

Sapienza Università di Roma
Programma del Corso di Meccanica applicata alle macchine
per gli allievi iscritti al Corso di Laurea in Ingegneria meccanica
A.A. 2007 – 2008
Prof. N.P. Belfiore

Il programma consiste nell'insieme degli argomenti svolti in classe. Il presente documento non è che un resoconto di quanto illustrato durante le lezioni.

Analisi cinematica

Prime definizioni: elemento cinematica, coppia cinematica. Grado di libertà di una coppia cinematica. Numero di mobilità. Grado di vincolo. Esempio di coppie cinematiche di uso frequente e determinazione del corrispondente grado di libertà e grado di vincolo: coppia rotoidale, coppia prismatica, coppia elicoidale, coppia cilindrica, coppia sferica, coppia piana. Classificazione delle coppie secondo Relaux. Coppie superiori ed inferiori. Coppie in chiusura di forza e in chiusura di forma. Definizione di meccanismo e di catena cinematica.

METODI DI RAPPRESENTAZIONE DI MECCANISMI E CATENE CINEMATICHE. Schema funzionale di un meccanismo. Rappresentazione poligonale di catene cinematiche. Le catene di Watt e Stephenson. Notazione di Franke. Cenni sulla teoria dei grafi nella classificazione dei meccanismi.

FORMULE TOPOLOGICHE PER IL CALCOLO DEI G.D.L. Formula del Grubler nello spazio e nel piano. Formula di Eulero per il calcolo del numero di circuiti indipendenti. Formula di Kutzbach.

VELOCITÀ ED ACCELERAZIONE DI UN ELEMENTO NELLA FORMULAZIONE INTRINSECA

VELOCITÀ ED ACCELERAZIONI DI DUE ELEMENTI APPARTENENTI AL MEDESIMO CORPO RIGIDO. Formula fondamentale della cinematica.

MOTI RELATIVI. Velocità ed accelerazioni di un elemento rispetto a due diversi sistemi di riferimento in moto relativo. Teorema di Aronhold Kennedy. Velocità di strisciamento tra due profili coniugati e velocità u_s ed u_σ .

ATTO DI MOTO. Centro P_0 delle velocità (centro di istantanea rotazione). Campo delle velocità.

POLARI DEL PRIMO ORDINE. Polari del primo ordine. Definizione. Costruzione della polare fissa date le traiettorie di due punti. Metodo del trasporto per la costruzione della polare mobile. il puro rotolamento nel moto relativo tra le polari.

CAMPO DELLE ACCELERAZIONI. Il centro K delle accelerazioni. Esistenza ed unicità.

Campo delle accelerazioni.

CIRCONFERENZA DEI FLESSI. Velocità di K . Accelerazione di P_0 . Circonferenza dei flessi.

ORTOGONALITÀ DELL'ACCELERAZIONE DI P_0 IN P_0 ALLE POLARI

PUNTI PARTICOLARI. Accelerazione di P_0 e di I in funzione di δ

FORMULA DI EULER SAVARY 1 E 2. Euler Savary (seconda espressione). Euler-Savary (prima espressione).

CIRCONFERENZA DI STAZIONARIETA'. Individuazione del centro K a partire dalla conoscenza della circonferenza dei flessi, di P_0 e dell'accelerazione di un punto. Determinazione del centro di curvatura Ω della traiettoria di un punto M date le polari (costruzione grafica e sua giustificazione).

Meccanismi

Meccanismi con coppie superiori. Tracciamento del profilo s coniugato da uno σ assegnato, essendo note le polari del moto: metodo dell'involuppo, metodo delle normali. Tracciamento simultaneo dei profili coniugati, essendo note le polari e la curva epicyclo.

Metodo dell'epiciclo con curva ausiliaria. Metodo dell'epiciclo con traiettoria di punto. Determinazione delle proprietà dei centri di curvatura dei profili coniugati: tramite circonferenze osculatrici ai profili coniugati; tramite profili ricavati dal metodo dell'epiciclo per traiettoria di punto.

Meccanismi equivalenti. Esempi: sistemi a camme e leve striscianti

Sistemi articolati. Regola del Grashof per i quadrilateri articolati.

Giunti di trasmissione. Tipi di giunti di trasmissione. Giunti rigidi ed elastici (cenni).

Giunti articolati

Giunto di Oldham. Moti cardanici. Giunto di Cardano. Espressione del rapporto di trasmissione. Doppio giunto cardanico.

Freni. Freni ad accostamento rigido. Freni ad accostamento libero. Impuntamento e parzializzazione

Camme. Piastra di traslazione equivalente: con cedente a coltello, con altro profilo (inviluppo).

Metodo dell'inviluppo per la costruzione della camma con eccentricità e cedente a rullo.

Camma ad accelerazione costante.

