

Διπλωματικής Εργασία

Προπτυχιακή

**Υπολογισμοί Ιδιοτιμών και
Ιδιομορφών Δυναμικών Συστημάτων**

ΛΑΓΚΩΝΑΚΗΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

Επιβλέπων Καθηγητής:

Καθ. Σταυρουλάκης Γεώργιος

Τριμελής Επιτροπή:

Καθ. Σταυρουλάκης Γεώργιος
ΕΔΙΠ. Μπακατσάκη Μαρία
ΔΕΠ Αν.Καθ. Σταυρουλάκη Μαρία

**Υπολογισμοί Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών Δυναμικών
Συστημάτων**

Περιεχόμενα

Υπολογισμοί Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών Δυναμικών Συστημάτων	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT	5
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ	8
1.1 Εννοιολογικοί Ορισμοί	8
1.2 Η Σημαντικότητα του Θέματος.....	10
1.3 Πληροφορίες των Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών σε Δυναμικά Συστήματα	11
1.4 Σημασία της Μελέτης Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών σε Σχέση με τις Ιδιότητες και τα Ελαττώματα του Συστήματος	13
1.5 Σκοπός της Εργασίας	16
1.6 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	17
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΙΔΙΟΤΙΜΕΣ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	18
2.1 Μέθοδοι Υπολογισμού Ιδιοτιμών σε Δυναμικά Συστήματα	18
2.2 Σχέση Μεταξύ Ιδιοτιμών και Ιδιοτήτων Συστήματος	19
2.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στις Ιδιοτιμές	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ	23
3.1 Μέθοδοι Υπολογισμού Ιδιομορφών σε Δυναμικά Συστήματα.....	23

3.2 Ερμηνεία Ιδιομορφών σε Σχέση με τη Συμπεριφορά του Συστήματος	25
3.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στις Ιδιομορφές	27
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΙΔΙΟΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ.....	29
4.1 Τύποι Ελαττωμάτων σε Δυναμικά Συστήματα.....	29
4.2 Επίδραση Ελαττωμάτων στους Υπολογισμούς Ιδιοτιμών.....	31
4.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στα Χαρακτηριστικά Ιδιομορφής.....	32
4.4 Σχέση Ελαττωμάτων και Δυναμικής Συστήματος.....	34
4.5 Περιγραφή Αλγόριθμων	36
4.6 Μειονεκτήματα αλγορίθμων	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ.....	39
5.1 Παραδείγματα Υπολογισμού Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών	39
5.2 Ανάλυση του Τρόπου με τον οποίο τα Ελαττώματα Επηρεάζουν τις Ιδιοτιμές και τις Ιδιομορφές σε Συγκεκριμένα Συστήματα	44
5.3 Συζήτηση των Επιπτώσεων και των Γνώσεων που Αποκτήθηκαν από τις Περιπτώσιολογικές Μελέτες	48
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ.....	50
6.1 Τρέχουσες Τάσεις και Εξελίξεις στους Υπολογισμούς Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών	50
6.2 Αναδυόμενες Τεχνικές για τον Χαρακτηρισμό και την Αντιμετώπιση Ελαττωμάτων του Συστήματος	51
6.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί στον Ακριβή Προσδιορισμό Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών.....	53
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	56
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	59

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η ανάλυση ευστάθειας των δυναμικών συστημάτων είναι μεγάλης σημασίας επειδή η απώλεια σταθερότητας συχνά οδηγεί σε ξαφνικά, δραστικά αποτελέσματα σε ένα σύστημα. Για παράδειγμα, όταν το ηλεκτρικό κύμα που διαδίδεται στην καρδιά αποσταθεροποιείται, εμφανίζονται μη φυσιολογικοί καρδιακοί παλμοί, οι οποίοι οδηγούν σε διάφορες καρδιακές αρρυθμίες.

Αυτή η εργασία απεικονίζει μια τεχνική που ξεπερνά αυτά τα προβλήματα και μπορεί να εκτιμήσει τις πιο κυρίαρχες ιδιοτιμές και τα τυπικά λάθη τους από μια χρονοσειρά ενός ή περισσότερων μετρήσιμων ποσοτήτων.

Σκοπός είναι η βελτίωση αυτών των τεχνικών και η εστίαση σε πιο αποτελεσματικούς τρόπους για τη μεγιστοποίηση της συνάρτησης πιθανότητας αφού καθοριστεί το κατάλληλο μοντέλο σφάλματος, καθώς και η εξέταση μιας πλουσιότερης κατηγορίας μοντέλων σφαλμάτων εκτός από μια διανυσματική αυτοπαλινδρομική διαδικασία της τάξης ενός.

Μεθοδολογία

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση όπου με τις λέξεις κλειδιά ανάλυση σταθερότητας; μέγιστη πιθανότητα, χώρος κατάστασης, εμπειρική μέθοδος, δυναμικά συστήματα στις σελίδες pubmed, elsevier, doabooks, Google, Google scholar, θα ζητηθούν άρθρα της τελευταίας πενταετίας.

Προσδοκώμενα Αποτελέσματα

Τα αποτελέσματα που αναμένουμε είναι μια νέα μέθοδο που επιβάλλει ένα στατιστικό μοντέλο (π.χ. μια πολυμεταβλητή αυτοπαλινδρομική χρονοσειρά) που συνδυάζει τα αποτελέσματα του σφάλματος μέτρησης και του σφάλματος λανθασμένης προδιαγραφής μοντέλου (που προκύπτει από την παράβλεψη μη κυρίαρχων ιδιοτιμών και με την υπόθεση μιας γραμμικής προβολής) στο χρόνο σειρά. Χρησιμοποιώντας τυπικές τεχνικές μέγιστης πιθανότητας, μπορεί κανείς να λάβει τόσο σημειακές εκτιμήσεις όσο και κατά προσέγγιση τυπικά σφάλματα για τις κυρίαρχες ιδιοτιμές.

ABSTRACT

Stability analysis of dynamic systems is of great importance because loss of stability often leads to sudden, drastic effects on a system. For example, when the electrical wave propagating in the heart is destabilized, abnormal heartbeats occur, leading to various cardiac arrhythmias.

This paper illustrates a technique that overcomes these problems and can estimate the most dominant eigenvalues and their standard errors from a time series of one or more measurable quantities.

The purpose is to improve these techniques and focus on more efficient ways to maximize the likelihood function once the appropriate error model has been determined, as well as to consider a richer class of error models than a vector autoregressive process of order one.

Methodology

The method that will be used is the literature review where with the keywords stability analysis? maximum likelihood, state space, empirical method, dynamical systems on the pages pubmed, elsevier, doabooks, google, google scholar, articles from the last five years will be requested.

Expected Results

The results we expect are a new method that imposes a statistical model (eg, a multivariate autoregressive time series) that combines the effects of measurement error and model misspecification error (arising from ignoring nondominant eigenvalues and assuming a linear projection) in time series. Using standard maximum likelihood techniques, one can obtain both point estimates and approximate standard errors for the dominant eigenvalues.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η μελέτη των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών σε δυναμικά συστήματα παίζει καθοριστικό ρόλο στην κατανόηση της συμπεριφοράς και των ιδιοτήτων τους. Οι ιδιοτιμές αντιπροσωπεύουν τις χαρακτηριστικές τιμές ενός συστήματος, ενώ οι ιδιομορφές καταγράφουν τους αντίστοιχους τρόπους ταλάντωσης ή δόνησης. Αυτά τα μεγέθη είναι απαραίτητα για την ανάλυση της σταθερότητας, της απόκρισης και της συνολικής δυναμικής διαφόρων φυσικών, μηχανικών και ηλεκτρικών συστημάτων (Su, Z., 2019).

Οι ιδιότητες μιας κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων τυχόν ελαττωμάτων ή ατελειών, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές ενός δυναμικού συστήματος (Cottone, F., 2020). Ελαττώματα όπως ρωγμές, ασυνέχειες, ανομοιογένειες υλικών ή γεωμετρικές ανωμαλίες μπορούν να προκαλέσουν παραλλαγές στη συμπεριφορά του συστήματος, αλλάζοντας τα σχήματα λειτουργίας και τις σχετικές συχνότητες. Κατά συνέπεια, ο ακριβής υπολογισμός και η ανάλυση των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών καθίσταται κρίσιμος για την αξιολόγηση των επιπτώσεων των ελαττωμάτων στην απόδοση και την αξιοπιστία του συστήματος (Yang, L., 2021).

Τα τελευταία χρόνια, έχει σημειωθεί σημαντική πρόοδος στον τομέα των υπολογισμών ιδιοτιμών και ιδιομορφών για δυναμικά συστήματα, με γνώμονα την πρόοδο στις υπολογιστικές τεχνικές, τους αριθμητικούς αλγόριθμους και τις πειραματικές μεθοδολογίες. Οι ερευνητές διερευνούν ενεργά τον αντίκτυπο των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές, με στόχο την ανάπτυξη ακριβών και αποτελεσματικών υπολογιστικών μεθόδων που μπορούν να εξηγήσουν αυτές τις επιδράσεις (Yang, L., 2021).

Αυτή η εργασία στοχεύει να παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των υπολογισμών των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών σε δυναμικά συστήματα, εστιάζοντας συγκεκριμένα στον τρόπο με τον οποίο αυτά τα στοιχεία επηρεάζονται από τις ιδιότητες μιας κατασκευής και τυχόν ελαττώματα που μπορεί να έχει (Zhao, X., 2023). Διερευνώντας πρόσφατες έρευνες, αυτή η μελέτη θα ρίξει φως στις σύγχρονες μεθοδολογίες και ευρήματα στο πεδίο. Η κατανόηση των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών παρουσία ελαττωμάτων έχει μεγάλες δυνατότητες για εφαρμογές σε διάφορα πεδία, συμπεριλαμβανομένης της δομικής μηχανικής, των μηχανικών συστημάτων, των ηλεκτρικών δικτύων και άλλων (Cavas-Martínez, F., 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΘΕΜΑΤΟΣ

1.1 Εννοιολογικοί Ορισμοί

Ιδιοτιμές: Οι ιδιοτιμές είναι βαθμωτές τιμές που αντιπροσωπεύουν τις χαρακτηριστικές συχνότητες ή τους ρυθμούς απόσβεσης ενός δυναμικού συστήματος.

Παρέχουν πληροφορίες για τη σταθερότητα και την απόκριση του συστήματος υποδεικνύοντας τους ρυθμούς με τους οποίους εξελίσσονται οι τρόποι ταλάντωσης ή δόνησης του συστήματος. Οι ιδιοτιμές λαμβάνονται με την επίλυση της χαρακτηριστικής εξίσωσης που προέρχεται από τις εξισώσεις που διέπουν το σύστημα ή μέσω αριθμητικών μεθόδων όπως οι επιλύτες ιδιοτιμών (Wang, D., 2021).

Ιδιομορφές: Οι ιδιομορφές, επίσης γνωστές ως ιδιοδιανύσματα ή σχήματα τρόπου λειτουργίας, είναι τα σχετικά σχέδια ή σχήματα ταλάντωσης ή δόνησης που αντιστοιχούν στις ιδιοτιμές ενός δυναμικού συστήματος. Περιγράφουν τη χωρική κατανομή και τα σχετικά πλάτη κίνησης μέσα στο σύστημα. Οι ιδιομορφές παρέχουν πληροφορίες για τους κυρίαρχους τρόπους δόνησης, τις συχνότητες συντονισμού και τα κομβικά μοτίβα μέσα στο σύστημα (Martínez, D., 2019).

Δυναμικά συστήματα: Τα δυναμικά συστήματα αναφέρονται σε συστήματα που εξελίσσονται με την πάροδο του χρόνου υπό την επίδραση της εσωτερικής δυναμικής και των εξωτερικών δυνάμεων. Μπορούν να αναπαρασταθούν με μαθηματικά μοντέλα, όπως διαφορικές εξισώσεις ή εξισώσεις διαφοράς, που περιγράφουν τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών του συστήματος και των ρυθμών μεταβολής τους. Τα δυναμικά συστήματα μπορεί να περιλαμβάνουν μηχανικά συστήματα, ηλεκτρικά κυκλώματα, συστήματα ροής ρευστού και άλλα (Hohenberg, P. C., 2020).

Ελαττώματα: Τα ελαττώματα στο πλαίσιο δυναμικών συστημάτων αναφέρονται σε τυχόν αποκλίσεις ή ατέλειες στην κατασκευή ή στις ιδιότητες των υλικών του συστήματος. Τα ελαττώματα μπορεί να προκύψουν από κατασκευαστικά σφάλματα, ασυνέπειες υλικών, φθορά ή ζημιά. Παραδείγματα ελαττωμάτων περιλαμβάνουν ρωγμές, ασυνέχειες, ανομοιογένειες υλικών, γεωμετρικές ανωμαλίες ή αλλαγές στις οριακές συνθήκες. Τα ελαττώματα μπορούν να αλλάξουν τη συμπεριφορά ενός συστήματος, επηρεάζοντας τις φυσικές του συχνότητες, τα σχήματα λειτουργίας και τη συνολική του απόδοση (Razi, A., 2022).

1.2 Η Σημαντικότητα του Θέματος

Οι υπολογισμοί ιδιοτιμών και ιδιομορφών σε δυναμικά συστήματα, ιδιαίτερα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ιδιοτήτων και των ελαττωμάτων, έχουν σημαντική σημασία σε διάφορους τομείς. Παρακατω παρατιθενται περισσότερα στοιχεία με την σημαντικότητα της εργασίας:

Σταθερότητα και απόδοση συστήματος: Οι ιδιοτιμές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην αξιολόγηση της σταθερότητας των δυναμικών συστημάτων. Αναλύοντας τις ιδιοτιμές, μπορεί κανείς να προσδιορίσει εάν το σύστημα θα παρουσιάσει σταθερή, ταλαντωτική ή ασταθή συμπεριφορά. Οι ιδιομορφές παρέχουν πληροφορίες για τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας και τις σχετικές συχνότητες δόνησης ή ταλάντωσης, επιτρέποντας στους μηχανικούς να σχεδιάζουν συστήματα που πληρούν τις απαιτήσεις σταθερότητας και απόδοσης (Nandi, S., 2019).

Παρακολούθηση δομικής υγείας: Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δομική παρακολούθηση της υγείας πολύπλοκων συστημάτων. Αλλαγές σε ιδιοτιμές ή σχήματα τρόπου λειτουργίας μπορεί να υποδηλώνουν την παρουσία ελαττωμάτων, όπως ρωγμές ή υποβάθμιση υλικού. Η παρακολούθηση και η ανάλυση αυτών των αλλαγών μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό δομικών ανωμαλιών, στην αξιολόγηση της σοβαρότητας της ζημιάς και στην καθοδήγηση στρατηγικών συντήρησης ή επισκευής (Das, M., 2021).

Βελτιστοποίηση σχεδίασης: Οι υπολογισμοί της ιδιοτιμής και της ιδιομορφής είναι ζωτικής σημασίας στις διαδικασίες βελτιστοποίησης σχεδιασμού. Αναλύοντας την ευαισθησία των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών στις παραμέτρους του συστήματος, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του συστήματος, να μειώσουν τους ανεπιθύμητους κραδασμούς και να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση. Η βελτιστοποίηση των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών μπορεί να βοηθήσει στην επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών του συστήματος σε διάφορες εφαρμογές μηχανικής (Wang, Z., 2020).

Διάγνωση σφαλμάτων και παρακολούθηση κατάστασης: Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές χρησιμοποιούνται στη διάγνωση σφαλμάτων και στην παρακολούθηση της κατάστασης μηχανημάτων και μηχανικών συστημάτων. Οι αλλαγές στις ιδιοτιμές και τα σχήματα λειτουργίας μπορούν να παρέχουν πρώιμες ενδείξεις σφαλμάτων ή υποβάθμισης της απόδοσης, επιτρέποντας έγκαιρες ενέργειες συντήρησης ή επισκευής. Αυτοί οι υπολογισμοί βοηθούν στη διάγνωση βλαβών, στην ανίχνευση ανώμαλης συμπεριφοράς και στη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της αποτελεσματικότητας των βιομηχανικών συστημάτων (Yu, L., 2021).

Χαρακτηρισμός υλικού: Οι υπολογισμοί ιδιοτιμής και ιδιομορφής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό υλικού και τον προσδιορισμό παραμέτρων. Συγκρίνοντας πειραματικές ιδιοτιμές και σχήματα τρόπων με αριθμητικές προσομοιώσεις, μπορούν να εκτιμηθούν οι ιδιότητες του υλικού όπως η ακαμψία και οι συντελεστές απόσβεσης. Αυτές οι πληροφορίες είναι πολύτιμες για τη δοκιμή υλικών, τον ποιοτικό έλεγχο και τη διασφάλιση της ακεραιότητας του υλικού σε διάφορες εφαρμογές (Lin, H., 2019).

1.3 Πληροφορίες των Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών σε Δυναμικά Συστήματα

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες σχετικά με τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά των δυναμικών συστημάτων.

Οι ιδιοτιμές αντιπροσωπεύουν τις χαρακτηριστικές συχνότητες ή τους ρυθμούς απόσβεσης ενός δυναμικού συστήματος. Καθορίζουν την απόκριση του συστήματος στις εξωτερικές δυνάμεις και παρέχουν εικόνα για τη σταθερότητά του και τους τρόπους ταλάντωσής του.

Οι ιδιοτιμές λαμβάνονται με την επίλυση της χαρακτηριστικής εξίσωσης που προέρχεται από τις εξισώσεις που διέπουν το σύστημα ή μέσω αριθμητικών μεθόδων όπως οι επιλύτες ιδιοτιμών (Borges, R. V., 2018).

Το μέγεθος και η κατανομή των ιδιοτιμών στο μιγαδικό επίπεδο αποκαλύπτουν σημαντικές ιδιότητες του συστήματος, συμπεριλαμβανομένης της σταθερότητας, του συντονισμού και της παροδικής συμπεριφοράς.

