UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DELL'AQUILA
CORSI DI INGEGNERIA

A.A. 2023/2024
Meccanica delle Vibrazioni (I4M)

- Brunetti Jacopo - D'Ambrogio Walter -

(Aggiornato il 12-10-2023)

Contenuti del corso (abstract del programma):

Vibrazioni a un grado di libertà: richiami. Sistemi a più gradi di libertà. Vibrazioni libere: problema agli aut ovalori, ortogonalità autovettori. Vibrazioni forzate: analisi modale. Smorzamento. Vibrazioni longitudinali, t orsionali e flessionali. Problema libero: autovalori, ortogonalità autofunzioni. Vibrazioni forzate: analisi m odale. Metodi approssimati: Rayleigh, Rayleigh-Ritz, Galerkin. Analisi del segnale: campionamento (aliasing), trasformata discreta di Fourier, troncamento temporale (leakage), finestre. Misura della risposta in frequenza. Analisi modale sperimentale. Vibrazioni random. Onde: principio di chiusura del treno d'onda.

Programma esteso:

Vibrazioni a un grado di libertà. Rappresentazione dei segnali armonici in forma complessa. Vibrazioni libere c on e senza smorzamento. Vibrazioni forzate: fattore di amplificazione e diagramma della fase. Risonanza. Vibrazioni con spostamento del supporto. Vibrazioni con eccitazione periodica: serie di Fourier. Vibrazioni con eccitazione generica: dominio del tempo e delle frequenze; risposta al gradino, risposta all'impulso, integrale di convoluzione. Risposta complessa in frequenza: relazione con la risposta all'impulso. Smorzamento strutturale. Funzioni di riposta in frequenza: recettanza, mobilità, inertanza. Isolamento delle v ibrazioni: molle ad aria. Misura delle vibrazioni: trasduttori sismici; principio di funzionamento del vibrometro e dell'accelerometro; accelerometro piezoelettrico. Non linearità dei sistemi vibranti. Vibrazioni di s istemi a più gradi di libertà. Energia cinetica ed energia potenziale: matrici di massa e rigidezza. Funzione di di ssipazione: matrice di smorzamento. Equazione del moto. Vibrazioni libere: problema agli autovalori, ortogonalità e normalizzazione autovettori. Soluzione generale del problema libero: coincidenza tra autovettori e modi di vibrazione. Autovalori multipli; oscillazioni di corpi rigidi. Vibrazioni forzate: matrice di rigidezza dinamica. Accoppiamento di coordinate: coordinate principali. Analisi modale: assenza di smorzamento. Energia cinetica e potenziale in coordinate modali. Forzante armonica: risposta complessa in frequenza in funzione dei parametri modali. Forza arbitraria: dominio del tempo e dominio delle frequenze. Analisi modale in presenza di smorzamento. Smorzamento viscoso: casi particolari di disaccoppiamento; smorzamento proporzionale. Smorzamento viscoso non proporzionale: problema libero; problema forzato: formulazione nello spazio degli stati. Smorzamento strutturale: casi particolari di disaccoppiamento; smorzamento proporzionale e non proporzionale. Risposta in frequenza in funzione dei parametri modali per smorzamento viscoso e strutturale, proporzionale e non proporzionale. Rapporto di Rayleigh: stazionarietà. Smorzatore d inamico di vibrazioni. Vibrazioni di sistemi continui. Vibrazioni trasversali di una corda: equazione del moto.

