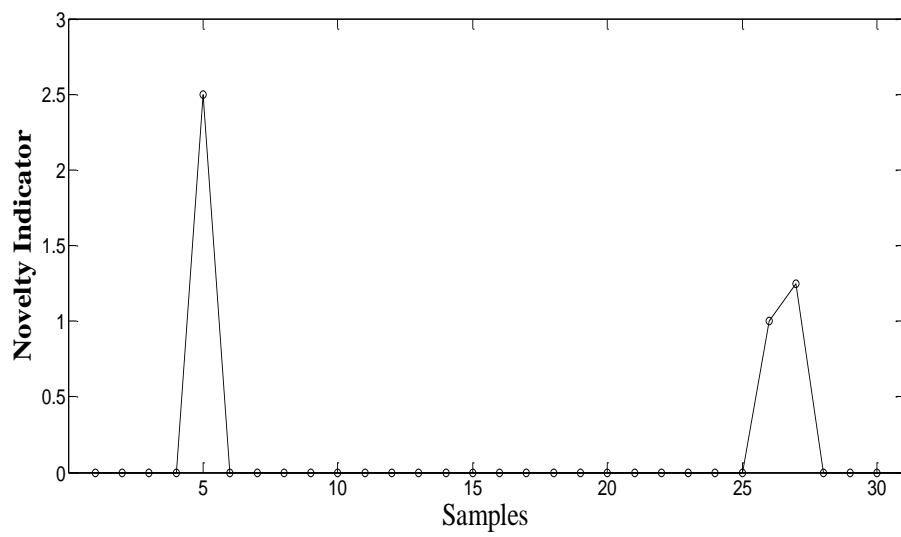
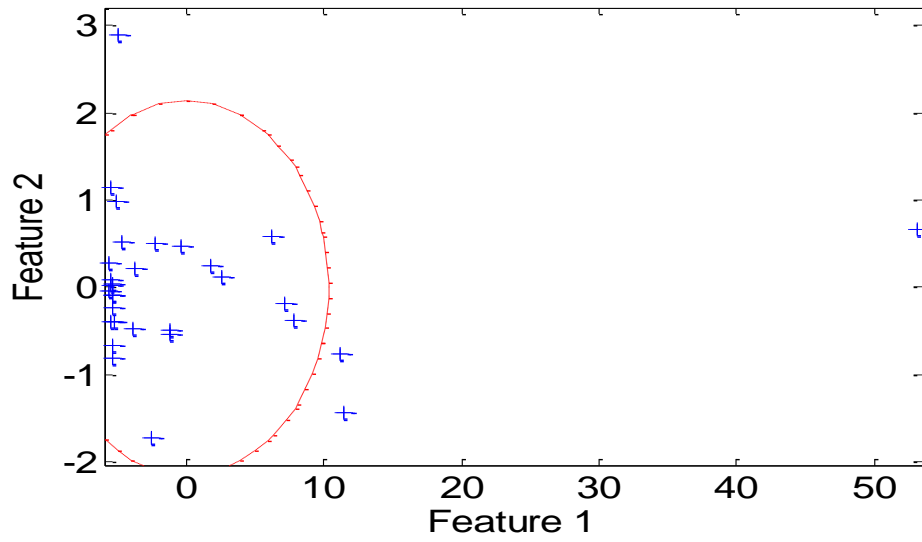


False alarm 3,5,9,11  
Missed detection 16-24,28

Δεύτερη Πειραματική εγκατάσταση

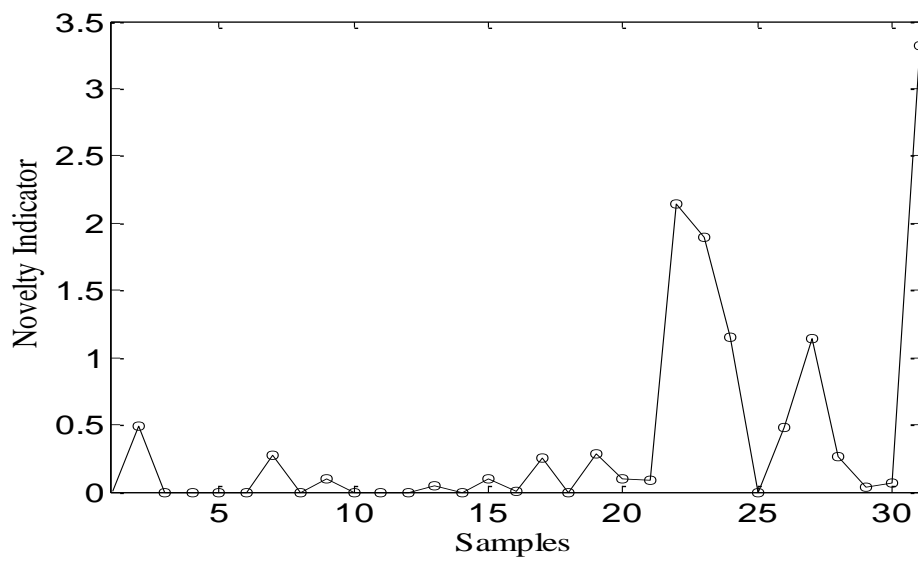
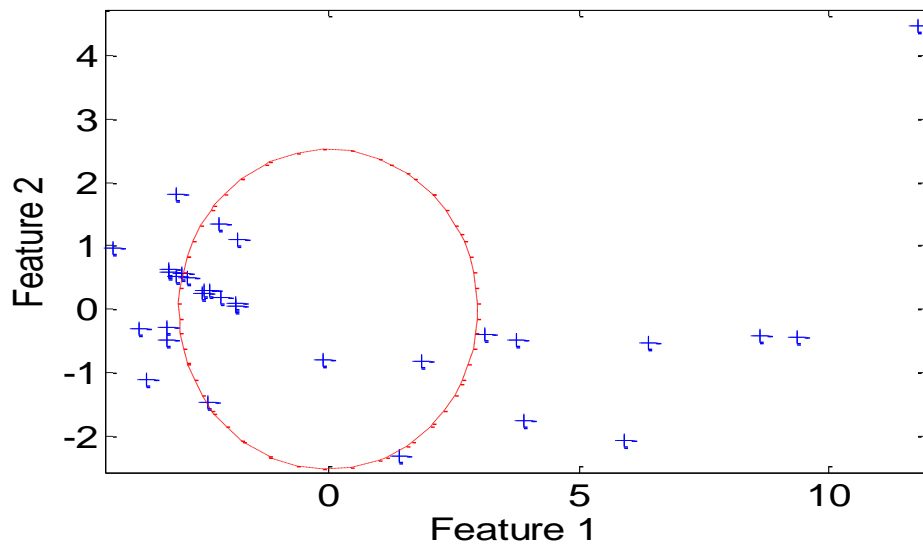
Set 2

Χωρίς κυρτόγραμμα



False alarm 5  
Missed detection 26,27

Με κυρτόγραμμα



False alarm 2,7,9,13,15  
Missed detection 16,18,25