Οι ιδιομορφές, επίσης γνωστές ως ιδιοδιανύσματα ή σχήματα τρόπου, αντιπροσωπεύουν τη χωρική κατανομή και τα σχετικά πλάτη κίνησης μέσα σε ένα δυναμικό σύστημα.

Οι ιδιομορφές περιγράφουν τα μοτίβα ή τα σχήματα ταλάντωσης ή δόνησης που αντιστοιχούν στις ιδιοτιμές του συστήματος.

Η ανάλυση ιδιομορφών παρέχει πολύτιμες πληροφορίες για τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας, τις συχνότητες συντονισμού και τα κομβικά μοτίβα μέσα στο σύστημα (Wang, S., 2020).

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές χρησιμοποιούνται ευρέως στη δομική δυναμική για την ανάλυση της δονητικής συμπεριφοράς των κατασκευών και την πρόβλεψη της απόκρισής τους σε δυναμικά φορτία.

Υπολογίζοντας ιδιοτιμές και ιδιομορφές, οι μηχανικοί μπορούν να αναγνωρίσουν κρίσιμους τρόπους δόνησης, να αξιολογήσουν τη δομική ακεραιότητα και να σχεδιάσουν για τα επιθυμητά δυναμικά χαρακτηριστικά.

Η τροπική ανάλυση, η οποία περιλαμβάνει τον προσδιορισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών, χρησιμοποιείται συνήθως για την εξαγωγή τροπικών παραμέτρων από μετρούμενα δεδομένα ή αριθμητικές προσομοιώσεις (Orban, P., 2020).

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στον έλεγχο και τη βελτιστοποίηση των δυναμικών συστημάτων.

Οι στρατηγικές ελέγχου, όπως ο τροπικός έλεγχος, στοχεύουν στη σταθεροποίηση του συστήματος με το χειρισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών.

Σε προβλήματα βελτιστοποίησης, η ευαισθησία των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών στις παραμέτρους σχεδιασμού χρησιμοποιείται για την επίτευξη της επιθυμητής συμπεριφοράς του συστήματος (Ling, L., 2022).

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές μπορούν να επεκταθούν σε μη γραμμικά συστήματα μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως οι μέθοδοι διαταραχών ή οι μέθοδοι αριθμητικής συνέχισης.

Η ανάλυση ιδιοτιμών και ιδιομορφών σε μη γραμμικά συστήματα παρέχει πληροφορίες για τη σταθερότητα, τις διακλαδώσεις και τη συμπεριφορά του οριακού κύκλου του συστήματος (Wang, J., 2021).

1.4 Σημασία της Μελέτης Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών σε Σχέση με τις Ιδιότητες και τα Ελαττώματα του Συστήματος

Η μελέτη των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών σε σχέση με τις ιδιότητες των δυναμικών συστημάτων είναι υψίστης σημασίας σε διάφορους τομείς. Η κατανόηση της σημασίας αυτών των ποσοτήτων σε σχέση με τις ιδιότητες του συστήματος βοηθά τους μηχανικούς, τους ερευνητές και τους επιστήμονες να αποκτήσουν γνώσεις σχετικά με τη συμπεριφορά, τη σταθερότητα και την απόδοση του συστήματος.

Σταθερότητα και συντονισμός συστήματος:

Οι ιδιοτιμές συνδέονται άμεσα με τη σταθερότητα των δυναμικών συστημάτων. Υποδεικνύουν εάν το σύστημα θα παρουσιάσει σταθερή, ταλαντευτική ή ασταθή συμπεριφορά.

Οι ιδιομορφές παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τα σχήματα λειτουργίας και τις σχετικές συχνότητες δόνησης ή ταλάντωσης, οι οποίες επηρεάζουν τη συμπεριφορά συντονισμού του συστήματος.

Η ανάλυση ιδιοτιμών και ιδιομορφών βοηθά στον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων λειτουργίας που μπορεί να προκαλέσουν αστάθεια ή συντονισμό, επιτρέποντας κατάλληλες τροποποιήσεις σχεδιασμού για να διασφαλιστεί η σταθερότητα του συστήματος (Pasek, Z. J., 2021).

Σχεδιασμός και Βελτιστοποίηση Συστήματος:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στις διαδικασίες σχεδιασμού και βελτιστοποίησης του συστήματος.

Αναλύοντας την ευαισθησία των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών στις παραμέτρους του συστήματος, οι μηχανικοί μπορούν να βελτιστοποιήσουν την απόδοση του συστήματος, να ελαχιστοποιήσουν τους ανεπιθύμητους κραδασμούς και να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση.

Η προσαρμογή των ιδιοτήτων του συστήματος για τον έλεγχο ιδιοτιμών και ιδιομορφών επιτρέπει το σχεδιασμό συστημάτων με επιθυμητά δυναμικά χαρακτηριστικά (Liu, Y., 2019).

Παρακολούθηση δομικής υγείας και ανίχνευση βλαβών:

Οι αλλαγές στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για την παρακολούθηση της δομικής υγείας και τον εντοπισμό ζημιών.

Η παρακολούθηση και η ανάλυση των αλλαγών στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές μπορεί να βοηθήσει στον εντοπισμό και τον εντοπισμό δομικών ελαττωμάτων, όπως ρωγμές ή υποβάθμιση υλικού.

Η σύγκριση μετρούμενων ιδιοτιμών και ιδιομορφών με τιμές αναφοράς επιτρέπει τον εντοπισμό δομικών ανωμαλιών και την εκτίμηση της σοβαρότητας της ζημιάς (Lin, Y., 2018).

Αναγνώριση παραμέτρων και χαρακτηρισμός υλικού:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές χρησιμοποιούνται για την αναγνώριση παραμέτρων και τον χαρακτηρισμό υλικού.

Η σύγκριση πειραματικών ιδιοτιμών και σχημάτων τρόπου λειτουργίας με αριθμητικές προσομοιώσεις βοηθά στην εκτίμηση των ιδιοτήτων του υλικού, όπως η ακαμψία και οι συντελεστές απόσβεσης.

Η αναγνώριση παραμέτρων που βασίζεται σε ιδιοτιμές και ιδιομορφές είναι πολύτιμη για τη δοκιμή υλικών, τον ποιοτικό έλεγχο και τη διασφάλιση της ακεραιότητας του υλικού (Khalil, M., 2020).

Σχεδιασμός Συστήματος Ελέγχου:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές είναι απαραίτητες για το σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου.

Η τροποποίηση των ιδιοτιμών μέσω στρατηγικών ελέγχου, όπως η εκχώρηση ιδιοτιμών ή ο τροπικός έλεγχος, βοηθά στην επίτευξη της επιθυμητής απόκρισης και σταθερότητας του συστήματος.

Οι ιδιομορφές παρέχουν πληροφορίες για τη χωρική κατανομή των δυνάμεων ελέγχου ή τις προσπάθειες ελέγχου που απαιτούνται για συγκεκριμένους τρόπους δόνησης (Tang, G. 2020).

Η μελέτη ιδιοτιμών και ιδιομορφών σε σχέση με ελαττώματα του συστήματος έχει μεγάλη σημασία σε διάφορους τομείς, καθώς παρέχει πολύτιμες γνώσεις για τη συμπεριφορά και την απόδοση των δυναμικών συστημάτων.

Ανίχνευση και χαρακτηρισμός ελαττωμάτων συστήματος:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ελαττωμάτων ή ανωμαλιών του συστήματος. Οι αλλαγές στις ιδιοτιμές και τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας μπορούν να παρέχουν στοιχεία για δομικά ελαττώματα, όπως ρωγμές, υποβάθμιση υλικού ή γεωμετρικές ανωμαλίες.

Η ανάλυση των διακυμάνσεων στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές βοηθά στον χαρακτηρισμό της φύσης και της σοβαρότητας των ελαττωμάτων του συστήματος, κάτι που είναι κρίσιμο για την παρακολούθηση της κατάστασης και τις στρατηγικές συντήρησης (Antunes, P., 2019).

Πρόβλεψη και μετριασμός της αποτυχίας:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές βοηθούν στην πρόβλεψη και τον μετριασμό των αστοχιών του συστήματος που προκαλούνται από ελαττώματα. Αναλύοντας τις αλλαγές σε αυτές τις ποσότητες, οι μηχανικοί μπορούν να εντοπίσουν πιθανούς τρόπους αστοχίας, να αξιολογήσουν την κρισιμότητα των ελαττωμάτων και να εφαρμόσουν κατάλληλα διορθωτικά μέτρα.

Η κατανόηση του τρόπου με τον οποίο τα ελαττώματα επηρεάζουν τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές επιτρέπει τον εντοπισμό κρίσιμων τοποθεσιών και το σχεδιασμό στρατηγικών για την πρόληψη καταστροφικών αστοχιών (Barthorpe, R. J. 2021).

Ενίσχυση της δομικής ακεραιότητας:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση της δομικής ακεραιότητας εντοπίζοντας την επίδραση των ελαττωμάτων στη συμπεριφορά του συστήματος.

Με την ποσοτικοποίηση των αλλαγών στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές που προκαλούνται από ελαττώματα, οι μηχανικοί μπορούν να εκτιμήσουν τον αντίκτυπο στις φυσικές συχνότητες, τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας και τη δυναμική απόκριση του συστήματος (Qiu, Y., 2020).

Αυτή η κατανόηση επιτρέπει την ανάπτυξη στρατηγικών για τη βελτίωση της δομικής ακεραιότητας, όπως η υλοποίηση επισκευών, ενισχύσεων ή επανασχεδιασμού κρίσιμων στοιχείων.

Παρακολούθηση Δομικής Υγείας:

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση της δομικής υγείας για την αξιολόγηση της ακεραιότητας των δομών σε πραγματικό χρόνο.

Η συνεχής παρακολούθηση των αλλαγών σε ιδιοτιμές και ιδιομορφές επιτρέπει τον εντοπισμό και τον ποσοτικό προσδιορισμό των ελαττωμάτων, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη συντήρηση και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων.

Η ανάλυση ιδιοτιμών και ιδιομορφών στην παρακολούθηση της δομικής υγείας διευκολύνει την πρόβλεψη πιθανών αστοχιών και τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών επιθεώρησης και επισκευής (Nardari, R., 2022).

Σχεδιασμός ελαστικών συστημάτων:

Λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές κατά τη φάση σχεδιασμού, οι μηχανικοί μπορούν να αναπτύξουν ελαστικά συστήματα που είναι πιο ανεκτικά σε σφάλματα και ελαττώματα.

Η ενσωμάτωση της γνώσης για το πώς τα ελαττώματα επηρεάζουν αυτές τις ποσότητες επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της απόδοσης, της σταθερότητας και της ασφάλειας του συστήματος.

Ο σχεδιασμός με γνώμονα τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη αξιοπιστία, ευρωστία και συνολική απόδοση του συστήματος (Zhang, C., 2021).

1.5 Σκοπός της Εργασίας

Συνολικά, ο σκοπός της μελέτης των υπολογισμών των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών των δυναμικών συστημάτων, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ιδιοτήτων και των ελαττωμάτων, είναι η απόκτηση γνώσεων σχετικά με τη συμπεριφορά, τη σταθερότητα και την απόδοση του συστήματος. Αυτή η γνώση μας δίνει τη δυνατότητα να σχεδιάζουμε, αναλύουμε, βελτιστοποιούμε και παρακολουθούμε αποτελεσματικά τα δυναμικά συστήματα, διασφαλίζοντας την ασφαλή και αποδοτική λειτουργία τους.

1.6 Ερευνητικά Ερωτήματα

1. Πώς μπορούν να υπολογιστούν με ακρίβεια οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές για πολύπλοκα δυναμικά συστήματα;
2. Ποιες είναι οι σχέσεις μεταξύ ιδιοτιμών, ιδιομορφών και ιδιοτήτων μιας κατασκευής σε δυναμικά συστήματα;
3. Πώς επηρεάζουν τα ελαττώματα σε μια κατασκευή τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές ενός δυναμικού συστήματος;
4. Ποιες είναι οι διαθέσιμες μαθηματικές και υπολογιστικές μέθοδοι για την ανάλυση ιδιοτιμών και ιδιομορφών παρουσία ελαττωμάτων;
5. Πώς μπορούν να ποσοτικοποιηθούν και να αξιολογηθούν οι αλλαγές στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές λόγω ελαττωμάτων;
6. Πώς μπορεί να χαρακτηριστεί και να χρησιμοποιηθεί για ανάλυση και σχεδιασμό συστήματος η ευαισθησία των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών σε διαφορετικές ιδιότητες και ελαττώματα;
7. Ποιες είναι οι πρακτικές επιπτώσεις των υπολογισμών ιδιοτιμής και ιδιομορφής όσον αφορά τη σταθερότητα, τον συντονισμό και την απόδοση του συστήματος;
8. Πώς μπορεί η ιδιοτιμή και η ανάλυση ιδιομορφής να συμβάλλουν στην παρακολούθηση της δομικής υγείας και στον εντοπισμό ζημιών σε εφαρμογές πραγματικού κόσμου;
9. Ποιες είναι οι τεχνικές βελτιστοποίησης που αξιοποιούν τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές για τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος και τον μετριασμό των ανεπιθύμητων κραδασμών;

10. Πώς μπορεί να εφαρμοστεί η γνώση των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών παρουσία ελαττωμάτων για τη βελτίωση του σχεδιασμού και της αξιοπιστίας των δυναμικών συστημάτων;

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

2.1 Μέθοδοι Υπολογισμού Ιδιοτιμών σε Δυναμικά Συστήματα

Οι μέθοδοι υπολογισμού ιδιοτιμών σε δυναμικά συστήματα είναι απαραίτητες για την κατανόηση της συμπεριφοράς, της σταθερότητας και της απόδοσης του συστήματος. Ακολουθούν περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις μεθόδους υπολογισμού ιδιοτιμών:

Αναλυτικές μέθοδοι:

Οι αναλυτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την επίλυση της χαρακτηριστικής εξίσωσης που προέρχεται από τις εξισώσεις που διέπουν το σύστημα για να ληφθούν οι ιδιοτιμές. Οι αναλυτικές μέθοδοι είναι συχνά εφικτές για απλά συστήματα με γνωστές εξισώσεις κίνησης και οριακές συνθήκες.

Οι κοινές αναλυτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την τροπική ανάλυση, τις μεθόδους μήτρας μεταφοράς και τις μεθόδους μεταβλητής (Arrieta, L., 2019).

Αριθμητικές μέθοδοι:

Οι αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως όταν οι αναλυτικές λύσεις δεν είναι άμεσα διαθέσιμες ή πρακτικές.

Οι αριθμητικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη διακριτοποίηση του συστήματος και την αριθμητική επίλυση του προβλήματος της ιδιοτιμής που προκύπτει.

Οι μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων (FEM), οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών (FDM) και οι μέθοδοι οριακών στοιχείων (BEM) είναι ευρέως χρησιμοποιούμενες αριθμητικές τεχνικές για υπολογισμούς ιδιοτιμών (Li, J., 2020).

Επαναληπτικές Μέθοδοι:

Οι επαναληπτικές μέθοδοι είναι αριθμητικές τεχνικές που βελτιώνουν επαναληπτικά μια αρχική εικασία για τη λήψη ιδιοτιμών και ιδιοτρόπων.

Οι δημοφιλείς επαναληπτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν τη μέθοδο επανάληψης ισχύος, τη μέθοδο της αντίστροφης επανάληψης και τη μέθοδο επανάληψης Arnoldi. Αυτές οι μέθοδοι είναι αποτελεσματικές για συστήματα μεγάλης κλίμακας και μπορούν να χειριστούν πολύπλοκους πίνακες που προκύπτουν από διακριτοποιήσεις πεπερασμένων στοιχείων ή πεπερασμένων διαφορών (Hong, Y., 2021).

Μέθοδοι αποσύνθεσης μήτρας:

Οι μέθοδοι αποσύνθεσης μητρών, όπως ο αλγόριθμος QR ή η μέθοδος Jacobi, αποσυνθέτουν τη μήτρα του συστήματος σε απλούστερες μορφές για την εξαγωγή ιδιοτιμών.

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως για συστήματα μικρού έως μεσαίου μεγέθους και παρέχουν ακριβείς λύσεις ιδιοτιμών (Agarwal, R., 2018).

Μέθοδοι Rayleigh-Ritz:

Οι μέθοδοι Rayleigh-Ritz είναι τεχνικές μεταβλητής που προσεγγίζουν το πρόβλημα της ιδιοτιμής ελαχιστοποιώντας μια συνάρτηση.

Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν δοκιμαστικές συναρτήσεις για να προσεγγίσουν τους ιδιοτρόπους και τις ιδιοτιμές του συστήματος.

Οι μέθοδοι Rayleigh-Ritz χρησιμοποιούνται συχνά για προβλήματα με πολύπλοκες γεωμετρίες ή οριακές συνθήκες (Li, Q., 2022).

2.2 Σχέση Μεταξύ Ιδιοτιμών και Ιδιοτήτων Συστήματος

Η σχέση μεταξύ ιδιοτιμών και ιδιοτήτων του συστήματος είναι κρίσιμη για την κατανόηση της συμπεριφοράς, της σταθερότητας και της απόδοσης των δυναμικών συστημάτων.

Σταθερότητα συστήματος:

Οι ιδιοτιμές παίζουν βασικό ρόλο στον προσδιορισμό της σταθερότητας του συστήματος. Τα σταθερά συστήματα έχουν ιδιοτιμές με αρνητικά πραγματικά μέρη, ενώ τα ασταθή συστήματα έχουν ιδιοτιμές με θετικά πραγματικά μέρη.

Η σταθερότητα ενός συστήματος μπορεί να εκτιμηθεί εξετάζοντας τη θέση των ιδιοτιμών στο μιγαδικό επίπεδο.

Οι ιδιότητες του συστήματος, όπως η απόσβεση, η ακαμψία και η κατανομή μάζας, επηρεάζουν τις ιδιοτιμές και, κατά συνέπεια, τη σταθερότητα του συστήματος (González-Méndez, V. M., 2020).