Statica dei sistemi meccanici

Richiami sulle equazioni cardinali. Casi particolari: corpo soggetto a 2, 3 o 4 forze soltanto. Principio di disgregazione. Disgregazione di sottoelementi complessi. Principio dei lavori virtuali – Teorema dei lavori virtuali – esempi di applicazione.

Introduzione all'usura ed all'attrito

Rugosità: profilo nominale; massima altezza superficiale; rugosità media R_a ; parametro di

rugosità $R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L z(x)^2 dx}$. Cenni sulla

NORMATIVA ASME B46.1-1985 e 1995 ed ISO 4287 e 4287/1 -1997 nonchè

ISO 13565-1996 e successive modificazioni. Coefficiente di attrito Coulombiano. Corpo

appoggiato su piano a velocità costante. Corpo su piano inclinato in quiete. Formule di Hertz: contatti puntiformi: raggio dell'areola

$a = k_a \sqrt[3]{\frac{Qr}{E}}$, pressione massima di contatto

$p_x = \frac{3}{2} \bar{p} = k_p \sqrt[3]{\frac{QE^2}{r^2}}$, schiacciamento $\delta =$

$k_d \sqrt[3]{\frac{Q^2}{E^2 r}}$. Contatti lineari (facoltativo).

Coefficiente di attrito approssimato nell'ipotesi di usura adesiva. Altri meccanismi di usura (abrasione, erosione, fretting e corrosione, fatica superficiale). Classificazione

fenomenologia dell'usura (scuffing, scoring, spalling, case crushing, pitting, galling).

Modelli per il calcolo dell'usura: modello energetico del Reye. Modello di Archard.

Tasso di usura = k / H . Attrito nella coppia rotoidale portante: circonferenza di attrito.

Attrito nelle coppie. Attrito volvente. Esercizio: Equilibrio statico di una leva con attrito

Attrito nella coppia rotoidale spingente (raggio medio). ATTRITO VOLVENTE per isteresi

(ritardo di elasticità): ruota trainata scarica (coefficiente di attrito volvente); ruota motrice trainante.

ATTRITO VOLVENTE per urti (difetto di elasticità). Coefficiente di attrito volvente

dovuto ad urti $f'_v = (1 - \varepsilon) \frac{\rho_s v^2}{gr}$.

Introduzione alla teoria della lubrificazione

Lubrificanti ed additivi. Viscosità. Legge del Petroff. Fluidi Newtoniani. Teoria monodimensionale del Reynolds. Portata Q del fluido nel meato a facce piane parallele: necessità di un meato a spessore variabile

$Q = \frac{vh}{2} - \frac{p'h^3}{12\mu}$. Gradiente delle pressioni in un

meato piano convergente. Deduzione della sezione di gradiente nullo. Deduzione del diagramma delle pressioni. Forza

sostentatrice, forza tangenziale, retta d'applicazione. Coefficiente di attrito mediato.

Lubrificazione idrostatica della coppia rotoidale spingente. Meato costante a tratti (cuscinetti a gradino). Meato ad altezza

variabile linearmente: Deduzione dell'altezza \bar{h} con $\frac{1}{\bar{h}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right)$, Deduzione delle espressioni N , f_m , x_N . Cenni sulla coppia rotoidale portante lubrificata. Circonferenza di attrito nella coppia portante lubrificata e nei cuscinetti volventi portanti
 Cuscinetti assiali lubrificati idrodinamicamente. Cuscinetti Michell. Coefficienti correttivi per fuoriuscite laterali

$$N \leftarrow \frac{N}{c}, \quad c = \frac{b+l}{b} \quad f_m \leftarrow f_m \cdot c', \quad c' = \sqrt{\frac{b+4l}{b}}$$

Il rendimento meccanico nelle macchine

Lavoro ed energia. Equazione del bilancio energetico in una macchina. Regime assoluto e periodico. Esercizio ideale ed esercizio reale. Definizione del rendimento meccanico. Rendimento dei meccanismi in serie ed in parallelo. Espressioni del rendimento nei sistemi a regime assoluto. Moto retrogrado ed arresto spontaneo. Condizioni per l'arresto spontaneo.

Trasmissione meccanica della potenza

RUOTE DI FRIZIONE, interasse, rapporto di trasmissione, diametro delle primitive. INGRANAGGI. RUOTE DENTATE CILINDRICHE A DENTI DRITTI CON PROFILI AD EVOLVENTE: Metodo dell'epiciclo (rettilineo) per traiettoria di punto. Metodo dell'epiciclo (rettilineo) con curva ausiliaria. Caratteristiche geometriche dei profili coniugati e le loro evolte (= circ. fondamentale): angolo caratteristico. Caratteristiche delle ruote con profili ad evolvente. Linea di ingranamento. Procedimento di intaglio delle ruote dentate con dentiera. Direzione della forza di contatto nel caso ideale (angolo di pressione, componente radiale della sollecitazione). Altre caratteristiche geometriche: passo, modulo e proporzionamento modulare, spessore del dente e vano, arco accesso recesso e azione, fattore di ricoprimento. INTERFERENZA. MEZZI PER OVVIARE AL PROBLEMA

DELL'INTERFERENZA. NUMERO MINIMO DI DENTI accoppiamento ruota dentiera.