Soluzione di D'Alembert e soluzione per separazione di variabili. Determinazione delle pulsazioni proprie: corda con estremi fissi, corda con un estremo scorrevole. Ortogonalita? e normalizzazione delle autofunzioni. S oluzione generale del problema libero: Condizioni iniziali e significato fisico delle autofunzioni. Vibrazioni longitudinali di aste: equazione del moto. Determinazione delle pulsazioni proprie: asta libera-libera e asta incastrata-libera. Vibrazioni torsionali degli alberi: equazione del moto, determinazione delle pulsazioni proprie. Vibrazioni flessionali delle travi: equazione del moto. Oscillazioni libere. Onde flessionali in travi e piastre. Soluzione per separazione di variabili. Determinazione delle pulsazioni proprie. Ortogonalita? e n ormalizzazione delle autofunzioni. Soluzione generale del problema libero. Condizioni iniziali e significato fisico delle autofunzioni. Vibrazioni forzate: analisi modale. Carichi concentrati. Forzante armonica: forza armonica concentrata, risposta complessa in frequenza. Metodi approssimati: metodo di Rayleigh, metodo di Rayleigh-Ritz, confronto con il metodo agli elementi finiti; problemi forzati: metodo dell'assunzione dei modi, metodo di Galerkin, metodo di collocazione. Analisi dei segnali. Conversione analogico-digitale: effetto del numero di bit. Campionamento: trasformata di Fourier di un segnale campionato. Aliasing: minima frequenza di campionamento in relazione alla massima frequenza del segnale. Teorema di ricostruzione (Shannon). Trasformata discreta di Fourier. Effetto del troncamento temporale del segnale: leakage. Minimizzazione degli effetti del leakage: finestre. Prove modali. Modello fisico, modello modale, modello di risposta. Scopo delle prove modali. Tipi di prove modali: prove ingresso-uscita (determinazione sperimentale della risposta in frequenza); prove output-only (solo risposta). Mezzi: eccitatore elettrodinamico, martello strumentato. Metodi per vincolare la struttura: supporti rigidi e flessibili. Montaggio dell'eccitatore. Tipi di eccitazione: stazionaria (armonica con frequenza variabile a salti) o transitoria (impulso, spazzolata sinusoidale veloce Analisi modale sperimentale. Identificazione dei parametri modali nel dominio delle frequenze. Basi teoriche dei metodi Single Degree of Freedom (SDOF): stima della frequenza propria dall'osservazione di grafici della FRF (modulo, fase, parte reale, parte immaginaria, ampiezza del picco, parte immaginaria in funzione della parte reale). Stima dello smorzamento: punti di mezza potenza. Cerchio modale: stima della frequenza propria e del fattore di smorzamento. Grafico dell'inversa. Estensione a sistemi a più gradi di libertà: ipotesi del singolo gr ado di libertà (metodo SDOF); peak amplitude, quadrature response, circle fit, line fit (Dobson). Residui di b assa e alta frequenza. Metodi MDOF: minimi quadrati non lineari (NLLS); rapporto fra polinomi (RFP), etc. Confronto tra forme modali: modal assurance criterion (MAC). Processi aleatori (random). Fondamenti di teoria delle probabilità. Variabili aleatorie e distribuzioni di probabilità. Valori attesi di una variabile aleatoria. Pr ocessi stocastici: medie di insieme. Stazionarietà. Funzioni di auto e cross-correlazione. Ergodicità: medie nel te mpo. Densità spettrale diretta e incrociata. Processi random a banda larga e banda stretta: rumore bianco. V ibrazioni random. Risposta di un sistema lineare a un ingresso random. Sistemi a un grado di libertà: stima della f unzione di risposta in frequenza. Risposta a rumore bianco. Funzione di coerenza: effetto del rumore nelle misure. Risposta di sistemi a N gradi di libertà a ingressi random. Risposta di sistemi continui a ingressi r andom. Onde. Onde longitudinali e quasi-longitudinali. Onde flessionali: velocità di fase e velocità di gruppo, co nsiderazioni sull'energia. Moto ondoso in aste e travi di lunghezza finita: vibrazioni longitudinali naturali, vibrazioni flessionali naturali, principio di chiusura del treno d'onda.

Modalità d'esame:

METODI DI ACCERTAMENTO: verifica della conoscenza e della capacità di modellare ed analizzare sistemi v ibranti discreti e continui; verifica della conoscenza e della capacità di progettare prove sperimentali per i dentificare le proprietà del sistema vibrante. CRITERI DI VALUTAZIONE (valutazione in trentesimi): c onoscenza minima (valutazione tra 18 e 20); conoscenza media (21-23); capacità di applicare la conoscenza in m aniera sufficiente (24-25); buona capacità di applicare la conoscenza (27-28); capacità di applicare la conoscenza in

maniera eccellente con buone capacità di comunicazione e senso critico (29-30 con lode). STRUMENTI DI A CCERTAMENTO: prova scritta e prova orale.

Risultati d'apprendimento previsti:

Conoscenza e capacità di modellare ed analizzare sistemi vibranti discreti e continui. Conoscenza e capacità di pr ogettare prove sperimentali per identificare le proprietà del sistema vibrante.

Link al materiale didattico:

http://www.didattica.univaq.it/moodle/course/view.php?id=4517

Testi di riferimento:

Dispense distribuite dal docente.

Rao, Mechanical Vibrations, Prentice-Hall, 2005.