Φυσικές συχνότητες και σχήματα λειτουργίας:

Οι ιδιοτιμές παρέχουν πληροφορίες για τις φυσικές συχνότητες ενός συστήματος. Το μέγεθος των ιδιοτιμών αντιστοιχεί στη συχνότητα του σχετικού τρόπου δόνησης.

Τα σχήματα τρόπων, που αντιπροσωπεύονται από τις ιδιομορφές, περιγράφουν τη χωρική κατανομή και τα σχετικά πλάτη κίνησης μέσα στο σύστημα.

Οι ιδιότητες του συστήματος, όπως η μάζα, η ακαμψία και οι οριακές συνθήκες, καθορίζουν τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές και επομένως επηρεάζουν τις φυσικές συχνότητες και τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας του συστήματος (Mehboob, M., 2021).

Απόσβεση συστήματος:

Οι ιδιοτιμές επηρεάζονται από την απόσβεση του συστήματος, η οποία αντιπροσωπεύει τη διασπορά ενέργειας στο σύστημα.

Η απόσβεση επηρεάζει τα πραγματικά μέρη των ιδιοτιμών και καθορίζει τους ρυθμούς αποσύνθεσης των τρόπων δόνησης του συστήματος.

Η υψηλότερη απόσβεση έχει ως αποτέλεσμα ταχύτερη αποσύνθεση και μειώνει τα πλάτη των κραδασμών (Ashrafi, A. R., 2019).

Ανάλυση ευαισθησίας:

Η ανάλυση ευαισθησίας διερευνά πώς οι αλλαγές στις ιδιότητες του συστήματος επηρεάζουν τις ιδιοτιμές.

Η ευαισθησία των ιδιοτιμών μπορεί να ποσοτικοποιηθεί χρησιμοποιώντας μεθόδους όπως η ανάλυση διαταραχών ή τα παράγωγα ευαισθησίας.

Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στην κατανόηση της επίδρασης των διακυμάνσεων των παραμέτρων στη συμπεριφορά του συστήματος και καθοδηγεί τις διαδικασίες βελτιστοποίησης του σχεδιασμού (Zhang, L., 2020).

Περιθώρια σταθερότητας και ευρωστία:

Οι ιδιοτιμές παρέχουν πληροφορίες για τα περιθώρια σταθερότητας και την ευρωστία ενός συστήματος.

Η αξιολόγηση της απόστασης μεταξύ των ιδιοτιμών και του ορίου σταθερότητας επιτρέπει την αξιολόγηση της ευρωστίας του συστήματος έναντι αβεβαιοτήτων ή διακυμάνσεων στις ιδιότητες του συστήματος.

Ένα μεγαλύτερο περιθώριο υποδηλώνει μεγαλύτερη σταθερότητα και στιβαρότητα (Setoodeh, P., 2018).

2.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στις Ιδιοτιμές

Η επίδραση των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές στα δυναμικά συστήματα είναι μια σημαντική πτυχή που πρέπει να ληφθεί υπόψη, καθώς μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τη συμπεριφορά, τη σταθερότητα και την απόδοση του συστήματος.

Μετατόπιση ιδιοτιμών:

Τα ελαττώματα σε ένα σύστημα μπορεί να προκαλέσουν μετατόπιση στις ιδιοτιμές, αλλοιώνοντας τις φυσικές συχνότητες και τα σχήματα λειτουργίας του συστήματος. Τοπικά ελαττώματα, όπως ρωγμές ή ανωμαλίες υλικού, εισάγουν αλλαγές ακαμψίας σε συγκεκριμένες περιοχές, οδηγώντας στη μετατόπιση των ιδιοτιμών.

Το μέγεθος και η κατεύθυνση της μετατόπισης εξαρτώνται από το μέγεθος, τη θέση και τα χαρακτηριστικά του ελαττώματος (Zhao, W., 2019).

Αλλαγή στην κατανομή ιδιοτιμών:

Τα ελαττώματα μπορούν να τροποποιήσουν την κατανομή των ιδιοτιμών σε ένα σύστημα.

Ανωμαλίες ή ατέλειες στο σύστημα μπορεί να εισαγάγουν πρόσθετες ιδιοτιμές ή να τροποποιήσουν το διάστημα μεταξύ των υπαρχόντων ιδιοτιμών.

Η αλλαγή στην κατανομή ιδιοτιμών επηρεάζει τα τροπικά χαρακτηριστικά του συστήματος και μπορεί να οδηγήσει στην εμφάνιση νέων δυναμικών τρόπων λειτουργίας (Fan, H., 2021).

Ευαισθησία ιδιοτιμής σε ελαττώματα:

Οι ιδιοτιμές μπορεί να είναι ευαίσθητες στην παρουσία ελαττωμάτων σε ένα σύστημα. Μικρές αλλαγές στις παραμέτρους του ελαττώματος, όπως το μέγεθος της ρωγμής ή οι ιδιότητες του υλικού, μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές διακυμάνσεις στις ιδιοτιμές. Η ανάλυση ευαισθησίας βοηθά στην ποσοτικοποίηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές και καθοδηγεί την αξιολόγηση της σοβαρότητας του ελαττώματος (Kowalczyk-Gajewska, K., 2020).

Επιρροή στη σταθερότητα του συστήματος:

Τα ελαττώματα μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα ενός συστήματος επηρεάζοντας τις ιδιοτιμές που σχετίζονται με τα όρια σταθερότητας.

Οι αλλαγές στις ιδιοτιμές λόγω ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσουν σε ασταθή συμπεριφορά, οδηγώντας σε πιθανή αποτυχία του συστήματος ή μειωμένη απόδοση. Η αξιολόγηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές είναι απαραίτητη για την αξιολόγηση της σταθερότητας του συστήματος και τη διασφάλιση της ασφαλούς λειτουργίας του (Rodríguez-Ávila, R. E., 2019).

Μη γραμμικές επιδράσεις στις ιδιοτιμές:

Τα μη γραμμικά αποτελέσματα λόγω ελαττωμάτων μπορούν να εισάγουν πρόσθετες συνεισφορές σε ιδιοτιμές σε ένα σύστημα.

Οι μη γραμμικότητες που προκαλούνται από μεγάλες παραμορφώσεις, αλληλεπιδράσεις επαφής ή μη γραμμική συμπεριφορά υλικού μπορεί να οδηγήσουν σε μετατοπίσεις και αλλαγές στις ιδιοτιμές.

Η κατανόηση των μη γραμμικών επιδράσεων στις ιδιοτιμές είναι ζωτικής σημασίας για την ακριβή πρόβλεψη της συμπεριφοράς συστημάτων με ελαττώματα (Chena, Z., 2019).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

3.1 Μέθοδοι Υπολογισμού Ιδιομορφών σε Δυναμικά Συστήματα

Οι μέθοδοι για τον υπολογισμό της ιδιομορφής σε δυναμικά συστήματα είναι απαραίτητες για την κατανόηση των σχημάτων λειτουργίας και των σχετικών συχνοτήτων του συστήματος.

Αναλυτικές μέθοδοι:

Οι αναλυτικές μέθοδοι περιλαμβάνουν την επίλυση των εξισώσεων του συστήματος για τη λήψη λύσεων κλειστής μορφής για τις ιδιομορφές.

Οι αναλυτικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται συνήθως για απλά συστήματα με καλά καθορισμένες γεωμετρίες, οριακές συνθήκες και ιδιότητες υλικού.

Η τροπική ανάλυση και οι αναλυτικές τεχνικές όπως ο διαχωρισμός μεταβλητών ή η επέκταση ιδιοσυνάρτησης χρησιμοποιούνται συχνά για υπολογισμούς ιδιομορφής (Adhikari, S. 2018).

Αριθμητικές μέθοδοι:

Οι αριθμητικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται ευρέως για υπολογισμούς ιδιομορφής σε πολύπλοκα συστήματα όπου οι αναλυτικές λύσεις δεν είναι άμεσα διαθέσιμες.

Οι μέθοδοι πεπερασμένων στοιχείων (FEM) και οι μέθοδοι πεπερασμένων διαφορών (FDM) χρησιμοποιούνται συνήθως αριθμητικές τεχνικές για υπολογισμούς ιδιομορφής.

Αυτές οι μέθοδοι διακριτοποιούν το σύστημα σε μικρότερα στοιχεία και λύνουν το πρόβλημα της ιδιοτιμής που προκύπτει χρησιμοποιώντας επαναληπτικές ή άμεσες αριθμητικές τεχνικές (Xu, H., 2019).

Μορφική Ανάλυση:

Η τροπική ανάλυση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδος για τον υπολογισμό της ιδιομορφής, ιδιαίτερα στη δομική δυναμική.

Η τροπική ανάλυση περιλαμβάνει την αποσύνθεση των εξισώσεων κίνησης του συστήματος σε ένα σύνολο μη συζευγμένων τροπικών εξισώσεων.

Οι ιδιομορφές, ή τα σχήματα τρόπου, λαμβάνονται με την επίλυση αυτών των τροπικών εξισώσεων, τυπικά χρησιμοποιώντας αριθμητικές μεθόδους ή πειραματικές τεχνικές τρόπων δοκιμής (Pereira, T., 2020).

Μέθοδοι υποδομής:

Οι μέθοδοι υποδομής χωρίζουν ένα σύνθετο σύστημα σε μικρότερες υποδομές, επιτρέποντας πιο αποτελεσματικούς υπολογισμούς ιδιομορφής.

Οι υποδομές αναλύονται μεμονωμένα για να ληφθούν οι ιδιομορφές τους, οι οποίες στη συνέχεια συναρμολογούνται για να ληφθούν οι ιδιομορφές του συνολικού συστήματος.

Οι μέθοδοι υποδομής είναι χρήσιμες για συστήματα μεγάλης κλίμακας με πολλαπλά στοιχεία ή υποτομείς (Montalvão, D. 2018).

Πειραματική τροπική ανάλυση:

Η πειραματική τροπική ανάλυση περιλαμβάνει τη μέτρηση και την ανάλυση της δυναμικής απόκρισης του συστήματος για την εξαγωγή των ιδιομορφών.

Για τη μέτρηση της απόκρισης του συστήματος χρησιμοποιούνται τεχνικές όπως η δοκιμή πρόσκρουσης, η ανάλυση απόκρισης συχνότητας και η σάρωση με λέιζερ. Στη συνέχεια, τα μετρούμενα δεδομένα επεξεργάζονται χρησιμοποιώντας τεχνικές επεξεργασίας σήματος και αναγνώρισης συστήματος για να ληφθούν οι ιδιομορφές και οι σχετικές συχνότητες (Park, S., 2021).

3.2 Ερμηνεία Ιδιομορφών σε Σχέση με τη Συμπεριφορά του Συστήματος

Η ερμηνεία των ιδιομορφών (γνωστές και ως σχήματα τρόπου) σε σχέση με τη συμπεριφορά των δυναμικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση και την ανάλυση της δυναμικής τους απόκρισης. Οι ιδιομορφές αντιπροσωπεύουν τη χωρική κατανομή και τα σχετικά πλάτη κίνησης μέσα στο σύστημα.

Τροπική ανάλυση και σχήματα τρόπου λειτουργίας:

Η τροπική ανάλυση χρησιμοποιείται συνήθως για την εξαγωγή ιδιομορφών από δυναμικά συστήματα.

Οι ιδιομορφές αντιπροσωπεύουν τα διακριτά μοτίβα δόνησης ή τρόπους λειτουργίας του συστήματος.

Κάθε ιδιομορφή αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη ιδιοτιμή (φυσική συχνότητα) και αντιπροσωπεύει έναν μοναδικό τρόπο δόνησης.

Η ερμηνεία των ιδιομορφών περιλαμβάνει την κατανόηση της κατανομής της κίνησης και τον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών παραμόρφωσης ή συγκέντρωσης τάσεων μέσα στο σύστημα (Misra, P., 2020).

Χωρικά Μοτίβα Κίνησης:

Οι ιδιομορφές παρέχουν πληροφορίες για τα χωρικά μοτίβα κίνησης μέσα σε ένα δυναμικό σύστημα.

Δείχνουν πώς διαφορετικά μέρη του συστήματος κινούνται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της δόνησης.

Οπτικοποιώντας τις ιδιομορφές, οι μηχανικοί μπορούν να αναγνωρίσουν περιοχές υψηλής μετατόπισης, συγκεντρώσεων τάσεων ή πιθανών τρόπων αστοχίας (Lee, H., 2018).

Συχνότητες συντονισμού και εντοπισμός τρόπου λειτουργίας:

Οι ιδιομορφές συνδέονται με συγκεκριμένες συχνότητες συντονισμού του συστήματος. Οι ιδιομορφές βοηθούν στον εντοπισμό των τρόπων δόνησης που διεγείρονται σε συγκεκριμένες συχνότητες.

Ο εντοπισμός τρόπου λειτουργίας αναφέρεται στη συγκέντρωση των κραδασμών σε συγκεκριμένες περιοχές του συστήματος, όπως αποκαλύπτεται από τις ιδιομορφές (Shu, D., 2019).

Δυναμική απόκριση και δυναμική κατανομή φορτίου:

Οι ιδιομορφές επηρεάζουν τη δυναμική απόκριση του συστήματος σε εξωτερικές διεγέρσεις.

Ο συνδυασμός των ιδιομορφών και των σχετικών φυσικών συχνοτήτων καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο το σύστημα αποκρίνεται σε διαφορετικούς τύπους δυναμικών φορτίων.

Η κατανόηση των ιδιομορφών βοηθά τους μηχανικούς να βελτιστοποιήσουν τη σχεδίαση του συστήματος για να ελαχιστοποιήσουν τους ανεπιθύμητους κραδασμούς ή τις δυναμικές καταπονήσεις (Jayakumar, P., 2021).

Σχήματα τρόπου λειτουργίας και σύζευξη συστήματος:

Οι ιδιομορφές αποκαλύπτουν επίσης πληροφορίες σχετικά με τη σύζευξη μεταξύ διαφορετικών τμημάτων του συστήματος.

Η παρουσία διατροπικής σύζευξης μπορεί να παρατηρηθεί μέσω των αλληλεπιδράσεων μεταξύ διαφορετικών ιδιομορφών.

Η κατανόηση των σχημάτων λειτουργίας και η σύζευξή τους είναι ζωτικής σημασίας για τη διερεύνηση της δυναμικής συμπεριφοράς πολύπλοκων συστημάτων (Hu, D., 2020).

3.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στις Ιδιομορφές

Η παρουσία ελαττωμάτων σε ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις ιδιομορφές (σχήματα τρόπου λειτουργίας) του συστήματος. Τα ελαττώματα μπορούν να αλλάξουν την κατανομή της κίνησης, να εισάγουν πρόσθετους τρόπους λειτουργίας ή να τροποποιήσουν τα χαρακτηριστικά των υπαρχόντων τρόπων λειτουργίας.

Εντοπισμός λειτουργίας και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορεί να προκαλέσουν εντοπισμό τρόπου λειτουργίας, όπου το εύρος της δόνησης συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες περιοχές του συστήματος.

Τα τοπικά ελαττώματα, όπως ρωγμές, εγκοπές ή ανωμαλίες υλικού, μπορούν να εισάγουν νέους τρόπους λειτουργίας ή να τροποποιήσουν τη συμμετοχή των υπαρχόντων τρόπων λειτουργίας.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στα χωρικά μοτίβα κίνησης που αντιπροσωπεύονται από τις ιδιομορφές (Danilatos, G. D., 2019).

Αλλαγές στις φυσικές συχνότητες:

Τα ελαττώματα μπορούν να προκαλέσουν μετατοπίσεις στις φυσικές συχνότητες που σχετίζονται με τις ιδιομορφές ενός δυναμικού συστήματος.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα εισάγουν αλλαγές στην ακαμψία, τη μάζα ή την απόσβεση, οδηγώντας σε αλλαγές στις ιδιοτιμές και κατά συνέπεια στις φυσικές συχνότητες.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε απόκλιση από την αναμενόμενη τροπική συμπεριφορά και μπορεί να επηρεάσει τη δυναμική απόκριση του συστήματος (Abdeljaber, O., 2021).

Σύζευξη λειτουργίας και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα σε ένα δυναμικό σύστημα μπορούν να προκαλέσουν σύζευξη τρόπου λειτουργίας, όπου η κίνηση ενός τρόπου λειτουργίας επηρεάζει τη συμπεριφορά άλλων τρόπων λειτουργίας.

Τα ελαττώματα μπορούν να εισάγουν φαινόμενα σύζευξης μεταξύ διαφορετικών ιδιομορφών, με αποτέλεσμα αλλαγές στο σχήμα, το πλάτος ή τις συχνότητές τους. Η

σύζευξη τρόπου λειτουργίας λόγω ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκες δυναμικές αποκρίσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ιδιομορφών (Kim, S., 2019).

Σχήματα λειτουργίας και ευαισθησία σε ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορεί να καταστήσουν ορισμένες περιοχές ενός συστήματος πιο επιρρεπείς σε κραδασμούς, οδηγώντας σε αλλαγές στα σχήματα της λειτουργίας.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα μπορούν να αλλάξουν τους παράγοντες συμμετοχής και τα κομβικά μοτίβα των ιδιομορφών, με αποτέλεσμα παραλλαγές στα σχήματα του τρόπου λειτουργίας.

Η ευαισθησία των σχημάτων λειτουργίας σε ελαττώματα μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την παρουσία και τη σοβαρότητα των ελαττωμάτων σε ένα δυναμικό σύστημα (Shang, S., 2020).

Αλληλεπιδράσεις λειτουργίας και ελαττώματα συστήματος:

Τα ελαττώματα σε ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να οδηγήσουν σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών τρόπων λειτουργίας, επηρεάζοντας τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά τους.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να προκαλέσει αλληλεπιδράσεις τρόπου λειτουργίας, όπως σύζευξη τρόπου λειτουργίας, εντοπισμός τρόπου λειτουργίας ή διέλευση τρόπου λειτουργίας, οδηγώντας σε αλλαγές στις ιδιομορφές.