Introduzione alla dinamica dei meccanismi

Classificazione delle forze: Interne – esterne; motrici – resistenti; attive – vincolari. Dinamica dell'elemento. Dinamica del corpo rigido: equazioni cardinali generali. Sollecitazioni di inerzia e riformulazione delle equazioni cardinali. Applicazione del Principio dei lavori virtuali esteso alla dinamica. Problemi di dinamica dei sistemi di corpi rigidi: problema dinamico diretto e inverso. Esempio: quadrilatero articolato (inverso), pendolo composto (diretto).

Introduzione alle oscillazioni nei sistemi meccanici

Vibrazioni libere non smorzate (parametri concentrati). Molla $|F| = k\Delta l$. Smorzatore viscoso $|F| = r\Delta v$. Metodo dei numeri complessi. Formula di Eulero $e^{i\varphi} = \cos \varphi + i \sin \varphi$. Vettore \bar{X} Nel piano complesso; $e^{i\alpha}$ Come operatore di rotazione di angolo α . Oscillatore armonico libero non smorzato $\bar{x} = \bar{X}e^{i\omega t}$. Equazione di equilibrio dinamico e soluzioni. Risposta con assegnate condizioni iniziali $x = x_0 \cos \omega t + v_0/\omega \sin \omega t$. Frequenza, periodo e pulsazione. Oscillatore armonico libero smorzato. Fattore di smorzamento ipercritico, critico e sottocritico. Vibrazioni forzate e smorzate. Forzante. Soluzioni particolare e del sistema omogeneo. Soluzione nel campo complesso. Coefficiente di amplificazione dinamico (numeri complessi). Fase. Diagrammi vettoriali. Zone quasi statica, di risonanza e sismografica. Sistemi forzati e smorzati. Coefficiente di trasmissibilità. Sistemi liberi smorzati. Decremento logaritmico. Metodo del Rayleigh e sua applicazione ad un semplice sistema massa molla oscillatore e ad un sistema con massa e carrucola.

Vibrazioni flessionali e pulsazioni torsionali

Velocità critiche flessionali ad un g.d.l.

$$k = \frac{3EI}{a^2b^2} ; \quad I = \frac{\pi d^4}{64}. \quad \text{Fenomeno}$$

dell'autocentrimento $y = e \frac{n^2}{1-n^2}$. Caso $e = 0$
per il quale $y(m\omega^2 - 1) = 0$.

$$\text{Pendolo torsionale} \quad M = \left[\frac{GJ}{l} \right] \quad J = \frac{\pi d^4}{32}$$

Cenno alle vibrazioni di sistemi con n g.d.l.

Equazione generale $[m][\ddot{x}] + [k][x] = [0]$

Soluzione sincrona generale $[\bar{x}(t)] = [X]e^{i\omega t}$

Pulsazioni torsionali con due volani ed estremi liberi per i quali $\omega^2 = 0$; $\omega^2 = k \frac{I_1 + I_2}{I_1 I_2}$;

$$\frac{\theta_2}{\theta_1} = -\frac{I_1}{I_2} ;$$

Esercitazioni

SCALE DI RAPPRESENTAZIONE. Scale di rappresentazione dei vettori nel piano. Scale degli spazi. Esempio: rappresentazione del manovellismo. METODO DEI DIAGRAMMI POLARI. Trattazione generale. METODO DEI POLI. Esercizi di analisi cinematica delle leve

rotolanti con il teorema dei moti relativi e con il meccanismo equivalente.

Integrazione numerica. Formule di Bezout e Cavalieri Simpson. Formulazione iterativa e calcolo delle funzioni integrali tramite Excel o altri linguaggi.

N. 1. Analisi cinematica del primo ordine nel manovellismo ordinario centrato

N. 2. Analisi cinematica del secondo ordine nel manovellismo ordinario centrato

N. 3. Analisi cinematica di una camma con cedente a rullo e della guida di Fairbairn.

N. 4. Analisi cinematica del quadrilatero articolato manovella bilanciata,

N. 5. Esercizi di statica di meccanismi con vincoli ideali.

N. 6. Problema dinamico diretto su una massa localizzata in moto vario su una traiettoria rettilinea.

N. 7. Problema inverso sulla coppia prismatica lubrificata e problema diretto sul cuscinetto Michell.

N. 8. Analisi cinematica di elementi traccianti particolari traiettorie: evolvente e cicloide

N. 9. Geometria delle ruote dentate ed interferenza

N. 10. Calcolo dei rendimenti con le formule pratiche basate sulla statica grafica.

N. 11. Problema dinamico Inverso per una camma a rullo

N. 12. Problema dinamico diretto per l'oscillatore libero smorzato e per il pendolo composto.