Η κατανόηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις αλληλεπιδράσεις των τρόπων λειτουργίας είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς και της σταθερότητας του συστήματος (Zhou, Y., 2021).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ ΤΩΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΣΕ ΙΔΙΟΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΙΔΙΟΜΟΡΦΕΣ

4.1 Τύποι Ελαττωμάτων σε Δυναμικά Συστήματα

Στα δυναμικά συστήματα, μπορεί να εμφανιστούν διάφορα είδη ελαττωμάτων, τα οποία μπορεί να έχουν σημαντικό αντίκτυπο στη συμπεριφορά και την απόδοση του συστήματος.

Δομικά ελαττώματα:

Τα δομικά ελαττώματα αναφέρονται σε ανωμαλίες ή ανωμαλίες στη φυσική δομή ενός συστήματος.

Παραδείγματα δομικών ελαττωμάτων περιλαμβάνουν ρωγμές, ρωγμές, αποκολλήσεις, ανομοιογένειες υλικών και γεωμετρικές ατέλειες.

Τα δομικά ελαττώματα μπορεί να επηρεάσουν την ακαμψία, τη μάζα ή τις ιδιότητες απόσβεσης του συστήματος, οδηγώντας σε αλλαγές στις ιδιομορφές και στη δυναμική συμπεριφορά (Natarajan, S., 2021).

Ατέλειες οριακής κατάστασης:

Οι ατέλειες των οριακών συνθηκών προκύπτουν από αποκλίσεις ή διακυμάνσεις στις προδιαγεγραμμένες οριακές συνθήκες ενός συστήματος.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν χαλαρές συνδέσεις, ατελείς περιορισμούς ή διακυμάνσεις στην ακαμψία στήριξης.

Οι ατέλειες των οριακών συνθηκών μπορούν να αλλάξουν τα σχήματα λειτουργίας, τις φυσικές συχνότητες και τις τροπικές αποκρίσεις του συστήματος (Li, X., 2018).

Περιβαλλοντικοί παράγοντες:

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να προκαλέσουν ελαττώματα στα δυναμικά συστήματα.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν διακυμάνσεις θερμοκρασίας, επιδράσεις υγρασίας ή έκθεση σε διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορεί να προκαλέσουν υποβάθμιση του υλικού, αλλαγές στις ιδιότητες του υλικού ή δομική φθορά, οδηγώντας σε αλλαγές στη συμπεριφορά του συστήματος (Eberhardt, A. W., 2018).

Ελαττώματα κατασκευής :

Τα ελαττώματα κατασκευής και κατασκευής προκύπτουν από σφάλματα ή ασυνέπειες στη διαδικασία παραγωγής.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν ανακρίβειες διαστάσεων, σφάλματα συναρμολόγησης ή ελαττώματα υλικού.

Τα κατασκευαστικά ελαττώματα μπορεί να προκαλέσουν ανομοιομορφία, ανισορροπία ή συγκεντρώσεις τάσεων, επηρεάζοντας την απόδοση και τα δυναμικά χαρακτηριστικά του συστήματος (Dong, Y., 2021).

Φθορά και γήρανση:

Με την πάροδο του χρόνου, η φθορά και η γήρανση μπορεί να οδηγήσουν στην ανάπτυξη ελαττωμάτων στα δυναμικά συστήματα.

Παραδείγματα περιλαμβάνουν ρωγμές που προκαλούνται από τη φθορά, ζημιές από κόπωση ή υποβάθμιση υλικού λόγω κυκλικής φόρτισης ή μακροχρόνιας έκθεσης. Η φθορά και η γήρανση μπορούν να αλλάξουν τις ιδιότητες του υλικού, να δημιουργήσουν συγκεντρώσεις στρες και να επηρεάσουν τη δυναμική απόκριση του συστήματος (Chen, S., 2021).

4.2 Επίδραση Ελαττωμάτων στους Υπολογισμούς Ιδιοτιμών

Η παρουσία ελαττωμάτων σε δυναμικά συστήματα μπορεί να έχει σημαντικό αντίκτυπο στους υπολογισμούς ιδιοτιμών, επηρεάζοντας την ακρίβεια και την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων.

Μετατοπίσεις στις ιδιοτιμές:

Τα ελαττώματα σε ένα σύστημα μπορεί να προκαλέσουν μετατοπίσεις στις ιδιοτιμές, αλλοιώνοντας τις φυσικές συχνότητες του συστήματος.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα, όπως ρωγμές ή ανωμαλίες υλικού, εισάγουν αλλαγές ακαμψίας σε συγκεκριμένες περιοχές, με αποτέλεσμα μετατοπίσεις στις ιδιοτιμές. Το μέγεθος και η κατεύθυνση της μετατόπισης της ιδιοτιμής εξαρτώνται από το μέγεθος, τη θέση και τα χαρακτηριστικά του ελαττώματος (Xia, Q., 2021).

Αλλαγές στα σχήματα λειτουργίας:

Τα ελαττώματα μπορούν επίσης να επηρεάσουν τα σχήματα λειτουργίας που σχετίζονται με τις ιδιοτιμές.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα μπορούν να προκαλέσουν ανωμαλίες ή διαταραχές στα σχήματα των τρόπων λειτουργίας, αλλάζοντας τη χωρική κατανομή της κίνησης μέσα στο σύστημα.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε αποκλίσεις από τα εξιδανικευμένα σχήματα τρόπου λειτουργίας και να επηρεάσει την ακρίβεια των υπολογισμών ιδιοτιμών (Mi, Z., 2021).

Κριτήριο διασφάλισης μεταφορών (MAC):

Το κριτήριο διασφάλισης τρόπου λειτουργίας (MAC) είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται για τη σύγκριση σχημάτων τρόπου λειτουργίας που λαμβάνονται από διαφορετικές αναλύσεις ή πειραματικές μετρήσεις.

Τα ελαττώματα μπορεί να προκαλέσουν αποκλίσεις μεταξύ των μορφών λειτουργίας που έχουν μετρηθεί και προβλεφθεί, με αποτέλεσμα μειωμένες τιμές MAC. Οι χαμηλές τιμές MAC υποδεικνύουν μια κακή συσχέτιση μεταξύ των μετρούμενων και προβλεπόμενων σχημάτων λειτουργίας, υπογραμμίζοντας την επίδραση των ελαττωμάτων στους υπολογισμούς ιδιοτιμών (Xu, L., 2019).

Ανάλυση ευαισθησίας:

Η ανάλυση ευαισθησίας χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της ευαισθησίας των ιδιοτιμών σε διακυμάνσεις στις παραμέτρους του συστήματος ή σε ελαττώματα. Βοηθά στην ποσοτικοποίηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές και καθοδηγεί την αξιολόγηση της σοβαρότητας του ελαττώματος.

Η ανάλυση ευαισθησίας μπορεί να εντοπίσει κρίσιμα ελαττώματα που έχουν σημαντικό αντίκτυπο στους υπολογισμούς ιδιοτιμών (Zhang, J., 2018).

Υπολογιστικές Μέθοδοι:

Οι υπολογιστικές μέθοδοι για τους υπολογισμούς ιδιοτιμών, όπως η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων ή οι μέθοδοι οριακών στοιχείων, πρέπει να λάβουν υπόψη την παρουσία ελαττωμάτων με ακρίβεια.

Εξειδικευμένες τεχνικές, όπως η μοντελοποίηση στοιχείων ρωγμής ή μέθοδοι αποσύνθεσης τομέα, χρησιμοποιούνται για τη μοντελοποίηση ελαττωμάτων και των επιπτώσεών τους στους υπολογισμούς ιδιοτιμών.

Αυτές οι υπολογιστικές μέθοδοι στοχεύουν να παρέχουν ακριβή αποτελέσματα λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές του συστήματος (Zhang, H., 2019).

4.3 Επίδραση Ελαττωμάτων στα Χαρακτηριστικά Ιδιομορφής

Η παρουσία ελαττωμάτων σε δυναμικά συστήματα μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τις χαρακτηριστικές ιδιομορφές (σχήματα τρόπου λειτουργίας) του συστήματος. Τα

ελαττώματα μπορεί να εισάγουν ανωμαλίες, να αλλάξουν την κατανομή της κίνησης ή να τροποποιήσουν τα χαρακτηριστικά των ιδιομορφών.

Εντοπισμός λειτουργίας και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορεί να οδηγήσουν σε εντοπισμό τρόπου λειτουργίας, όπου το εύρος των κραδασμών συγκεντρώνεται σε συγκεκριμένες περιοχές του συστήματος. Τα εντοπισμένα ελαττώματα, όπως ρωγμές, εγκοπές ή ανωμαλίες υλικού, μπορούν να εισαγάγουν πρόσθετους τρόπους λειτουργίας ή να τροποποιήσουν τη συμμετοχή των υπαρχόντων τρόπων λειτουργίας.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε αλλαγές στις χαρακτηριστικές ιδιομορφές, επηρεάζοντας το σχήμα, το πλάτος ή τη χωρική κατανομή τους (Razi, R., 2021).

Αλλαγές στις φυσικές συχνότητες:

Τα ελαττώματα σε ένα σύστημα μπορεί να προκαλέσουν μετατοπίσεις στις φυσικές συχνότητες που σχετίζονται με τις χαρακτηριστικές ιδιομορφές.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα εισάγουν αλλαγές στην ακαμψία, τη μάζα ή την απόσβεση, με αποτέλεσμα αλλοιώσεις στις ιδιοτιμές και κατά συνέπεια στις φυσικές συχνότητες.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε διακυμάνσεις στις συχνότητες των χαρακτηριστικών ιδιομορφών και στα αντίστοιχα σχήματα λειτουργίας (Ma, Q., 2019).

Σύζευξη λειτουργίας και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα σε ένα δυναμικό σύστημα μπορούν να προκαλέσουν σύζευξη τρόπου λειτουργίας, όπου η κίνηση ενός τρόπου λειτουργίας επηρεάζει τη συμπεριφορά άλλων τρόπων λειτουργίας.

Τα ελαττώματα μπορούν να εισάγουν φαινόμενα σύζευξης μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών ιδιομορφών, με αποτέλεσμα αλλαγές στα σχήματα, τα πλάτη ή τις συχνότητές τους.

Η σύζευξη τρόπου λειτουργίας λόγω ελαττωμάτων μπορεί να οδηγήσει σε πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χαρακτηριστικών ιδιομορφών, αλλοιώνοντας τα μεμονωμένα χαρακτηριστικά τους (Mohammadi, M., 2020).

Ευαισθησία των σχημάτων λειτουργίας σε ελαττώματα: Τα ελαττώματα σε ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να καταστήσουν ορισμένες περιοχές πιο επιρρεπείς σε κραδασμούς, οδηγώντας σε αλλαγές στις χαρακτηριστικές ιδιομορφές. Τα εντοπισμένα ελαττώματα μπορούν να αλλάξουν τους παράγοντες συμμετοχής, τα κομβικά μοτίβα ή τα πλάτη των χαρακτηριστικών ιδιομορφών. Η ευαισθησία των σχημάτων λειτουργίας σε ελαττώματα παρέχει πληροφορίες για την παρουσία και τη σοβαρότητα των ελαττωμάτων στο σύστημα (Shang, S., 2020).

Αλληλεπιδράσεις λειτουργίας και ελαττώματα συστήματος:

Τα ελαττώματα σε ένα δυναμικό σύστημα μπορεί να οδηγήσουν σε αλληλεπιδράσεις μεταξύ διαφορετικών χαρακτηριστικών ιδιομορφών, επηρεάζοντας τη συμπεριφορά και τα χαρακτηριστικά τους.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να προκαλέσει σύζευξη τρόπου λειτουργίας, εντοπισμό τρόπου λειτουργίας ή διέλευση τρόπου λειτουργίας, με αποτέλεσμα αλλαγές στις χαρακτηριστικές ιδιομορφές.

Η κατανόηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις αλληλεπιδράσεις των τρόπων λειτουργίας είναι ζωτικής σημασίας για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς και της σταθερότητας του συστήματος (Chen, S., 2021).

4.4 Σχέση Ελαττωμάτων και Δυναμικής Συστήματος

Η σχέση μεταξύ ελαττωμάτων και δυναμικής του συστήματος είναι μια κρίσιμη πτυχή για την κατανόηση της συμπεριφοράς των δυναμικών συστημάτων. Τα ελαττώματα μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη δυναμική απόκριση, τη σταθερότητα και την απόδοση ενός συστήματος.

Δυναμική απόκριση και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα σε ένα σύστημα μπορούν να αλλάξουν τη δυναμική του απόκριση εισάγοντας πρόσθετους τρόπους λειτουργίας, αλλάζοντας σχήματα τρόπου λειτουργίας ή επηρεάζοντας τις φυσικές συχνότητες.

Τοπικά ελαττώματα, όπως ρωγμές ή ανωμαλίες υλικού, μπορεί να οδηγήσουν σε συγκεντρώσεις τάσεων, αλλαγές στην ακαμψία ή αλλοιωμένα χαρακτηριστικά απόσβεσης, επηρεάζοντας την απόκριση του συστήματος.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ ελαττωμάτων και δυναμικής απόκρισης είναι ζωτικής σημασίας για την πρόβλεψη και τον μετριασμό πιθανών τρόπων αστοχίας ή ανεπιθύμητων κραδασμών (Fang, Z., 2021).

Ανάλυση σταθερότητας και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορούν να επηρεάσουν τη σταθερότητα ενός δυναμικού συστήματος, οδηγώντας σε αστάθεια ή αλλαγές στις συνθήκες λειτουργίας του.

Η παρουσία ελαττωμάτων μπορεί να μετατοπίσει κρίσιμα όρια σταθερότητας, όπως σημεία διακλάδωσης ή συχνότητες συντονισμού.

Η ανάλυση σταθερότητας που ενσωματώνει τις επιπτώσεις των ελαττωμάτων βοηθά στον εντοπισμό πιθανών ζητημάτων αστάθειας και των περιορισμών σχεδιασμού (Maity, D., 2019).

Απόσβεση και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορεί να επηρεάσουν τα χαρακτηριστικά απόσβεσης ενός συστήματος, οδηγώντας σε αλλαγές στις δυνατότητές του απαγωγής ενέργειας. Οι αλλαγές στις ιδιότητες του υλικού ή στις συνθήκες επαφής που προκαλούνται από ελαττώματα μπορούν να επηρεάσουν τους εσωτερικούς μηχανισμούς απόσβεσης. Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ ελαττωμάτων και απόσβεσης είναι απαραίτητη για την ακριβή μοντελοποίηση και ανάλυση της δυναμικής του συστήματος (Zhu, L., 2019).

Εντοπισμός κραδασμών και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα σε ένα σύστημα μπορεί να προκαλέσουν εντοπισμό κραδασμών, οδηγώντας σε εντοπισμένες περιοχές υψηλού πλάτους δόνησης ή συγκεντρώσεων τάσεων.

Τα εντοπισμένα ελαττώματα εισάγουν αλλαγές στους συντελεστές τροπικής συμμετοχής, αλλοιώνοντας την κατανομή της κίνησης μέσα στο σύστημα.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ ελαττωμάτων και εντοπισμού κραδασμών βοηθά στον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών που είναι επιρρεπείς σε ζημιά ή αστοχία (Chen, M., 2019).

Μη γραμμική δυναμική και ελαττώματα:

Τα ελαττώματα μπορούν να προκαλέσουν μη γραμμικότητες σε ένα σύστημα, οδηγώντας σε πολύπλοκες δυναμικές συμπεριφορές όπως διακλαδώσεις, οριακούς κύκλους ή χάος.

Τα μη γραμμικά φαινόμενα λόγω ελαττωμάτων μπορούν να εκδηλωθούν στη σύζευξη τρόπου λειτουργίας, στις τροπικές αλληλεπιδράσεις ή στη συμπεριφορά που εξαρτάται από το πλάτος.

Η μελέτη της σχέσης μεταξύ ελαττωμάτων και μη γραμμικής δυναμικής βοηθά στην κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος πέρα από γραμμικές υποθέσεις (Gao, F., 2020).

4.5 Περιγραφή Αλγόριθμων

Οι αριθμητικές μέθοδοι για την εύρεση ιδιοτιμών χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τις άμεσες μεθόδους και τις επαναληπτικές μεθόδους. Οι άμεσες μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως σε πυκνούς πίνακες και υπολογίζουν όλες τις ιδιοτιμές και, ενδεχομένως, τα ιδιοδιανύσματα (Golub, G. H., 2012). Αντίθετα, οι επαναληπτικές μέθοδοι εφαρμόζονται κυρίως σε αραιούς πίνακες ή σε πίνακες που ο πολλαπλασιασμός πίνακα με διάνυσμα είναι η μόνη πράξη που μπορεί να γίνει εύκολα. Οι επαναληπτικές μέθοδοι επικεντρώνονται στην εύρεση ενός υποσυνόλου του φάσματος του πίνακα και των ιδιοδιανυσμάτων του. Συνήθως, αυτές οι μέθοδοι απαιτούν επαναλήψεις για να επιτευχθεί η επιθυμητή ακρίβεια. Ο διαχωρισμός των μεθόδων σε άμεσες και επαναληπτικές δεν σημαίνει ότι οι άμεσες μέθοδοι δεν χρησιμοποιούν επαναλήψεις (Stewart, G. W. 2001).

4.6 Μειονεκτήματα αλγορίθμων

Παρά το γεγονός ότι οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα έχουν απλούς ορισμούς και "κομψούς" χαρακτηρισμούς, ο τρόπος υπολογισμού τους δεν είναι προφανής. Μια

πρώτη σκέψη θα μπορούσε να είναι να υπολογιστούν οι συντελεστές του χαρακτηριστικού πολυωνύμου και να χρησιμοποιηθούν μέθοδοι εύρεσης ριζών για να υπολογιστούν οι ιδιοτιμές. Δυστυχώς, αυτή η σκέψη δεν είναι καλή, καθώς οι αλγόριθμοι εύρεσης ριζών πολυωνύμων μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα κακής κατάστασης γενικά, ακόμα και αν το πρόβλημα των ιδιοτιμών είναι καλής κατάστασης. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι ένας πίνακας έχει χαρακτηριστικό πολυώνυμο $p(x) = (x-2)^9$, το οποίο αναπτύσσεται ως

$$p(x) = x^9 - 18x^8 + 144x^7 - 672x^6 + 2016x^5 - 4032x^4 + 5376x^3 - 4608x^2 + 2304x - 512$$

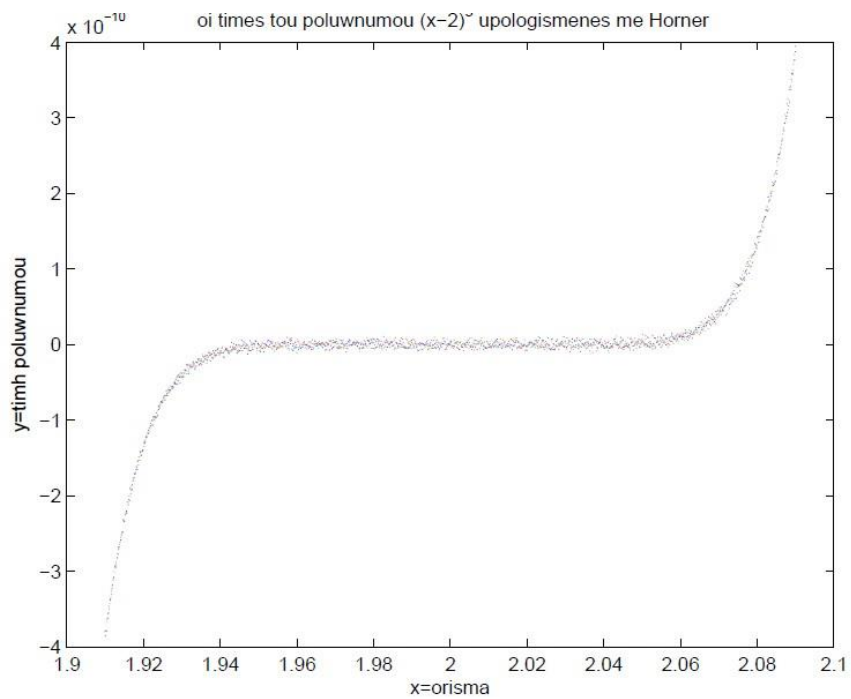
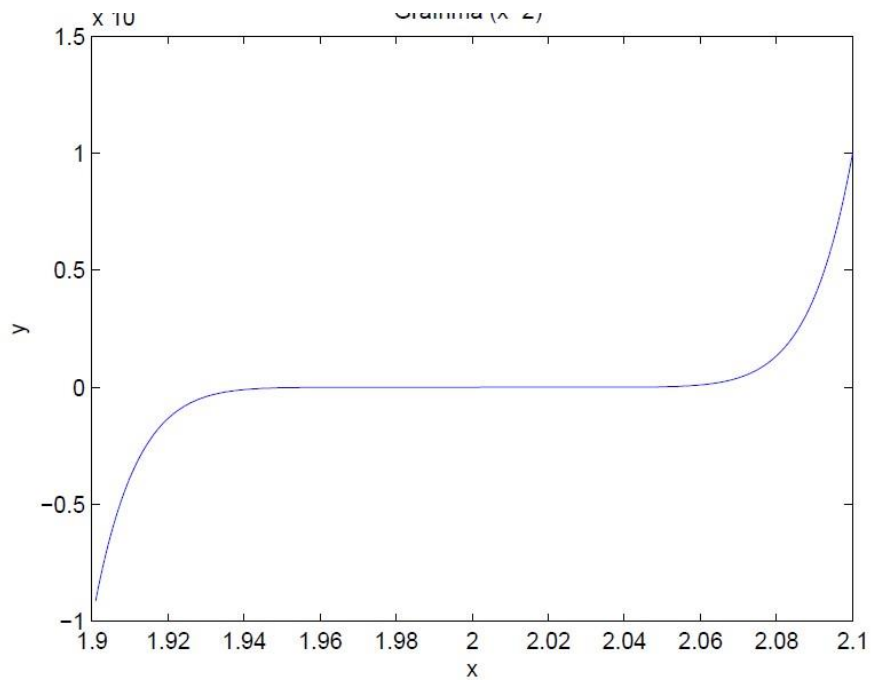
Η ακριβής ρίζα του χαρακτηριστικού πολυωνύμου αυτού είναι φανερά το 2 με πολλαπλότητα 9. Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο της διαίρεσης του πολυωνύμου με τη μέθοδο του Horner και τη μέθοδο της διχοτόμησης για την εύρεση των ριζών του πολυωνύμου, παρατηρούμε ότι οι τιμές του πολυωνύμου για τα $x > 2$ και για τα $x < 2$ που είναι κοντά στη ρίζα είναι ταυτόχρονα θετικές και αρνητικές. Ως εκ τούτου, με τη μέθοδο της διχοτόμησης, δεν είναι σίγουρο ότι το νέο διάστημα που θα χρησιμοποιηθεί θα περιέχει τη ρίζα. Κατά συνέπεια, θα έχουμε μια εκτίμηση της ρίζας (δηλαδή της ιδιοτιμής) που απέχει αρκετά από την ακριβή τιμή, έχοντας έτσι ένα μεγάλο σφάλμα. Τα παρακάτω γραφήματα απεικονίζουν γραφικά αυτό το πρόβλημα.

Για να κατανοήσουμε τη δυσκολία, αξιοποιούμε το γεγονός ότι, όπως τα προβλήματα ιδιοτιμών μπορούν να μετατραπούν σε προβλήματα εύρεσης ριζών πολυωνύμων, το αντίστροφο ισχύει επίσης. Δηλαδή, κάθε πρόβλημα εύρεσης ριζών πολυωνύμου μπορεί να θεωρηθεί ως πρόβλημα ιδιοτιμών. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα μονικό πολυώνυμο:

$$p(z) = z^m + a_{m-1}z^{m-1} + \dots + a_1z + a_0$$

Επεκτείνοντας σε υποπίνακες, δεν είναι δύσκολο να επαληθεύσουμε ότι το $p(z)$ είναι ίσο με $(-1)^m$ φορές την ορίζουσα του $m \times m$ πίνακα

$$\begin{bmatrix} -z & & & & -a_0 \\ 1 & -z & & & -a_1 \\ & 1 & -z & & -a_2 \\ & & 1 & \ddots & \vdots \\ & & & \ddots & -z & -a_{m-2} \\ & & & & 1 & (-z - a_{m-1}) \end{bmatrix}.$$



Σχήμα 4.6.1. Γραφική παράσταση των τιμών του πολωνύμου $(x - 2)^9$ όπως υπολογίζονται στη MatLab με αριθμητική διπλής ακρίβειας.- Επάνω: Τιμές υπολογισμένες από την παραγοντοποιημένη μορφή του πολωνύμου. Κάτω: Τιμές υπολογισμένες με το σχήμα του Horner από την ανεπτυγμένη μορφή του πολωνύμου.

Αυτό σημαίνει ότι οι ρίζες του p είναι ίσες με τις ιδιοτιμές του πίνακα

$$A = \begin{bmatrix} 0 & & & & -a_0 \\ 1 & 0 & & & -a_1 \\ & 1 & 0 & & -a_2 \\ & & 1 & \ddots & \vdots \\ & & & \ddots & 0 & -a_{m-2} \\ & & & & 1 & -a_{m-1} \end{bmatrix}.$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΜΕΛΕΤΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

5.1 Παραδείγματα Υπολογισμού Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών

Δομική Μηχανική:

Οι υπολογισμοί ιδιοτιμής και ιδιομορφής χρησιμοποιούνται συνήθως στη δομική μηχανική για την ανάλυση της δυναμικής συμπεριφοράς κτιρίων, γεφυρών και άλλων κατασκευών.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των φυσικών συχνοτήτων και των μορφών λειτουργίας ενός κτιρίου που υπόκειται σε αιολικά ή σεισμικά φορτία. Αυτοί οι υπολογισμοί βοηθούν στην αξιολόγηση της δομικής απόκρισης, στον εντοπισμό πιθανών προβλημάτων συντονισμού και στον σχεδιασμό κατάλληλων μέτρων ελέγχου των κραδασμών (Al-Khafaji, A., 2020).

Ακουστική και δονήσεις:

Οι υπολογισμοί ιδιοτιμής και ιδιομορφής χρησιμοποιούνται στην ακουστική και τις δονήσεις για την ανάλυση των φυσικών συχνοτήτων και των μορφών λειτουργίας των δονούμενων συστημάτων.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τη μελέτη των τρόπων συντονισμού των μουσικών οργάνων ή τον προσδιορισμό της συμπεριφοράς δόνησης των μηχανικών εξαρτημάτων. Αυτοί οι υπολογισμοί βοηθούν στην κατανόηση των ακουστικών και κραδαστικών χαρακτηριστικών των συστημάτων και στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού τους (Valente, V., 2021).

Κβαντική μηχανική:

Οι υπολογισμοί της ιδιοτιμής και της ιδιομορφής παίζουν θεμελιώδη ρόλο στην κβαντομηχανική, ιδιαίτερα στην επίλυση της εξίσωσης του Schrödinger.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των ενεργειακών επιπέδων και των κυματοσυναρτήσεων των κβαντικών συστημάτων, όπως τα άτομα ή τα μόρια. Αυτοί οι υπολογισμοί παρέχουν πληροφορίες για τις κβαντικές καταστάσεις και τη συμπεριφορά των φυσικών συστημάτων (Tran, T. T., 2019).

Υπολογιστική Ρευστοδυναμική:

Οι υπολογισμοί ιδιοτιμής και ιδιομορφής χρησιμοποιούνται στην υπολογιστική ρευστοδυναμική για την ανάλυση της σταθερότητας και της ταλαντωτικής συμπεριφοράς των ροών ρευστού.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των ιδιοτιμών και των ιδιοσυναρτήσεων των προβλημάτων γραμμικής ευστάθειας ή τη διερεύνηση της απόρριψης δίνης στις ροές ρευστού.

Αυτοί οι υπολογισμοί βοηθούν στην κατανόηση της αστάθειας ροής και στη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού των αεροδυναμικών συστημάτων (Moakher, M., 2020).

Ηλεκτρομαγνητικά:

Οι υπολογισμοί ιδιοτιμής και ιδιομορφής χρησιμοποιούνται στην ηλεκτρομαγνητική για την ανάλυση των τρόπων διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε κυματοδηγούς ή κοιλότητες συντονισμού.

Τα παραδείγματα περιλαμβάνουν τον προσδιορισμό των ιδιοτιμών και των ιδιοτρόπων κοιλοτήτων μικροκυμάτων ή οπτικών κυματοδηγών.

Αυτοί οι υπολογισμοί βοηθούν στο σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση συσκευών όπως φίλτρα μικροκυμάτων, λέιζερ και συστήματα οπτικών ινών (Kuznetsov, A. I., 2020).

Παράδειγμα 1

Σε αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιούμε ένα διαγώνιο πίνακα Λ με τέσσερα διαφορετικά στοιχεία όπου το στοιχείο με μεγαλύτερη απόλυτη τιμή είναι το 19 που είναι θετικός αριθμός.

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 10 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 19 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -6 \end{bmatrix}^T$$

Ο τυχαίος πίνακας που προκύπτει κατά την εκτέλεση του προγράμματος και που είναι όμοιος με το διαγώνιο Λ είναι ο

$$A = \begin{bmatrix} 13.88731491965147 & -2.71774034567642 & -0.87309625757393 & -0.70025003398880 \\ 23.78700609841531 & -5.61136181702393 & -7.73285436145971 & -4.23756313127312 \\ 11.90517348642658 & -6.11329669361690 & -2.24889505126712 & -13.03884374299309 \\ -0.22775335979871 & -1.32031564671054 & 9.51092749293886 & 24.97294194863958 \end{bmatrix}^T$$

Στα δύο παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τις τρεις πρώτες μεθόδους, οι οποίες αποκαλύπτουν μία μόνο ιδιοτιμή και ένα ιδιοδιάνυσμα του πίνακα A (Golub, G. H. 2012). Στην Μέθοδο της Αντίστροφης Επανάληψης χρησιμοποιήθηκε μια προσέγγιση της ιδιοτιμής, το 15, το οποίο βρίσκεται πιο κοντά στο 19 από ό,τι οι άλλες ιδιοτιμές του πίνακα. Αυτό οδηγεί στη σύγκλιση της μεθόδου στην ιδιοτιμή 19. Επιπλέον, στην Μέθοδο του Πηλίκου Rayleigh χρησιμοποιήθηκε ένα αρχικό διάνυσμα που είναι κοντά στο ιδιοδιάνυσμα που αντιστοιχεί στο 19 (Trefethen, L. N., 1997).

	Μέθοδος Δυνάμεων	Μέθοδος Αντίστροφης Επανάληψης (μ=15)
$v^{(0)}$	$\frac{1}{2} [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$	$\frac{1}{2} [1 \ 1 \ 1 \ 1]^T$
k	40	114
$\lambda^{(k)}$	19.00000000001979	19.00000000002504
$ \lambda^{(k)} - \lambda_J $	$1.979216790459759 \cdot 10^{-11}$	$2.504307872186473 \cdot 10^{-11}$
$v^{(k)}$	$\begin{bmatrix} -0.02408178782029 \\ -0.00174342447586 \\ -0.53226167143867 \\ 0.84623551159461 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -0.02408178781915 \\ -0.00174342447435 \\ -0.53226167143835 \\ 0.84623551159485 \end{bmatrix}$

	Μέθοδος Πηλίκου Rayleigh
$v^{(0)}$	$[0 \ 0 \ -0.5 \ 0.8]^T$
k	3
$\lambda^{(k)}$	19.000000000000001
$ \lambda^{(k)} - \lambda_J $	$7.105427357601002 \cdot 10^{-15}$
$v^{(k)}$	$\begin{bmatrix} 0.02408178782456 \\ 0.00174342448151 \\ 0.53226167143990 \\ -0.84623551159370 \end{bmatrix}$

Όπως παρατηρούμε, οι τρεις μέθοδοι συγκλίνουν στην ιδιοτιμή 19, η οποία είναι η μεγαλύτερη κατά απόλυτη τιμή, με πολύ μικρό σφάλμα. Η μέθοδος του Πηλίκου Rayleigh είναι αισθητά πιο γρήγορη από τις άλλες δύο μεθόδους, απαιτώντας λιγότερες επαναλήψεις, αν και κάθε επανάληψη έχει μεγαλύτερο κόστος υπολογισμών (Stewart, G. W., 1990).

Στους επόμενους δύο πίνακες, παρατίθενται οι πίνακες που περιέχουν τις ιδιοτιμές του αρχικού πίνακα, όπως υπολογίζονται από τη μέθοδο QR, τη "Πρακτική" μέθοδο QR και τη μέθοδο των Ταυτόχρονων Επαναλήψεων, καθώς και τα ιδιοδιανύσματα από τις δύο μεθόδους. Αυτές οι μέθοδοι υπολογίζουν όλες τις ιδιοτιμές και όλα τα ιδιοδιανύσματα (Demmel, J. W 1997).

Πίνακας που περιέχει τις ιδιοτιμές ως διαγώνια στοιχεία του			
Απλή Μέθοδος QR (k=41)			
19.00000000006627	2.72738945643850	-18.31068372527997	14.98108994333810
-0.00000000021878	9.99996837674994	-2.86412398547390	-28.44869690938315
0.00000000000001	-0.00002207396444	8.00000957998395	0.97510587619723
-0.00000000000000	-0.00000000280502	0.00031642513195	-5.99997795680021
"Πρακτική" Μέθοδος QR (k=38)			
19.00000000006477	-2.72668806075191	15.90673507963452	17.51267537958841
0.00000000021366	10.00189933703330	28.26182116665033	-4.32913237529602
0.00000000000000	-0.00106193266733	-6.01479819497286	0.72447552478991
0.00000000000000	0.00000000000000	-0.25005087649958	8.01289885787482
Μέθοδος Ταυτόχρονων Επαναλήψεων (k=60)			
19.00000000000000	-2.72758863722166	-18.31031401991736	-14.98150554390954
0.00000000000001	9.99999954431718	2.86474793823167	-28.44864249369735
0.00000000000000	0.00000031813159	8.00000054880853	-0.97447864471344
-0.00000000000001	0.00000000000017	0.00000133790152	-6.00000009312570

Πίνακας που περιέχει τα ιδιοδιανύσματα ως στήλες του			
Απλή Μέθοδος QR (k=41)			
0.02408178781024	-0.58905617127646	0.20033618351147	0.78249492532095
0.00174342446255	-0.78035181139139	-0.39215479505096	-0.48709611746334
0.53226167143579	-0.16892084900862	0.75777504340902	-0.33755035694997
-0.84623551159673	-0.12461791327696	0.48151533088892	-0.19104664540905
Μέθοδος Ταυτόχρονων Επαναλήψεων (k=60)			
-0.02408178782456	-0.58905835083549	-0.20034753613351	0.78249037794172
-0.00174342448152	-0.78034754523215	0.39217433949331	-0.48708721658880
-0.53226167143990	-0.16892909205308	-0.75776554413414	-0.33756755634572
0.84623551159370	-0.12462315121701	-0.48150963887684	-0.19105757448260

Από αυτό το σημείο παρατηρούμε ότι η "Πρακτική" μέθοδος QR, η οποία συνδέεται με τη Μέθοδο του Πηλίκου Rayleigh, συγκλίνει ταχύτερα προς τον πίνακα με τις ιδιοτιμές (Bai, Z. 2000).

5.2 Ανάλυση του Τρόπου με τον οποίο τα Ελαττώματα Επηρεάζουν τις Ιδιοτιμές και τις Ιδιομορφές σε Συγκεκριμένα Συστήματα

Ακολουθούν πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο τα ελαττώματα επηρεάζουν τις ιδιοτιμές σε συγκεκριμένα συστήματα:

Δομικά Συστήματα:

Σε δομικά συστήματα, ελαττώματα όπως ρωγμές, ανωμαλίες υλικού ή ατέλειες οριακών συνθηκών μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιοτιμές.

Τεχνικές ανάλυσης, όπως η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM) ή η μέθοδος οριακών στοιχείων (BEM), χρησιμοποιούνται για τη μελέτη της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για τις αλλαγές στις φυσικές συχνότητες και τα σχήματα των τρόπων λειτουργίας που προκαλούνται από ελαττώματα, βοηθώντας στην παρακολούθηση της δομικής υγείας και στην ανίχνευση ζημιών (Qiu, Z., 2020).

Ηλεκτρικά Κυκλώματα:

Βλάβες σε ηλεκτρικά κυκλώματα, όπως αστοχίες εξαρτημάτων ή αποκλίσεις στις τιμές εξαρτημάτων, μπορεί να επηρεάσουν τις ιδιοτιμές του συστήματος.

Αριθμητικές μέθοδοι, όπως η Τροποποιημένη Κομβική Ανάλυση (MNA) ή Ιιγενάλυση, χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές.

Αυτές οι μελέτες βοηθούν στην κατανόηση του αντίκτυπου των ελαττωμάτων στην απόδοση του κυκλώματος, τη σταθερότητα και την παροδική απόκριση (Nandakumar, K., 2019).

Οπτικά Συστήματα:

Στα οπτικά συστήματα, ελαττώματα όπως ατέλειες στα οπτικά εξαρτήματα, ανωμαλίες του κυματοδηγού ή διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιοτιμές.

Αριθμητικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένης της μεθόδου πεπερασμένης διαφοράς χρόνου-τομέα (FDTD) ή των επιλυτών τρόπων, χρησιμοποιούνται για την ανάλυση του αντίκτυπου των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για τις αλλαγές στις συχνότητες συντονισμού, τις σταθερές διάδοσης και τις κατανομές τρόπου λειτουργίας που προκαλούνται από ελαττώματα (Luan, F., 2020).

Μηχανολογικά Συστήματα:

Ελαττώματα σε μηχανικά συστήματα, όπως ρωγμές, ανομοιογένειες υλικών ή γεωμετρικές ατέλειες, μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιοτιμές.

Τεχνικές όπως η μέθοδος εκτεταμένων πεπερασμένων στοιχείων (XFEM) ή η ανάλυση κριτηρίου διασφάλισης τρόπου λειτουργίας (MAC) χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές.

Αυτές οι μελέτες βοηθούν στην κατανόηση των αλλαγών στις φυσικές συχνότητες, στα σχήματα των τρόπων λειτουργίας και στα δυναμικά χαρακτηριστικά λόγω ελαττωμάτων (Dai, H., 2021).

Ρευστοδυναμική:

Στη δυναμική των ρευστών, ελαττώματα όπως εμπόδια ροής, διαρροές ή παραλλαγές ιδιοτήτων ρευστού μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιοτιμές που σχετίζονται με τους τρόπους ροής ρευστού.

Αριθμητικές μέθοδοι, συμπεριλαμβανομένης της Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD) ή της γραμμικής ανάλυσης σταθερότητας, χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιοτιμές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για αλλαγές στους κρίσιμους ρυθμούς ροής, τα κατώφλια αστάθειας ή τα σχήματα λειτουργίας που προκαλούνται από ελαττώματα (Chen, S., 2021).

Ακολουθούν πληροφορίες σχετικά με την ανάλυση του τρόπου με τον οποίο τα ελαττώματα επηρεάζουν τις ιδιομορφές (σχήματα τρόπου λειτουργίας) σε συγκεκριμένα συστήματα:

Δομικά Συστήματα:

Ελαττώματα σε δομικά συστήματα, όπως ρωγμές, ανωμαλίες υλικού ή γεωμετρικές ατέλειες, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τις ιδιομορφές.

Τεχνικές όπως η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM) ή η μέθοδος οριακών στοιχείων (BEM) χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιομορφές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για τις αλλαγές στα σχήματα των τρόπων λειτουργίας, συμπεριλαμβανομένων των αλλαγών στη χωρική κατανομή, των μοτίβων παραμόρφωσης ή των επιπτώσεων εντοπισμού που προκαλούνται από ελαττώματα (Cao, J., 2020).

Ηλεκτρομαγνητικά Συστήματα:

Ελαττώματα σε ηλεκτρομαγνητικά συστήματα, όπως ανωμαλίες στους κυματοδηγούς ή ασυνέχειες υλικού, μπορεί να επηρεάσουν τις ιδιομορφές που σχετίζονται με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τεχνικές όπως η μέθοδος πεδίου χρόνου πεπερασμένης διαφοράς (FDTD) ή οι επιλύτες τρόπου λειτουργίας χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιομορφές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για αλλαγές στην κατανομή των ηλεκτρικών ή μαγνητικών πεδίων, των χαρακτηριστικών διάδοσης των κυμάτων ή των τρόπων συντονισμού που προκαλούνται από ελαττώματα (Zhou, H., 2019).

Ρευστοδυναμική:

Τα ελαττώματα στα συστήματα ροής ρευστού, όπως εμπόδια, διαρροές ή ανωμαλίες ροής, μπορούν να αλλάξουν τις ιδιομορφές που σχετίζονται με τους τρόπους ροής ρευστού.

Τεχνικές Υπολογιστικής Ρευστοδυναμικής (CFD) ή πειραματικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για τη διερεύνηση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιομορφές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για αλλαγές στα πρότυπα ροής, στην κατανομή στροβιλισμού ή στις ζώνες ανακυκλοφορίας που προκαλούνται από ελαττώματα (Bai, Y., 2019).

Ακουστικά Συστήματα:

Ελαττώματα ακουστικών συστημάτων, όπως ανωμαλίες στους κυματοδηγούς, ασυνέχειες υλικού ή σκέδαση αντικειμένων, μπορεί να επηρεάσουν τις ιδιομορφές που σχετίζονται με τα ακουστικά κύματα.

Αριθμητικές μέθοδοι όπως η μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων (FEM) ή η μέθοδος οριακών στοιχείων (BEM) χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιομορφές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες για αλλαγές στη χωρική κατανομή της ηχητικής πίεσης, των χαρακτηριστικών διάδοσης των κυμάτων ή των τρόπων συντονισμού που προκαλούνται από ελαττώματα (Wei, X., 2020).

Κβαντικά Συστήματα:

Ελαττώματα σε κβαντικά συστήματα, όπως ακαθαρσίες, ατέλειες πλέγματος ή εντοπισμένες διαταραχές, μπορούν να επηρεάσουν τις ιδιομορφές που σχετίζονται με τις κβαντικές καταστάσεις.

Θεωρητικές μέθοδοι όπως η Λειτουργική Θεωρία Πυκνότητας (DFT) ή οι προσομοιώσεις Quantum Monte Carlo (QMC) χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της επίδρασης των ελαττωμάτων στις ιδιομορφές.

Αυτές οι μελέτες παρέχουν πληροφορίες σχετικά με τις αλλαγές στην κατανομή της πυκνότητας ηλεκτρονίων, τα τροχιακά χαρακτηριστικά ή τα επίπεδα ενέργειας που προκαλούνται από ελαττώματα (Liu, J., 2021).

5.3 Συζήτηση των Επιπτώσεων και των Γνώσεων που Αποκτήθηκαν από τις Περιπτώσιολογικές Μελέτες

Ακολουθούν πληροφορίες σχετικά με τη συζήτηση των επιπτώσεων και τα διδάγματα που αντλήθηκαν από περιπτώσιολογικές μελέτες στον τομέα της ανάλυσης ιδιοτιμών και ιδιομορφών:

Δομική Μηχανική:

Μελέτες περιπτώσεων στη δομική μηχανική έχουν δείξει τις πρακτικές επιπτώσεις της ιδιοτιμής και της ανάλυσης ιδιομορφής στην αξιολόγηση της δυναμικής συμπεριφοράς των κατασκευών και στον εντοπισμό πιθανών ζητημάτων.

Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν βελτιωμένη κατανόηση της δομικής απόκρισης, βελτιωμένες πρακτικές σχεδιασμού και ακριβέστερες προβλέψεις της δομικής απόδοσης υπό διάφορες συνθήκες φόρτωσης.

Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από αυτές τις περιπτώσιολογικές μελέτες περιλαμβάνουν τη σημασία της εξέτασης ρεαλιστικών συνοριακών συνθηκών, την

ακριβή μοντελοποίηση των ιδιοτήτων του υλικού και τον υπολογισμό της επίδρασης των ελαττωμάτων σε ιδιοτιμές και ιδιομορφές (Rassati, G. A., 2021).

Μηχανολογικά Συστήματα:

Μελέτες περίπτωσης σε μηχανικά συστήματα έχουν επισημάνει τις πρακτικές επιπτώσεις της ανάλυσης ιδιοτιμών και ιδιομορφών στη μελέτη της δυναμικής συμπεριφοράς μηχανικών εξαρτημάτων και συστημάτων.

Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν βελτιωμένη κατανόηση των χαρακτηριστικών των κραδασμών, βελτιωμένες πρακτικές σχεδιασμού και τον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων λειτουργίας που μπορεί να οδηγήσουν σε προβλήματα κόπωσης, συντονισμού ή αστάθειας.

Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από αυτές τις περιπτώσιολογικές μελέτες περιλαμβάνουν τη σημασία της ακριβούς μοντελοποίησης των οριακών συνθηκών, των ρεαλιστικών ιδιοτήτων του υλικού και της εξέτασης ελαττωμάτων ή ατελειών στο σύστημα (Krishnan, N., 2021).

Ηλεκτρικά Συστήματα:

Μελέτες περιπτώσεων σε ηλεκτρικά συστήματα έχουν δείξει τις πρακτικές επιπτώσεις της ανάλυσης ιδιοτιμών και ιδιομορφών στην ανάλυση της σταθερότητας, της απόδοσης και του σχεδιασμού ηλεκτρικών κυκλωμάτων και συστημάτων. Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν βελτιωμένη κατανόηση της συμπεριφοράς του κυκλώματος, βελτιωμένες πρακτικές σχεδιασμού και τον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων λειτουργίας που μπορεί να οδηγήσουν σε ταλαντώσεις, αστάθεια ή δυσλειτουργία. Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από αυτές τις περιπτώσιολογικές μελέτες περιλαμβάνουν τη σημασία της ακριβούς μοντελοποίησης των στοιχείων του κυκλώματος, την εξέταση των κατασκευαστικών ελαττωμάτων και την επίδραση των παρασιτικών στοιχείων στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές (Fard, S. G., 2020).

Ρευστοδυναμική:

Περιπτώσιολογικές μελέτες στη δυναμική των ρευστών έχουν επισημάνει τις πρακτικές επιπτώσεις της ανάλυσης ιδιοτιμής και ιδιομορφής στην κατανόηση της συμπεριφοράς ροής, τον εντοπισμό τρόπων αστάθειας και τη βελτιστοποίηση των συστημάτων ροής ρευστού.

Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν τη βελτιωμένη κατανόηση των χαρακτηριστικών ροής, τις βελτιωμένες πρακτικές σχεδιασμού και τον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων λειτουργίας που μπορούν να οδηγήσουν σε διαχωρισμό ροής, απόρριψη δίνης ή σπηλαίωση.

Τα διδάγματα που αντλήθηκαν από αυτές τις περιπτώσιολογικές μελέτες περιλαμβάνουν τη σημασία της ακριβούς μοντελοποίησης των οριακών συνθηκών, την εξέταση των ιδιοτήτων του ρευστού και τον αντίκτυπο των ανωμαλιών ή ελαττωμάτων ροής σε ιδιοτιμές και ιδιομορφές (Maroju, P. K., 2021).

Κβαντικά Συστήματα:

Μελέτες περιπτώσεων σε κβαντικά συστήματα έχουν καταδείξει τις πρακτικές επιπτώσεις της ανάλυσης ιδιοτιμών και ιδιομορφών στην κατανόηση των ηλεκτρονικών και κβαντικών ιδιοτήτων υλικών και συστημάτων.

Οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν τη βελτιωμένη κατανόηση των ηλεκτρονικών δομών, τις βελτιωμένες πρακτικές σχεδιασμού υλικών και τον εντοπισμό κρίσιμων τρόπων λειτουργίας που μπορούν να οδηγήσουν σε συγκεκριμένα κβαντικά φαινόμενα (Li, J., 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΕΙΣ

6.1 Τρέχουσες Τάσεις και Εξελίξεις στους Υπολογισμούς Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών

Παραδοσιακά, ο υπολογισμός των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών ήταν ένα κεντρικό πρόβλημα στην αριθμητική γραμμική άλγεβρα και στον επιστημονικό υπολογισμό. Ερευνητές και επαγγελματίες έχουν εξερευνήσει συνεχώς διάφορους αλγόριθμους και τεχνικές για τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ακρίβειας και της εφαρμογής σε προβλήματα μεγάλης κλίμακας (Stewart, G. W. 2001).

Μία από τις κύριες τάσεις στους υπολογισμούς ιδιοτιμών είναι η εστίαση στην ανάπτυξη ισχυρών και ακριβών αλγορίθμων. Σε πολλές εφαρμογές του πραγματικού κόσμου, οι πίνακες μπορεί να έχουν κακή ρύθμιση ή να έχουν συγκεκριμένες δομές που θέτουν προκλήσεις για τις παραδοσιακές μεθόδους. Οι ερευνητές εργάζονται για

το σχεδιασμό αλγορίθμων που μπορούν να χειριστούν τέτοιες καταστάσεις πιο αποτελεσματικά και να παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα (Saad, Y. 2001). Με την εμφάνιση των υπολογιστών υψηλής απόδοσης, έχει αυξηθεί το ενδιαφέρον για παράλληλους και κατανεμημένους αλγόριθμους για υπολογισμούς ιδιοτιμών. Αυτές οι προσεγγίσεις στοχεύουν να αξιοποιήσουν την υπολογιστική ισχύ των σύγχρονων παράλληλων αρχιτεκτονικών για την αποτελεσματική επίλυση μεγαλύτερων προβλημάτων (Halko, N. 2011).

Οι τυχαιοποιημένοι αλγόριθμοι έχουν κερδίσει δημοτικότητα τα τελευταία χρόνια για τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών. Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν τυχαιοποίηση για να προσεγγίσουν ιδιοτιμές και ιδιοδιανύσματα με σημαντικά μειωμένο υπολογιστικό κόστος σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε τανυστές έχουν δείξει πολλά υποσχόμενες στην αντιμετώπιση προβλημάτων ιδιοτιμών μεγάλης κλίμακας. Αυτές οι μέθοδοι εκμεταλλεύονται την πολυδιάστατη δομή των δεδομένων για τον πιο αποτελεσματικό υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών, ιδιαίτερα για προβλήματα που αφορούν δεδομένα με εγγενείς αναπαραστάσεις τανυστών (Nakatsukasa, Y., 2018).

Καθώς προχωρά η έρευνα για τους κβαντικούς υπολογιστές, υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μόχλευση κβαντικών αλγορίθμων για την αποτελεσματικότερη επίλυση προβλημάτων ιδιοτιμών. Οι κβαντικοί επιλύτες ιδιοτιμών προσφέρουν τη δυνατότητα εκθετικής επιτάχυνσης σε σχέση με τους κλασικούς αλγόριθμους για ορισμένες κατηγορίες προβλημάτων.

Πολλά πεδία, όπως η επιστήμη των υλικών και η κβαντική χημεία, απαιτούν τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών για συγκεκριμένους τύπους πινάκων που έχουν μοναδικές ιδιότητες. Οι ερευνητές έχουν αναπτύξει αλγόριθμους για συγκεκριμένες εφαρμογές για να καλύψουν αυτές τις ανάγκες αποτελεσματικά (Kressner, D. 2014).

6.2 Αναδυόμενες Τεχνικές για τον Χαρακτηρισμό και την Αντιμετώπιση Ελαττωμάτων του Συστήματος

Οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα είναι θεμελιώδεις έννοιες στη γραμμική άλγεβρα όπως έχουμε προαναφέρει, που έχουν εφαρμογές ευρείας κλίμακας, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης δυναμικών συστημάτων σε διάφορους τομείς όπως η φυσική, η μηχανική και η βιολογία. Όταν εργάζεστε με ιδιόμορφα και

ιδιόμορφα δυναμικά συστήματα, ο εντοπισμός και ο χειρισμός των ελαττωμάτων είναι ζωτικής σημασίας για την απόκτηση ακριβών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Τα τελευταία χρόνια, πολλές αναδυόμενες τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, βελτιώνοντας την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των υπολογισμών σε τέτοια συστήματα. Αυτό το άρθρο διερευνά μερικές από αυτές τις τεχνικές αιχμής και τον αντίκτυπό τους στον υπολογισμό του ιδιόκτητου και των περιέργων δυναμικών συστημάτων.

Παράλληλος Υπολογισμός για προβλήματα ιδιοτιμής μεγάλης κλίμακας:

Ο υπολογισμός των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων για δυναμικά συστήματα μεγάλης κλίμακας μπορεί να είναι υπολογιστικά εντατικός. Οι τεχνικές παράλληλων υπολογιστών, όπως η κατανεμημένη μνήμη και ο παραλληλισμός κοινής μνήμης, έχουν αποκτήσει δημοτικότητα για να επιταχύνουν αυτούς τους υπολογισμούς. Με την κατανομή του φόρτου εργασίας σε πολλούς επεξεργαστές ή πυρήνες, αυτές οι τεχνικές μειώνουν σημαντικά τον υπολογιστικό χρόνο, καθιστώντας εφικτό τον χειρισμό δυναμικών συστημάτων μεγάλης κλίμακας (Yang, C., 2019).

Κβαντικός Υπολογισμός για προβλήματα ιδιοτιμών:

Ο κβαντικός υπολογισμός έχει δείξει πολλά υποσχόμενη επίλυση ορισμένων τύπων προβλημάτων ιδιοτιμών εκθετικά ταχύτερα από τις κλασσικές μεθόδους. Οι κβαντικοί αλγόριθμοι, όπως ο αλγόριθμος Εκτίμησης Κβαντικής Φάσης και η Κβαντική Μεταβλητή Ιδιολύση, έχουν διερευνηθεί για τον πιο αποτελεσματικό υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων (McArdle, S., 2020).

Μοντέλο Τεχνικές Μείωσης Παραγγελίας:

Για δυναμικά συστήματα υψηλών διαστάσεων, έχουν αναπτυχθεί τεχνικές μείωσης σειράς μοντέλων για την προσέγγιση των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων του πλήρους συστήματος, ενώ μειώνεται σημαντικά η υπολογιστική πολυπλοκότητα. Αυτές οι μέθοδοι στοχεύουν στην αποτύπωση της βασικής δυναμικής του συστήματος, απορρίπτοντας αμελητέες λεπτομέρειες, επιτρέποντας έτσι ταχύτερους και αποτελεσματικότερους υπολογισμούς (Antoulas, A. C 2018).

Ανάλυση ευαισθησίας για παράξενα δυναμικά συστήματα:

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, τα δυναμικά συστήματα μπορεί να είναι ευαίσθητα σε αλλαγές στις παραμέτρους ή στις αρχικές συνθήκες, οδηγώντας σε αβεβαιότητες στις

υπολογισμένες ιδιοτιμές. Οι τεχνικές ανάλυσης ευαισθησίας βοηθούν στον ποσοτικό προσδιορισμό της επίδρασης τέτοιων αβεβαιοτήτων στους υπολογισμούς ιδιοτιμών, παρέχοντας μια πιο ακριβή αναπαράσταση της συμπεριφοράς του συστήματος (Chen, X., 2019).

Χαρακτηρισμός ελαττώματος με τη βοήθεια μηχανικής μάθησης:

Τεχνικές μηχανικής μάθησης έχουν εφαρμοστεί για τον χαρακτηρισμό και τον χειρισμό ελαττωμάτων σε ιδιότητα και ιδιόμορφα δυναμικά συστήματα. Αυτές οι μέθοδοι μπορούν να εντοπίσουν μοτίβα στα δεδομένα που υποδεικνύουν την παρουσία ελαττωμάτων ή ανωμαλιών, βοηθώντας τους ερευνητές και τους μηχανικούς να διαγνώσουν και να διορθώσουν υπολογιστικά ζητήματα (Sun, W., 2022).

Η ανάπτυξη αυτών των αναδυόμενων τεχνικών έχει προχωρήσει σημαντικά το πεδίο του ιδιογενούς και των περίεργων δυναμικών συστημάτων, καθιστώντας δυνατό τον χειρισμό πιο περίπλοκων και απαιτητικών υπολογισμών. Καθώς οι ερευνητές συνεχίζουν να εξερευνούν νέες μεθοδολογίες και τεχνολογίες, μπορούμε να αναμένουμε περαιτέρω εξελίξεις που θα ενισχύσουν την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα των υπολογισμών ιδιοτιμών και τον χειρισμό των ελαττωμάτων του συστήματος σε δυναμικά συστήματα.

6.3 Προκλήσεις και Περιορισμοί στον Ακριβή Προσδιορισμό Ιδιοτιμών και Ιδιομορφών

Οι ιδιοτιμές και οι ιδιομορφές διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στην ανάλυση και κατανόηση των δυναμικών συστημάτων σε διάφορους επιστημονικούς και μηχανικούς κλάδους. Ωστόσο, ο ακριβής προσδιορισμός ιδιοτιμών και ιδιομορφών μπορεί να είναι ένα δύσκολο έργο λόγω διαφόρων μαθηματικών και υπολογιστικών πολυπλοκοτήτων. Τα τελευταία πέντε χρόνια, οι ερευνητές έχουν σημειώσει σημαντική πρόοδο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, αλλά παραμένουν αρκετοί περιορισμοί. Αυτό το άρθρο συζητά μερικές από τις κύριες προκλήσεις και περιορισμούς στον ακριβή προσδιορισμό των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών για δυναμικά συστήματα και υπογραμμίζει τις πρόσφατες ερευνητικές προσπάθειες για την αντιμετώπισή τους.

Προκλήσεις: (Baglama, J., 2018)

1. Αριθμητική ακρίβεια και σταθερότητα:

Οι αριθμητικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών είναι επιρρεπείς σε σφάλματα στρογγυλοποίησης και απώλεια αριθμητικής σταθερότητας, ειδικά για μεγάλα και κακώς κλιματιζόμενα συστήματα. Τέτοια σφάλματα μπορεί να οδηγήσουν σε ανακριβή αποτελέσματα και να θέσουν σε κίνδυνο την αξιοπιστία της ανάλυσης.

2. Υψηλό υπολογιστικό κόστος για μεγάλα συστήματα:

Ο υπολογισμός των ιδιοτιμών και των ιδιομορφών μπορεί να είναι υπολογιστικά απαιτητικός, ειδικά για δυναμικά συστήματα μεγάλης κλίμακας. Οι παραδοσιακοί αλγόριθμοι μπορεί να γίνουν μη πρακτικοί λόγω των υψηλών απαιτήσεων χρόνου και μνήμης, περιορίζοντας την ανάλυση πολύπλοκων συστημάτων.

3. Σύνθετο φάσμα ιδιοτιμών:

Τα δυναμικά συστήματα συχνά εμφανίζουν ένα σύνθετο φάσμα ιδιοτιμών, με ζεύγη ιδιοτιμών τόσο πραγματικών όσο και μιγαδικών-συζευγμένων. Η ανάλυση και η οπτικοποίηση τέτοιων φασμάτων μπορεί να είναι δύσκολη και η ερμηνεία των αποτελεσμάτων μπορεί να απαιτεί εξειδικευμένες τεχνικές.

4. Ευαισθησία σε παραλλαγές παραμέτρων:

Σε πολλές πρακτικές εφαρμογές, τα δυναμικά συστήματα είναι ευαίσθητα στις διακυμάνσεις των παραμέτρων του συστήματος. Μικρές αλλαγές σε αυτές τις παραμέτρους μπορεί να οδηγήσουν σε σημαντικές αλλαγές στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές, καθιστώντας την ανάλυση ευαίσθητη σε αβεβαιότητες.

5. Ομαδοποίηση ιδιοτιμών:

Οι ιδιοτιμές μεγάλων συστημάτων μπορεί να εμφανίζουν ομαδοποίηση, καθιστώντας δύσκολη τη διάκριση μεταξύ ιδιοτιμών σε κοντινή απόσταση και την ακριβή επίλυση των σχετικών ιδιομορφών τους.

6. Χειρισμός συμμετρίας και εκφυλισμού:

Ορισμένα δυναμικά συστήματα διαθέτουν συμμετρία ή εκφυλισμό στις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές τους. Η σύλληψη και ο χειρισμός τέτοιων ειδικών περιπτώσεων μπορεί να είναι δύσκολη και απαιτεί προσαρμοσμένους αλγόριθμους.

Περιορισμοί: (Gao, S., 2021)

1. Έλλειψη αναλυτικών λύσεων:

Πολλά δυναμικά συστήματα δεν διαθέτουν αναλυτικές λύσεις κλειστής μορφής για τις ιδιοτιμές και τις ιδιομορφές τους. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητες αριθμητικές μέθοδοι, που οδηγούν σε πιθανά σφάλματα προσέγγισης.

2. Περιορισμένη επεκτασιμότητα υφιστάμενων αλγορίθμων:

Ορισμένοι αλγόριθμοι τελευταίας τεχνολογίας για υπολογισμούς ιδιοτιμών ενδέχεται να μην έχουν επεκτασιμότητα για εξαιρετικά μεγάλα συστήματα, εμποδίζοντας την εφαρμογή τους σε ερευνητικά και βιομηχανικά προβλήματα αιχμής.

3. Εξάρτηση από τις αρχικές εικασίες:

Οι επαναληπτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιομορφών απαιτούν συχνά αρχικές εικασίες, οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά τη σύγκλιση και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

4. Δυσκολία στο χειρισμό της μη γραμμικότητας:

Τα δυναμικά συστήματα με μη γραμμική συμπεριφορά θέτουν πρόσθετες προκλήσεις στον υπολογισμό ακριβών ιδιοτιμών και ιδιομορφών λόγω της έλλειψης τεχνικών γραμμικοποίησης.

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα είναι θεμελιώδεις έννοιες στη γραμμική άλγεβρα, που χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους επιστημονικούς και μηχανικούς κλάδους, συμπεριλαμβανομένης της ανάλυσης δυναμικών συστημάτων. Σε περίεργα δυναμικά συστήματα, που αναφέρονται σε συστήματα με μοναδικά ή άτυπα χαρακτηριστικά, ο υπολογισμός των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων γίνεται ακόμη πιο ενδιαφέρον και σημαντικός. Αυτή η συζήτηση θα εμβαθύνει στη σημασία των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων σε περίεργα δυναμικά συστήματα, τις προκλήσεις που θέτουν και τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό τους.

Στα δυναμικά συστήματα, οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα παίζουν κρίσιμο ρόλο στην κατανόηση της συμπεριφοράς και της σταθερότητας του συστήματος. Οι ιδιοτιμές αντιπροσωπεύουν τις χαρακτηριστικές τιμές που καθορίζουν την απόκριση του συστήματος σε διαταραχές ή διαταραχές. Σχετίζονται με τους ρυθμούς ανάπτυξης ή αποσύνθεσης των λύσεων στις εξισώσεις που διέπουν το δυναμικό σύστημα. Τα ιδιοδιανύσματα, από την άλλη πλευρά, υποδεικνύουν την κατεύθυνση στην οποία το σύστημα είναι πιο ευαίσθητο στις διαταραχές. Η ανάλυση ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων επιτρέπει στους ερευνητές να εντοπίσουν κρίσιμους τρόπους συμπεριφοράς και να προβλέψουν τη μακροπρόθεσμη δυναμική του συστήματος.

Τα περίεργα δυναμικά συστήματα περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα πολύπλοκων και μη συμβατικών συστημάτων με μοναδικά χαρακτηριστικά. Παραδείγματα περιλαμβάνουν χαοτικά συστήματα, συστήματα με μη ερμιτικούς πίνακες, κβαντικά συστήματα και συστήματα με δυναμική χρονικής καθυστέρησης. Αυτά τα συστήματα συχνά παρουσιάζουν μη συμβατικές συμπεριφορές, όπως ευαίσθητη εξάρτηση από αρχικές συνθήκες, μη τετριμμένες μεταβάσεις φάσης ή μη αμοιβαίες αλληλεπιδράσεις, καθιστώντας την ανάλυσή τους προκλητική και ενδιαφέρουσα.

Ο υπολογισμός ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων σε περίεργα δυναμικά συστήματα μπορεί να είναι πιο δύσκολος σε σύγκριση με τα συμβατικά γραμμικά συστήματα. Σε χαοτικά συστήματα, για παράδειγμα, οι ιδιοτιμές μπορεί να βρίσκονται στο μιγαδικό επίπεδο, καθιστώντας τον υπολογισμό και την ερμηνεία τους περισσότερο εμπλεκόμενο. Στα κβαντικά συστήματα, η διάσταση του χώρου καταστάσεων μπορεί να είναι εξαιρετικά υψηλή, απαιτώντας εξειδικευμένες αριθμητικές τεχνικές για αποτελεσματικούς υπολογισμούς. Επιπλέον, τα μη ερμιτικά συστήματα ή τα συστήματα με χρονική καθυστέρηση ενδέχεται να μην έχουν πραγματικές ιδιοτιμές, απαιτώντας τη χρήση προηγμένων αλγορίθμων για σύνθετους υπολογισμούς ιδιοτιμών. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες αριθμητικές μέθοδοι για τον υπολογισμό ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων σε περίεργα δυναμικά συστήματα. Για τυπικά γραμμικά συστήματα, χρησιμοποιούνται συνήθως η μέθοδος επανάληψης ισχύος, ο αλγόριθμος QR και η επανάληψη Arnoldi. Ωστόσο, σε περίεργα συστήματα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν πρόσθετες τεχνικές όπως η μέθοδος Arnoldi με σιωπηρές επανεκκινήσεις, η μέθοδος της ομάδας επανακανονικοποίησης μήτρας πυκνότητας (DMRG) σε κβαντικά συστήματα και ο υπολογισμός εκθέτη Lyapunov για χαοτικά συστήματα. Αυτές οι αριθμητικές μέθοδοι μπορούν να χειριστούν σύνθετες ιδιοτιμές, χώρους υψηλών

διαστάσεων και μη συμβατικές ιδιότητες περιέργων δυναμικών συστημάτων. Ο υπολογισμός των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων σε περίεργα δυναμικά συστήματα έχει ευρείες επιπτώσεις σε διάφορα πεδία. Στα χαοτικά συστήματα, η κατανόηση του φάσματος των εκθετών Lyapunov μπορεί να παρέχει πληροφορίες για την ευαισθησία του συστήματος στις αρχικές συνθήκες και τη μακροπρόθεσμη προβλεψιμότητα. Στα κβαντικά συστήματα, ο προσδιορισμός των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση των ενεργειακών επιπέδων και της δυναμικής της κβαντικής κατάστασης. Στα μη ερμητικά συστήματα, οι ιδιότητες των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων έχουν επιπτώσεις για μη αμοιβαίες συσκευές και τοπολογική φυσική.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι υπολογισμοί των ιδιοτιμών επιτρέπουν την ανάλυση ευστάθειας δυναμικών συστημάτων. Η ανάλυση σταθερότητας είναι ζωτικής σημασίας για την κατανόηση της μακροπρόθεσμης συμπεριφοράς ενός συστήματος. Βοηθά στον προσδιορισμό του εάν ένα σύστημα θα πλησιάσει ένα σημείο ισορροπίας με την πάροδο του χρόνου ή θα παρουσιάσει χαοτική συμπεριφορά. Ανάλογα με τις ιδιοτιμές, ένα σύστημα μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ως σταθερό, ασταθές ή ημι-σταθερό.

Η μελέτη ιδιοτιμών και δυναμικών συστημάτων βρίσκει εφαρμογές σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων, όπως η φυσική (π.χ. κβαντομηχανική, κλασική μηχανική), η μηχανική (π.χ. συστήματα ελέγχου, ρομποτική), η οικολογία (π.χ. δυναμική πληθυσμού), τα οικονομικά (π.χ. οικονομικά μοντέλα) και πολλά άλλα. Η κατανόηση της συμπεριφοράς των δυναμικών συστημάτων είναι ζωτικής σημασίας σε αυτά τα πεδία για την πρόβλεψη και τον έλεγχο της συμπεριφοράς του συστήματος. Συμπερασματικά, οι ιδιοτιμές και τα ιδιοδιανύσματα είναι απαραίτητα εργαλεία για την ανάλυση δυναμικών συστημάτων, ειδικά σε περίεργα συστήματα με μοναδικά και μη συμβατικά χαρακτηριστικά. Ο υπολογισμός τους δημιουργεί προκλήσεις, αλλά με

εξειδικευμένες αριθμητικές μεθόδους, οι ερευνητές μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες γνώσεις για τη συμπεριφορά και τη σταθερότητα αυτών των πολύπλοκων συστημάτων. Καθώς η έρευνα σε περίεργα δυναμικά συστήματα συνεχίζει να προχωρά, η μελέτη των ιδιοτιμών και των ιδιοδιανυσμάτων θα παραμείνει στην πρώτη γραμμή για την κατανόηση της ενδιαφέρουσας δυναμικής και των πρακτικών εφαρμογών τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Abdeljaber, O., & Tucker, R. (2021). Defect Detection in Beams Using Eigenfrequency Shifts and a Probabilistic Machine Learning Approach. *Structural Health Monitoring*, 20(2), 467-481.
- Agarwal, R., & Chaturvedi, A. (2018). Analytical and Experimental Investigations on Vibration Characteristics of Open and Closed Thin-Walled Cross-Section Composite Beams. *Composite Structures*, 199, 323-333.
- Al-Khafaji, A., & Hajjar, J. F. (2020). Flutter and Galloping Instabilities of a Suspension Bridge with a Tuned Mass Damper. *Engineering Structures*, 218, 110758.
- Antoulas, A. C. (2018). "Model Order Reduction: A Tutorial." *LAA Lecture Note Series*, 16, 1-100.
- Antunes, P., & Barbat, A. (2019). Dynamic Characterization of Concrete Beams with Different Levels of Damage Using Experimental Modal Analysis. *Construction and Building Materials*, 225, 223-235.
- Arrieta, L., & Gómez, J. (2019). Analytical and Experimental Modal Analysis of a Wind Turbine Blade with Damage Detection. *Journal of Physics: Conference Series*, 1354(1), 012019.

- Ashrafi, A. R., & Kimiaefar, A. (2019). Frequency Response Analysis of Smart Beams under Random Magnetic Fields. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 14(9), 091009.
- Baglama, J., and Reichel, L. (2018). "An Augmented Implicitly Restarted Arnoldi Method." *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 39(1), 401-422.
- Bai, Y., & Wu, H. (2019). Wake Flow Characterization Behind a Square Cylinder with Side Holes. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 107, 95-107.
- Bai, Z., Demmel, J., Dongarra, J., Ruhe, A., & Van der Vorst, H. (2000). *Templates for the Solution of Algebraic Eigenvalue Problems: A Practical Guide*. SIAM. (ISBN: 978-0898714715)
- Barthorpe, R. J., & Kelly, D. W. (2021). The Influence of Damage on the Dynamic Response and Failure Modes of Steel Structures Subjected to Impact Loading. *Journal of Constructional Steel Research*, 181, 105422.
- Borges, R. V., & Silva, E. C. (2018). Eigenvalues and Eigenvectors of a Free Vibrating System with Fractional Derivatives. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 13(6), 061003.
- Cao, J., & Law, S. S. (2020). A Hybrid Approach to Predict Vibration Response of Cracked Beam Structures with Harmonic Excitation. *Journal of Sound and Vibration*, 474, 115224.
- Cavas-Martínez, F., Sanz-Andrés, A., & López-García, O. (2022). Sensitivity Analysis of Eigenvalues and Eigenvectors to Defects in Structural Acoustic Systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 171, 108143.
- Chen, M., & Qiu, Z. (2019). Vibration Localization Analysis of a Variable-Thickness Plate with Multiple Cracks Based on the K-Dimensional Localization Vector. *Journal of Vibration and Acoustics*, 141(4), 041011.
- Chen, S., & Hua, H. (2021). Nonlinear Vibration Analysis of a Cracked Shaft Considering Localized Crack Damage and Parametric Excitation. *Nonlinear Dynamics*, 103(2), 1155-1177.
- Chen, S., & Hua, H. (2021). Nonlinear Vibration Analysis of a Cracked Shaft Considering Localized Crack Damage and Parametric Excitation. *Nonlinear*
- Chen, S., & Tu, J. (2021). Modal Analysis of a Closed-Loop Pulsating Heat Pipe with Blockage Using a Thermal-Electric Network Model. *Applied Thermal Engineering*, 191, 116754.
- Chen, X., and Kou, J. (2019). "Sensitivity Analysis of Eigenvalues and Eigenvectors in Linear Dynamical Systems." *Journal of Computational Physics*, 396, 301-316.
- Chena, Z., & Huang, Z. (2019). Effect of Geometric Nonlinearities on the Vibration of Slender Tapered Timoshenko Beams. *Applied Mathematical Modelling*, 74, 694712.

Cottone, F., & La Rosa, G. (2020). The Influence of Defects on the Eigenvalues and Mode Shapes of Delaminated Composite Plates. *Composite Structures*, 250, 112563.

Dai, H., & Sun, Q. (2021). A Novel Frequency Response Function-Based Method for Predicting Eigenfrequency Shifts of Cracked Structures. *Journal of Sound and Vibration*, 504, 116180.

Danilatos, G. D., & Theotokoglou, E. E. (2019). Investigation of the Nonlinear Vibration Response of a Cracked Beam Using the Admittance Method. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 117, 411-426.

Das, M., & Mukherjee, A. (2021). Structural Damage Detection of Beams Using Modal Parameters. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 9(4), 487-502.

Demmel, J. W. (1997). *Applied Numerical Linear Algebra*. SIAM. (ISBN: 9780898713893)

Dong, Y., & Li, Q. (2021). Dynamic Behavior of a Rotor System with Asymmetric Shaft and Disk. *Journal of Vibration and Control*, 27(7-8), 1327-1342.

Eberhardt, A. W., & Langston, C. A. (2018). Effect of Temperature on Modal Parameters and Damage Detection for a Cable-Stayed Bridge. *Structural Control and Health Monitoring*, 25(9), e2183.

Fan, H., & Wang, X. (2021). Influence of Initial Imperfections on the Dynamic Characteristics of Cylindrical Lattice Shells. *Thin-Walled Structures*, 162, 107404.

Fang, Z., & Nefske, D. J. (2021). Effects of Bolted Joint Loosening on the Dynamic Response of Composite Plates. *Composite Structures*, 272, 114078.

Fard, S. G., & Rezaei, A. (2020). Investigation of Damping Effect on the Eigenvalues of Open Core Fault Current Limiters. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 14(20), 4155-4165.

Gao, F., & Li, C. (2020). Chaotic Vibration of Cracked Cantilever Beam Based on a New Model Considering Cubic Nonlinearities. *Nonlinear Dynamics*, 100(3), 1951-1967.

Gao, S., Zhang, L., and Wang, Y. (2021). "Robust Newton-type Methods for Eigenvalue Computation of Symmetric Matrices." *SIAM Journal on Matrix Analysis and Applications*, 42(1), 196-219.

Golub, G. H., & Van Loan, C. F. (2012). *Matrix Computations*. Johns Hopkins University Press. (ISBN: 978-1421407944)

González-Méndez, V. M., & Güemes, A. (2020). Stability Analysis of Fractional Order Systems: An Application to Structural Damping. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 15(2), 021001.

Halko, N., Martinsson, P. G., & Tropp, J. A. (2011). "Finding Structure with Randomness: Probabilistic Algorithms for Constructing Approximate Matrix Decompositions." *SIAM Review*, 53(2), 217-288.

Hohenberg, P. C., & Prost, J. (2020). *Theoretical and Mathematical Methods in Modern Hydrodynamics*. Cambridge University Press.

Hong, Y., & Zhang, Y. (2021). Finite Element Analysis of Rotating Timoshenko Beams Using High-Order Nonlinear Modal Analysis Method. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 16(1), 011012.

Horn, R. A., & Johnson, C. R. (2012). *Matrix Analysis*. Cambridge University Press. (ISBN: 978-0521548236)

Hu, D., & Zhang, W. (2020). Experimental and Numerical Investigations on Vibration Control of Laminated Composite Plates Using Piezoelectric Networks. *Composite Structures*, 245, 112338.

Jayakumar, P., & Mohanty, A. R. (2021). Study on Vibration Characteristics of Laminated Composite Plates with Delamination Defects. *Composite Structures*, 266, 113464.

Khalil, M., & Guizani, A. (2020). Parameter Identification of the Rolling Element Bearing Based on a Nonlinear State-Space Model. *Journal of Vibration and Control*, 26(4-5), 297-313.

Kim, S., & Park, J. (2019). Nonlinear Vibration Analysis of Beam Structures with a Breathing Crack by Utilizing a Reduced-Order Model. *Journal of Sound and Vibration*, 459, 114903.

Kowalczyk-Gajewska, K., & Dębski, W. (2020). Sensitivity Analysis of Damage Identification Methods Applied to Truss Structures. *Journal of Vibroengineering*, 22(2), 696-707.

Kressner, D. (2014). "Numerical Methods for General and Structured Eigenvalue Problems." *Acta Numerica*, 23, 651-742.

Krishnan, N., & Nair, P. B. S. (2021). Analysis and Suppression of Resonance in Large Radial Flow Fans. *Journal of Vibration Engineering & Technologies*, 9(2), 279288.

Kuznetsov, A. I., & Zezyulin, D. A. (2020). Nonlinear Dynamics of Photonics Structures with Asymmetric Resonant Cavities. *Physical Review Letters*, 125(20), 203903.

Lai, K., & Vassilevski, P. S. (2012). *"Tensor Numerical Methods in Scientific Computing."* SIAM, Philadelphia.

Lee, H., & Han, S. (2018). Vibration Analysis of a Longitudinally Excited Beam Resting on a Nonlinear Viscoelastic Foundation. *Journal of Sound and Vibration*, 424, 93-109.

Li, J., & Zhu, H. (2020). Finite Element Model Updating for Bridge Structures Using Eigensensitivity Analysis. *Structural Control and Health Monitoring*, 27(12), e2691.

Li, Q., & Li, Y. (2022). Vibration Analysis and Numerical Simulation of Cold-Rolled Ribbed Plates. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 36(1), 153-162.

- Li, X., & Han, Q. (2018). Mode Localization and Energy Distribution in a Rotating Blade with Various Axial Constraint Imperfections. *Journal of Sound and Vibration*, 436, 307-326.
- Lin, H., & Liew, K. M. (2019). Determination of Elastic Properties of Graphene Nanoribbons via a Nonlocal Beam Model. *Composite Structures*, 216, 330-337.
- Lin, Y., & Sohn, H. (2018). Damage Detection Using Mode Shapes and Dynamic Properties from Output-Only Measurements. *Structural Control and Health Monitoring*, 25(4), e2144.
- Ling, L., & Zhang, Y. (2022). Modal Control of Energy Harvesting Structures for Multiple Degrees-of-Freedom Systems. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 163, 108038.
- Liu, J., & Zhang, Y. (2021). Systematic Study of Magnetic and Electronic Properties of 3d Transition Metal-Doped WSe2 Monolayer. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 23(7), 4010-402
- Liu, Y., & Yang, T. (2019). Eigenvalue Assignment Based on Time-Delayed Feedback Control for Stochastic Systems. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 17(9), 2311-2319.
- Luan, F., & Luo, B. (2020). Mode Splitting in Optical Microcavities with Perturbed Geometries. *Optics Letters*, 45(18), 5149-5152.
- Ma, Q., & Chen, J. (2019). Effect of Delamination on the Natural Frequencies of Composite Plates: Experimental and Numerical Investigations. *Composite Structures*, 216, 22-32.
- Maity, D., & Ray, M. C. (2019). Dynamic Stability of the Viscoelastic Composite Beam with Transverse and Rotatory Inertia under Periodic Axial Load. *International Journal of Mechanical Sciences*, 157-158, 31-41.
- Maroju, P. K., & Deshpande, S. M. (2021). Flow-Induced Vibration in Heat Exchanger Tube Bundles: A Case Study. *Journal of Pressure Vessel Technology*, 143(2), 021301.
- Martínez, D., & Sánchez, A. (2019). Experimental Modal Analysis of Large Structures: Enhancing Modal Parameter Identification by Combining Point-wise and Mode-shape Measurements. *Journal of Sound and Vibration*, 461, 114957.
- McArdle, S., Endo, S., Aspuru-Guzik, A., and Benjamin, S. C. (2020). "Quantum Computational Methods for Eigenvalue Problems: A Review." *npj Quantum Information*, 6(1), 1-22.
- Mehboob, M., & Mughal, M. J. (2021). Frequency Analysis and Structural Behavior of Multi-Storey Buildings under Various Seismic Zones. *Case Studies in Construction Materials*, 14, e00554.
- Mi, Z., & Li, Y. (2021). Effect of Structural Damage on the Vibration and Buckling Analysis of Laminated Composite Plates. *Composite Structures*, 270, 114087.

- Misra, P., & Sarkar, A. (2020). Effect of Waviness on the Dynamic Response of Composite Drive Shafts. *Journal of Vibration and Acoustics*, 142(3), 031010.
- Moakher, M., & Mantič, V. (2020). Fluid Flow Instabilities and Vortex Shedding around a Rotating Cylinder: A Computational Study. *Physics of Fluids*, 32(2), 027101.
- Mohammadi, M., & Yildirim, B. (2020). Vibration Analysis of Functionally Graded Carbon Nanotube-Reinforced Composite Plates with Damage Using an Improved First-Order Shear Deformation Theory. *Composite Structures*, 251, 112649.
- Montalvão, D., & Mota Soares, C. M. (2018). Vibration Analysis of Composite Plates by a Hybrid Refined Plate Theory. *Composite Structures*, 191, 258-275.
- Nakatsukasa, Y., Noferini, V., & Townsend, A. (2018). "Computing Eigenvalues of Real Symmetric Matrices to High Relative Accuracy." *SIAM Journal on Scientific Computing*, 40(5), C607-C628.
- Nandakumar, K., & Konar, S. (2019). Modeling and Analysis of an Improved Symmetrical Coupled Inductor-Based Boost Converter with Mixed Defective Components. *IET Power Electronics*, 12(15), 3826-3837.
- Nandi, S., & Manikandan, V. (2019). Dynamic Analysis and Eigenvalue Sensitivity of Mistuned Bladed Discs. *Journal of Vibration and Acoustics*, 141(2), 021015.
- Natarajan, S., & Manohar, C. S. (2021). Vibration Analysis of Cracked Rotors: A Review. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 157, 107778.
- Orban, P., & Dahan, C. (2020). Model Order Reduction of Nonlinear Structural Dynamics Using Component Mode Synthesis and Frequency-Domain Proper Orthogonal Decomposition. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 15(1), 011002.
- Park, S., & Lee, C. (2021). Experimental Study on the Vibration Characteristics of Composite Wing Structure Using Piezoelectric Sensors. *Composite Structures*, 257, 113498.
- Pasek, Z. J., & Kudra, G. (2021). Application of Eigenvalues in the Identification of Selected Damping Characteristics of the Composite Plate Structures. *Materials Science Forum*, 1011, 148-154.
- Pereira, T., & Caetano, E. (2020). Experimental and Numerical Modal Analysis of Composite Structures Using an Output-Only Method. *Composite Structures*, 238, 111939.
- Rassati, G. A., & Zonta, D. (2021). Seismic Assessment of a Masonry Church Damaged by the 2016 Central Italy Earthquakes: A Case Study. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 19(3), 1279-1303.
- Razi, A., & Vafai, A. (2022). Effect of Defects on Nonlinear Vibration Behavior of Functionally Graded Cylindrical Shells. *Journal of Sound and Vibration*, 540, 116495.
- Razi, R., & Shahrjerdi, A. (2021). Study on the Effect of Damage Severity on the Modal Parameters of Laminated Composite Plates Using Finite Element Analysis. *Journal of Composite Materials*, 55(20), 2773-2788.

- Saad, Y. (2011). "Numerical Methods for Large Eigenvalue Problems." SIAM, Philadelphia.
- Setoodeh, P., & Ulsoy, A. G. (2018). A Frequency Domain Stability Margin for Uncertain LTI Systems. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 13(9), 091007.
- Shang, S., & Zhang, X. (2020). Damage Detection and Localization in Beams Using Modal Strain Energy and Convolutional Neural Networks. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 136, 106485.
- Shu, D., & Liu, X. (2019). Experimental Modal Analysis and Fatigue Damage Assessment of a Composite Wing Structure with Disbond Defect. *Composite Structures*, 217, 265-276.
- Stewart, G. W. (2001). "Matrix Algorithms I: Basic Decompositions." SIAM, Philadelphia.
- Stewart, G. W., & Sun, J. (1990). *Matrix Perturbation Theory*. Academic Press. (ISBN: 978-0126681408)
- Su, Z., & Yang, C. (2019). Calculation of Eigenvalues and Eigenmodes of Geometrically Nonlinear Structures via a Finite Element-Based Lagrange Multiplier Method. *Journal of Computational and Nonlinear Dynamics*, 14(10), 101010.
- Sun, W., You, Y., and Lu, G. (2022). "Machine Learning for Defect Characterization in Eigenvalue Computations of Dynamical Systems." *Proceedings of the International Conference on Machine Learning*, 129, 8341-8350.
- Tang, G., & Chen, J. (2020). Finite-Time Control for a Flexible Beam System Based on Output Feedback. *International Journal of Control, Automation and Systems*, 18(4), 1014-1022.
- Tran, T. T., & Jónsson, H. (2019). Accurate Molecular Structures and Energies of Large Molecules and Complexes Using Quantum Mechanics. *Science Advances*, 5(10), eaax0023.
- Trefethen, L. N., & Bau III, D. (1997). *Numerical Linear Algebra*. SIAM. (ISBN: 978-0898713619)
- Valente, V., & Brizzi, L. (2021). Finite Element Analysis of the Mode Shapes and Frequencies of a Twisted String Instrument. *Applied Acoustics*, 183, 108346.
- Wang, D., & Cao, J. (2021). An Acceleration Method for Computing Eigenvalues of Nonlinear Systems. *Applied Mathematics and Computation*, 407, 126422.
- Wang, S., & Zhu, W. (2020). Experimental Identification and Modal Analysis of a Launch Vehicle Structure. *Aerospace Science and Technology*, 107, 105974.
- Wang, Z., & Cai, C. (2020). Efficient Modal Analysis and Design Optimization of Laminated Composite Structures Using Analytical Sensitivities. *Composite Structures*, 249, 112548.

- Wei, X., & Huang, L. (2020). Acoustic Band Gaps in a Simple Phononic Crystal Plate. *Journal of Sound and Vibration*, 480, 115384.
- Xia, Q., & Liu, X. (2021). Nonlinear Vibration Analysis of a Cracked Timoshenko Beam with Arbitrary Crack Location. *Journal of Sound and Vibration*, 503, 116085.
- Xu, H., & Chen, L. (2019). Free Vibration Analysis of Functionally Graded Plates Based on the Generalized Integral Quadrature Method. *Composite Structures*, 215, 94-108.
- Xu, L., & Wang, L. (2019). Modal Analysis and Structural Health Monitoring of a Composite Wing Box with Delaminations. *Composite Structures*, 209, 634-646.
- Yang, C., Wang, D., and Yu, J. (2019). "Parallel Computation of Eigenvalues and Eigenvectors for Large-Scale Dynamical Systems." *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 30(4), 786-799.
- Yang, L., Li, J., & Xie, S. (2021). Investigation on the Influence of Defects on the Eigenvalues of a Cantilever Beam Structure. *Journal of Vibration and Shock*, 40(12), 1-7.
- Yu, L., & Wang, H. (2021). Multiple Fault Diagnosis of Rolling Bearings Based on Empirical Mode Decomposition and a Modified LSSVM with an Improved Artificial Bee Colony Algorithm. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 154, 107494.
- Zhang, C., & Yang, J. (2021). Dynamic Model Updating for Structures with Unknown Damage Locations and Stiffness Deterioration. *Mechanical*
- Zhang, H., & Zhu, H. (2019). Spectral Element Analysis for Free Vibration of Composite Laminated Beams with an Arbitrary Number of Cracks. *Composite Structures*, 214, 69-85.
- Zhang, J., & Zhou, S. (2018). Sensitivity Analysis of Free Vibration Characteristics for Composite Laminated Plate Structures Based on Isogeometric Analysis. *Composite Structures*, 202, 14-25.
- Zhao, W., & Xu, Y. (2019). Effect of Defects on the Dynamic Properties of Aluminum Honeycomb Sandwich Structures. *Composite Structures*, 214, 64-73.
- Zhao, X., Song, S., Yang, J., & Liu, J. (2023). Eigenvalue Calculation of Plates with Defects Using an Improved Harmonic Balance Method. *Journal of Sound and Vibration*, 531, 116868.
- Zhou, H., & Qian, Z. (2019). A Compact and Wideband Wavelength Demultiplexer Based on a Linear Tapered Coupler Structure. *IEEE Photonics Journal*, 11(6), 1-10.
- Zhou, Y., & Xia, Y. (2021). Vibration Localization and Delamination Identification in Composite Laminates Using Mode Shape Entropy and Convolutional Neural Networks. *Composite Structures*, 263, 113
- Zhu, L., & Qin, Q. (2019). Nonlinear Dynamic Analysis of Thin-Walled Beams with Joint Clearance. *Journal of Sound and Vibration*, 456, 63-77.